



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE  
JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**

**Cynthia Mishell Maldonado Virula**

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León de León

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE  
JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CYNTHYA MISHELL MALDONADO VIRULA**

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LEÓN DE DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos    |
| VOCAL I    | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV   | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz       |
| VOCAL V    | Br. Sergio Alejandro Donis Soto     |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| DECANO      | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos       |
| EXAMINADORA | Inga. Sigrid Alitza Calderón de León   |
| EXAMINADORA | Inga. Norma Ileana Sarmiento de Zeceña |
| EXAMINADOR  | Ing. César Ernesto Urquizú Rodas       |
| SECRETARIO  | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez        |

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 04 de mayo del 2012.



**Cynthia Mishell Maldonado Virula**



Guatemala, 05 de marzo de 2013.  
REF.EPS.DOC.283.03.13.

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) de la estudiante universitaria de la Carrera de Ingeniería Industrial, **Cynthia Mishell Maldonado Virula**, Carné No. **200819347** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA"**.

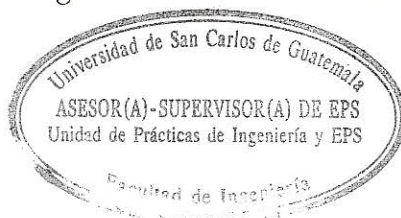
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Sigrid Aitza Calderón de León  
**Asesora-Supervisora de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



Guatemala, 05 de marzo de 2013.  
REF.EPS.D.190.03.13

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA”** que fue desarrollado por la estudiante universitaria, **Cynthia Mishell Maldonado Virula** quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Inga. Sigríd Alitza Calderón de León.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo como Asesora-Supervisora de EPS y Directora, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
“Id y Enseñad a Todos”

Inga. Sigríd Alitza Calderón de León De León  
Directora Unidad de EPS



SACdLDdL/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

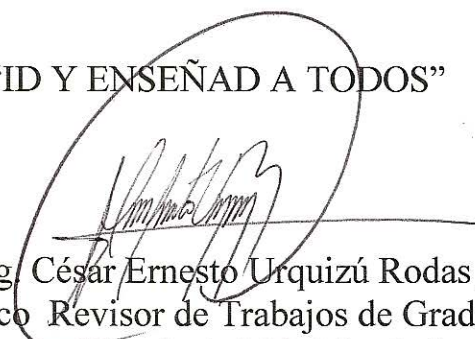


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.042.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria **Cynthia Mishell Maldonado Virula**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.162.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria **Cynthia Mishell Maldonado Virula**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2013.

/mgp



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 429.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA, EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria **Cynthya Mishell Maldonado Virula**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 20 de junio de 2013.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Ser supremo que me dio la fortaleza y su favor para concluir una meta más de mi vida.

### **Mis padres**

A mi papá Miguel Maldonado, por contar con su apoyo moral y económico y en especial a mi mamá Rosa Leticia Virula, que además del apoyo moral y económico, sus sabios consejos que me ayudaron a enfrentar los obstáculos siempre de una manera positiva y por sus oraciones día a día por mi vida.

### **Mis hermanos**

Kevin Miguel, Evelin Anihelka, Josué Daniel y especialmente a Bianca Leticia Maldonado Virula, por ser mi ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|                                                  |                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser mí casa de estudios, y ser el medio principal para iniciar y culminar mi formación profesional.                                                                                                     |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                    | Por ser parte de mi motivación de aprendizaje a lo largo de mi carrera.                                                                                                                                     |
| <b>Mis catedráticos</b>                          | Por transmitirme sus conocimientos mediante sus cátedras.                                                                                                                                                   |
| <b>Mis amigos de la facultad</b>                 | Alejandra García, Laura Laparra, Uzziel Cabrera, Lester Ramírez y Juan Manuel Elías, por ser parte de mi motivación al iniciar, continuar y concluir la carrera, por su valiosa amistad, paciencia y apoyo. |
| <b>Concepción, S.A.</b>                          | Por darme la oportunidad de realizar el ejercicio profesional supervisado.                                                                                                                                  |
| <b>Mi asesora</b>                                | Por brindarme su ayuda en el desarrollo de mi trabajo de graduación.                                                                                                                                        |

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                                                                                                             |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                                                                                                                                                               | V      |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                                                                                                                                                                     | XV     |
| GLOSARIO .....                                                                                                                                                                              | XVII   |
| RESUMEN .....                                                                                                                                                                               | XXXI   |
| OBJETIVOS .....                                                                                                                                                                             | XXXIII |
| INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                                                                          | XXXV   |
| <br>                                                                                                                                                                                        |        |
| 1. GENERALIDADES DEL INGENIO CONCEPCIÓN, S.A.....                                                                                                                                           | 1      |
| 1.1. Historia de la empresa .....                                                                                                                                                           | 1      |
| 1.2. Descripción de la empresa .....                                                                                                                                                        | 3      |
| 1.2.1. Misión .....                                                                                                                                                                         | 3      |
| 1.2.2. Visión .....                                                                                                                                                                         | 3      |
| 1.2.3. Valores.....                                                                                                                                                                         | 3      |
| 1.2.4. Política de gestión integral .....                                                                                                                                                   | 4      |
| 1.2.5. Ubicación de la empresa.....                                                                                                                                                         | 4      |
| 1.2.6. Organigrama .....                                                                                                                                                                    | 4      |
| <br>                                                                                                                                                                                        |        |
| 2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA (DMAMC),<br>DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR Y CONTROLAR, EN EL<br>PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA EN EL INGENIO<br>CONCEPCIÓN, S.A. .... | 7      |
| 2.1. Definir .....                                                                                                                                                                          | 7      |
| 2.1.1. Voz del cliente.....                                                                                                                                                                 | 7      |
| 2.1.2. Charter del proyecto .....                                                                                                                                                           | 18     |
| 2.1.3. Mapa de proceso de extracción de jugo de caña ....                                                                                                                                   | 22     |

|          |                                                                                           |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.4.   | Diagrama PEPSU (proveedores, entradas, procesos, salidas y usuarios) .....                | 22 |
| 2.2.     | Medir .....                                                                               | 25 |
| 2.2.1.   | Determinación de X's vitales de variable crítica de calidad .....                         | 26 |
| 2.2.1.1. | Diagrama de Ishikawa de segundo nivel .....                                               | 26 |
| 2.2.1.2. | Diagrama de Pareto de causas de puenteo de molinos durante las últimas cuatro zafras..... | 28 |
| 2.2.2.   | Prueba de normalidad de los datos recolectados de variable crítica de calidad .....       | 31 |
| 2.2.3.   | Análisis de capacidad de proceso .....                                                    | 46 |
| 2.2.4.   | Análisis de estabilidad del proceso .....                                                 | 53 |
| 2.2.5.   | Resumen de capacidad del proceso.....                                                     | 57 |
| 2.3.     | Analizar .....                                                                            | 66 |
| 2.3.1.   | Análisis de X's vitales de variable crítica de calidad.....                               | 67 |
| 2.3.1.1. | Diagramas de Pareto de causas por molino de tiempo de puenteo.....                        | 67 |
| 2.3.1.2. | Diagramas de Pareto de fallas en los equipos del tándem de molino .....                   | 80 |
| 2.3.1.3. | Gráficas de pesos de piedras entrantes a ingenio .....                                    | 82 |
| 2.3.1.4. | Gráficas de cambio de peines superiores y cuchillas centrales en los molinos.....         | 84 |
| 2.3.2.   | Matriz de análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).....                                | 86 |

|        |                                                                                                                                                                        |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.3. | Cuantificación de beneficio esperado de proyecto .....                                                                                                                 | 106 |
| 2.4.   | Mejorar .....                                                                                                                                                          | 111 |
| 2.4.1. | Propuesta de solución.....                                                                                                                                             | 112 |
| 2.4.2. | Rediseño del tándem de molinos .....                                                                                                                                   | 116 |
| 2.4.3. | Formato y registro para seguimiento del mantenimiento de mazas en molinos .....                                                                                        | 119 |
| 2.4.4. | Perfil propuesto para mantenimiento de soldadura .....                                                                                                                 | 123 |
| 2.4.5. | Análisis financiero para mantenimiento de soldadura de mazas de los molinos, comparando dos escenarios de costos con pago a terceros y con pago a recurso propio ..... | 129 |
| 2.5.   | Controlar.....                                                                                                                                                         | 139 |
| 2.5.1. | Plan de control.....                                                                                                                                                   | 140 |
| 3.     | PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO EN OFICINAS DEL INGENIO CONCEPCIÓN, S.A. ....                                                                                                | 143 |
| 3.1.   | Objetivos .....                                                                                                                                                        | 143 |
| 3.2.   | Justificación de estudio energético .....                                                                                                                              | 144 |
| 3.3.   | Marco teórico .....                                                                                                                                                    | 145 |
| 3.4.   | Situación actual de la empresa .....                                                                                                                                   | 152 |
| 3.4.1. | Consumo anual de energía de la empresa en los últimos cinco años .....                                                                                                 | 154 |
| 3.4.2. | Variación del precio de energía eléctrica en los últimos cinco años .....                                                                                              | 156 |
| 3.4.3. | Consumidores.....                                                                                                                                                      | 157 |
| 3.4.4. | Indicadores .....                                                                                                                                                      | 158 |
| 3.5.   | Plan de ahorro energético.....                                                                                                                                         | 160 |

|        |                                                                                                       |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.1. | Consumos anuales actuales e innecesarios en cuanto a iluminación .....                                | 160 |
| 3.5.2. | Resumen de consumo eléctrico en las oficinas respecto a iluminación .....                             | 168 |
| 3.5.3. | Estudio del consumo eléctrico en las oficinas de la empresa, respecto a los aparatos eléctricos ..... | 170 |
| 3.5.4. | Resumen de consumo eléctrico en las oficinas respecto a los aparatos eléctricos .....                 | 178 |
| 3.6.   | Presentación de plan de ahorro energético .....                                                       | 180 |
| 3.6.1. | Resumen del plan de ahorro energético en las oficinas de la empresa .....                             | 180 |
| 3.7.   | Conclusiones de estudio energético .....                                                              | 189 |
| 3.8.   | Recomendaciones de estudio energético .....                                                           | 190 |
| 4.     | CAPACITACIÓN .....                                                                                    | 193 |
| 4.1.   | Diagnóstico de capacitación .....                                                                     | 193 |
| 4.2.   | Planificación de capacitación .....                                                                   | 194 |
| 4.3.   | Programación de capacitación .....                                                                    | 199 |
| 4.4.   | Evaluación de capacitación .....                                                                      | 206 |
|        | CONCLUSIONES .....                                                                                    | 213 |
|        | RECOMENDACIONES .....                                                                                 | 217 |
|        | BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                    | 219 |
|        | APÉNDICES .....                                                                                       | 221 |
|        | ANEXOS .....                                                                                          | 255 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |                                                                                                                                 |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Organigrama CSA.....                                                                                                            | 5  |
| 2.  | Diagrama de Ishikawa de primer nivel.....                                                                                       | 12 |
| 3.  | Mapa de proceso de extracción de jugo de caña .....                                                                             | 23 |
| 4.  | Diagrama PEPSU de proceso de extracción de jugo de caña .....                                                                   | 24 |
| 5.  | Diagrama de Ishikawa de segundo nivel .....                                                                                     | 26 |
| 6.  | Diagrama de Pareto de causas de puenteo de molinos, durante las<br>últimas cuatro zafras .....                                  | 29 |
| 7.  | Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación<br>lineal para zafra 2008-2009.....                              | 36 |
| 8.  | Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación<br>lineal para zafra 2009-2010.....                              | 36 |
| 9.  | Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación<br>lineal para zafra 2010-2011.....                              | 37 |
| 10. | Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación<br>lineal para zafra 2011-2012.....                              | 37 |
| 11. | Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros<br>recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2008-2009 ..... | 41 |
| 12. | Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros<br>recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2009-2010 ..... | 41 |
| 13. | Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros<br>recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2010-2011 ..... | 42 |
| 14. | Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull,<br>zafra 2008-2009 .....                                        | 44 |



|     |                                                                                          |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 15. | Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull,<br>zafra 2009-2010 ..... | 45 |
| 16. | Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull,<br>zafra 2010-2011 ..... | 45 |
| 17. | Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull,<br>zafra 2011-2012 ..... | 46 |
| 18. | Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009.....                                          | 55 |
| 19. | Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009.....                                          | 55 |
| 20. | Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009.....                                          | 56 |
| 21. | Gráfica de rangos móviles, zafra 2011-2012.....                                          | 56 |
| 22. | Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2008-2009.....                                    | 59 |
| 23. | Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2009-2010.....                                    | 61 |
| 24. | Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2010-2011.....                                    | 63 |
| 25. | Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2011-2012.....                                    | 65 |
| 26. | Diagrama de Pareto, causas molino 1, zafra2008-2009 .....                                | 68 |
| 27. | Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2008-2009.....                            | 68 |
| 28. | Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2008-2009.....                            | 69 |
| 29. | Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2008-2009.....                            | 69 |
| 30. | Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2008-2009.....                            | 70 |
| 31. | Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2008-2009.....                            | 70 |
| 32. | Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafras 2009-2010.....                            | 71 |
| 33. | Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2009-2010.....                            | 71 |
| 34. | Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2009-2010.....                            | 72 |
| 35. | Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2009-2010.....                            | 72 |
| 36. | Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2009-2010.....                            | 73 |
| 37. | Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2009-2010.....                            | 73 |
| 38. | Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafras 2010-2011 .....                           | 74 |
| 39. | Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2010-2011 .....                           | 74 |
| 40. | Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2010-2011 .....                           | 75 |

|     |                                                                                                    |     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 41. | Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2010-2011 .....                                     | 75  |
| 42. | Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2010-2011 .....                                     | 76  |
| 43. | Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2010-2011 .....                                     | 76  |
| 44. | Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafras 2011-2012 .....                                     | 77  |
| 45. | Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2011-2012 .....                                     | 77  |
| 46. | Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2011-2012 .....                                     | 78  |
| 47. | Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2011-2012 .....                                     | 78  |
| 48. | Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2011-2012 .....                                     | 79  |
| 49. | Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2011-2012 .....                                     | 79  |
| 50. | Diagrama de Pareto de causas de fallas en molinos .....                                            | 80  |
| 51. | Diagrama de Pareto de equipos que fallaron con más frecuencia en<br>el área de molinos .....       | 81  |
| 52. | Diagrama de Pareto de motivos de fallas en molinos .....                                           | 81  |
| 53. | Gráfica de pesos de piedras entrantes a ingenio.....                                               | 82  |
| 54. | Gráfica de capacidad de proceso para pesos de piedras entrantes<br>a ingenio, zafra 2011-2012..... | 83  |
| 55. | Gráfica de cambio de peines en últimas cuatro zafras .....                                         | 85  |
| 56. | Horas de puenteo de molinos en últimas diez zafras .....                                           | 108 |
| 57. | Porcentaje de tiempo de molinos en últimas diez zafras .....                                       | 108 |
| 58. | Comportamiento por semana de puenteo de molinos, zafra 2011-<br>2012.....                          | 109 |
| 59. | Horas de puenteo por molino, zafra 2011, 2012.....                                                 | 110 |
| 60. | Tándem de molinos antes de zafra 2012-2013 .....                                                   | 116 |
| 61. | Tándem de molinos a partir de zafra 2012-2013 .....                                                | 117 |
| 62. | Formato, evaluación y seguimiento del mantenimiento en las<br>mazas de los molinos.....            | 121 |
| 63. | Registro, evaluación y seguimiento del mantenimiento en las<br>mazas de los molinos.....           | 122 |
| 64. | Organigrama según perfil de puesto soldador industrial .....                                       | 124 |

|     |                                                                                   |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 65. | Registro de control para componentes de molinos .....                             | 141 |
| 66. | Registro semanal de apoyo para la planificación de mantenimiento preventivo ..... | 142 |
| 67. | Matriz de administración de energía, CSA.....                                     | 153 |
| 68. | Gráfica de consumo MWh por la empresa durante últimas cinco zafras.....           | 155 |
| 69. | Gráfica de consumo MWh por la empresa durante últimas cinco reparaciones.....     | 155 |
| 70. | Gráfica de variación del precio de energía, últimos cinco años.....               | 156 |
| 71. | Diagrama de Pareto según indicadores en MWh/mes promedio por área .....           | 159 |

## TABLAS

|       |                                                                                      |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.    | Formas de recolectar los datos de la voz del cliente.....                            | 8  |
| II.   | Información sobre clientes y segmentos.....                                          | 11 |
| III.  | Matriz de Y's .....                                                                  | 14 |
| IV.   | Ponderación de criterios, matriz de Y's .....                                        | 15 |
| V.    | Escala de resultados, matriz de Y's.....                                             | 16 |
| VI.   | Requerimientos de los clientes .....                                                 | 16 |
| VII.  | Estrategias de negocio que encajan los requerimientos de los clientes .....          | 17 |
| VIII. | Generalidades del proyecto .....                                                     | 19 |
| IX.   | Definición del problema .....                                                        | 19 |
| X.    | Objetivos y metas específicos .....                                                  | 20 |
| XI.   | Recursos necesarios .....                                                            | 21 |
| XII.  | Causas y horas de tiempo perdido por puenteo de molinos, últimas cuatro zafras ..... | 28 |

|         |                                                                                                                                       |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XIII.   | Cálculo de ajuste a la Distribución Weibull datos de zafra 2008-2009, con parámetro de localización igual a cero.....                 | 34  |
| XIV.    | Valores de parámetros de forma, de escala y de localización según ajuste de Distribución de Weibull, para zafra 2008-2009.....        | 35  |
| XV.     | Nuevos valores de parámetros de forma, de escala y de localización según ajuste de Distribución de Weibull, para zafra 2008-2009..... | 39  |
| XVI.    | Cálculo de ajuste a la Distribución Weibull datos de zafra 2008-2009, con parámetro de localización diferente a cero .....            | 40  |
| XVII.   | Datos calculados con base a función de densidad de probabilidad de Weibull para horas de puenteo, zafra 2008-2009.....                | 43  |
| XVIII.  | Cuadro de referencia de índices de capacidad del proceso a corto y a largo plazo .....                                                | 50  |
| XIX.    | Cálculo de media y rango medio de tiempos semanales de horas de puenteo, zafra 2011-2012 .....                                        | 53  |
| XX.     | Planteamiento de hipótesis para valor P .....                                                                                         | 58  |
| XXI.    | Criterios para ponderación de matriz AMEF.....                                                                                        | 86  |
| XXII.   | Matriz AMEF aplicada al área de molinos .....                                                                                         | 87  |
| XXIII.  | Históricos de días de operación y horas de puenteo de últimas diez zafras .....                                                       | 107 |
| XXIV.   | Cuantificación de beneficio esperado.....                                                                                             | 110 |
| XXV.    | Mejoras propuestas para el área de molinos.....                                                                                       | 113 |
| XXVI.   | Descripción de puesto de soldador industrial, escala No. 3 .....                                                                      | 123 |
| XXVII.  | Características del puesto de soldador industrial .....                                                                               | 125 |
| XXVIII. | Requisitos para personal que ocupe el puesto de soldador industrial, escala tres .....                                                | 128 |

|          |                                                                                                                              |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XXIX.    | Cálculo de salario devengado mensual y anual para un soldador industrial y ayudante .....                                    | 130 |
| XXX.     | Cuadro resumen de cálculo de mano de obra para soldador industrial y ayudante de soldador industrial .....                   | 130 |
| XXXI.    | Costo de equipo de protección personal para soldador .....                                                                   | 131 |
| XXXII.   | Costo, vida útil y descripción de herramienta para soldador industrial .....                                                 | 132 |
| XXXIII.  | Costo, vida útil y descripción de maquinaria para soldar .....                                                               | 133 |
| XXXIV.   | Cálculo de depreciación de maquinaria y herramienta mediante el método de línea recta .....                                  | 133 |
| XXXV.    | Tasas de inflación para proyección de costos .....                                                                           | 134 |
| XXXVI.   | Escenario de costos implementando recurso propio en empresa para el mantenimiento de soldadura en mazas de los molinos ..... | 135 |
| XXXVII.  | Estimación de costos de mantenimiento de soldadura subcontratado .....                                                       | 137 |
| XXXVIII. | Anualidades de inversión de activos de año cero de costos con recurso propio para mantenimiento de soldadura .....           | 137 |
| XXXIX.   | Comparativo de dos escenarios de costos para mantenimiento de soldadura con recurso propio y subcontratado .....             | 138 |
| XL.      | Porcentajes de ahorro contratando recurso propio .....                                                                       | 138 |
| XLI.     | Plan de control, zafra 2012-2013 .....                                                                                       | 140 |
| XLII.    | Consumo de energía de la empresa en los últimos cinco años                                                                   | 154 |
| XLIII.   | Precio promedio de energía en los últimos cinco años .....                                                                   | 156 |
| XLIV.    | Consumo por área en la empresa .....                                                                                         | 157 |
| XLV.     | Indicadores de consumo de energía eléctrica en MWh/mes en la empresa .....                                                   | 158 |

|         |                                                                                                                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XLVI.   | Consumo actual de iluminación anual en planta baja de oficinas.....                                                                               | 160 |
| XLVII.  | Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual de planta baja por zafra y reparación de iluminación .....                     | 162 |
| XLVIII. | Consumo actual innecesario anual en planta baja de oficinas ..                                                                                    | 162 |
| XLIX.   | Cuadro resumen de consumo eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta baja por zafra y reparación de iluminación .....                    | 164 |
| L.      | Consumo actual de iluminación anual en planta alta en las oficinas.....                                                                           | 164 |
| LI.     | Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual planta alta por zafra y reparación de iluminación....                          | 166 |
| LII.    | Consumo actual innecesario de iluminación al año, planta alta.                                                                                    | 166 |
| LIII.   | Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta alta por zafra y reparación de iluminación .....         | 168 |
| LIV.    | Cuadro resumen de costo anual por consumo anual actual en iluminación en la planta baja y alta de oficinas.....                                   | 169 |
| LV.     | Cuadro de costo anual por consumo actual innecesario en iluminación en la planta baja y alta de oficinas.....                                     | 170 |
| LVI.    | Consumo actual de aparatos eléctricos anual en planta baja de oficinas.....                                                                       | 171 |
| LVII.   | resumen.....                                                                                                                                      | 172 |
| LVIII.  | Consumo actual innecesario de aparatos eléctricos anual en planta baja de oficinas .....                                                          | 172 |
| LIX.    | Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta baja por zafra y reparación de aparatos eléctricos ..... | 173 |

|         |                                                                                                                                                  |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LX.     | Consumo actual de aparatos eléctricos al año de planta alta ...                                                                                  | 174 |
| LXI.    | Cuadro resumen de consumo eléctrico actual en MWh anual de planta alta por zafra y reparación de aparatos eléctricos .....                       | 175 |
| LXII.   | Consumo actual innecesario de aparatos eléctricos al año de planta alta.....                                                                     | 176 |
| LXIII.  | Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta alta por zafra y reparación de aparatos eléctricos..... | 177 |
| LXIV.   | Cuadro resumen de costo anual por consumo actual de aparatos eléctricos en la planta baja y planta alta de las oficinas .....                    | 178 |
| LXV.    | Cuadro resumen de costo anual por consumo actual innecesario de aparatos eléctricos en la planta baja y alta de las oficinas.....                | 179 |
| LXVI.   | Detalle de lámparas instaladas en las oficinas de planta baja ..                                                                                 | 180 |
| LXVII.  | Detalle de lámparas instaladas en las oficinas de planta alta ...                                                                                | 181 |
| LXVIII. | Especificaciones técnicas de lámparas led propuestas .....                                                                                       | 183 |
| LXIX.   | Especificaciones técnicas de lámpara fluorescente propuesta .                                                                                    | 183 |
| LXX.    | Porcentajes de ahorro de lámparas propuestas .....                                                                                               | 184 |
| LXXI.   | Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta baja, según consumo actual .....                                                          | 184 |
| LXXII.  | Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta alta, según consumo actual .....                                                          | 185 |
| LXXIII. | Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta baja, según consumos innecesarios .....                                                   | 185 |
| LXXIV.  | Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta alta, según consumos innecesarios .....                                                   | 186 |
| LXXV.   | Plan de ahorro energético .....                                                                                                                  | 186 |

|          |                                                                                                             |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LXXVI.   | Proyección de costos no utilizando adecuadamente la energía eléctrica en las oficinas .....                 | 188 |
| LXXVII.  | Proyección de costos utilizando adecuadamente la energía eléctrica en las oficinas .....                    | 188 |
| LXXVIII. | Proyección de costos utilizando adecuadamente la energía eléctrica con tecnología LED en las oficinas ..... | 189 |
| LXXIX.   | Planificación de proyecto seis sigma.....                                                                   | 194 |
| LXXX.    | Planificación de ahorro energético y otras actividades .....                                                | 198 |
| LXXXI.   | Programación de proyecto seis sigma .....                                                                   | 199 |
| LXXXII.  | Programación de ahorro energético en oficinas y otras actividades .....                                     | 205 |
| LXXXIII. | Evaluación de proyecto seis sigma .....                                                                     | 207 |
| LXXXIV.  | Evaluación de plan de ahorro energético para oficinas y otras actividades .....                             | 212 |





## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>              | <b>Significado</b>                                          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Cant.</b>                | Cantidad.                                                   |
| <b><math>\sigma</math></b>  | Desviación estándar.                                        |
| <b>\$/MWh</b>               | Dólares por mega watt hora.                                 |
| <b>\$/Ton</b>               | Dólares por tonelada.                                       |
| <b>E.J.</b>                 | Extracción de jugo.                                         |
| <b>Cp</b>                   | Índice de capacidad potencial del proceso a corto plazo.    |
| <b>Pp</b>                   | Índice de capacidad potencial del proceso a largo plazo.    |
| <b>Ppk</b>                  | Índice de capacidad potencial del proceso a largo plazo.    |
| <b>IPR</b>                  | Índice de prioridad de riesgo, indicador de matriz de AMEF. |
| <b>KWh/T</b>                | Kilo watt hora por tonelada.                                |
| <b>KWh</b>                  | Kilo watt hora.                                             |
| <b>Kg/T</b>                 | Kilogramo por tonelada.                                     |
| <b>Kg</b>                   | Kilogramo.                                                  |
| <b>LCI</b>                  | Límite de control inferior.                                 |
| <b>LCS</b>                  | Límite de control superior.                                 |
| <b>LES</b>                  | Límite de especificación superior.                          |
| <b><math>\bar{x}</math></b> | Media o promedio de una muestra.                            |
| <b><math>\mu</math></b>     | Media o promedio de una población.                          |
| <b>MWh</b>                  | Mega watt hora.                                             |

|                            |                                                                                                             |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Z bench</b>             | Nivel de sigmas del proceso.                                                                                |
| <b><math>\theta</math></b> | Parámetro de escala, Distribución Weibull.                                                                  |
| <b><math>\beta</math></b>  | Parámetro de forma, Distribución Weibull.                                                                   |
| <b><math>\delta</math></b> | Parámetro de localización, Distribución Weibull.                                                            |
| <b>%</b>                   | Porcentaje.                                                                                                 |
| <b>Q/Kwh</b>               | Quetzales por kilo watt hora.                                                                               |
| <b>Rm</b>                  | Rango medio.                                                                                                |
| <b>TP</b>                  | Tiempo perdido.                                                                                             |
| <b>TCH</b>                 | Toneladas de caña por hora.                                                                                 |
| <b>Ton</b>                 | Toneladas.                                                                                                  |
| <b>X's</b>                 | VARIABLES DE ENTRADA QUE AFECTAN A CTQ.                                                                     |
| <b>Y's</b>                 | VARIABLES DE SALIDA CON CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD QUE TIENEN ESPECIFICACIONES REQUERIDAS POR LOS CLIENTES. |
| <b>W</b>                   | Watt.                                                                                                       |

## GLOSARIO

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AMEF</b>              | (Análisis de Modos y Efectos de Fallas). Herramienta usada para evaluar el modo de fallas potenciales y sus causas, priorizando las fallas potenciales y su riesgo. Enfoca puntos débiles conocidos por experiencia, así como fallas potenciales, sus consecuencias y riesgos, se detectan con la debida anticipación y se les da prioridad junto con las medidas recomendadas. |
| <b>Bagazo</b>            | Es el subproducto o residuo de la molienda o difusión de la caña, la fibra leñosa de la caña, en el que permanecen el jugo residual y la humedad provenientes del proceso de extracción.                                                                                                                                                                                        |
| <b>Blindaje de mazas</b> | También conocido como cordoneado, es una técnica que consiste en la aplicación de un recargue continuo de soldadura a las crestas de los dientes de las mazas.                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>BPM</b>               | Buenas Prácticas de Manufactura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BSC</b>                   | (Balanced Scored Card), el cuadro de mando integral es una metodología que ayuda monitorear la implementación de la estrategia a través de indicadores de desempeño y metas concretas, así como a lograr que las distintas áreas estén alineadas al plan estratégico. |
| <b>Cabezote hidráulico</b>   | Es un sistema hidráulico, encargado de mantener la presión sobre las chumaceras de la maza superior.                                                                                                                                                                  |
| <b>Calidad</b>               | Conjunto completo de las características de un producto o servicio, a través del cual se cumplirán las expectativas del cliente.                                                                                                                                      |
| <b>Camisa</b>                | Es un cilindro de hierro fundido, se usa en los ingenios para formar el rayado en la maza.                                                                                                                                                                            |
| <b>Capacidad de molienda</b> | La capacidad de un tándem de molienda se expresa en toneladas de caña por hora (TCH), o toneladas de caña por día (TCD); TCH es la expresión de la capacidad real, y TCD da la capacidad global, incluyendo el tiempo perdido.                                        |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Capacidad de proceso</b> | Es la aptitud del proceso para producir productos dentro de los límites de especificaciones de calidad. Es un índice basado en la reproducibilidad del producto hecho por el proceso determinado por métodos estadísticos y comparados con los límites de especificación con el fin de saber si el proceso puede consistentemente entregar un producto dentro de estos parámetros. |
| <b>Catarina</b>             | En una transmisión por engranes, es el engranaje de mayor diámetro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Chumaceras</b>           | Las chumaceras o cojinetes son los soportes sobre los cuales se apoyan y giran los muñones de las mazas.                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Chevrones</b>            | Cortes en espiral que se hacen en los dientes de las mazas para facilitar la alimentación de caña.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Coronas</b>              | Engranes para molinos sin dientes normalizados.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Costo de calidad</b>     | Son los costos totales asociados al sistema de gestión de calidad y pueden utilizarse como medida de desempeño del sistema de calidad. Estos costos se dividen en costos originados en la empresa para asegurar que los productos tengan calidad y costos por no tener calidad que resultan de las deficiencias en productos y procesos.                                           |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cuarta maza</b>             | Rodillo alimentador de un molino cañero situado al lado de la maza superior en la entrada de la caña.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Cuchilla central</b>        | Es una pieza de hierro fundido que va alojada entre la maza cañera y bagacera y así realizar limpieza del rayado de dichas mazas.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Cuchilla de cuarta maza</b> | Para limpiar los fondos de los dientes de la cuarta maza se utiliza la cuchilla de cuarta maza que es similar en su función a la de los peines y además no permite que el bagazo se salga entre la cuarta maza y la maza cañera.                                                                                                                                                                                               |
| <b>Defecto</b>                 | Fallo en entregar lo que el cliente desea.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Desviación estándar</b>     | Designada comúnmente con la letra griega $\sigma$ . Es una medida de centralización o dispersión de gran utilidad en la estadística descriptiva. Se define como la raíz cuadrada de la varianza.                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Distribución normal</b>     | Es la distribución estadística más estudiada y tiene las siguientes características: la curva tiene un solo pico, por consiguiente es unimodal y presenta una forma de campana; la media se encuentra en el centro de su curva; la mediana y la moda de la Distribución también se hallan en el centro presentando el mismo valor; las dos colas (extremos) se extienden de manera indefinida y nunca tocan el eje horizontal. |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Distribución Weibull</b> | La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo.                                                                                                               |
| <b>DMAIC</b>                | Acrónimo (por sus siglas en inglés define, measure, analyze, improve, control) de los pasos del ciclo definir, medir, analizar, mejorar y controlar, propio de metodología Seis Sigma que busca la mejora de los procesos mediante estas etapas. |
| <b>DPMO</b>                 | (Defectos Por Millón de Oportunidades), índice que mide los defectos esperados en un millón de oportunidades de error.                                                                                                                           |
| <b>Entredos</b>             | Barra de sección cuadrada que transmite la potencia de las transmisiones al molino.                                                                                                                                                              |
| <b>EPP</b>                  | Equipo de Protección Personal.                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Flange</b>               | Anillos de recuperación de extremos de mazas. Término también utilizado para la unión de una pieza a otra.                                                                                                                                       |
| <b>Garrapiñado</b>          | Técnica que consiste en la aplicación de soldadura en los flancos de las mazas con un movimiento circular rápido, que genera islas de metal depositado. Ésta aplicación se realiza con la maza detenida, en posición vertical descendente.       |



|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Heteroscedasticidad</b>   | En estadística se dice que un modelo de regresión lineal presenta heteroscedasticidad o heterocedasticidad cuando la varianza de las perturbaciones no es constante a lo largo de las observaciones.                                                                                                            |
| <b>Hipótesis alternativa</b> | Conocida como $H_a$ , es cualquier hipótesis que difiera de la hipótesis nula.                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Hipótesis nula</b>        | Es la que se desea contrastar. El nombre de nula indica que representa la hipótesis que se mantiene en el análisis a no ser que los datos indiquen su falsedad, y puede entenderse, por tanto, en el sentido de neutra. La hipótesis nula nunca se considera probada, aunque puede ser rechazada por los datos. |
| <b>Histograma</b>            | Es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables.                                       |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Homocedasticidad</b>     | Se presenta en un modelo cuando los errores presentan en todas las observaciones de la variable endógena (aquellas que son explicadas dentro del modelo en el cual aparecen) la misma varianza. Se dice que existe homocedasticidad cuando la varianza de los errores estocásticos o aleatorios de la regresión es la misma para cada observación $i$ (de 1 a $n$ observaciones). |
| <b>Humedad en el bagazo</b> | Cantidad de agua remanente en el bagazo después de pasar por los molinos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>ISO</b>                  | Siglas en inglés de la Organización Internacional de Normas, International Standards Organization.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Jugo primario</b>        | Todo el jugo extraído sin diluir, en la mayoría de los molinos, este es el jugo que se extrae del primer molino.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>KPI'S</b>                | Acrónimo (por sus siglas en inglés Keys of Process Indicators) de ICD (Indicadores Clave de Desempeño).                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>LED</b>                  | Es un diodo emisor de luz, un semiconductor que emite luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, cuando se polariza en directa y es atravesado por la corriente eléctrica.                                                                                                                                                                                   |

**Límites de especificación**

Son fijados voluntariamente por el cliente, por el fabricante o por alguna norma. Estos límites constituyen un requisito a cumplir por el producto y no deben confundirse en ningún caso con los límites de control o con los límites de tolerancia natural del proceso.

**Lluvia de ideas**

Es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado.

**Maceración**

Es una forma de imbibición en la que el bagazo se sumerge en una mezcla de jugo y agua, regularmente en el penúltimo molino del tándem, para mejorar la extracción.

**Magnetoscopia**

Flujo magnético disperso debido a discontinuidades superficiales o subsuperficiales, como hendiduras, cavidades e inclusiones.

**Mantenimiento correctivo operación**

Es el conjunto de actividades de reparación y de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo.

**Mantenimiento preventivo operación**

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema.

**Mapa de proceso**

Es una representación gráfica de un proceso en la que se ilustran en forma detallada todos los pasos del proceso, tanto los que agregan valor como los que no; también se identifican las variables claves del proceso, tanto de entrada como de salida. El propósito de un mapeo de proceso es identificar los sistemas de medición que requieren ser analizados, establecer las variables críticas para la calidad que es necesario estudiar, identificar oportunidades para simplificar el proceso, ya sea eliminando pasos o identificando cuellos de botella.

**Maza bagacera**

Rodillo de un molino cañero del lado que sale el bagazo del molino.

**Maza cañera**

Rodillo de un molino cañero del lado que entra la caña del molino.

**Maza Chevron**

Mazas con ranuras longitudinales en forma de V, generalmente las mazas que poseen este tipo de rayado son las superiores, su finalidad es mejorar la tracción de la maza.

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Maza superior</b>    | Rodillo de un molino cañero colocado en el vértice superior del triángulo formado por las mazas.                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Messchaert</b>       | Ranuras que se hacen en los fondos de los dientes que ayudan a drenar el jugo.                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Método de las 6M</b> | Consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6M): métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.                                                                                                                                                     |
| <b>MINITAB</b>          | Software diseñado para ejecutar funciones estadísticas que combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. Ofrece herramientas precisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales y muy especialmente para control de calidad y Seis Sigma. |
| <b>Molino cañero</b>    | Rodillo de un molino cañero del lado que entra la caña del molino.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Muñones</b>          | Sección circular de las mazas que asienta sobre las chumaceras.                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Norma ISO 14 000**

Es una norma internacionalmente aceptada que expresa cómo establecer un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo. La norma está diseñada para conseguir un equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción de los impactos en el ambiente y, con el apoyo de las organizaciones, es posible alcanzar ambos objetivos.

**Peines**

Piezas de acero o hierro fundido de diseño especial que sirven para limpiar el fondo de los dientes de las mazas.

**PEPSU**

Su acrónimo en inglés S.I.P.O.C (suppliers, Inputs, process, outputs, customers). Diagrama que se utiliza para detallar cada actividad en un proceso y es una herramienta útil para definir el inicio y el fin del proceso al facilitar la identificación de sus proveedores, entradas, subprocesos, salidas y usuarios.

**Perleado**

Consiste en la aplicación de soldadura en la cresta de la maza. Para ello se recorre con un cordón continuo todo el diámetro mayor de la maza. Luego se aplican puntos de soldadura formando un volumen semiesférico distanciado aproximadamente entre 1" a 2".

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pinón</b>         | Transmisión por engranes, es el engranaje de menor diámetro.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Pol en bagazo</b> | Sacarosa aparente en el bagazo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Sacarosa</b>      | Es un disacárido como la maltosa y la lactosa. Cuando son atacados por ácidos o enzimas, los disacáridos se hidrolizan en sus monosacáridos correspondientes. Es azúcar de uso doméstico e industrial y es el azúcar más común en el reino vegetal.                                                                                   |
| <b>Seis sigma</b>    | Estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; esto lleva a encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, tomando como punto de referencia en todo momento a los clientes y sus necesidades. |
| <b>Setting</b>       | Espacio que existe en cada una de las mazas los cuales permiten el paso de la caña y la compresión de la misma.                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Sholcos</b>       | Pérdida de dientes de las mazas de molinos.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>SSO</b>           | Salud y Seguridad Ocupacional.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                     |                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tándem de molinos</b>            | Conjunto de molinos instalados para operar en serie moliendo caña.                                                                                                       |
| <b>Target</b>                       | Meta de desempeño del proceso para lograr tener cero defectos                                                                                                            |
| <b>Tasa de descuento</b>            | Es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro.                                                                                |
| <b>Tasa de inflación</b>            | Refleja el aumento porcentual de los precios en un cierto periodo temporal.                                                                                              |
| <b>Tasa pasiva</b>                  | Es la tasa de interés que el depositante cobra, o sea, lo que el Banco o institución financiera paga a los que realizan los depósitos.                                   |
| <b>Tiempo de puenteo en molinos</b> | Tiempo en el que permanecen los molinos sin funcionar por alguna falla en los mismos, y debido a ello se dispone puentearlo(s) para seguir con la operación de molienda. |
| <b>VCC</b>                          | Variable Crítica de Calidad para un proceso.                                                                                                                             |



**Valor de P**

Conocido como la P, P-Valor o *P-value* por su traducción al inglés, determina la conveniencia de rechazar la hipótesis nula de una prueba de hipótesis ya que cuanto menor sea el valor de P, menor será la probabilidad de que rechazar la hipótesis nula es un error. Se rechaza la hipótesis nula si el valor P asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido ( $\alpha$ ).

**Virgenes**

Armaduras laterales que soportan todos los componentes de un molino cañero.

**VOC**

Su acrónimo en inglés (Voice Of Customer) de voz del cliente. Técnica investigativa utilizada para tener el detalle de lo que un cliente quiere y necesita.

**Zafra**

Temporada de molienda, en Guatemala inicia de noviembre y termina en mayo del siguiente año, que es cuando se inicia la época de lluvia.

## RESUMEN

Este proyecto trata sobre mejorar el proceso de extracción de jugo de caña, mediante la variable crítica de calidad tiempo de punteo en el tándem de molinos. Se aplicó la metodología seis sigma que posee cinco fases o etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), de las cinco fases la quinta se queda en propuesta. Se definieron los requerimientos de los clientes, estrategias de negocio donde encajan los requerimientos de los clientes, descripción del defecto a reducir y los beneficios esperados y el alcance del proyecto, posteriormente se analizaron las causas de la variable crítica de calidad por medio de las herramientas Diagrama de Ishikawa y Diagramas de Pareto, para generar los resultados fue imprescindible recolectar de manera ordenada la información.

Con base a las causas principales se evaluaron mediante la herramienta AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla), la cual fue útil para atacar puntos de mejora según el índice de prioridad de riesgo por medio de planes de acción y una vez implementados los mismos establecer herramientas que ayuden al control del tiempo de punteo en los molinos. También se hicieron otras propuestas para el mejoramiento del control en la calidad del proceso.

La meta a corto plazo esperada en cuanto a la reducción de tiempo de punteo es del 25%, es decir de 1 222 horas a 917, que tendrá un gran impacto en ahorros, ingresos, disminución en pérdidas de azúcar, así como también se verán mejorados el índice de capacidad del proceso y el nivel de sigmas del proceso, ayudando a reducir la variabilidad en el proceso.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Aplicar la metodología seis sigma en el proceso de extracción de jugo de caña, para la reducción del tiempo de puenteo en el tándem de molinos, y proponer un plan de ahorro energético para iluminación y aparatos eléctricos para oficinas del Ingenio Concepción, Escuintla.

### **Específicos**

1. Identificar y escuchar la voz de los clientes del proceso de extracción de jugo de caña para conocer sus necesidades y expectativas respecto al problema definido.
2. Determinar la variable crítica de calidad por medio de una matriz de variables, a partir de la aplicación del Diagrama de Ishikawa como herramienta de identificación de causas.
3. Aplicar Diagrama de Ishikawa de segundo nivel y Diagramas de Pareto para encontrar las X's vitales de la variable crítica de calidad.
4. Elaborar un análisis económico para cuantificar el ahorro esperado al momento de reducir el tiempo perdido por puentear molinos y elaborar un estudio financiero para mantenimiento de soldadura de mazas de los molinos, comparando dos escenarios de costos con pago a terceros y con pago a recurso propio.

5. Elaborar formato y registro para el seguimiento del mantenimiento de las cuatro mazas por molino para llevar el control de costos de materiales, mano de obra y frecuencia de mantenimiento.
6. Cuantificar el consumo innecesario de energía para aparatos eléctricos e iluminación en las oficinas de la empresa anualmente y calcular los costos de inversión implementando tecnología LED en las oficinas de la empresa y el ahorro esperado a largo plazo.
7. Planificar y programar reuniones para darle seguimiento al proyecto seis sigma y al estudio de ahorro energético con base a las necesidades diagnosticadas.

## INTRODUCCIÓN

En todos los procesos ya sean productivos o de servicio siempre existirá variabilidad, dado que las circunstancias en que se desarrollan los eventos o actividades de los mismos tienen constantes cambios respecto al tiempo, es decir los resultados de un proceso van a depender de las variaciones del medio ambiente, mano de obra, materiales, mediciones, mantenimiento y maquinaria.

Actualmente en las industrias azucareras pertenecientes a Corporación Pantaleón se realizan proyectos seis sigma para lograr estabilidad en los procesos y de esta manera reducir la variabilidad en los mismos y llegar a un nivel de calidad seis sigma, logrando tener grandes oportunidades de ahorro y credibilidad para los clientes.

Llegar a un nivel de seis sigma significa tender a cero partes por millón de oportunidades de defecto, error o retraso, por eso seis sigma es una estrategia para mejorar el desempeño de un proceso en una organización que toma como referencia los clientes y sus necesidades, para la aplicación de seis sigma se apoya de la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

A continuación se hace mención de los capítulos contenidos en éste trabajo:

El primer capítulo trata de la descripción general del ingenio azucarero en donde se realizó el presente trabajo de investigación.

El segundo capítulo basa en la aplicación de la metodología seis sigma en el proceso productivo de extracción de jugo de caña, en donde se buscó atacar las causas que más han provocado variabilidad en los tiempos de puenteo y además estar los mismos fuera de especificaciones durante las últimas cuatro zafras.

Su importancia deriva de que si un molino o varios de estos deja de operar y se puentea (n) tiene grandes impactos en las variables de salida del proceso, que a la vez también se ven incrementados los costos por mala calidad y los costos por mantenimiento.

Para el diagnóstico y las propuestas de solución al problema central (tiempo en puenteo en molinos) se utilizaron las herramientas: Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, mapa de proceso, Diagrama PEPSU y matriz de análisis de modos y efectos de falla.

El tercer capítulo explica la propuesta de un plan de ahorro energético para un edificio perteneciente al área administrativa y de producción de la fábrica de la empresa, en donde se detallan las áreas a mejorar en cuanto al consumo de energía por iluminación y los aparatos eléctricos.

El cuarto capítulo es acerca de la planificación, programación y evaluación de capacitación hacia el personal involucrado en el proyecto seis sigma y en la propuesta del plan de ahorro energético.

# **1. GENERALIDADES DEL INGENIO CONCEPCIÓN, S.A.**

La historia del ingenio Concepción forma parte de la historia de Pantaleón, una de las empresas más grandes del país, por lo que se explica en resumen a continuación.

## **1.1. Historia de la empresa**

"El 20 de agosto de 1849, don Manuel María Herrera, adquirió la finca Pantaleón. A base de grandes esfuerzos y una gran visión, Pantaleón se diversificó, transformándose de una hacienda ganadera, a una finca de caña y productora de panela y finalmente convirtiéndose en un ingenio azucarero. En 1883 muere don Manuel María Herrera y sus herederos fundan Herrera y Compañía, y en el año 1973 cambian el nombre de la empresa a Pantaleón, Sociedad Anónima.

El ingenio Pantaleón alcanzó el liderazgo de la industria azucarera de Guatemala en 1976, convirtiéndose en el ingenio de mayor volumen de producción del área centroamericana. En 1984 asumió la administración y el control de las operaciones del Ingenio Concepción, ocupando un importante lugar en cuanto al volumen de producción en el país. En el mes de junio de 1998, continuando con la estrategia de crecimiento y diversificación geográfica, la organización adquirió el Ingenio Monte Rosa, localizado en la zona occidental de la República de Nicaragua. A finales del año 2000 se integran los tres ingenios y deciden participar como subsidiarias de la organización conocida como "Pantaleón".

En el año 2006 se asume otro gran reto en la estrategia de crecimiento al incursionar en Brasil, en una alianza estratégica con el grupo brasileño



UNIALCO y el grupo MANUELITA de Colombia, para la construcción y operación del ingenio sucro-alcoholero Vale do Paraná, localizado en Suzanápolis Oeste del estado de São Paulo, Brasil.

En el mes de agosto de 2008, Pantaleón obtiene la administración del Ingenio La Grecia, ubicado en Choluteca, Honduras. Esta nueva alianza contribuirá a afianzar el liderazgo en la industria azucarera en América Latina, cumplir con la visión a largo plazo de la organización y permitir combinar fortalezas y cooperar con el desarrollo sustentable de la industria en Honduras.

En los últimos 36 años, Pantaleón ha mantenido un desarrollo acelerado, construyendo modernas plantas y realizando inversiones productivas en el agro y la industria, con tecnología de punta y procesos innovadores que le han permitido ser reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo en el mundo"<sup>1</sup>.

Concepción S.A. se inició desde el siglo antepasado y ha evolucionado de ser solamente una finca de caña a convertirse en uno de los ingenios más importantes de Guatemala. Antes de 1961 se llamaba Compañía de Plantación Concepción de Guatemala; después de ese año se le conoce como concepción, S.A. Actualmente forma parte de la Corporación Pantaleón.

En los últimos años, la Empresa se ha colocado entre los ingenios de mayor importancia, aportando más de dos millones y medio de quintales de azúcar a la producción nacional. Es además pionero en proyectos de cogeneración eléctrica, mediante el aprovechamiento de bagazo de la caña de azúcar. Está entre los cuatro únicos ingenios del país que producen el azúcar refino, el cual se caracteriza por su calidad, pureza y su color blanco cristalino.

---

<sup>1</sup> <http://www.pantaleon.com/historia>. Consulta: 15 de abril de 2012.

## **1.2. Descripción de la empresa**

A continuación se detalla la misión, visión, valores, política de gestión integral y el organigrama de Pantaleón, C.S.A.

### **1.2.1. Misión**

La empresa Concepción, S.A., es una organización agroindustrial dedicada a producir y comercializar caña de azúcar, sus derivados y energía eléctrica a un costo competitivo a nivel mundial, satisfaciendo los requerimientos de calidad de sus clientes a través de procesos eficientes y la práctica de sus valores, con equipo humano dispuesto al cambio, con compromiso y responsabilidad hacia la mejora, para propiciar la permanencia de la empresa en el largo plazo.

### **1.2.2. Visión**

En el 2030 Concepción, S.A., será una de las diez organizaciones más importantes del mundo de la industria azucarera y productos relacionados.

### **1.2.3. Valores**

A Concepción, S.A., lo une fuertes valores morales encaminados a un mutuo desarrollo y crecimiento como comunidad, como familia y como seres humanos. Estos son:

- Integridad y honestidad
- Mejora y cambio permanente con visión a largo plazo
- Respeto por las personas relacionadas y compromiso por su éxito

#### **1.2.4. Política de gestión integral**

Con un enfoque en procesos, servicios y mejora continua, transforman los recursos en azúcar, sus derivados y energía de forma responsable y sostenible.

Se cumplen los requisitos legales y regulaciones aplicables con sus colaboradores, proveedores y públicos interesados, con ética, eficacia y eficiencia logrando rentabilidad y excelencia.

Siempre fomentarán salud y seguridad en el trabajo, conservando el medio ambiente.

Comunican de forma efectiva sus compromisos a todas las personas involucradas en la elaboración y comercialización de sus productos".

#### **1.2.5. Ubicación de la empresa**

Finca Concepción, kilómetro 56, carretera al Pacífico autopista, Escuintla, Guatemala.

#### **1.2.6. Organigrama**

El personal se distribuye de la siguiente manera en el área de fábrica:

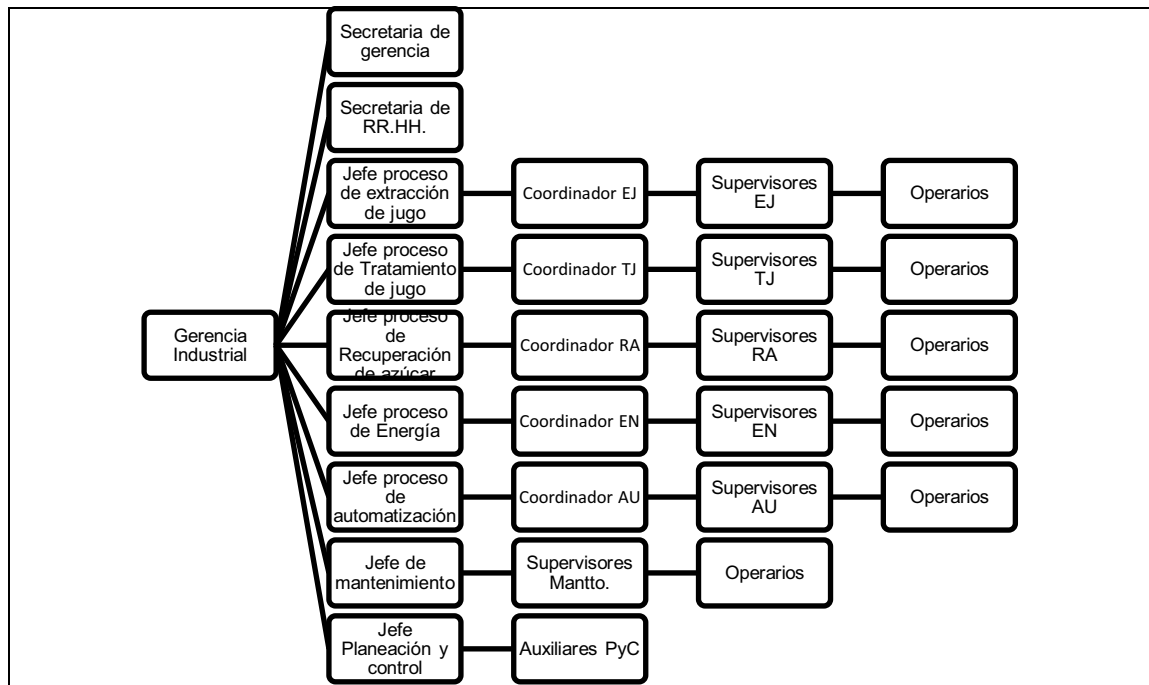
- Administrativo
  - Secretaria de gerencia
  - Secretaria de recursos humanos
  - Planillero

- Dibujante
- Piloto
- Operativo

Gerente de planta, jefes de proceso/mantenimiento, coordinadores de proceso, supervisores de proceso/mantenimiento, trabajadores de fábrica.

El siguiente organigrama es de tipo horizontal general.

Figura 1. Organigrama CSA



Fuente: elaboración propia.



## **2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA (DMAMC), DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR Y CONTROLAR, EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA EN EL INGENIO CONCEPCIÓN, S.A.**

La metodología comprende cinco fases, en donde en cada una se aplican herramientas estadísticas como no estadísticas, el fin es fundamentar de manera concreta el problema que se escoge como proyecto.

### **2.1. Definir**

Es la primera fase de la metodología, en donde se define el proyecto, los miembros del equipo, ahorros estimados y la variable crítica de calidad.

#### **2.1.1. Voz del cliente**

Escuchar la voz del cliente consiste en interactuar con los clientes objetivos, éstos pueden ser directos, indirectos, internos o externos, identificados los clientes y el segmento de interés se procede a escuchar, observar, definir principalmente sus necesidades, expectativas, problemas y preocupaciones, por medio de métodos que faciliten la comunicación con los clientes y de ésta manera capturar las necesidades y deseos de los mismos, algunos métodos que se pueden emplear son las ocho formas de obtener la voz del cliente.

Existen ocho formas comunes de recolectar datos de la voz del cliente: encuesta telefónica, encuesta por correo, *focus group* presencial, *focus group* virtual, entrevista uno a uno, intercepciones, pruebas de usuario y quejas de clientes.

Entre los factores más importantes para la selección del mejor método se consideraron el tiempo que se toma para recolectar los datos, el tipo de datos que serán recolectados (sean datos cualitativos o cuantitativos) y el costo del método de recolección. A continuación se describen algunas de las ventajas y desventajas de las ocho formas de recolectar los datos de la voz del cliente que se consideraron para éste trabajo:

Tabla I. **Formas de recolectar los datos de la voz del cliente**

| Forma de escuchar la voz del cliente | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Encuesta telefónica               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información invaluable</li> <li>• Se registran datos cuantitativos que pueden generalizarse para representar una población entera</li> </ul>                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos altos</li> <li>• Cantidad y disponibilidad de personas dentro del grupo de interés a encuestar</li> <li>• Mucho tiempo invertido en la preparación del cuestionario y en la recolección de datos</li> <li>• Inflexible, dado que las preguntas deben hacerse de la misma manera a los encuestados</li> <li>• No es posible registrar gestos como ayuda a la clarificación o ampliación de las respuestas</li> </ul> |
| 2. Encuesta por correo               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera datos cuantitativos que pueden generalizarse para una población</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas de respuesta bajas</li> <li>• Mucho tiempo tomado para terminar el estudio</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3. <i>Focus group</i> presencial     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se invierte mucho tiempo en la recolección de los datos</li> <li>• El moderador puede indagar en detalles detrás de la insatisfacción y discutir de posibles soluciones a los problemas</li> <li>• Las discusiones pueden ser bastante profundas y gestos visuales pueden ser considerados</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los datos recolectados no pueden generalizarse a una población mayor al tamaño del grupo participante</li> <li>• Ubicación y disponibilidad de participantes</li> <li>• La cantidad requerida de viajes afectan al costo</li> <li>• El reclutamiento de participantes y la elaboración requiere de mucho tiempo de preparación</li> </ul>                                                                                  |

Continuación de la tabla I.

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>4. <i>Focus group</i> virtual</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un moderador lidera al grupo y realiza preguntas a todos los participantes al mismo tiempo</li> <li>• Los participantes más jóvenes tienden a sentirse más cómodos al interactuar en línea y tienden a dar mucha más información con éste método</li> <li>• El ahorro comparando con el <i>focus group</i> presencial se da en la eliminación de los gastos por viajes, todos pueden presentarse virtualmente desde distintas localidades</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se acomoda a personas jóvenes en su mayoría</li> <li>• La retroalimentación puede ser ahogada por la tecnología regularmente por personas con más de cincuenta años de edad</li> </ul>                                                                                                             |
| <p>5. Entrevista uno a uno</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El entrevistador se reúne con una persona a la vez</li> <li>• Permiten tener un nivel alto de detalle</li> <li>• Existe únicamente un diálogo entre el entrevistador y el entrevistado</li> <li>• Útiles para las personas con disponibilidad limitada</li> <li>• Pueden ser acordadas con facilidad dentro de las agendas altamente ocupadas</li> <li>• El costo usualmente es bajo</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información cualitativa que no puede ser generalizada a una población mayor</li> <li>• Individuos con alto perfil ocasionalmente desean algún tipo de incentivo financiero, como compensaciones por su tiempo o donaciones en su nombre</li> </ul>                                                 |
| <p>6. Intercepciones</p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La población es claramente definida y se puede generalizar partiendo de la muestra</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El entrevistador entrevista en lugares públicos</li> <li>• Se requiere de gente entrenada para buscar variedades de respuestas y no solo de respuestas de personas que se vean amigables</li> </ul>                                                                                                |
| <p>7. Pruebas de usuario</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser un método invaluable, para entender cómo se puede hacer un producto más sencillo de utilizar</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere que utilicen el producto, generalmente mientras son observadas</li> <li>• Es comparable con el costo de un <i>focus group</i></li> </ul>                                                                                                                                               |
| <p>8. Quejas</p>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrece mejor percepción en áreas problemáticas , por lo que provee información de forma cualitativa</li> <li>• El costo es bajo y únicamente requiere ir tabulando los datos al paso en el que van entrando las quejas</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los datos no pueden ser generalizados porque generalmente estas personas no representan una lectura precisa de la experiencia de todos los clientes</li> <li>• Requiere de mucho tiempo en la recolección de los datos para proveer un panorama más claro de los problemas menos obvios</li> </ul> |

Fuente: HUNTER, Pamela, *Ocho formas de obtener la voz del cliente*. Informe inédito. Six sigma basics, febrero 2011.



El método seleccionado elegido para escuchar la voz de los clientes en la empresa fue *focus group* presencial dado que la información que se necesitaba recolectar respecto al proceso de extracción de jugo de caña en cuanto a sus necesidades y la problemática en el mismo solo lo podía brindar gente competente y conocedora del proceso en la empresa a realizar el estudio, tener la facilidad de ingreso a la fábrica en operación para ejemplificar en vivo algunos síntomas del problema en el proceso y finalmente una mejor interacción con los clientes entre sí, teniendo una mejor manera de comunicarse, dando cada uno sus opiniones.

Los clientes seleccionados fueron cuatro internos, debido a que es un proceso operativo de producción en la fábrica, no fue conveniente seleccionar otro tipo de clientes, externos por el hecho que no son conocedores del proceso y son personas ajenos a la empresa, y dado caso de ser consumidores solamente podrían opinar respecto al producto final, es decir azúcar envasada.

A continuación se presenta el desarrollo de la voz del cliente:

- Información sobre clientes y segmentos

Los clientes pueden ser internos, externos, directos e indirectos, para éste caso los clientes son internos y directos por ser un proceso interno productivo y por tener un beneficio directo a los accionistas de la empresa.

Tabla II. **Información sobre clientes y segmentos**

| Interno/externo<br>directo/indirecto | Nombre del cliente | Segmento del cliente          | Prioridad |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------|
| Interno                              | Junta directiva    | Corporación                   | Media     |
| Interno                              | Gerente producción | Producción                    | Alta      |
| Interno                              | Gerente industrial | Fábrica                       | Alta      |
| Interno                              | Jefe proceso       | Proceso de extracción de jugo | Alta      |

Fuente: elaboración propia.

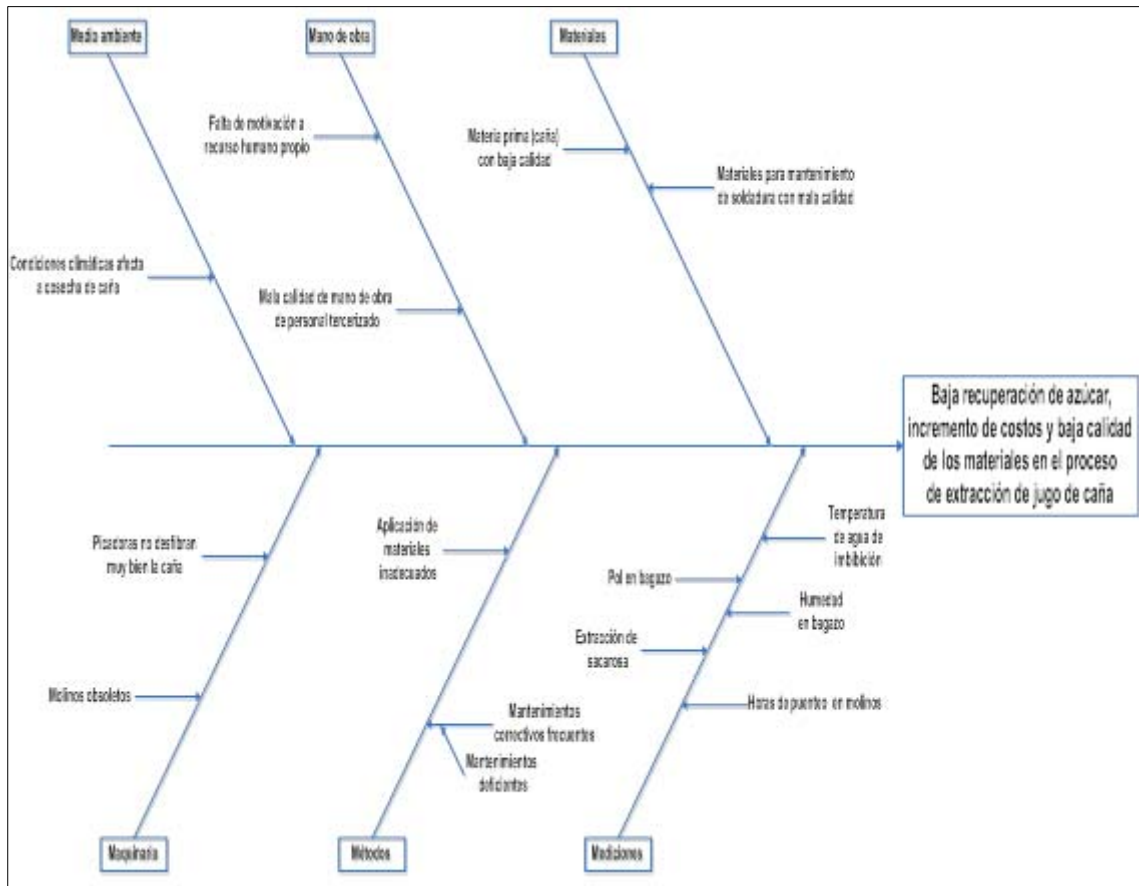
- Diagnóstico del problema

En la empresa, en zafras anteriores se han detectado incrementos en costos por motivo de mantenimiento en el Área de Molinos, así como también la baja recuperación de azúcar como consecuencia de la baja capacidad de extracción de jugo en los seis molinos del proceso de extracción de jugo de caña, también en cuanto a los índices altos del pol en bagazo, dejando un alto índice de humedad en el bagazo provocando una menor eficiencia en las calderas para la generación de energía, dado estos problemas se procedió hacer un análisis de causas por medio de un Diagrama de Ishikawa utilizando el método de las 6M.

Se utilizó el método de las 6M porque la metodología seis sigma lo requiere, dado que en todos los eventos cualquiera que sea siempre va a existir variabilidad, por ello se necesita éstos seis elementos, porque definen globalmente la aportación de variabilidad, por lo que es de esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6M.

Para la elaboración del Diagrama de Ishikawa primero se hizo una tormenta de ideas, para lo que se hicieron reuniones con el fin de encontrar las causas potenciales que en conjunto provocan problemas en el proceso de extracción de jugo de caña. El Diagrama de Ishikawa de primer nivel se muestra a continuación (ver figura 2):

Figura 2. Diagrama de Ishikawa de primer nivel



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 2, se describe lo siguiente:

- Problema: mala operación del proceso de extracción de jugo de caña.
  - Efecto: baja recuperación de azúcar, incremento de costos y baja calidad de los materiales en el proceso de extracción de jugo de caña.
  - Posibles causa raíz: calidad de materiales, calidad de mano de obra, horas de puento en molinos, pol en bagazo, temperatura de agua de imbibición e índice de preparación de caña.
- Identificación y selección de variable crítica de calidad (VCC) mediante matriz de Y's

Del Diagrama de Ishikawa de primer nivel se escogieron causas que obtuvieron mayor importancia según el personal competente del proceso, con el fin de elaborar una matriz de variables o Y's y así darle ponderación a cada una de ellas bajo los mismos criterios, escogiendo una la cual obtuviera la mayor ponderación, quedando tal variable como la causa raíz y a la misma vez siendo la VCC (Variable Crítica de Calidad) más importante y en su acrónimo en inglés CTQ (Critical To Quality), éste análisis se presenta a continuación:

Tabla III. **Matriz de Y's**

| Matriz de Y's                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 |                       |                            |                                      |            |       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------|-------|
| 1. Información del proyecto            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 |                       |                            |                                      |            |       |
| Proceso a enfocar el proyecto:         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 |                       | Extracción de jugo de caña |                                      |            |       |
| 2. Detalle de las Y's:                 |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 |                       |                            |                                      |            |       |
| Matriz de Calificación de posibles Y's |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 |                       |                            |                                      |            |       |
| Y:                                     | Descripción operacional detallada:                                                                                                                                                                                                                                            | Fortaleza en relación con los CTQ's del cliente | Facilidad de medición | Prioridad para el negocio  | Facilidad en la recolección de datos | Procesable | Total |
| Calidad de materiales                  | Acelerado deterioro por malas aplicaciones de soldaduras, calidad de las fundiciones, supervisión en las aplicaciones de soldaduras                                                                                                                                           | 5                                               | 1                     | 9                          | 1                                    | 9          | 25    |
| Calidad mano de obra                   | No tener mano de obra propia debido a la tercerización de los trabajos en los distintos mantenimientos.                                                                                                                                                                       | 1                                               | 5                     | 5                          | 1                                    | 5          | 17    |
| Calidad en mantenimiento               | El cambio constante de componentes de molinos ha elevado los costos y ha influido en la baja recuperación de azúcar                                                                                                                                                           | 5                                               | 5                     | 5                          | 5                                    | 9          | 29    |
| Tiempo de puenteo en molinos           | Debido al deterioro de materiales y partes del molino normalmente permanece un molino fuera de operación, el 55% de los días de zafra, aumentando las pérdidas en el bagazo. Además los molinos 3 y 4 han sido eficientes en un 60%. Se incrementa el costo \$/ton de azúcar. | 9                                               | 5                     | 5                          | 9                                    | 5          | 33    |

Continuación de la tabla II.

|                                                                      |                                                                                                    |   |   |                             |   |   |    |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----------------------------|---|---|----|
| Pol en bagazo                                                        | Cantidad de sólidos de azúcares contenidos en el bagazo.                                           | 1 | 9 | 5                           | 9 | 8 | 32 |
| Temperatura de Agua de imbibición                                    | Agua caliente de los evaporadores para aumentar la extracción.                                     | 5 | 5 | 5                           | 1 | 1 | 17 |
| Índice de preparación de caña                                        | Mide la calidad de las picadoras, entre más pequeños sean los trozos más fácil será la extracción. | 1 | 5 | 5                           | 5 | 5 | 21 |
| 3. Selección de la Y del Proyecto:                                   |                                                                                                    |   |   |                             |   |   |    |
| Con base a la Matriz de Calificación anterior, la Y del Proyecto es: |                                                                                                    |   |   | Tiempo de puento en molinos |   |   |    |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

La VCC o CTQ escogida fue el tiempo de puento en molinos, los criterios de ponderación fueron determinados en una escala de 1-10, así también la calificación obtenida se basó en diferentes escalas abarcando valores de 1-100, a continuación se presentan las descripciones de dichas escalas:

**Tabla IV. Ponderación de criterios, matriz de Y's**

| Ponderación de criterios | Descripción                                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1 a 4                    | Existen limitantes en obtener información.                       |
| 5 a 7                    | Información incompleta o información con poco seguimiento.       |
| 8 a 10                   | Pocos limitantes o no existen limitantes en obtener información. |

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Escala de resultados, matriz de Y's**

| Calificación obtenida | Color de referencia | Descripción                                                                                                                                                   |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 a 17                | Rojo                | No puede llevarse a cabo el proyecto dado que carece de fuentes de información.                                                                               |
| 18 a 32               | Amarillo            | Es un posible proyecto que no tiene suficiente información, y con los datos existentes no es posible hacer un análisis estadístico con resultados confiables. |
| >= 33                 | Verde               | Si es un posible proyecto que estadísticamente se puede analizar y obtener resultados confiables.                                                             |

Fuente: elaboración propia.

- **Requerimientos de los clientes**

A continuación se resume la voz del de los clientes identificados haciendo referencia de la variable crítica de calidad seleccionada.

Tabla VI. **Requerimientos de los clientes**

| Cliente             | VOC                                                                          | Situación que genera VOC                                                                                                                                               | Variable crítica de calidad y Límites de Especificación) |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                     |                                                                              | ¿Por qué del VOC?                                                                                                                                                      |                                                          |
| Junta directiva.    | Existen oportunidades de ahorro en el proceso de extracción de jugo de caña  | Impacto en puentes de molinos por reparaciones en mazas dañadas por material que no rinde lo esperado.                                                                 | Tiempo de puenteo de molinos LSE <= 12 horas por semana. |
| Gerente producción. | Existen oportunidades de ahorro en el proceso de extracción de jugo de caña. | Impacto en puentes de molinos por reparaciones en mazas dañadas por material que no rinde lo esperado, molinos mal montados que provocan desalineamiento y desajustes. | Tiempo de puenteo de molinos LSE <= 12 horas por semana. |

Continuación de la tabla VI.

|                     |                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Gerente industrial. | Existen oportunidades de ahorro en el proceso de extracción de jugo de caña. | Mala aplicación de soldadura y baja calidad de fundiciones de hierro, durante la zafra no se da mantenimiento preventivo sino se hacen reparaciones que incrementan los costos. Molinos mal montados que provocan desgastes en las partes por desalineamiento y desajustes. | Tiempo de puenteo de molinos LSE<= 12 horas por semana. |
| Jefe proceso.       | Existen oportunidades de ahorro en el proceso de extracción de jugo de caña. | Durante la zafra no se da mantenimiento preventivo formalmente sino se hacen reparaciones que incrementan los costos.                                                                                                                                                       | Tiempo de puenteo de molinos LSE<= 12 horas por semana. |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

Las estrategias de negocio son puntos clave en donde el cumplimiento de las mismas depende de manera directa a variables críticas de calidad en procesos y a la vez tiene un gran impacto en las ganancias o ahorros monetarios vinculados en éste caso al tiempo en puenteo de molinos.

Las estrategias de negocio donde encajan los requerimientos de los clientes son:

Tabla VII. **Estrategias de negocio que encajan los requerimientos de los clientes**

| Estrategia que encaja la VCC o CTQ de los clientes | ¿Cómo?                                                         |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Efectividad operacional.                           | Disminución de pérdidas de azúcar y bajar costo \$/Ton azúcar. |
| Crecimiento de molienda.                           | Estabilizar la razón de molienda TCH.                          |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.



El defecto que se desea reducir con el proyecto:

Con base a la variable crítica de calidad identificada se desea reducir el defecto o falla de la misma, que es el tiempo que un molino o varios de éstos se encuentran fuera de la operación

- Beneficios esperados

Reducir en un 25% el tiempo perdido provocado por los molinos en el ingenio y tener un ahorro de Q450 000 aproximadamente, (ver inciso 2.3.3.).

- Supuestos clave del beneficio
  - Reducción de costos en mantenimiento al tándem de molinos
  - Mejora en la calidad de materiales y repuestos
  - Mejoras en la supervisión de la aplicación de soldaduras y armado de molinos
  - Disminución de las pérdidas de sacarosa en el bagazo
  - Disminución del tiempo perdido por puenteo de molinos

### **2.1.2. Charter del proyecto**

Es una breve descripción del proyecto definiendo claramente la razón del proyecto, la definición del problema y su objetivo.

- Datos generales del proyecto

Se describen las generalidades del proyecto, definición del problema, objetivos y metas específicos y recursos necesarios.

**Tabla VIII. Generalidades del proyecto**

|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descripción del proyecto (meta/misión):                                   | Reducir en al menos un 25% el tiempo perdido por puenteo en molinos para disminuir las pérdidas de azúcar, atacando causas potenciales según información histórica, analizar estadísticamente los datos y posteriormente planificar y realizar mejoras en la época de reparación para el montaje de los molinos, previo a iniciar la operación de los mismos. |
| Alcance/ámbito del proyecto: ¿A qué proceso se delimitará y en que sitio? | Proceso de extracción de jugo de caña en el área de molinos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Fuente: elaboración propia con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

- Definición del problema, ¿Por qué se persigue la meta?

A través de la definición del problema se describen los antecedentes en el proceso, obteniendo de esta forma los impactos negativos que se han presentado históricamente.

**Tabla IX. Definición del problema**

|                                                                        |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Cuáles son los síntomas del Problema?                                 | Tiempo perdido por puenteo de molinos en el proceso de extracción de jugo de caña. |
| ¿Dónde y cuándo se ha visto el problema?                               | Durante la zafra 2010-2011 y 2011-2012.                                            |
| ¿Consecuencia del problema para el cliente?                            | Pérdidas anuales de azúcar y venta de energía.                                     |
| ¿Cuál es la fuente de información de los síntomas y de los beneficios? | Sistema de presupuesto, sistema de laboratorio, venta de energía, venta de azúcar. |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

- **Objetivos y metas específicos**

Dentro de los objetivos estratégicos para lograr cumplirlos deben ser favorecidos positivamente los indicadores claves de desempeño (KPI's) asociados a los mismos, la diferencia entre los KPI's local y los corporativos es que los locales representan la fábrica y los corporativos todas las fábricas de los ingenios pertenecientes a la corporación, en el caso los objetivos estratégicos hay de dos naturalezas; los objetivos de resultados, ya que afectan directamente al cliente y están vinculados con los KPI's corporativos, y los objetivos de procesos que hacen que se cumplan o no los indicadores de resultados y están vinculados con los KPI's locales, que éstos a su vez ayudan a monitorear la implementación de la estrategia y metas concretas.

Tabla X. **Objetivos y metas específicos**

| Perspectiva | Fuerza conductora      | Objetivos estratégicos                                 | KPI's corporativos                       | KPI local (BSC)                                       | Línea base (BSC) | Meta actual (BSC) | ¿Qué hará el proyecto para mejorar las metas corporativas y Cómo lo hará?                        |
|-------------|------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Finanzas    | Optimización de costos | Reducción continua de costos asegurando competitividad | Costos y gastos por unidad de producción | Costo unitario del proceso fabrica (\$/ton de azúcar) | 95               | 91                | Disminuyendo el puenteo de molinos mejorará la recuperación de azúcar que se pierde en el bagazo |
| Finanzas    | Optimización de costos | Reducción continua de costos asegurando competitividad | Costos y gastos por unidad de producción | Costo unitario del proceso fabrica (\$/MWH vendidos)  | 172              | 162               | Mejoramiento en recuperación de azúcar en bagazo y aumento en la venta de energía eléctrica      |

Continuación de la tabla X.

|          |                             |                                                  |                                |                                |    |     |                                     |
|----------|-----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----|-----|-------------------------------------|
| Procesos | Mejora continua de procesos | Mejorar la eficacia y eficiencia de los procesos | Rendimiento industrial         | Rendimiento industrial (Kg/T)  | 95 | 102 | Mejorando la extracción de sacarosa |
| Procesos | Mejora continua de procesos | Mejorar la eficacia y eficiencia de los procesos | Eficiencia en venta de energía | Venta de bagazo propio (KWH/T) | 29 | 31  | Disminuyendo la humedad del bagazo  |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

- **Recursos necesarios**

Es importante tomar en cuenta los recursos que se van a emplear para la marcha del proyecto, dependiendo del caso del proyecto así va ser la naturaleza de los recursos necesarios. Además del equipo del recurso humano (equipo del proyecto), softwares, computadoras, papel, lapiceros e internet es esencial contar con información histórica y confiable, a continuación se detallan las fuentes y descripción de la información necesaria para desarrollar las fases medir y analizar de la metodología.

**Tabla XI. Recursos necesarios**

| Fuente de información                | Descripción de recurso                                                                   |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Base de datos laboratorio            | Obtención de datos de reportes diarios para la evaluación de las variables.              |
| Base de datos (Planeación y Control) | Principalmente para obtener los tiempos y detalles de los tiempos de puentes en molinos. |
| Datos mantenimiento                  | Para el detalle de las reparaciones y aplicación de materiales.                          |
| Sistema de presupuesto               | Para el detalle de costos de mano de obra.                                               |
| Proveedores                          | Obtención de cotizaciones en general.                                                    |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con equipo de proyecto.

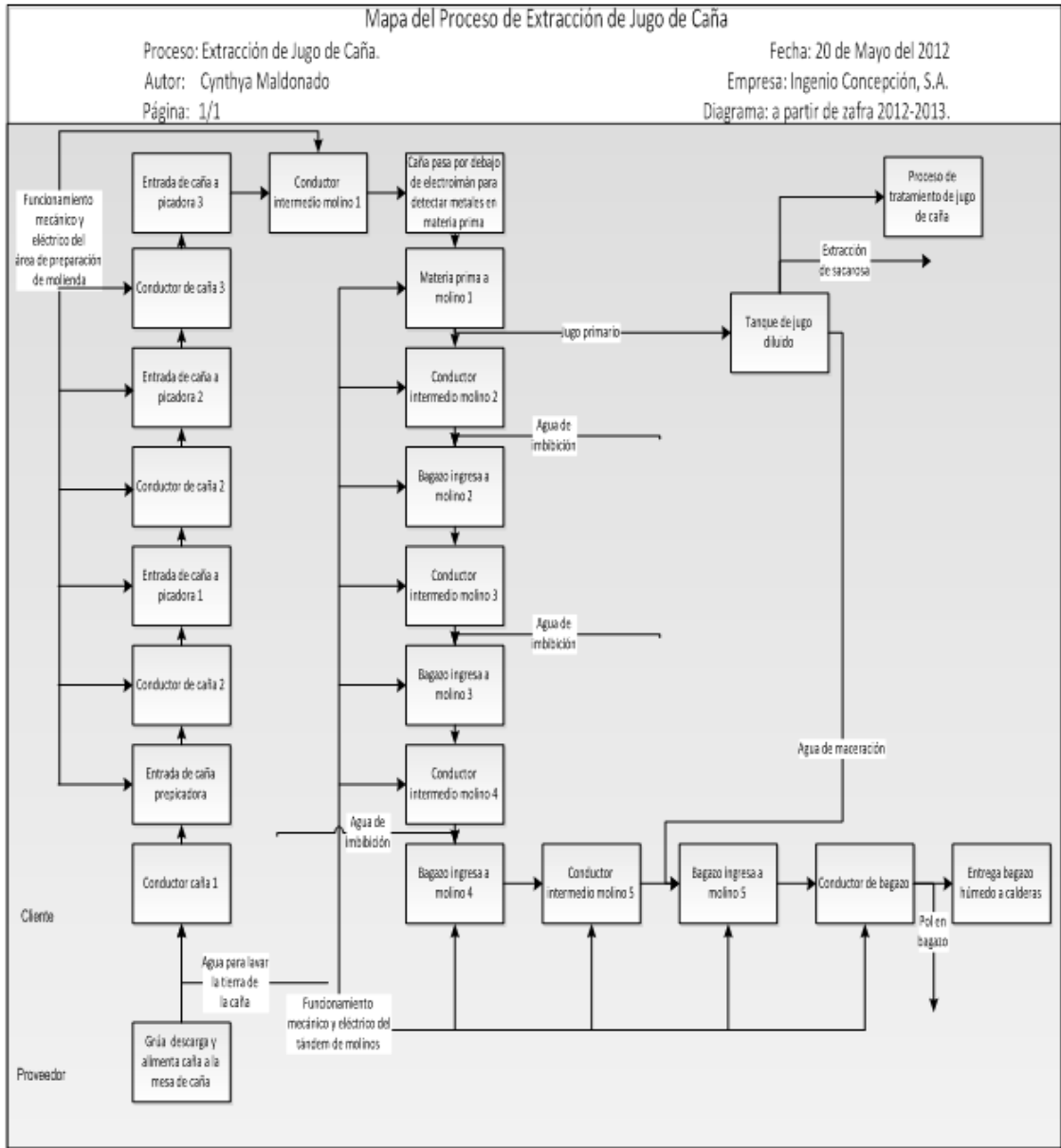
### **2.1.3. Mapa de proceso de extracción de jugo de caña**

Como parte de la aplicación de la metodología es tener claro el proceso a mejorar en general, lo cual ayuda a quien no conoce el proceso a identificar las actividades principales del proceso así también visualizar variables definidas anteriormente de manera puntual gráficamente y para ello se elaboró un mapa del proceso de extracción de jugo de caña. (ver figura 3).

### **2.1.4. Diagrama PEPSU (proveedores, entradas, procesos, salidas y usuarios)**

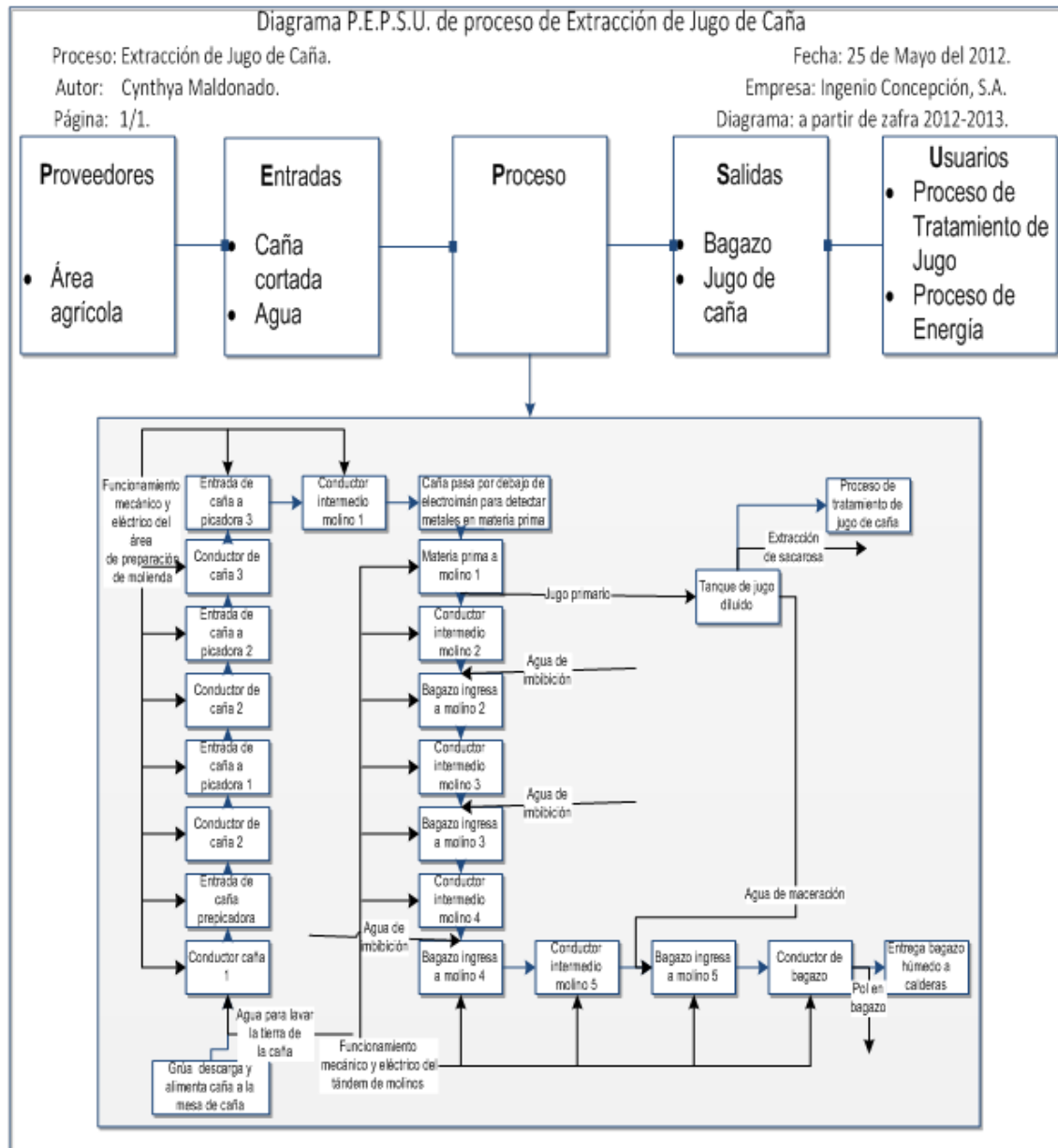
Además de conocer el proceso en general, es importante saber de qué proceso o insumos depende el proceso a mejorar, así también los usuarios del producto final del mismo, dado que si lo que se desea es la calidad es vital analizar lo que va antes, durante y después del proceso, es decir su entorno y para ello se elaboró el Diagrama PEPSU, proveedores (P), las entradas (E), el proceso mismo (P), las salidas (S) y los usuarios (U). (ver figura 4).

Figura 3. Mapa de proceso de extracción de jugo de caña



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Diagrama PEPSU de proceso de extracción de jugo de caña



Fuente: elaboración propia.

Una vez identificados los clientes y la oportunidad de mejora por medio de la VCC, los beneficios esperados, las generalidades del proyecto y la visualización del proceso a mejorar se procede a la siguiente fase de la metodología medir, en donde se recopila todo tipo de información relevante histórica de la VCC, y también se analiza la naturaleza de los datos para lograr analizarla estadísticamente.

## **2.2. Medir**

En ésta fase se estudia el sistema de medición con el cual se monitorean las variables del proceso que afectan a la variable crítica de calidad determinada como horas de tiempo de punteo en los molinos, identificada anteriormente en la etapa de definición, además busca entender la naturaleza y propiedades de datos, para someter los datos a un análisis de capacidad del proceso y a la vez determinar si el proceso es estable estadísticamente.

Para determinar las causas que más han afectado en el tiempo perdido por punteo (X's vitales), se utilizaron las herramientas: Diagrama de Ishikawa y Diagrama de Pareto, y para llevar a cabo la elaboración de los mismos se recolectaron los datos históricos de las causas de punteo de molinos desde la zafra 2008 a la 2012 (ver apéndices, inciso 2) y así también salieron a luz otras causas que no están contempladas dentro de los reportes diarios de punteo semanales siendo de utilidad el Diagrama de Ishikawa.



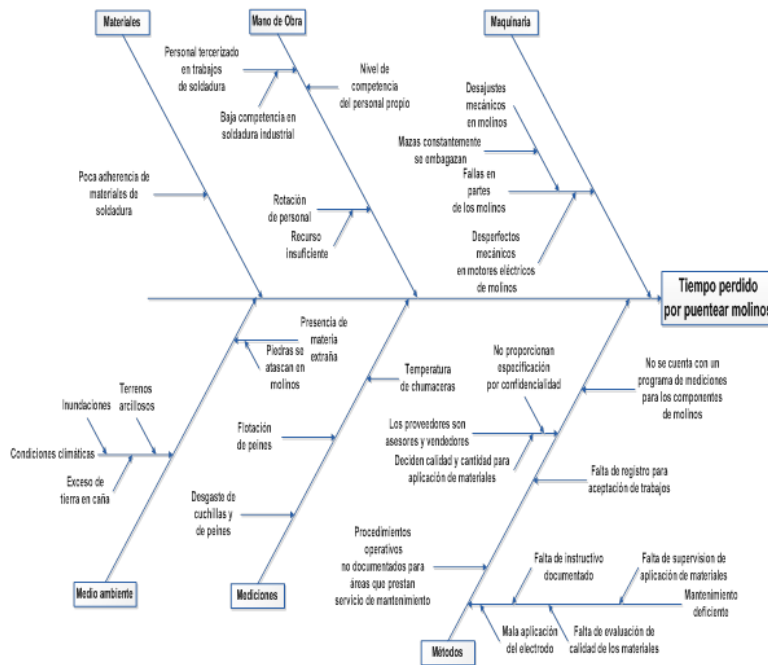
## 2.2.1. Determinación de X's vitales de variable crítica de calidad

Con el fin de encontrar algunas de las X's vitales de la Y, seleccionada como variable crítica de calidad, se elaboró un Diagrama de Ishikawa de segundo nivel.

### 2.2.1.1. Diagrama de Ishikawa de segundo nivel

Para la elaboración de éste Diagrama se tomó como problema central la causa raíz del Diagrama de Ishikawa anterior (ver figura 2), con la participación del equipo del proyecto, elaborando como base una tormenta de ideas.

Figura 5. Diagrama de Ishikawa de segundo nivel



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 5, se describe lo siguiente:

- Problema: mala operación del proceso de extracción de jugo de caña en el área de molinos.
- Efecto: Altos tiempos de puenteo en molinos registrados en el proceso de extracción de jugo de caña.
- Posibles causa raíz: fallas en las partes de los molinos, frecuencia de cambio de peines flotantes y cuchillas centrales y pesos de piedras que entran al ingenio.

Nota: conceptualmente se sabe que el Diagrama de Pareto se aplica antes que un Diagrama de Ishikawa, para la necesidad del presente proyecto no existían datos para tomar como punto de partida el Diagrama de Pareto y así determinar el o los problema(s) más vital(es), por ello se aplicó una matriz de variables Y's anteriormente porque con base a ponderaciones se pudo determinar la variable crítica de calidad. El Diagrama de Ishikawa de segundo nivel no era necesario desglosarlo, pero se elaboró con el fin de hallar congruencia entre la experiencia del personal y los datos registrados de la CTQ analizada (los datos se emplearon para la elaboración de los Diagramas de Pareto que se muestran a continuación).

### 2.2.1.2. Diagrama de Pareto de causas de puenteo de molinos durante las últimas cuatro zafras

A continuación se presentan las causas que se han presentado con más frecuencia cuando un molino o varios de éstos sale de operación:

Tabla XII. **Causas y horas de tiempo perdido por puenteo de molinos, últimas cuatro zafras**

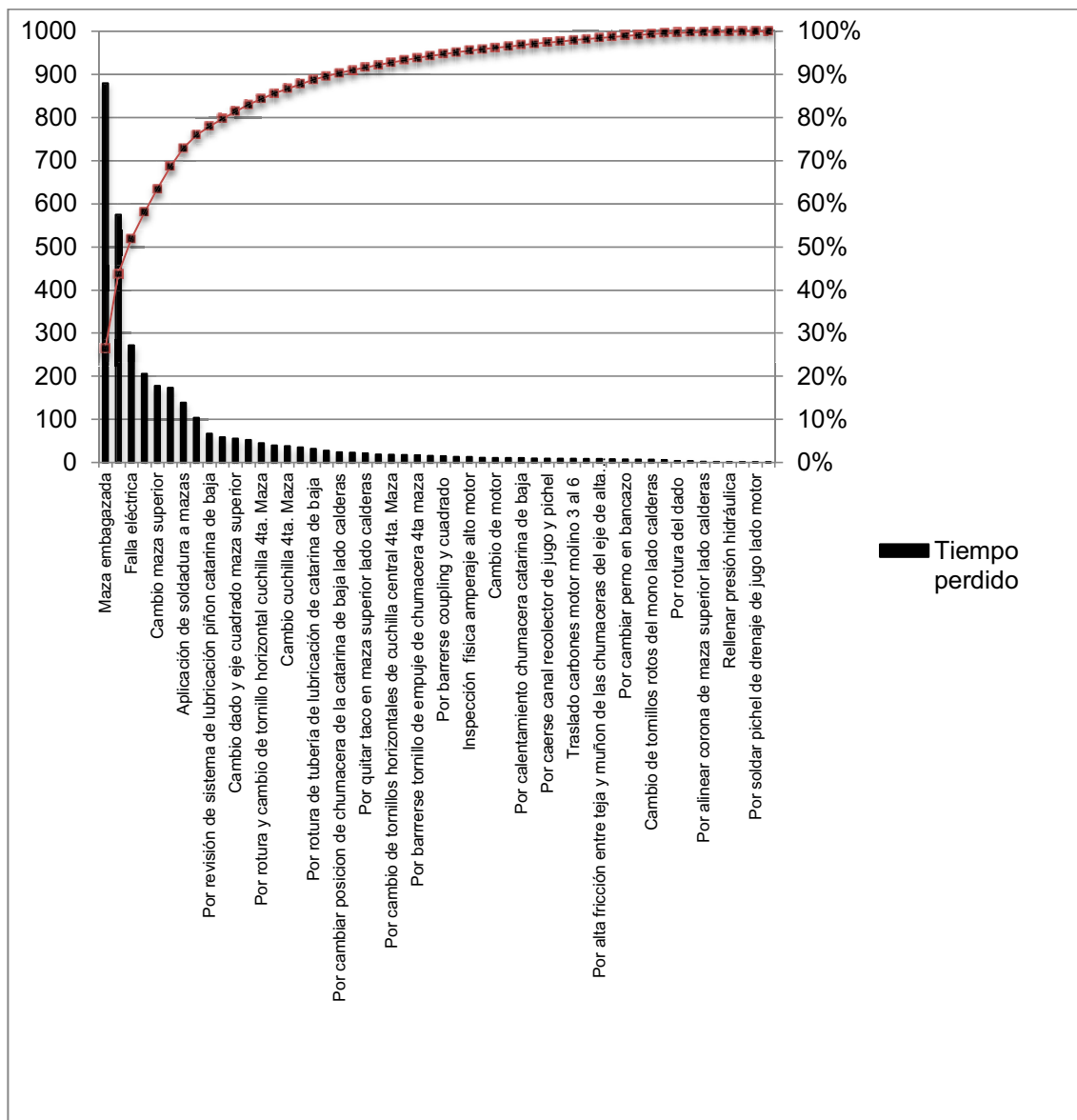
| Causas de puenteo molinos zafras 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012 | Tiempo perdido | Frecuencia acumulada |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|
| Maza embagazada                                                              | 879,24         | 0,26431146           |
| Cambio y asentamiento peine superior                                         | 574,53         | 0,437022964          |
| Falla eléctrica                                                              | 271,8          | 0,518729727          |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central                               | 205,95         | 0,580641088          |
| Cambio maza superior                                                         | 177,95         | 0,63413527           |
| Rotura y movimiento de corona                                                | 173,5          | 0,686291721          |
| Aplicación de soldadura a mazas                                              | 139,02         | 0,728083017          |
| Por rotura del eje de la maza superior lado de motor                         | 104            | 0,759346827          |
| Por revisión de sistema de lubricación piñon catarina de baja                | 67,18          | 0,779542045          |
| Por quebrarse eje cuadrado cuchilla 4ta. Maza                                | 58,86          | 0,797236159          |
| Otros                                                                        | 674,5          | 1                    |
| Total horas                                                                  | 3 326,53       |                      |

Fuente: elaboración propia.

Teniendo un total de 3 327 horas aproximadamente de tiempo puenteado en las últimas cuatro zafras, quiere decir que un 20% (ya que operando en promedio 170 días por 4 años por 24 horas al día) del tiempo total de las cuatro épocas de zafras pasadas ha estado al menos un molino fuera de operación, lo cual no solo ha perjudicado variables de salida como el porcentaje de extracción y el porcentaje de pol en bagazo sino también los costos por

mantenimiento correctivo operación y el costo por dejar de producir kilogramos de azúcar.

Figura 6. Diagrama de Pareto de causas de puenteo de molinos, durante las últimas cuatro zafras



Fuente: elaboración propia.

Las X's vitales pueden ser cuantitativas o cualitativas siempre y cuando existan datos para analizarlas, es decir son de referencia para la recolección de datos y poder analizarlos estadísticamente y aplicar las mejoras.

Entre las principales causas o X's vitales según el Diagrama de Ishikawa se encuentran:

- Fallas en las partes de los molinos
- Frecuencia de cambio de peines flotantes y cuchillas centrales
- Pesos de piedras que entran al ingenio

Entre las principales causas o X's vitales según el Diagrama de Pareto se encuentran:

- Embagazamiento de mazas
- Cambio y asentamiento de peine superior
- Fallas eléctricas
- Cambio, ajuste y asentamiento de cuchilla central
- Cambio de maza superior
- Rotura y movimiento de corona
- Aplicación de soldaduras a mazas
- Por revisión de sistema de lubricación de piñón de catarina de baja
- Por quebrarse eje cuadrado de cuchilla de cuarta maza

El anterior Diagrama de Pareto muestra las causas de tiempo de puenteo en el tándem de molinos, es decir de los seis molinos de todas las zafras desde 2008-2009 a la 2011-2012. Las causas que provocaron el 80% de puenteo en los seis molinos durante las cuatro zafras se definieron anteriormente.

Los tiempos perdidos analizados en el Diagrama de Pareto anterior fueron de las categorías más importantes de causas que provocaron más tiempo de puenteo de las cuatro zafras de los seis molinos del tándem dando un total de: 3 326,53 horas.

### **2.2.2. Prueba de normalidad de los datos recolectados de variable crítica de calidad**

Para la prueba de normalidad de los datos recolectados se utilizó el programa Minitab 16 para calcular distintas distribuciones, y así encontrar la Distribución donde los valores de la variable crítica de calidad, se ajustaran normalmente, las distribuciones que se analizaron fueron, Normal, Logarítmica Normal, Exponencial, Transformación de Box-Cox y Weibull.

Para comparar datos es importante que a los grupos analizados se ajusten a la misma Distribución estadística. La prueba de normalidad que se ajustó a los cuatro grupos de datos que se recolectaron de los tiempos semanales de puenteo de molinos fue la Distribución de Weibull, resultó muy lógico que la dicha Distribución se ajustara bien, dado que son medidas de tiempo, y también otra razón es que los datos presentan heterocedasticidad.

La Distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua que modela la distribución de fallos, cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo, ésta definida por tres parámetros, estos son:

- $\beta$  (beta): parámetro de forma ( $0 < \beta < \infty$ ), determina la forma o perfil de la distribución, es análogo a la pendiente de una ecuación de regresión lineal.

- $\delta$  (delta): parámetro de escala ( $0 < \theta < \infty$ ), indica la escala de la distribución, es decir, muestra que tan aguda o plana es la función.
- $\theta$  (theta): parámetro de localización ( $-\infty < \theta < \infty$ ), indica, en el tiempo, el momento a partir del cual se genera la Distribución.

La función de densidad de la Distribución de Weibull para la variable t, está dada por la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{\beta(t - \delta)^{\beta-1}}{\theta^\beta} e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta}, t \geq \delta$$

A continuación se presenta el desarrollo del cálculo respectivo para ajustar los datos a una distribución de Weibull, se tomaron los datos de la zafra 2008 a la 2009, el método utilizado fue de los mínimos cuadrados para estimar los tres parámetros, y posteriormente solamente se mostraran los gráficos obtenidos por el programa Minitab 16 para las siguientes zafras.

- Se ordenaron los tiempos de puenteo semanales en orden ascendente;
- Se calcularon los rangos medios de cada medición de tiempo, con la siguiente aproximación:

$$RM = \frac{(i - 0,3)}{(n + 0,4)}$$

i= orden de dato

n= número total de datos

- Con base a la transformación doble logarítmica que permite transformar la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión, se estimaron los valores para cada valor del eje x y del eje y;

Función de confiabilidad de Weibull:

$$R(t) = e^{\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta}$$

Siendo el complemento la función acumulativa de Weibull la siguiente:

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta}$$

Igualando las funciones;

$$\begin{aligned}\frac{1}{e^{\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta}} &= 1 - F(t) \\ \ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] &= \ln e^{\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta} \\ \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] &= \beta \ln\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right) \\ \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] &= \beta \ln(t-\delta) - \beta \ln(\theta)\end{aligned}$$

- Analogía

Ecuación lineal de regresión:

$$y = \beta x - b$$

Asumiendo las siguientes expresiones para  $x$  y  $b$ :

$$y = \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right]; x = \ln(t-\delta); b = \beta \ln(\theta)$$

- Explicación
  - El parámetro de forma  $\beta$ , es la pendiente de la recta de regresión;



- El parámetro de escala  $\theta$ , está en función del intercepto  $b$  de la recta de regresión y del parámetro de escala, despejando  $\theta$ , el valor del parámetro se encuentra con la siguiente expresión:

$$e^{\frac{b}{\beta}} = \theta$$

Sustituyendo los valores de la primera fila de la tabla;

$$RM_{i=1, n=25} = \frac{(1-0,3)}{(25+0,4)} = 0,027559055$$

$$x_{t=2.67, \delta=0} = \ln(2,67 - 0) = 0,980829253$$

$$y = \ln \left[ \ln \left[ \frac{1}{1-0,027559055} \right] \right] = -3,577483693$$

Tabla XIII. **Cálculo de ajuste a la Distribución Weibull datos de zafra 2008-2009, con parámetro de localización igual a cero**

| Orden (i) | Y=0809 o t | Rango Medio | Eje X               | Eje Y                  |
|-----------|------------|-------------|---------------------|------------------------|
|           |            |             | X(LN(t- $\delta$ )) | Y((LN(LN(1/(1-RM)))))) |
| 1         | 2,67       | 0,027559055 | 0,980829253         | -3,577483693           |
| 2         | 3,27       | 0,066929134 | 1,183770097         | -2,669683806           |
| 3         | 6,50       | 0,106299213 | 1,871802177         | -2,18583148            |
| 4         | 8,32       | 0,145669291 | 2,118261534         | -1,84873045            |
| 5         | 10,73      | 0,18503937  | 2,373354164         | -1,586622799           |
| 6         | 11,85      | 0,224409449 | 2,472327868         | -1,369907214           |
| 7         | 13,70      | 0,263779528 | 2,617395833         | -1,18343303            |
| 8         | 14,63      | 0,303149606 | 2,683302031         | -1,018366276           |
| 9         | 14,75      | 0,342519685 | 2,691243083         | -0,869072148           |
| 10        | 15,80      | 0,381889764 | 2,76000994          | -0,731704114           |
| 11        | 15,97      | 0,421259843 | 2,770503216         | -0,603486236           |
| 12        | 17,80      | 0,460629921 | 2,879198457         | -0,482313743           |
| 13        | 20,87      | 0,5         | 3,038152989         | -0,366512921           |
| 14        | 21,33      | 0,539370079 | 3,060270795         | -0,254685391           |

Continuación de tabla XIII.

|    |       |             |             |              |
|----|-------|-------------|-------------|--------------|
| 15 | 24,28 | 0,578740157 | 3,189790244 | -0,14559769  |
| 16 | 24,78 | 0,618110236 | 3,210171384 | -0,038093129 |
| 17 | 31,30 | 0,657480315 | 3,443618098 | 0,06899061   |
| 18 | 34,63 | 0,696850394 | 3,544816609 | 0,176914335  |
| 19 | 38,97 | 0,736220472 | 3,66270658  | 0,287163174  |
| 20 | 42,45 | 0,775590551 | 3,748326913 | 0,401646493  |
| 21 | 51,58 | 0,81496063  | 3,943198623 | 0,523062447  |
| 22 | 52,57 | 0,854330709 | 3,962082205 | 0,655661466  |
| 23 | 66,13 | 0,893700787 | 4,191672906 | 0,807144125  |
| 24 | 72,18 | 0,933070866 | 4,279209179 | 0,994776877  |
| 25 | 95,12 | 0,972440945 | 4,555104208 | 1,278548814  |

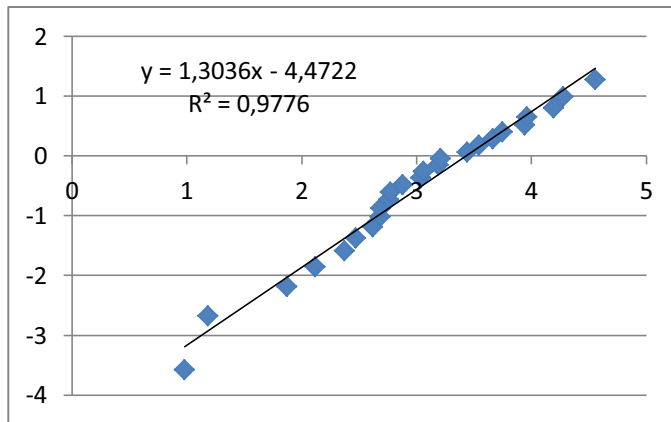
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Valores de parámetros de forma, de escala y de localización según ajuste de Distribución de Weibull, para zafra 2008-2009**

|                                                              |             |
|--------------------------------------------------------------|-------------|
| Cuando se consideró<br>$\delta$ =parámetro de localización=0 |             |
| Pendiente $\beta$ = parámetro de forma                       | 1,30356444  |
| Intercepto (b)                                               | -4,47224907 |
| $R$                                                          | 0,98875331  |
| $R^2$                                                        | 0,977633107 |
| $\theta$ = parámetro de escala=<br>$e^{-(b/\beta)}$          | 30,90088405 |
| $\delta$ =parámetro de localización                          | 0           |

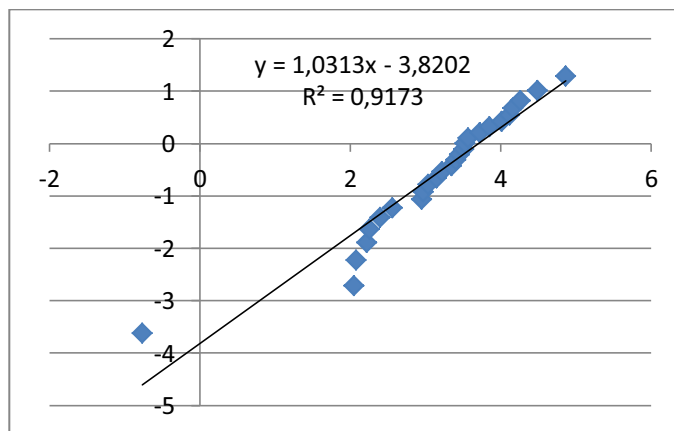
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación lineal para zafra 2008-2009**



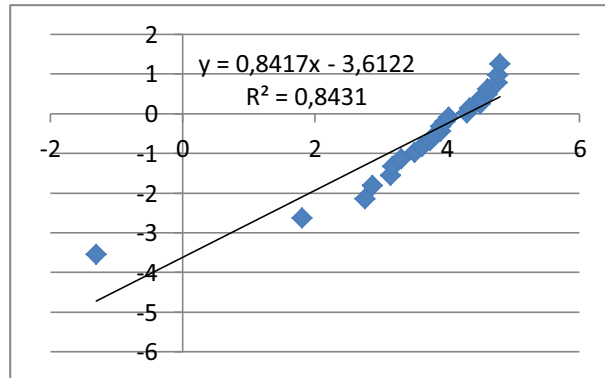
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación lineal para zafra 2009-2010**



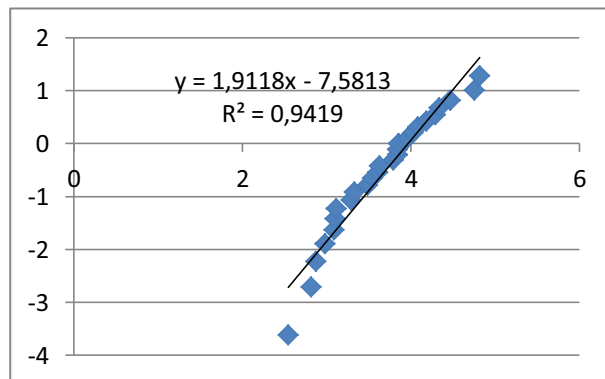
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación lineal para zafra 2010-2011**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull mediante ecuación lineal para zafra 2011-2012**



Fuente: elaboración propia.

Posterior a los anteriores cálculos se utilizó la función de solver en excel, por la complejidad del cálculo para la estimación del parámetro de localización  $\delta$ , dado que debe ser determinado por ensayo y error.

Se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones al momento de analizar un parámetro de localización diferente de cero, éstas son:

- Si al graficar los puntos de la muestra aparece una cola de puntos hacia arriba o hacia abajo, es un indicativo de que el parámetro de localización debe ser calculado.
- Una cola hacia abajo o una reducción súbita de la pendiente son indicativos de que un parámetro de localización positivo está presente.
- Una cola hacia arriba o un incremento súbito de la pendiente son indicativos de que un parámetro de localización negativo está presente. Este punto está de acuerdo con el intervalo de validez de  $\delta$ .
- Un parámetro de localización negativo se presenta cuando hay unidades con fallas en servicio, o unidades en servicio con defectos que causarán fallas.
- Valores grandes del parámetro de forma ( $\beta > 10$ ) son otro indicativo de que el parámetro de localización  $\delta$  debe ser calculado.

No es imprescindible calcular el parámetro de localización de los datos de la zafra 2008-2009, la gráfica no muestra ninguna de las consideraciones anteriores, sin embargo se dejará el desarrollo del cálculo de la estimación de  $\delta$ .

El parámetro de localización se basa en la maximización de una función objetivo, y la única restricción es que el valor del parámetro de delta sea menor igual al valor más bajo de las muestras observadas, en éste caso el dato más pequeño de los tiempos semanales de puenteo, es 2,67horas.

Función objetivo:

$$R^2 = 0,977633107$$

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) * (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}}$$

Dado que los valores de  $X$  y  $Y$  están en función del valor de  $\delta$ , la restricción viene dada por:

$$\delta \leq 2,67$$

Los valores de los parámetros  $\beta$  y  $\theta$  cambian, una vez cambia  $\delta$ , así también los valores para el eje  $x$  y  $y$  de la función de regresión lineal, los nuevos valores de los parámetros son:

Tabla XV. **Nuevos valores de parámetros de forma, de escala y de localización según ajuste de Distribución de Weibull, para zafra 2008-2009**

| Cuando se consideró $\delta$ =parámetro de localización $\neq 0$   |              |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| Pendiente $\beta$ = parámetro de forma                             | 1,180936695  |
| Intercepto (b)                                                     | -4,002446832 |
| $R$                                                                | 0,990562003  |
| $R^2$                                                              | 0,981213082  |
| $\theta$ = parámetro de escala= $e^{-(b/\beta)}$                   | 29,64263525  |
| $\delta$ =parámetro de localización = con ayuda de solver de excel | 1,017757018  |

Fuente: elaboración propia.

Los nuevos valores para cada tiempo semanal son:

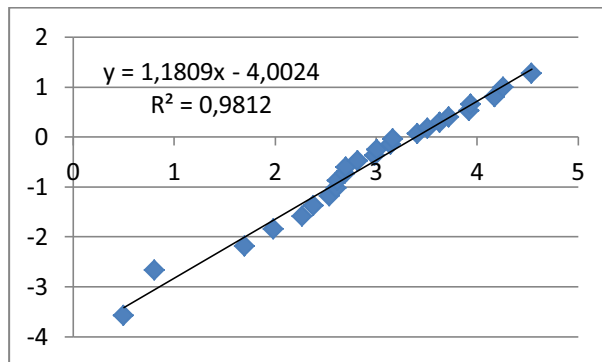
Tabla XVI. **Cálculo de ajuste a la Distribución Weibull datos de zafrá 2008-2009, con parámetro de localización diferente a cero**

| Orden (i) | Y=0809 o t | Rango Medio | Eje X                    | Eje Y                                         |
|-----------|------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
|           |            |             | $X(\text{LN}(t-\delta))$ | $Y((\text{LN}(\text{LN}(1/(1-\text{RM}))))))$ |
| 1         | 2,67       | 0,027559055 | 0,50011425               | -3,577483693                                  |
| 2         | 3,27       | 0,066929134 | 0,810445498              | -2,669683806                                  |
| 3         | 6,50       | 0,106299213 | 1,70151432               | -2,18583148                                   |
| 4         | 8,32       | 0,145669291 | 1,987724974              | -1,84873045                                   |
| 5         | 10,73      | 0,18503937  | 2,273730403              | -1,586622799                                  |
| 6         | 11,85      | 0,224409449 | 2,382527148              | -1,369907214                                  |
| 7         | 13,70      | 0,263779528 | 2,540202825              | -1,18343303                                   |
| 8         | 14,63      | 0,303149606 | 2,611214455              | -1,018366276                                  |
| 9         | 14,75      | 0,342519685 | 2,61974657               | -0,869072148                                  |
| 10        | 15,80      | 0,381889764 | 2,693426662              | -0,731704114                                  |
| 11        | 15,97      | 0,421259843 | 2,704638364              | -0,603486236                                  |
| 12        | 17,80      | 0,460629921 | 2,820321362              | -0,482313743                                  |
| 13        | 20,87      | 0,5         | 2,988149076              | -0,366512921                                  |
| 14        | 21,33      | 0,539370079 | 3,011387898              | -0,254685391                                  |
| 15        | 24,28      | 0,578740157 | 3,146974857              | -0,14559769                                   |
| 16        | 24,78      | 0,618110236 | 3,16823816               | -0,038093129                                  |
| 17        | 31,30      | 0,657480315 | 3,410561501              | 0,06899061                                    |
| 18        | 34,63      | 0,696850394 | 3,51498954               | 0,176914335                                   |
| 19        | 38,97      | 0,736220472 | 3,636240772              | 0,287163174                                   |
| 20        | 42,45      | 0,775590551 | 3,724059394              | 0,401646493                                   |
| 21        | 51,58      | 0,81496063  | 3,923271035              | 0,523062447                                   |
| 22        | 52,57      | 0,854330709 | 3,942531059              | 0,655661466                                   |
| 23        | 66,13      | 0,893700787 | 4,176163788              | 0,807144125                                   |
| 24        | 72,18      | 0,933070866 | 4,265009223              | 0,994776877                                   |
| 25        | 95,12      | 0,972440945 | 4,544346459              | 1,278548814                                   |

Fuente: elaboración propia.

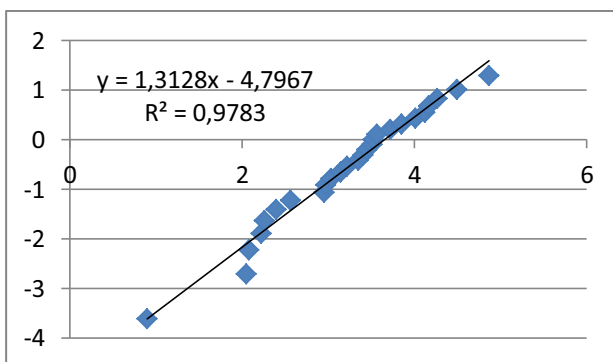
Las gráfica de las funciones lineales con los parámetros recalculados de la Distribución de Weibull por zafra son las siguientes:

Figura 11. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2008-2009**



Fuente: elaboración propia.

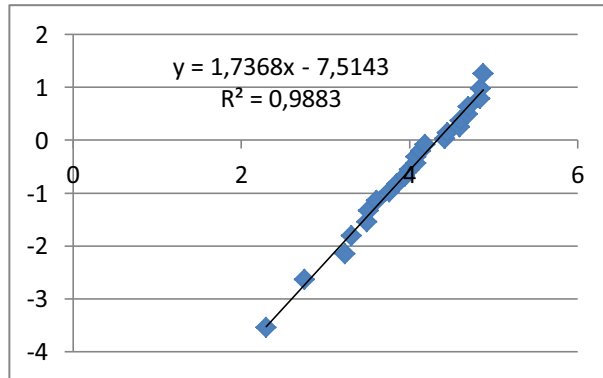
Figura 12. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2009-2010**



Fuente: elaboración propia.



Figura 13. **Ajuste de valores a una Distribución Weibull con parámetros recalculados mediante ecuación lineal para zafra 2010-2011**



Fuente: elaboración propia.

Zafra 2011-2012, nota:

La gráfica generada es la misma que la anterior(ver figura No. 10) tomando  $\delta=0$ , dado que al momento de maximizar la función objetivo "R<sup>2</sup>"(coeficiente de correlación), el parámetro de localización da igual al valor más bajo de los tiempos de punteo (12,72 horas), por lo que no resulta matemáticamente posible al momento de recalculer el rango medio del tiempo 12,72, porque al recalculer el parámetro de localización 12,72, la diferencia da cero, y como consecuencia la operación matemática queda igual a LN(12,72-12,72), como concepto se sabe que la función nunca toca el eje de la ordenada cuando la abcisa es igual a cero, dado que el dominio de dicha función es  $(0,+\infty)$ , en conclusión; queda el parámetro de localización igual a cero.

Con los datos estimados para los tres parámetros se sustituyen en la función de probabilidad de densidad de Weibull y se calculan las probabilidades para los diferentes tiempos semanales de punteo.

$$f(t) = \frac{1.1809(t - 1.0178)^{1.1809-1}}{29.6426^{1.1809}} e^{-\left(\frac{t-1.0178}{29.6426}\right)^{1.1809}}, t \geq \delta$$

Una vez obtenidos los valores de las probabilidades se procede a graficar los valores de las probabilidades.

Tabla XVII. **Datos calculados con base a función de densidad de probabilidad de Weibull para horas de puenteo, zafra 2008-2009**

| T     | Función de densidad de probabilidad de Weibull<br>$f(t) = \frac{\beta(t - \delta)^{\beta-1}}{\delta^\beta} e^{-\left(\frac{t-\delta}{\delta}\right)^\beta}, t \geq \delta$ |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2,67  | 0,022853975                                                                                                                                                                |
| 3,27  | 0,023823599                                                                                                                                                                |
| 6,50  | 0,02561571                                                                                                                                                                 |
| 8,32  | 0,025538573                                                                                                                                                                |
| 10,73 | 0,02490738                                                                                                                                                                 |
| 11,85 | 0,024486612                                                                                                                                                                |
| 13,70 | 0,023672603                                                                                                                                                                |
| 14,63 | 0,023221313                                                                                                                                                                |
| 14,75 | 0,023163403                                                                                                                                                                |
| 15,80 | 0,022629717                                                                                                                                                                |
| 15,97 | 0,022543171                                                                                                                                                                |
| 17,80 | 0,021566493                                                                                                                                                                |
| 20,87 | 0,019876652                                                                                                                                                                |
| 21,33 | 0,019617534                                                                                                                                                                |
| 24,28 | 0,017989867                                                                                                                                                                |
| 24,78 | 0,017717516                                                                                                                                                                |
| 31,30 | 0,014341841                                                                                                                                                                |
| 34,63 | 0,012774814                                                                                                                                                                |
| 38,97 | 0,010922372                                                                                                                                                                |
| 42,45 | 0,009587023                                                                                                                                                                |

Continuación de la tabla XII.

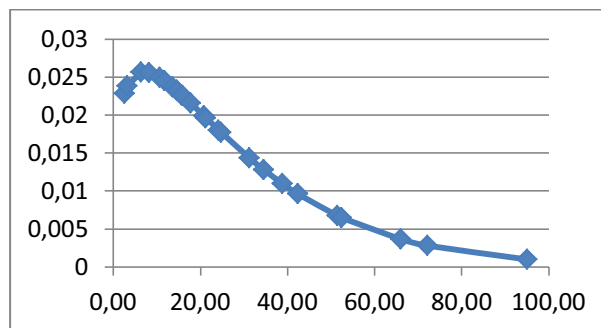
|       |             |
|-------|-------------|
| 51,58 | 0,006703149 |
| 52,57 | 0,006441988 |
| 66,13 | 0,003648825 |
| 72,18 | 0,002801883 |
| 95,12 | 0,000981674 |

Fuente: elaboración propia.

Gráficas de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull:

$$\text{Zafra 2008-2009, } f(t) = \frac{1.1809(t-1.0178)^{1.1809-1}}{29.6426^{1.1809}} e^{-\left(\frac{t-1.0178}{29.6426}\right)^{1.1809}}, t \geq \delta$$

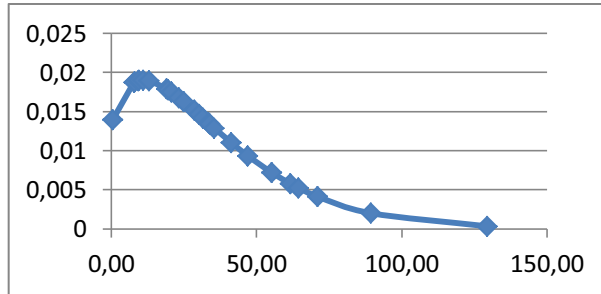
Figura 14. **Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull, zafra 2008-2009**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Zafra 2009-2010, } f(t) = \frac{1.3128(t-(-1.9903))^{1.3128-1}}{38.6201^{1.3128}} e^{-\left(\frac{t-(-1.9903)}{38.6201}\right)^{1.3128}}, t \geq \delta$$

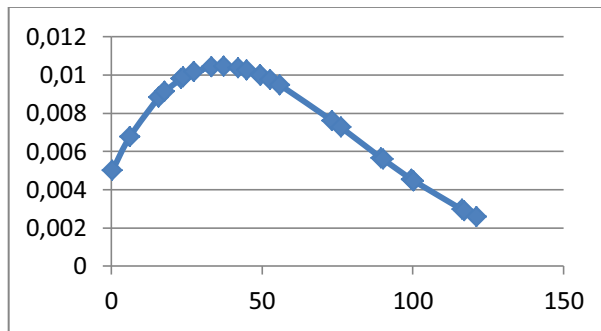
Figura 15. **Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull, zafra 2009-2010**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Zafra 2010-2011, } f(t) = \frac{1.7368(t-(-9.6576))^{1.7368-1}}{75.6778^{1.7368}} e^{\left[-\left(\frac{t-(-9.6576)}{75.6778}\right)^{1.7368}\right]}, t \geq \delta$$

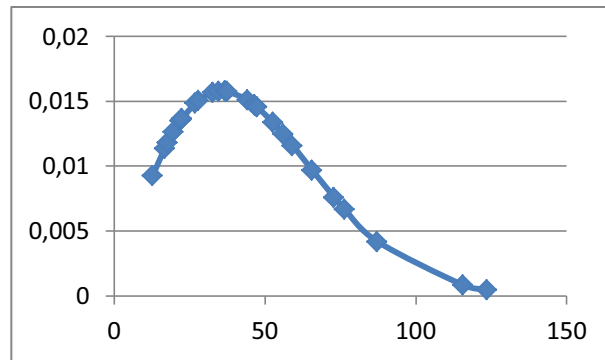
Figura 16. **Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull, zafra 2010-2011**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Zafra 2011-2012, } f(t) = \frac{1.91178(t-0)^{1.91178-1}}{52.7496^{1.91178}} e^{\left[-\left(\frac{t-0}{52.7496}\right)^{1.91178}\right]}, t \geq \delta$$

Figura 17. **Gráfica de densidad de probabilidad de Distribución de Weibull, zafra 2011-2012**



Fuente: elaboración propia.

Conclusión: los datos de las últimas cuatro zafras anteriores si se ajustan normalmente a una Distribución de Weibull.

### **2.2.3. Análisis de capacidad de proceso**

Los cálculos se desarrollarán con base a los tiempos de punteo de la zafra 2008-2009.

- Índices de capacidad con Distribución Normal
  - Procesos con doble especificación

"Para que el proceso pueda considerarse potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada. Lo deseable es que el índice Cp sea mayor a

uno, y si el valor  $C_p$  es menor que uno es una evidencia que no cumple con las especificaciones.

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

$\sigma$  representa la desviación estándar del proceso, ES y EI son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad.

El  $C_p$  estima la capacidad potencial del proceso para cumplir con especificaciones, pero una de sus desventajas es que no toma en cuenta el centrado del proceso, ya que en su cálculo no incluye la media del proceso  $\mu$ .

El índice de capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ) es como una versión corregida del  $C_p$  que sí toma el centrado del proceso, se calcula de la siguiente manera:

$$C_{pk} = \text{Mínimo}[C_{pi}, C_{ps}]$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo}\left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma}\right]$$

El índice  $C_{pk}$  es igual al índice unilateral más pequeño, por lo que si el valor de  $C_{pk}$  es satisfactorio (mayor a 1,25), indicará que el proceso es capaz. Si  $C_{pk}$  es menor a uno, entonces el proceso no cumple con por lo menos una de las especificaciones.

Otras consideraciones para interpretar el índice  $C_{pk}$  son:

- El índice  $C_{pk}$  siempre será menor o igual que el índice  $C_p$ . Cuando sean muy próximos, eso indicará que la media del proceso está muy cerca del

punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.

- Si el valor del índice  $C_{pk}$  es mucho más pequeño que el  $C_{pi}$ , esto indicará que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esa manera el índice  $C_{pk}$  estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado, se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice  $C_p$ .
- Cuando el valor del  $C_{pk}$  sea mayor que 1,25 en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria. Mientras que para procesos nuevos se pide un  $C_{pk} > 1,45$ .
- Es posible tener valores del  $C_{pk}$  iguales a cero o negativos, e indicarán que la media del proceso está fuera de las especificaciones.
  - Procesos con solo una especificación

Existen procesos cuyas variables de salida tienen sólo una especificación, ya sean variables del tipo entre más grande mejor, en las que lo que interesa es que sean menores que cierto valor mínimo (EI), o variables del tipo entre más pequeña mejor, en las que lo que se quiere es que nunca excedan un cierto valor máximo (ES). Para evaluar la capacidad de estos procesos se utilizan los índices  $C_{pi}$  y  $C_{ps}$  que se vieron antes.

- Índices de capacidad para una Distribución de Weibull

Para el cálculo de los índices de capacidad para datos no normales, se utilizan métodos, entre ellos están; método de percentiles de Clements, método de percentiles de Burr y métodos Bootstrap, se calculan con base a los parámetros de la Distribución con que se ajusten normalmente los datos a analizar, para éste estudio es la Distribución de Weibull.

Para fines de interpretación de los índices de capacidad se asumen a largo plazo, mientras que los índices de capacidad para una Distribución normal son a corto plazo, cambiando solamente en la nomenclatura.

En la práctica, se suele considerar que 1,33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad (es decir cualquier valor por debajo de ésta cifra que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas)".

Las referencias de los índices de capacidad de proceso a corto y a largo plazo se presentan a continuación:



Tabla XVIII. **Cuadro de referencia de índices de capacidad del proceso a corto y a largo plazo**

| Índice a corto plazo | Índice a largo plazo | Uso                                                                                         | Definición                                                                                                                                                            | Fórmula                                               |
|----------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Cp                   | Pp                   | El proceso está centrado en los límites de especificación.                                  | Es el radio entre la amplitud permitida (distancia entre los límites de especificación) y la amplitud natural.                                                        | $(LES-LEI)/6\sigma$                                   |
| Cpk                  | Ppk                  | El proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos. | Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambos límites de especificación. | $\text{Min} [ (LES-\mu)/3\sigma, (\mu-LEI)/3\sigma ]$ |
| Cps=Cpu              | Ppu                  | El proceso sólo tiene un límite de especificación superior                                  |                                                                                                                                                                       | $(LES-\mu)/3\sigma$                                   |
| Cpi=Cpl              | Ppl                  | El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior.                                 |                                                                                                                                                                       | $(\mu-LEI)/3\sigma$                                   |

Fuente: Capacidad de procesos. [www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_6.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_6.pdf). Consulta: 15 de agosto de 2012.

Teniendo claros los conceptos anteriores, se procede a calcular los índices de capacidad para la zafra 2008-2009

- Media

$$\bar{X} = (\sum_{t=1}^n(X_t)) / n, \bar{X} = (\sum_{t=1}^{25}(X_t)) / 25$$

$$\bar{X} = 28,49 \text{ horas}$$

- Target y límite superior de especificación

Si se cuentan con 170 días aproximados de zafra, se esperaría como máximo 300 horas como máximo, es decir 12 horas por semana, dado que en promedio son 25 semanas de zafra, LES=12, Target=10.

Se utilizó el método de Clements, para demostrar el cálculo del índice de capacidad real del proceso a largo plazo, dado que siguen una Distribución de Weibull, es decir datos no normales, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Mínimo}\left[\frac{M - L}{M - L_p}, \frac{U - M}{U_p - M}\right]$$

$$Ppk = \frac{12 - 13,47}{23,84 - L_p} = -0,15$$

U= límite superior

M= media del proceso, definida como:

$$M = \frac{\delta}{1+\beta} = \frac{30,97}{1+1,299} = 13,47 \text{ horas}$$

Lp= percentil 99.865% proveniente de la Distribución de Weibull; es decir la función acumulativa, definida como:

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta}$$

- Zbench, índice Z o nivel de sigmas

En seis sigma, la capacidad de un proceso con una característica de calidad de tipo continuo que tiene especificaciones se suele medir mediante el índice Z, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la

media  $\mu$  del proceso en unidades de la desviación estándar,  $\sigma$ . Para un proceso con doble especificación se tiene Z superior,  $Z_s$ , y Z inferior,  $Z_i$ , se definen con las siguientes fórmulas:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$$

$$Z_i = \frac{\mu - ES}{\sigma}$$

La capacidad medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño entre  $Z_s$  y  $Z_i$ , es decir:

$$Z = \text{Mínimo } [Z_s, Z_i]$$

Para el caso de los tiempos semanales de puenteo, solamente se tiene un límite superior, por lo tanto se calcula de la siguiente manera:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$$

$$Z_s = \frac{12 - 28,49}{23,44 + 1.5} \approx -0,66$$

Nota: Se le sumó 1.5sigmas a la desviación estándar dado que es para análisis a largo plazo.

- DPMO, defectos por millón de oportunidades

Una vez calculado el nivel de sigmas del proceso, se procede a calcular los defectos por millón de oportunidades de falla, se obtiene con la probabilidad que representa el área bajo la curva según una Distribución normal, se

encuentra en la tabla de una Distribución normal (ver tablas de valores de Z en anexos 1).

$$P(Z = 0,66) \approx 0,74683$$

Es decir aproximadamente 74683 defectos por millón de oportunidades.

#### 2.2.4. Análisis de estabilidad del proceso

- Gráficas para rangos

Uno de los aspectos a evaluar en un proceso además de su capacidad de cumplir con los requerimientos de calidad es verificar la estabilidad estadística, para ello existen gráficos de control para medias y para rangos.

A continuación se presenta el desarrollo del cálculo de los límites de un gráfico de control de rangos, tomando como referencia la zafra 2008-2009:

Tabla XIX. **Cálculo de media y rango medio de tiempos semanales de horas de puenteo, zafra 2011-2012**

| Semana | X     | R promedio(n-1) |
|--------|-------|-----------------|
| 1      | 38,97 | ---             |
| 2      | 11,85 | 27,12           |
| 3      | 15,97 | 4,12            |
| 4      | 17,80 | 1,83            |
| 5      | 34,63 | 16,83           |
| 6      | 14,63 | 20,00           |
| 7      | 3,27  | 11,37           |
| 8      | 10,73 | 7,47            |
| 9      | 2,67  | 8,07            |
| 10     | 31,30 | 28,63           |

Continuación de la tabla XIX.

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 11 | 15,80 | 15,50 |
| 12 | 8,32  | 7,48  |
| 13 | 52,57 | 44,25 |
| 14 | 72,18 | 19,62 |
| 15 | 20,87 | 51,32 |
| 16 | 21,33 | 0,47  |
| 17 | 13,70 | 7,63  |
| 18 | 66,13 | 52,43 |
| 19 | 95,12 | 28,98 |
| 20 | 42,45 | 52,67 |
| 21 | 24,28 | 18,17 |
| 22 | 14,75 | 9,53  |
| 23 | 24,78 | 10,03 |
| 24 | 51,58 | 26,80 |
| 25 | 6,50  | 45,08 |

Fuente: elaboración propia.

Datos:

$X=28.49$  horas

$\sigma=23.44$  horas

$R_{\text{promedio}}=21.48$  horas

$D_4=3.27$ , constante para subgrupo  $n=2$

$D_3= 0$ , constante para subgrupo  $n=2$

Límite superior= $D_4R_{\text{promedio}}$

Límite superior= $3.27 \times 23.44$

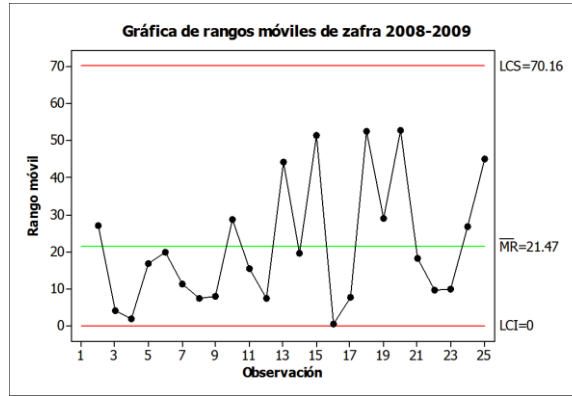
Límite superior= $70.16$

Límite inferior= $D_3R_{\text{promedio}}$

Límite inferior= $0 \times 23.44$

Límite inferior= $0$

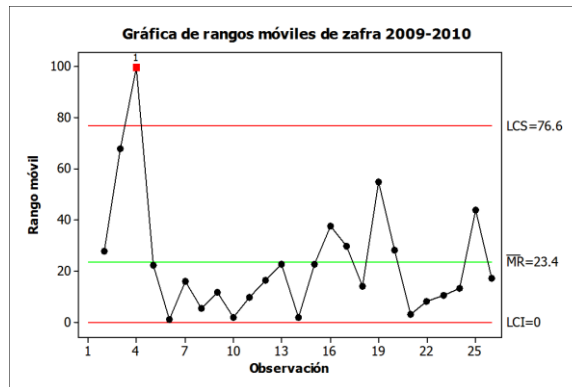
Figura 18. **Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009**



Fuente: elaboración propia.

Estadísticamente el proceso se mantuvo bajo control respecto al rango medio.

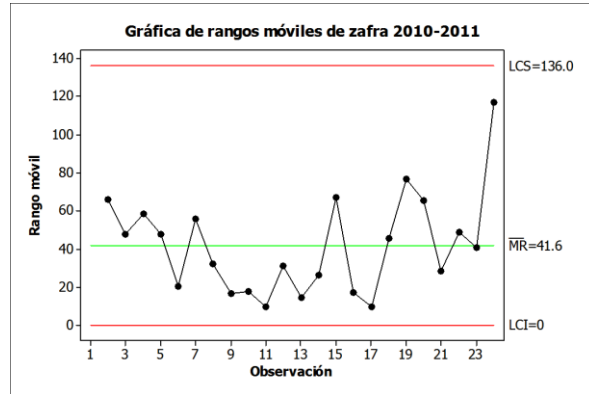
Figura 19. **Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009**



Fuente: elaboración propia.

Estadísticamente el proceso no se mantuvo bajo control respecto al rango medio.

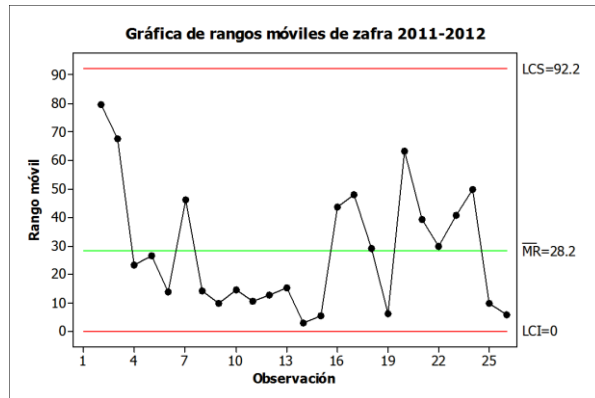
Figura 20. **Gráfica de rangos móviles, zafra 2008-2009**



Fuente: elaboración propia.

Estadísticamente el proceso se mantuvo bajo control respecto al rango medio.

Figura 21. **Gráfica de rangos móviles, zafra 2011-2012**



Fuente: elaboración propia.

Estadísticamente el proceso se mantuvo bajo control respecto al rango medio.

### 2.2.5. Resumen de capacidad del proceso

| Zafra     | índices de capacidad | Parámetros           |                        |                              | Sigma (largo plazo) | Defectos % | DPMO   |
|-----------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|------------|--------|
|           | Ppk                  | De forma ( $\beta$ ) | De escala ( $\theta$ ) | De localización ( $\delta$ ) |                     |            |        |
| 2008-2009 | -0,1                 | 1,299                | 30,97                  | 0                            | -0,66               | 0,75       | 746833 |
| 2009-2010 | -0,11                | 1,246                | 37,91                  | 0                            | -0,8                | 0,79       | 787832 |
| 2010-2011 | -0,18                | 1,386                | 61,31                  | 0                            | -1,29               | 0,90       | 900955 |
| 2011-2012 | -0,28                | 1,774                | 53,23                  | 0                            | -1,49               | 0,93       | 931303 |

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los gráficos P (regresión lineal), el histograma de ajuste de los datos a la Distribución de Weibull y análisis de capacidad para los tiempos semanales de puenteo para las zafras 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012, con sus respectivas interpretaciones. Los gráficos fueron generados con la ayuda del programa estadístico Minitab 16.

Antes de interpretar los resultados, otro concepto que cabe mencionar es el valor P;

- Definición del valor P

Es la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido (valor del estadístico calculado), suponiendo que la hipótesis nula es cierta. Es fundamental tener en cuenta que el valor p está basado en la aceptación de la hipótesis de partida (o hipótesis nula).



- Interpretación del valor P

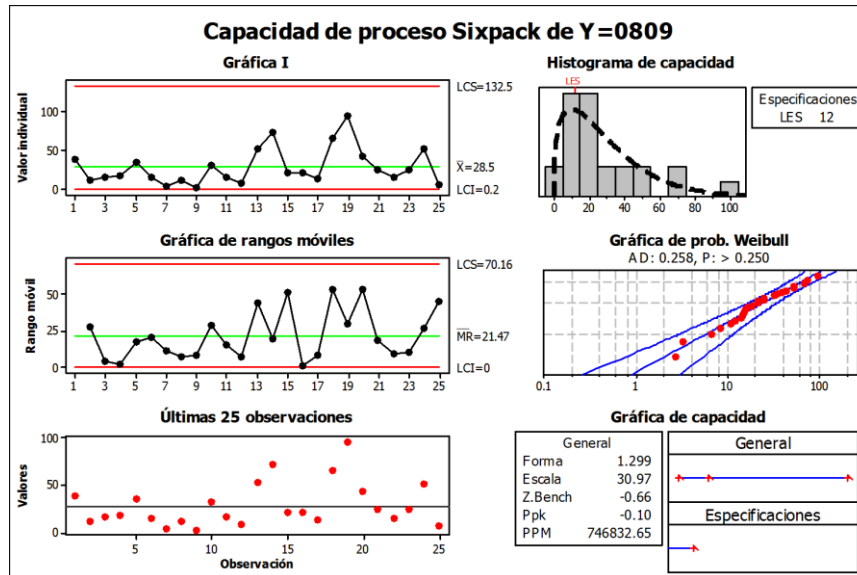
Se rechaza la hipótesis nula si el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 o 0,01. Es decir, el valor p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido si suponemos que la hipótesis nula es cierta. Si el valor p es inferior al nivel de significación nos indica que lo más probable es que la hipótesis de partida sea falsa.

Tabla XX. **Planteamiento de hipótesis para valor P**

| Hipótesis       | Descripción                                                                                                                                            |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_0 > 0,05$    | Los tiempos semanales de puenteo de molinos se ajustan normalmente a una Distribución de Weibull, con un nivel de significancia del 5%.                |
| $H_a \leq 0,05$ | Los tiempos semanales de puenteo de molinos se ajustan normalmente a una Distribución diferente a la de Weibull, con un nivel de significancia del 5%. |

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2008-2009



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2010.

En el histograma de capacidad se puede observar que el comportamiento si se ajusta a una Distribución de Weibull, teniendo como parámetros  $\beta=1,299$ ,  $\theta=30,97$  y  $\delta=0$  (se aclaró anteriormente la consideración para el parámetro de localización  $\theta$ , en el inciso 2.2.2.)

En la gráfica de probabilidad se observa que la línea de tendencia tiene una regresión lineal con un coeficiente de correlación muy bueno, igual a 0,97 (ver figura No. 7, del inciso 2.2.2.), dado que se ajusta a una distribución de Weibull su valor  $P > 0,05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

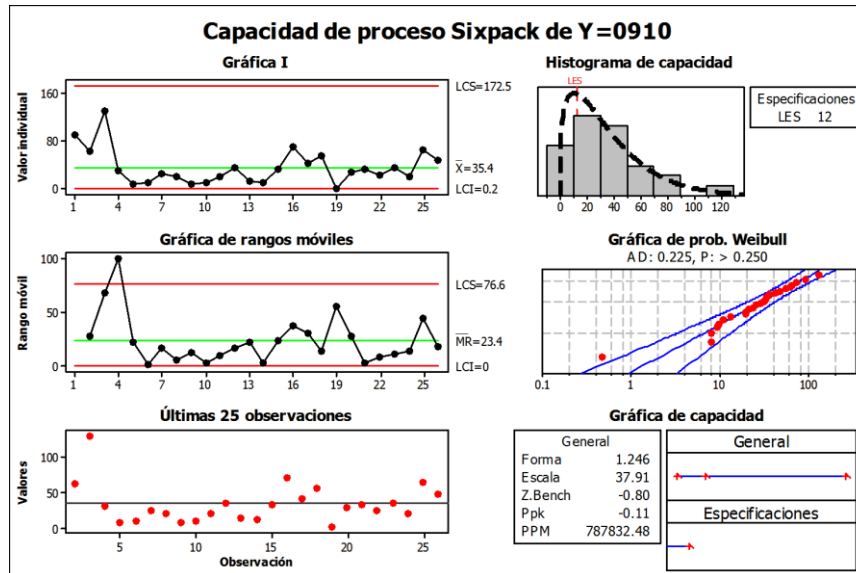
En la gráficas de control X-R, muestra que el proceso está estable o bajo control estadísticamente, es decir estable respecto a su media y rango, pero en terminos de estabilidad en el proceso está muy lejos de la meta que son doce horas como máximo de puenteo en el tándem de molinos.

En la gráfica de observaciones versus muestra, los valores tienen bastante variabilidad, se corrobora con el valor de la desviación estándar del proceso igual a 23,44 horas.

Respecto al análisis de capacidad del proceso a largo plazo, el índice de capacidad real del proceso es menor a 1,33, evidentemente no cumplieron con los requerimientos del cliente dado que se necesitan de mejoras para alcanzar una calidad satisfactoria.

Para el nivel de sigmas es igual a -0,66, eso quiere decir que se obtuvieron por cada millón de oportunidades de fallas o errores una probabilidad de aproximadamente 74,7% que los tiempos de punteo sean mayores a doce horas semanales, es decir a 747 000 fallas, por lo que comparando a una calidad seis sigma los defectos por millón de oportunidades son de 3,4 como máximo, evidentemente el proceso fue incapaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

Figura 23. Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2009-2010



Fuente: elaboración propia, con programa excel 2010.

En el histograma de capacidad se puede observar que el comportamiento si se ajusta a una Distribución de Weibull, teniendo como parámetros  $\beta=1,246$ ,  $\theta=37,91$  y  $\delta=0$ .

En la gráfica de probabilidad se observa que la línea de tendencia tiene una regresión lineal con un coeficiente de correlación muy bueno, igual a 0,92 (ver figura No. 8, del inciso 2.2.2), dado que se ajusta a una distribución de Weibull su valor  $P > 0,05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

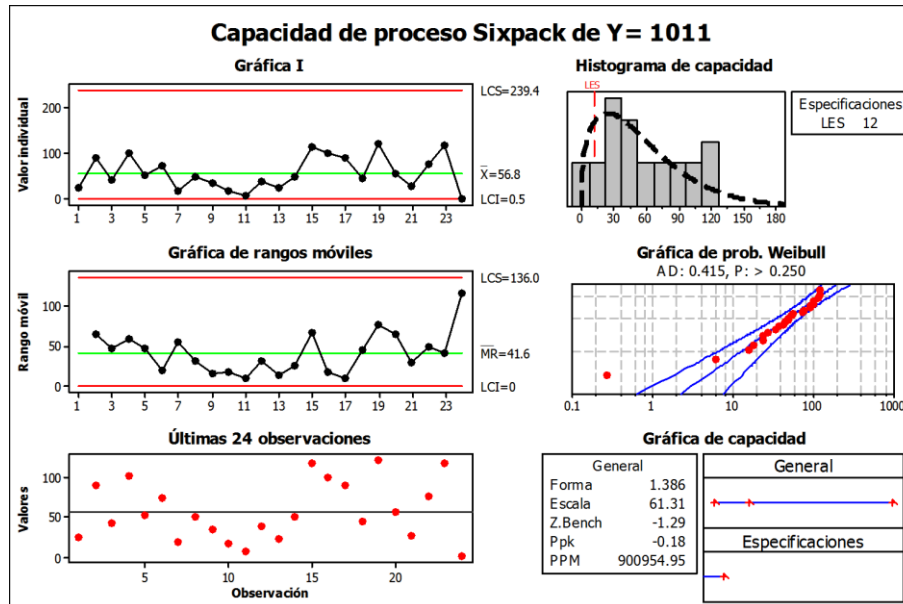
En la gráficas de control X-R, muestra que el proceso no está estable o bajo control estadísticamente, es decir no es estable respecto a su media y rango, porque existe una causa especial, pero en terminos de estabilidad en el proceso está muy lejos de la meta que son doce horas como máximo de puento en el tándem de molinos.

En la gráfica de observaciones versus muestra, los valores tienen un patrón cíclico, se corrobora con el valor de la desviación estándar del proceso igual a 29,26 horas.

Respecto al análisis de capacidad del proceso a largo plazo, el índice de capacidad real del proceso es menor a 1,33, evidentemente no cumplieron con los requerimientos del cliente dado que se necesitan de mejoras para alcanzar una calidad satisfactoria.

Para el nivel de sigmas es igual a -0,80, eso quiere decir que se obruvieron por cada millón de oportunidades de fallas o errores una probabilidad de aproximadamente 78,8% que los tiempos de puenteo sean mayores a doce horas semanales, es decir a 788 000 fallas, por lo que comparando a una calidad seis sigma los defectos por millón de oportunidades son de 3,4, como máximo, evidentemente el proceso fue incapaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

Figura 24. Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2010-2011



Fuente: elaboración propia, con programa de Excel 2010.

En el histograma de capacidad se puede observar que el comportamiento si se ajusta a una Distribución de Weibull, teniendo como parámetros  $\beta=1,386$ ,  $\theta=61,31$  y  $\delta=0$ .

En la gráfica de probabilidad se observa que la línea de tendencia tiene una regresión lineal con un coeficiente de correlación muy bueno, igual a 0,84 (ver figura No. 9, del inciso 2.2.2.), dado que se ajusta a una distribución de Weibull su valor  $P > 0,05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

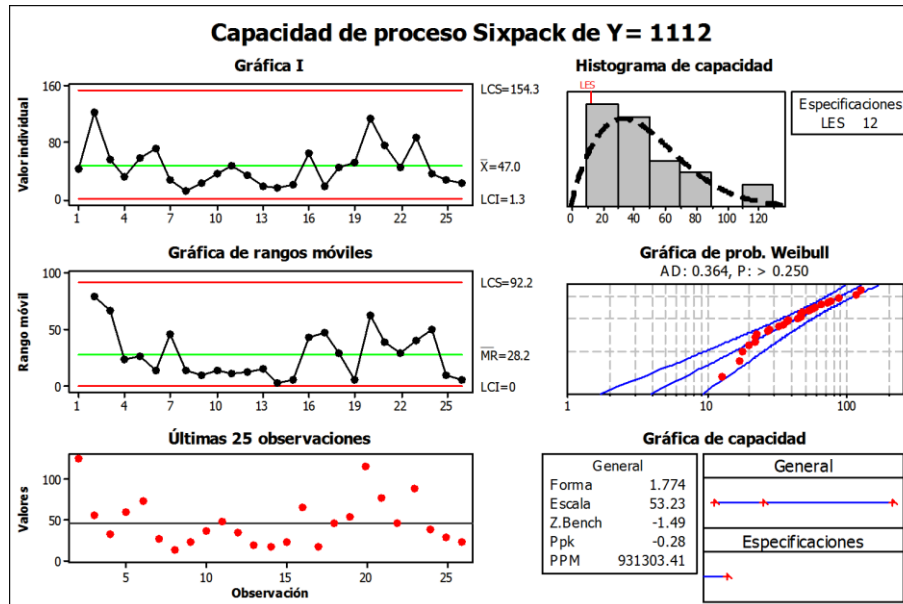
En las gráficas de control X-R, muestra que el proceso está estable o bajo control estadísticamente, es decir estable respecto a su media y rango, pero en términos de estabilidad en el proceso está muy lejos de la meta que son doce horas como máximo de puenteo en el tándem de molinos.

En la gráfica de observaciones versus muestra, los valores tienen bastante variabilidad, se corrobora con el valor de la desviación estándar del proceso igual a 36,94 horas.

Respecto al análisis de capacidad del proceso a largo plazo, el índice de capacidad real del proceso es menor a 1,33, evidentemente no cumplieron con los requerimientos del cliente dado que se necesitan de mejoras para alcanzar una calidad satisfactoria.

Así mismo para el nivel de sigmas es igual a -1,29, eso quiere decir que se obtuvieron por cada millón de oportunidades de fallas o errores una probabilidad de aproximadamente 90% que los tiempos de puesteo fueron mayores a doce horas semanales, es decir a 900 000 fallas, por lo que comparando a una calidad seis sigma los defectos por millón de oportunidades son de 3,4 como máximo, evidentemente el proceso fue incapaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

Figura 25. Gráfica de capacidad de proceso, zafra 2011-2012



Fuente: elaboración propia, con programa de Excel 2010.

En el histograma de capacidad se puede observar que el comportamiento si se ajusta a una Distribución de Weibull, teniendo como parámetros  $\beta=1,774$ ,  $\theta=53,23$  y  $\delta=0$ .

En la gráfica de probabilidad se observa que la línea de tendencia tiene una regresión lineal con un coeficiente de correlación muy bueno, igual a 0,94 (ver figura No. 10, del inciso 2.2.2.), dado que se ajusta a una distribución de Weibull su valor  $P > 0,05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

En la gráficas de control X-R, muestra que el proceso está estable o bajo control estadísticamente, es decir estable respecto a su media y rango, pero en terminos de estabilidad en el proceso está muy lejos de la meta que son doce horas como máximo de puenteo en el tándem de molinos.



En la gráfica de observaciones versus muestra, los valores tienen bastante variabilidad, se corrobora con el valor de la desviación estándar del proceso igual a 29,13 horas.

Respecto al análisis de capacidad del proceso a largo plazo, el índice de capacidad real del proceso es menor a 1,33, evidentemente no cumplen con los requerimientos del cliente dado que se necesitan de mejoras para alcanzar una calidad satisfactoria.

Para el nivel de sigmas es igual a -1,49, eso quiere decir que se tendrán por cada millón de oportunidades de fallas o errores una probabilidad de aproximadamente 93% que los tiempos de puenteo sean mayores a doce horas semanales, es decir a 930 000 fallas, por lo que comparando a una calidad seis sigma los defectos por millón de oportunidades son de 3.4, evidentemente el proceso es incapaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

Una vez conocida la naturaleza de los datos, se proceden a analizarlos estadísticamente, como se pudo comprobar los datos tienen un comportamiento ajustado a una Distribución de Weibull, es decir datos no normales y se concluye que la variable crítica de calidad es establemente incapaz, es decir un proceso tipo C.

### **2.3. Analizar**

En ésta fase se busca la causa(s) raíz del problema o las variables que están afectando la VCC seleccionada en la fase definir y además el problema es analizado estadísticamente.

### **2.3.1. Análisis de X's vitales de variable crítica de calidad**

Las variables X's son variables de entrada que impactan en la  $f(x)$  que para éste caso es el tiempo de puenteo en molinos, en pocas palabras las X's son las causas que afectan directamente a los atributos de calidad o variable(s) de calidad.

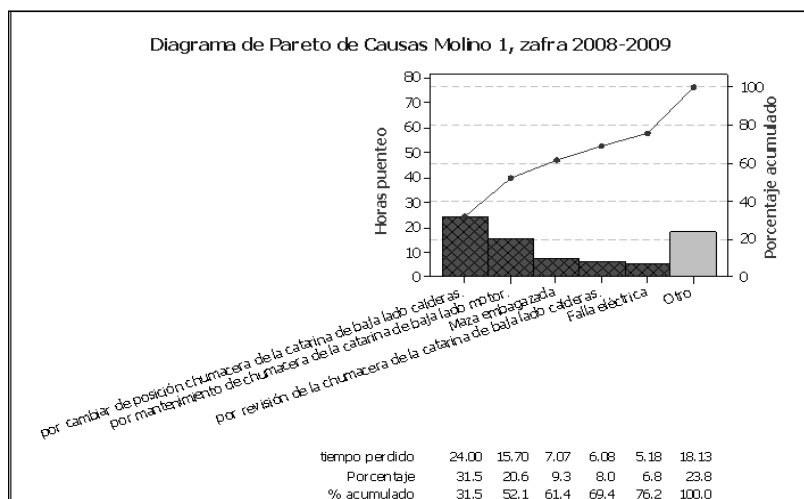
A continuación se presentan los Diagramas de Pareto que fueron de utilidad para conocer el 20% de las causas que provocaron el 80% de los puentes en molinos y a la vez se empleó la matriz de modos y efectos de falla para los componentes de los molinos principalmente afectados directamente por las causas identificadas.

#### **2.3.1.1. Diagramas de Pareto de causas por molino de tiempo de puenteo**

Para el análisis de los elevados tiempos de puenteo se elaboraron Diagramas de Pareto por cada molino del tándem durante las cuatro zafas pasadas. Ya que como objetivo principal del Diagrama de Pareto es caracterizar las causas triviales de las prioritarias o principales, otra justificación de la aplicación del Diagrama de Pareto para éste análisis es la regla 80-20, que es el principio de que el 20% de las causas son las que generan el 80% de los problemas o efectos.

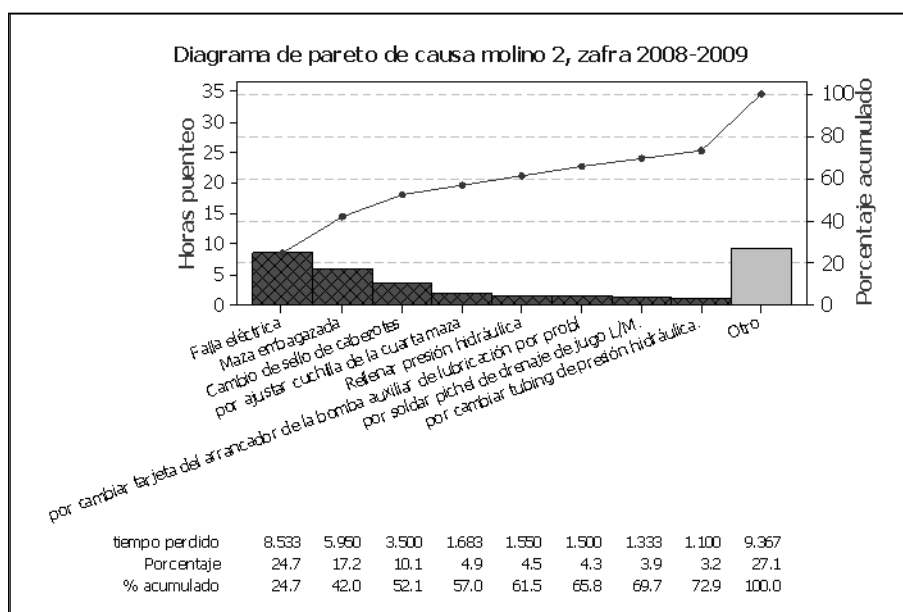
Para fines de interpretación de las causas por cada Diagrama de Pareto, se aplicó una textura cuadriculada de color gris oscuro para definir el 20% de las causas que ocasionó el 80% de los puentes de cada molino.

Figura 26. Diagrama de Pareto, causas molino 1, zafra 2008-2009



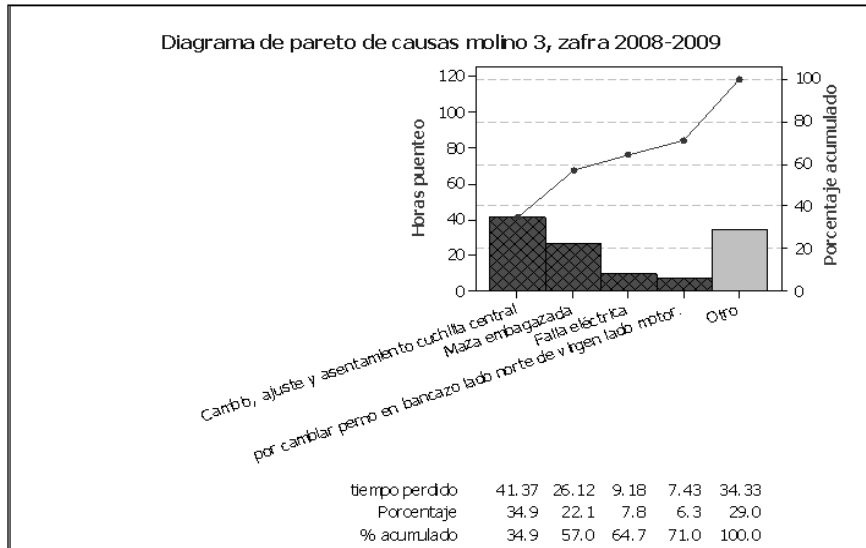
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2008-2009



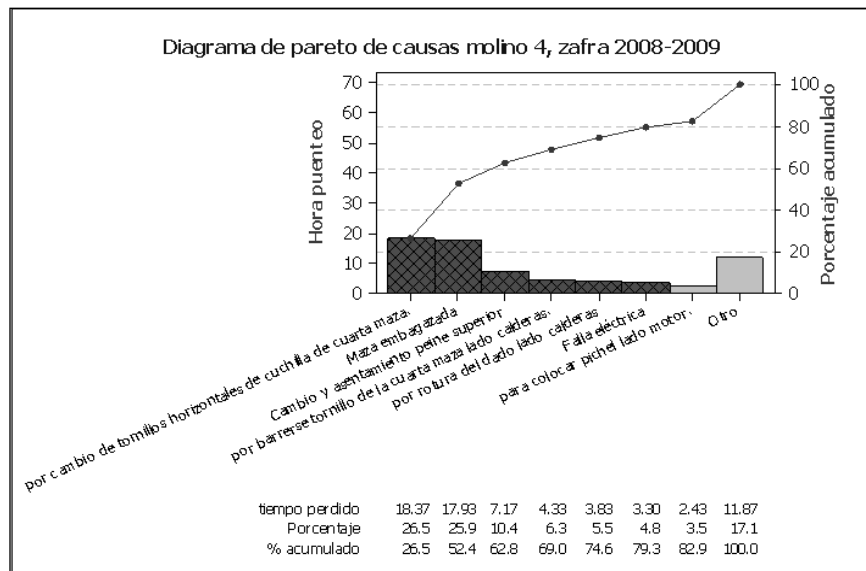
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2008-2009



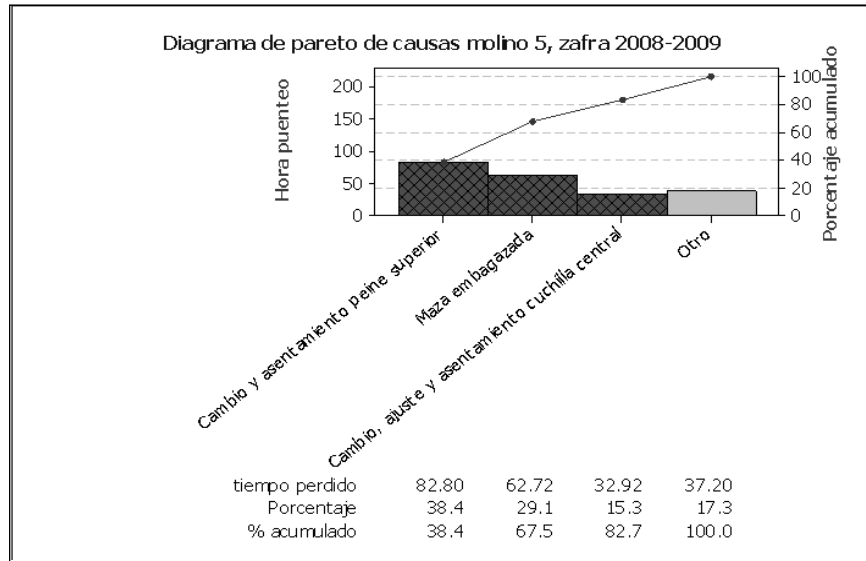
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2008-2009



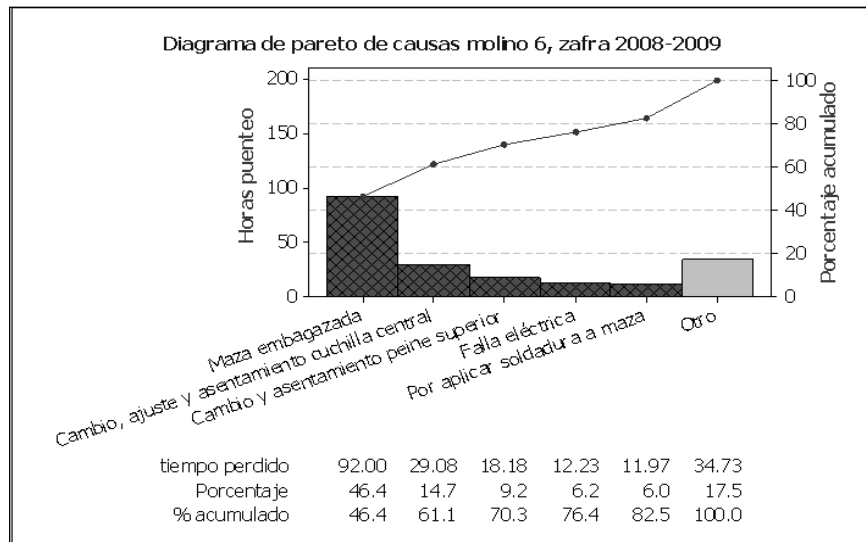
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafra 2008-2009



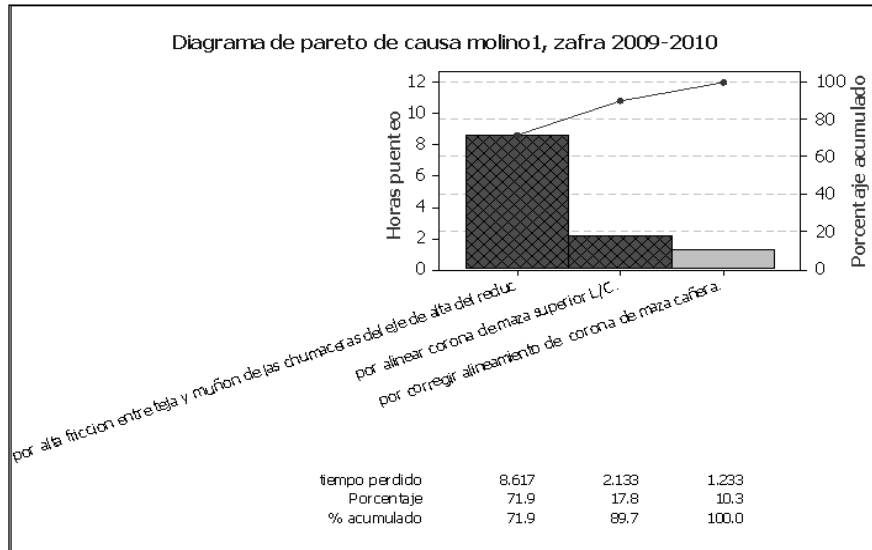
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafra 2008-2009



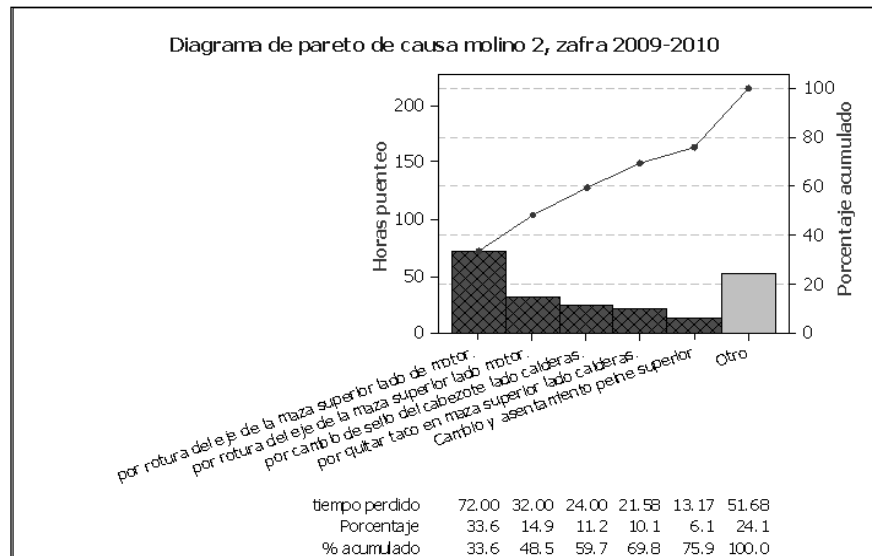
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafra 2009-2010



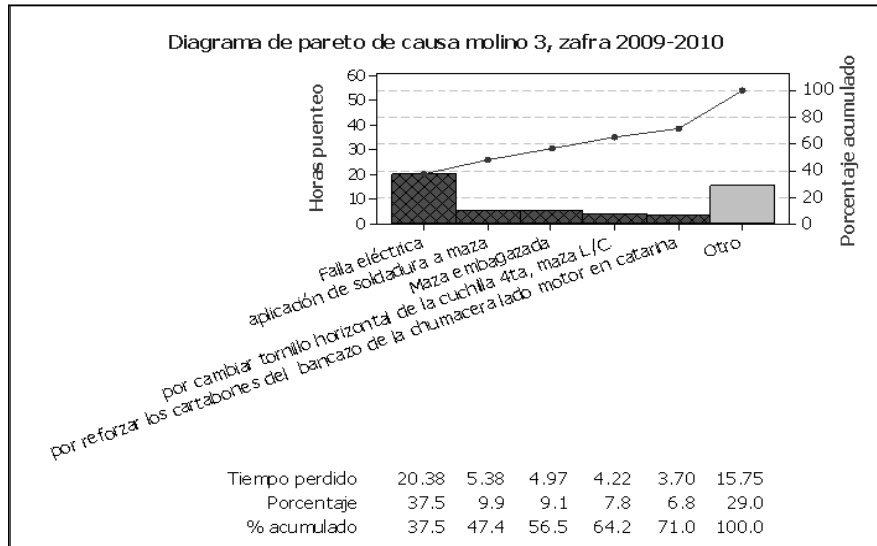
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafra 2009-2010



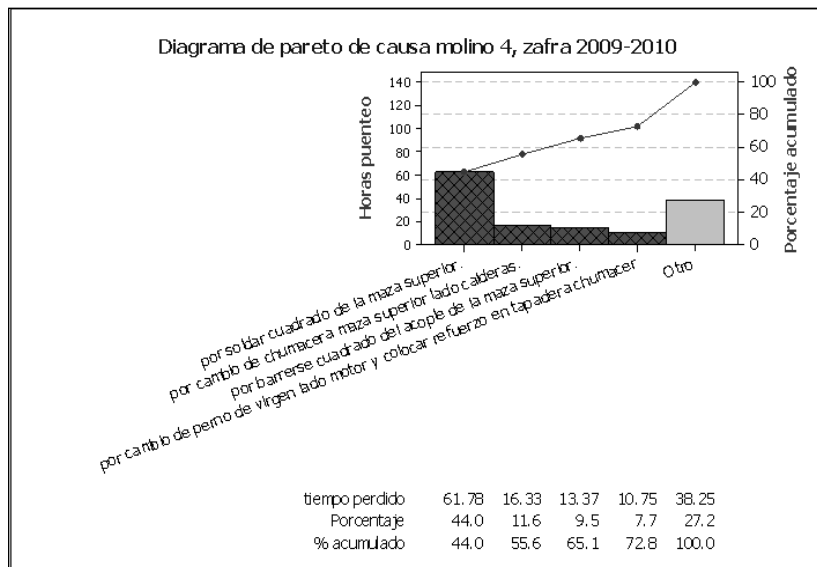
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafra 2009-2010



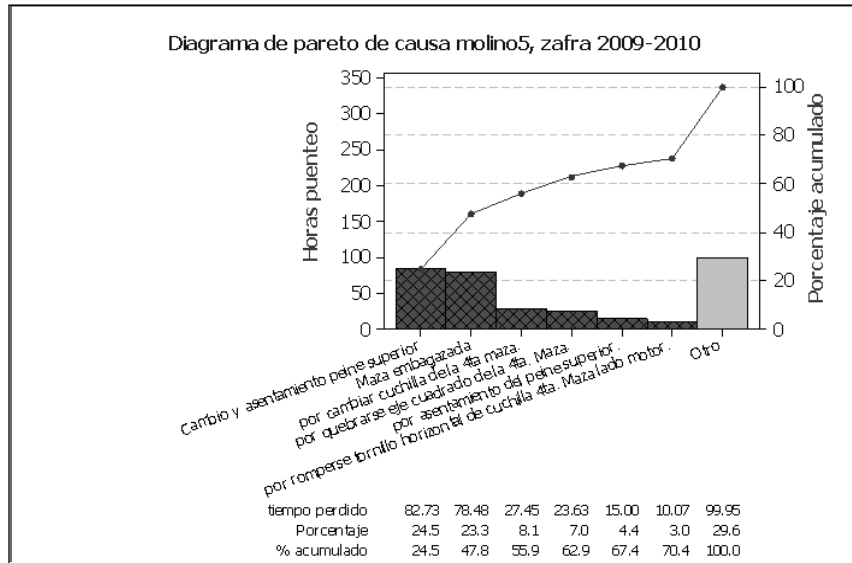
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafra 2009-2010



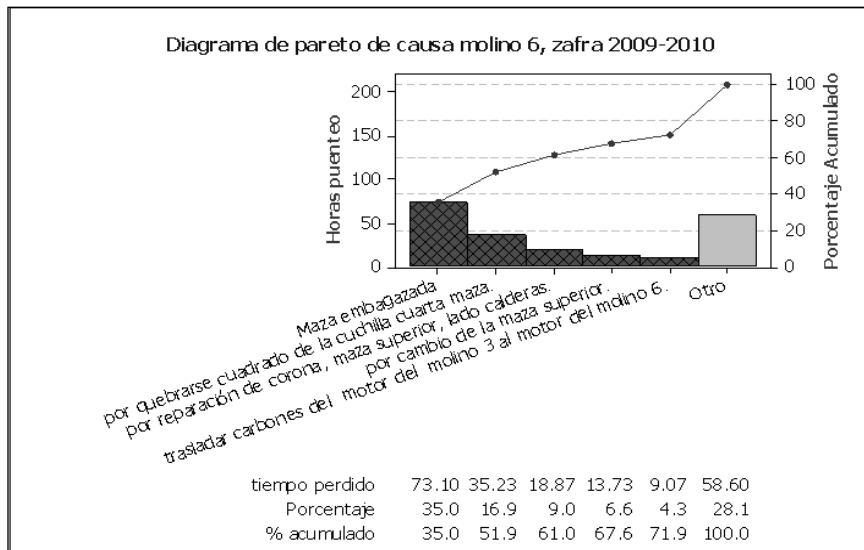
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2009-2010



Fuente: elaboración propia.

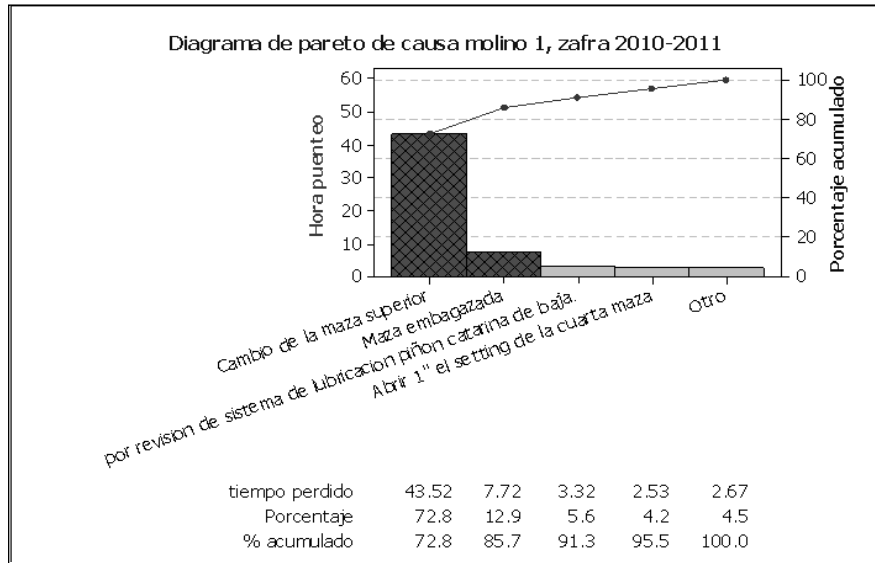
Figura 37. Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2009-2010



Fuente: elaboración propia.

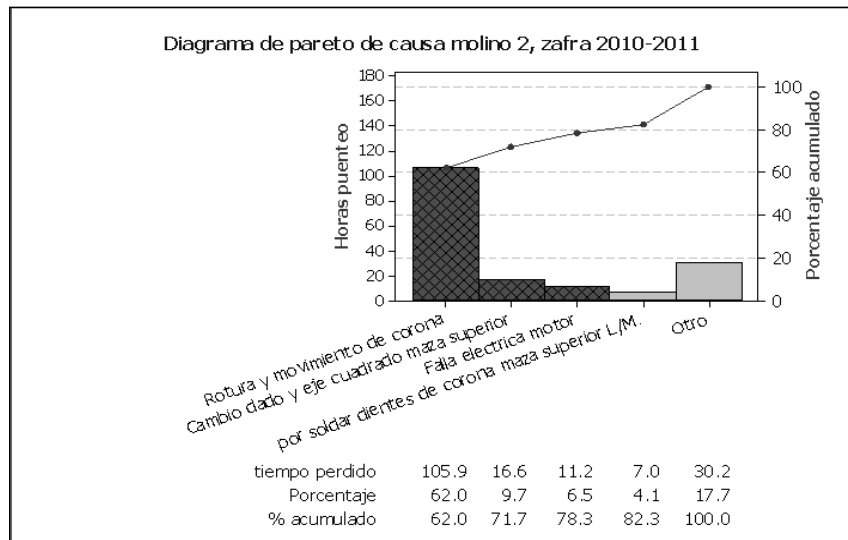


Figura 38. Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafra 2010-2011



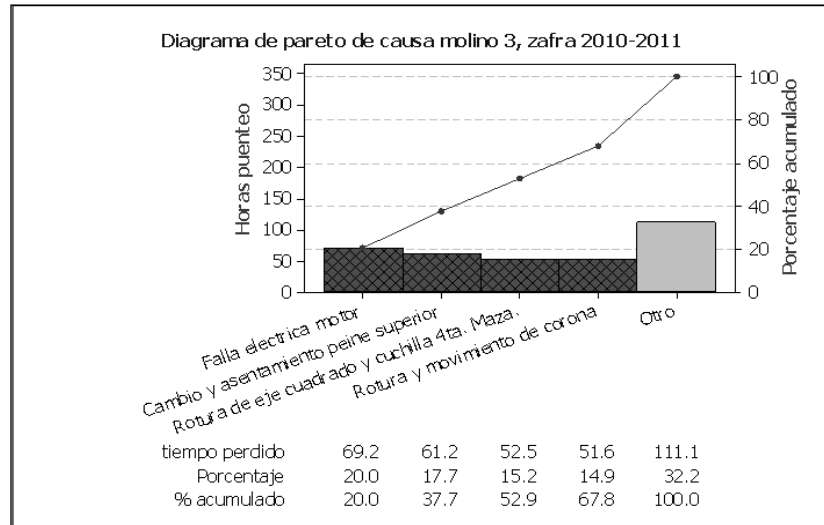
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafra 2010-2011



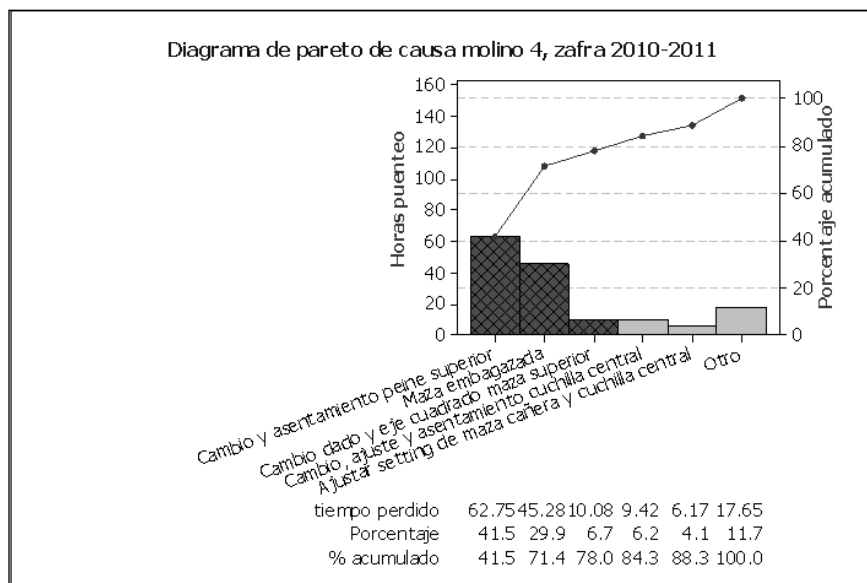
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafras 2010-2011**



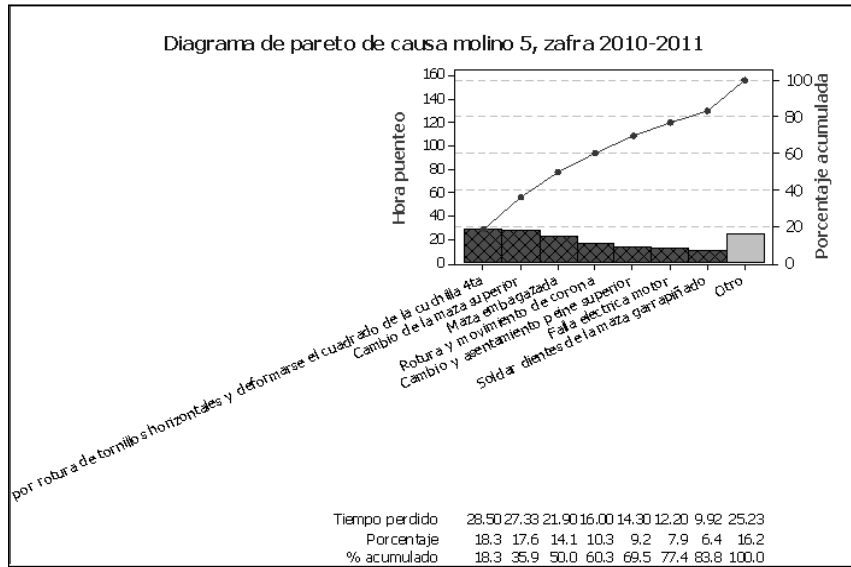
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafras 2010-2011**



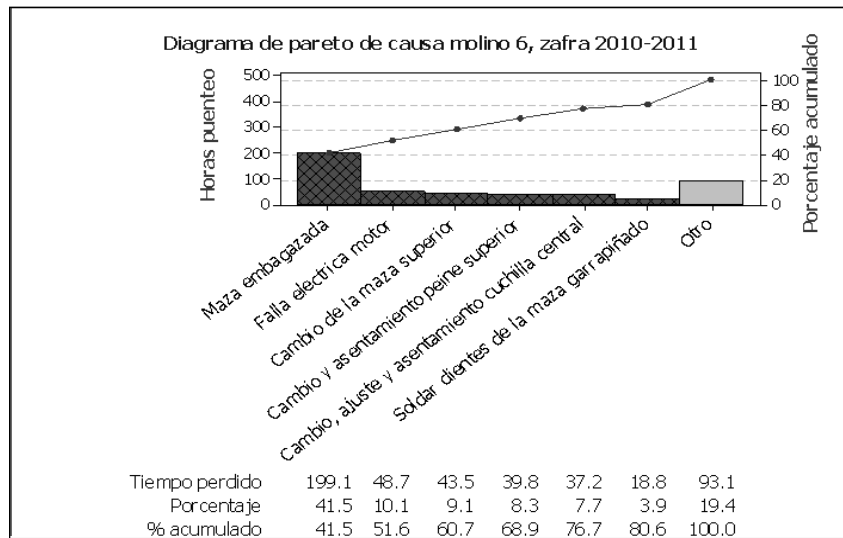
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafras 2010-2011



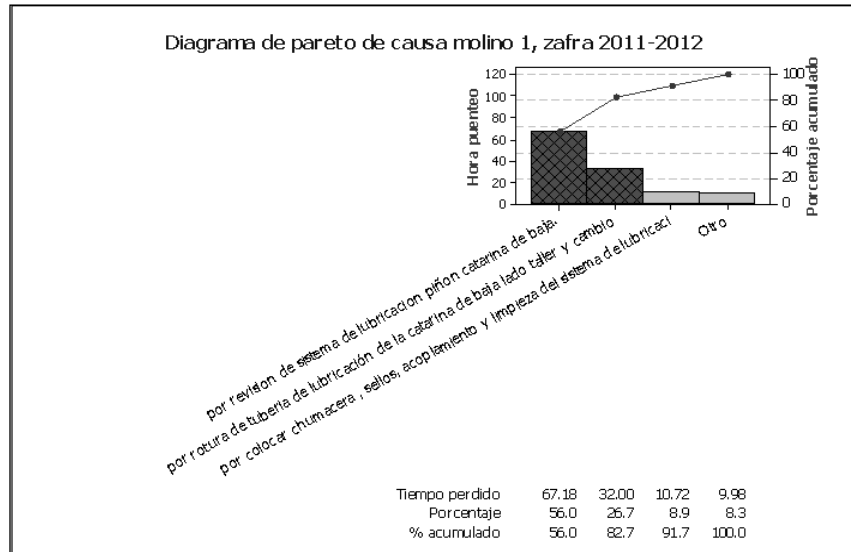
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafras 2010-2011



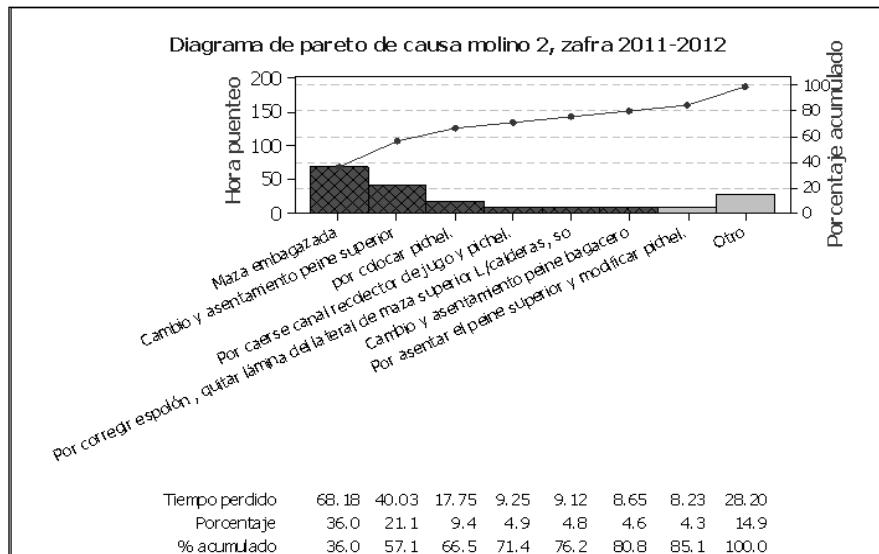
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Diagrama de Pareto, causas de molino 1, zafras 2011-2012



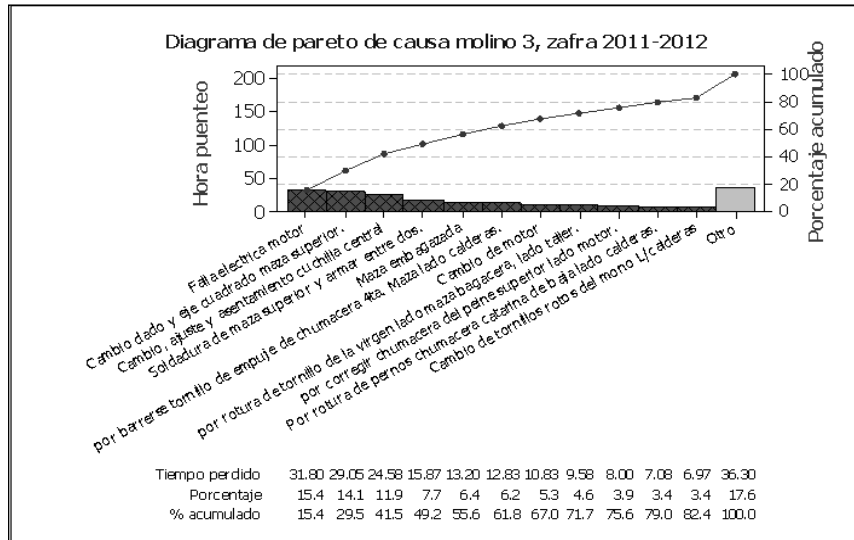
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Diagrama de Pareto, causas de molino 2, zafras 2011-2012



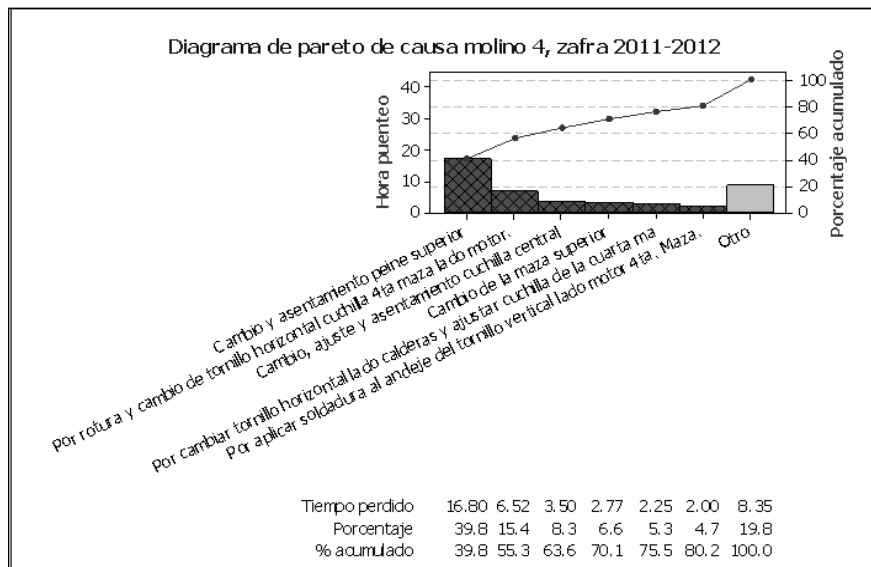
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Diagrama de Pareto, causas de molino 3, zafra 2011-2012



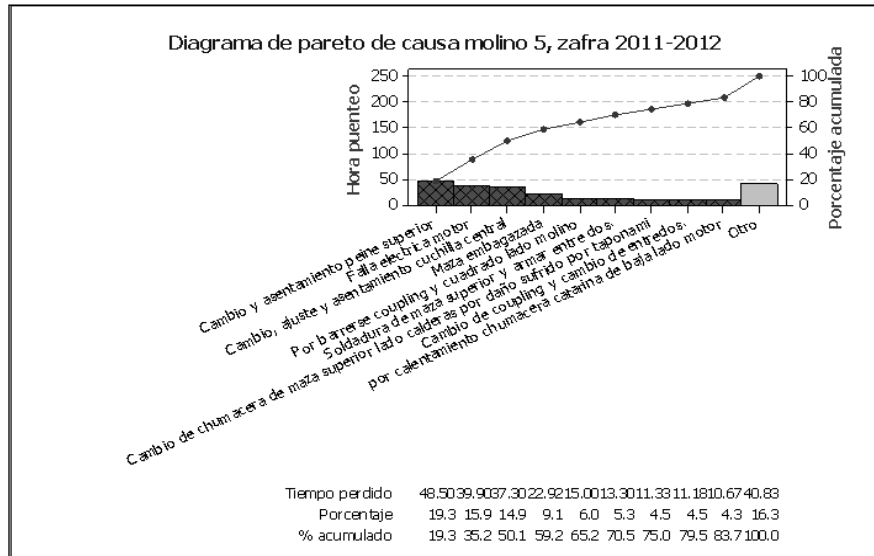
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Diagrama de Pareto, causas de molino 4, zafra 2011-2012



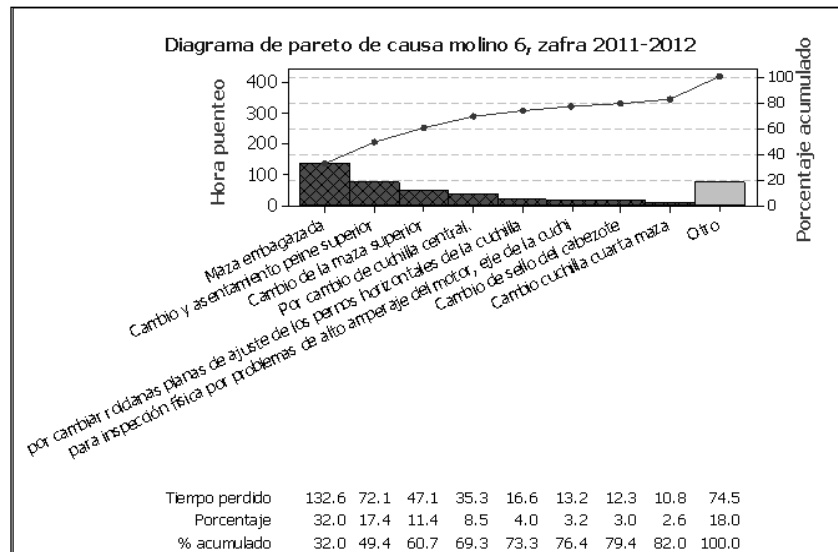
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Diagrama de Pareto, causas de molino 5, zafra 2011-2012



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Diagrama de Pareto, causas de molino 6, zafra 2011-2012

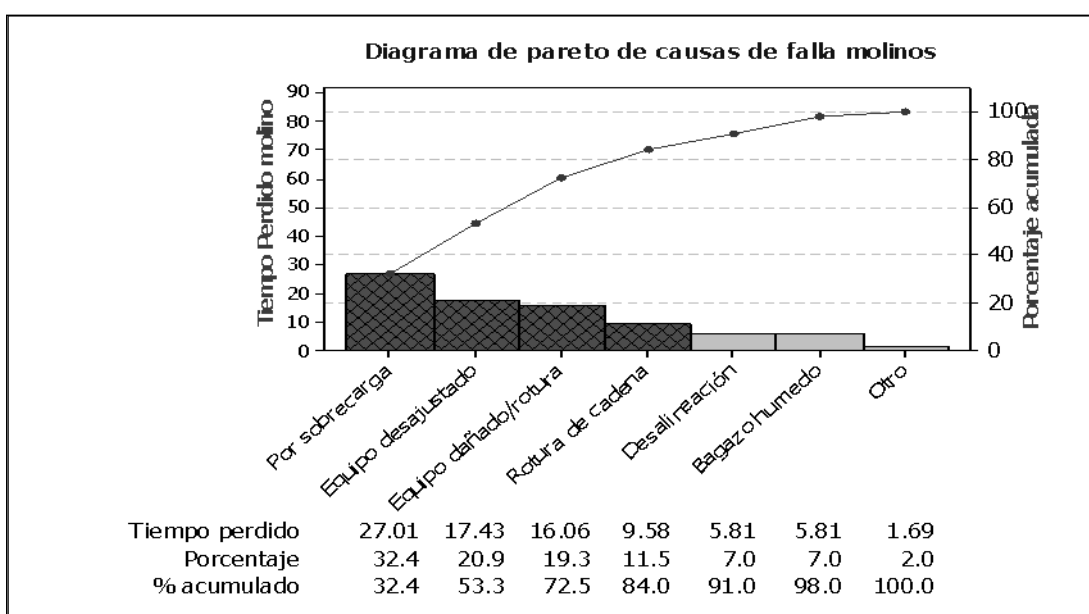


Fuente: elaboración propia

### 2.3.1.2. Diagramas de Pareto de fallas en los equipos del tándem de molino

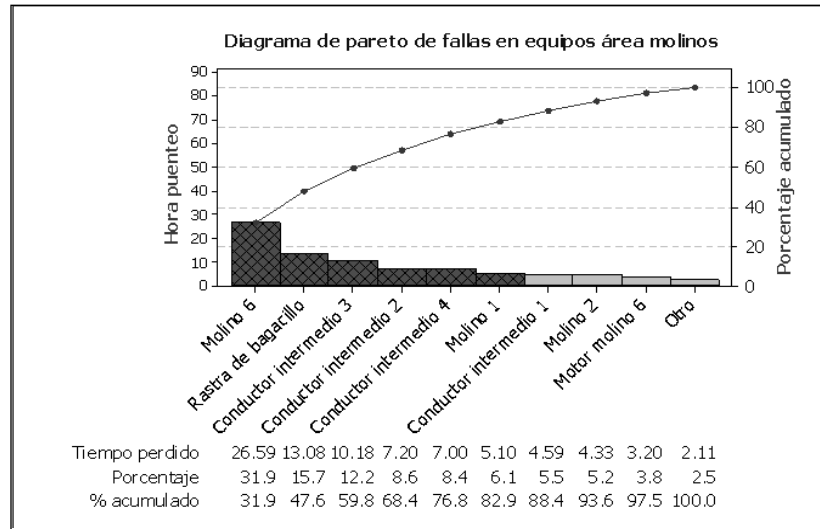
En la zafra 2011-2012, se registraron los tiempos de puenteo según falla en molinos, las fallas en los equipos del proceso de extracción de jugo de caña y los motivos de las fallas en los molinos que provocaron tiempo perdido por puentear molinos. Nuevamente en los Diagramas para fines de interpretación se aplicó la textura cuadrículada de color gris oscuro para visualizar el 20% de las causas que provocaron el 80% de los problemas en el área de molinos de la empresa.

Figura 50. Diagrama de Pareto de causas de fallas en molinos



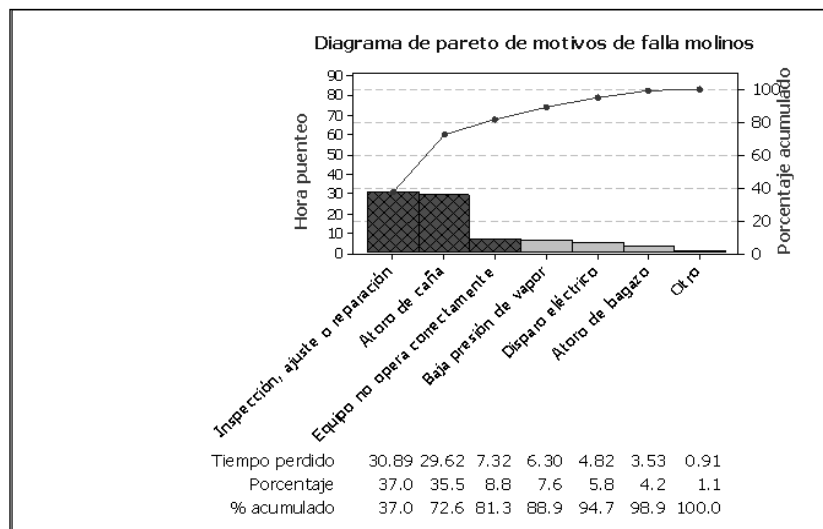
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Diagrama de Pareto de equipos que fallaron con más frecuencia en el área de molinos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Diagrama de Pareto de motivos de fallas en molinos**



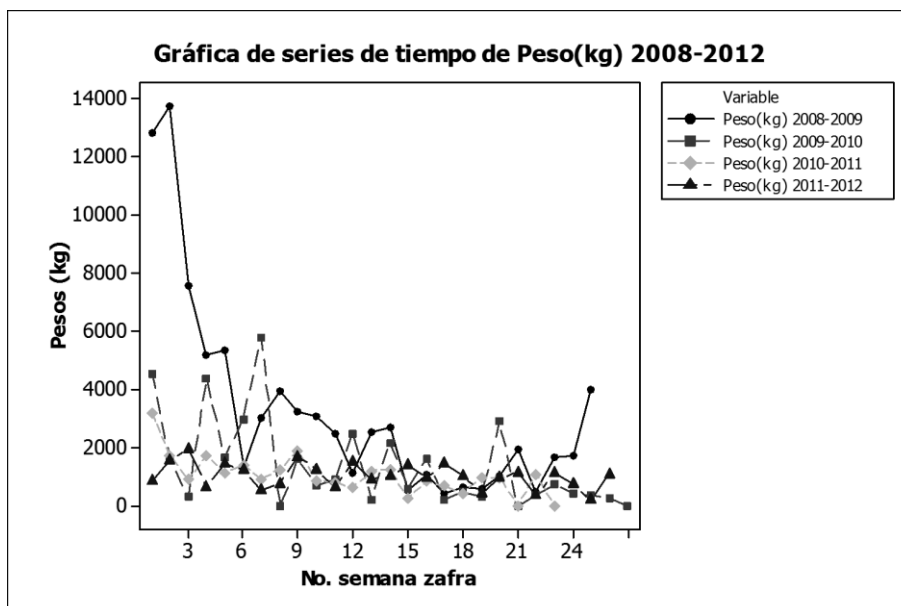
Fuente: elaboración propia.



### 2.3.1.3. Gráficas de pesos de piedras entrantes a ingenio

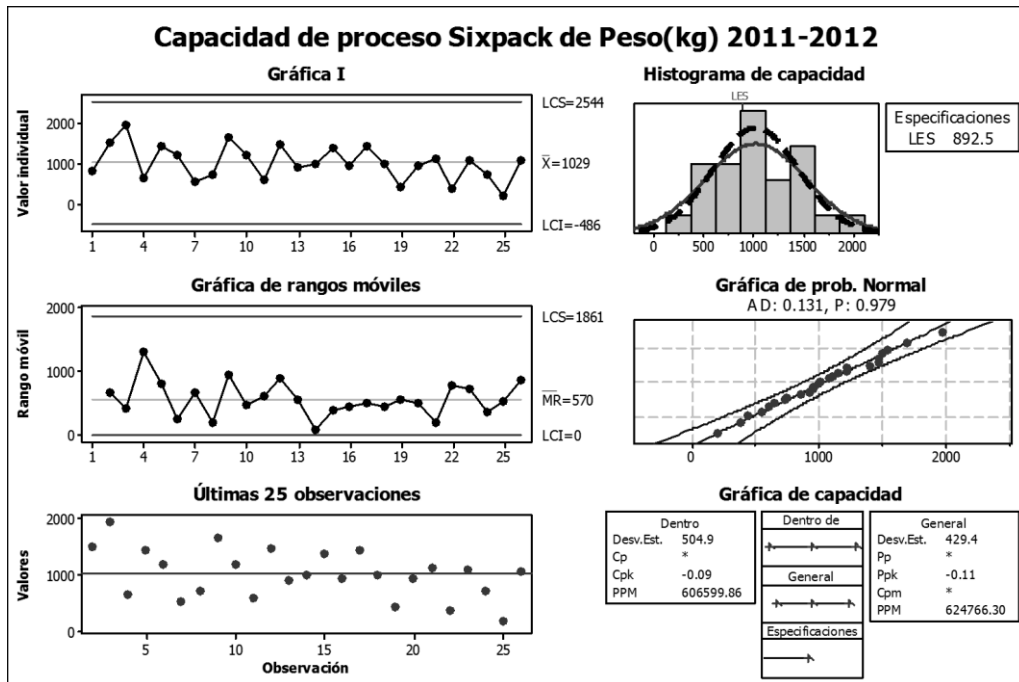
En las cuatro zafras analizadas en cuanto al peso de piedras que entran al ingenio, se puede observar notablemente como ha mejorado el ingreso de menos piedras, las mismas se transportan en la caña, eso quiere decir que en el área de campo han tenido una mejor calidad en cuanto al corte de la caña, dado que en la zafra 2011-2012 se mantuvo estable el ingreso de piedras y además por debajo de los valores de peso respecto a las anteriores zafras.

Figura 53. Gráfica de pesos de piedras entrantes a ingenio



Fuente: elaboración propia, con programa de Excel 2010.

Figura 54. **Gráfica de capacidad de proceso para pesos de piedras entrantes a ingenio, zafra 2011-2012**



Fuente: elaboración propia, con programa de Excel 2010.

Datos:

$$\mu=1\ 029\ \text{kg}$$

$$\sigma=504,9\ \text{kg}$$

Capacidad de molienda diaria=8 500 Ton

LES (límite de especificación superior) negociado con proveedor

=15kg de piedra por cada 1 000 toneladas de caña

$$=15\ \text{kg}/1\ 000\ \text{Ton} * 8\ 500\ \text{t (por día)} * 7\ (\text{días por semana}) = 892,5\ \text{kg}$$

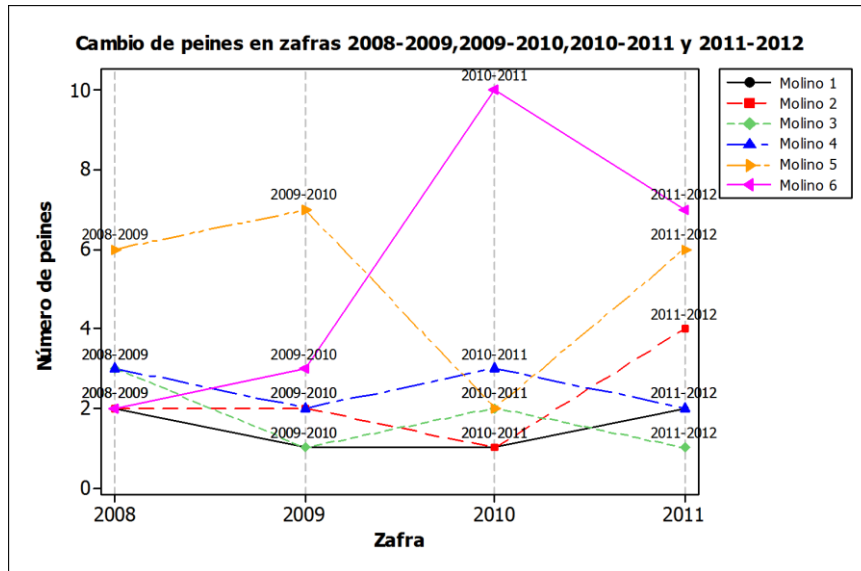
Los datos se ajustan a una distribución normal, sin embargo en cuanto a calidad se tiene un índice de capacidad real del proceso -0.09, eso significa que el ingreso de piedras al ingenio aún no cumple con los requerimientos del

cliente, que para éste caso el cliente directo es el proceso de extracción de jugo de caña, la importancia de que la caña se entregue en buenas condiciones además de extraer un alto porcentaje de sacarosa, es que entre más limpia ingrese la caña en cuanto a piedras y otros materiales extraños, menos probabilidad va existir en que se dañen los componentes de los molinos, uno de los componentes más afectados de un molino son las mazas, por lo tanto una maza dañada deja de extraer porcentaje de sacarosa, representa tiempo perdido por puenteo en dado caso se presenten sholcos (se rompen los dientes de las mazas) o algún otro problema que amerite mantenimiento correctivo, menos recuperación de azúcar, por lo tanto menos azúcar a envasar, y menos venta de energía.

#### **2.3.1.4. Gráficas de cambio de peines superiores y cuchillas centrales en los molinos**

A continuación se presentan las gráficas de serie de tiempo en cuanto al cambio de peines superiores y cuchillas centrales en los molinos, los cuales han representado componentes que han provocado tiempo de puenteo altos. (ver figura 55).

Figura 55. **Gráfica de cambio de peines en últimas cuatro zafras**



Fuente: elaboración propia.

Una de las causas que provocar mayor tiempo de puenteo como se vio en los Diagramas de Pareto del inciso 2.2.1.2. fue el cambio de peines superiores. En las últimas zafras se presentaron frecuentes cambios de peines superiores en los seis molinos del tándem, los cambios de los mismos representaron 574,53 horas de tiempo perdido como parte de puenteos en los molinos.

En la gráfica se puede observar que el molino No.6 y el molino No.5 son los que han ocasionado más frecuencia de cambio de peines superiores, el motivo de cambiar los peines superiores es porque sufren desgastes los dientes, los desgastes se deben a que sirven como limpiadores de los dientes de las mazas, además de eso se ha inspeccionado que la calidad del material de la soldadura y de la cuchilla no cumplen con estándares de calidad en cuanto a soportar temperaturas altas y abrasión por el jugo que constantemente pasa por los componentes peine superior y maza superior.

### 2.3.2. Matriz de análisis de modos y efecto de fallas (AMEF)

Con base a las X's determinadas por el Diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa de segundo nivel, utilizados para determinar X's vitales, se profundizaron las causas de las fallas de las partes o componentes de los molinos por medio de la matriz AMEF.

A continuación se presenta la matriz AMEF aplicada al área de molinos, discutida y validada por el personal involucrado del proyecto, la misma se ponderó bajo criterios de frecuencia, detección y tiempo de puenteo, los criterios predefinidos para el proceso de extracción de jugo de caña en la empresa son:

Tabla XXI. Criterios para ponderación de matriz AMEF

| Tiempo puenteo          | Severidad | Criterio                            | Frecuencia | Criterio                                        | Detección |
|-------------------------|-----------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|-----------|
| Paro >3 hrs             | 10        | Ocurre diariamente                  | 10         | Se revisa solamente hasta en la reparación      | 10        |
| Paro >2.5 hrs           | 9         | Ocurre más de una vez por semana    | 9          | Se revisa una vez durante la zafra              | 9         |
| Paro >2 hrs             | 8         | Ocurre sólo una vez por semana      | 8          | Se revisa 2 veces por zafra                     | 8         |
| Paro >1 hrs             | 7         | Ocurre cada 2 semanas               | 7          | Se revisa una vez por mes                       | 7         |
| Paro >45 min            | 6         | Ocurre cada mes                     | 6          | Se revisa cada catorcena                        | 6         |
| Paro >30 min            | 5         | Ocurre 3 veces por zafra            | 5          | Se revisa semanalmente en ruta de inspección    | 5         |
| Paro >15 min            | 4         | Ocurre 2 veces por zafra            | 4          | Se revisa una vez por día en ruta de inspección | 4         |
| Paro >10 min            | 3         | Ocurre una vez por zafra            | 3          | Se revisa varias veces en el día                | 3         |
| Paro >5 min             | 2         | Ocurrió alguna vez                  | 2          | Está en el sistema de control                   | 2         |
| No causa tiempo perdido | 1         | No ha ocurrido, pero podría ocurrir | 1          | Tiene protección automática                     | 1         |

Fuente: Comité Seis Sigma, CSA.

Tabla XXII. Matriz AMEF aplicada al área de molinos

| Equipo  | Componente              | Modo Potencial de Falla | Efectos Potenciales de la Falla | Severidad | Causas Potenciales                                                          | Frecuencia | Controles actuales                                                      | Detección | IPR | Acciones Recomendadas                                                                           | Responsable                |
|---------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Molinos | Coronas                 | Rotura                  | Puentear molino                 | 8         | Fatiga                                                                      | 10         | Programa de aplicación de soldadura                                     | 8         | 640 |                                                                                                 | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Puente cuchilla central | Rotura de pernos        | Propicia desajuste y vibración  | 8         | Mala calidad material (dureza)                                              | 10         | Control de dureza                                                       | 5         | 400 |                                                                                                 | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Camisa maza             | Rotura Dientes          | Humedad del bagazo              | 8         | mala preparación de la superficie de diente al momento de la reconstrucción | 6          | Ruta de revisión física, control de la aplicación de la soldadura       | 8         | 384 |                                                                                                 | Jefe de proceso E.J.       |
| Molinos | Dados                   | Rotura                  | Puentear molino                 | 6         | Inestabilidad de molienda (debajo del setting)                              | 8          | Mantenimiento preventivo de lubricación durante las paradas programadas | 8         | 384 | Programa lubricación, calidad de material (dureza, inspección visual) y análisis de ultrasonido | Supervisor de proceso E.J. |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                    |                 |   |                                                                |   |                                                                                                                 |   |     |                                                                                                                                                       |                                                  |
|---------|------------------------------|--------------------|-----------------|---|----------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Molinos | Eje de cuchilla cuarta maza  | Rotura             | Puentear molino | 8 | Por rotura de los tornillos horizontales que sirven de soporte | 6 | Revisión diaria                                                                                                 | 7 | 336 | Mejorar calidad de material                                                                                                                           | Supervisor de proceso E.J.                       |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Rotura de engranes | Puentear molino | 8 | Rotura de engranes                                             | 4 | Cada reparación análisis de magnetoscopia                                                                       | 8 | 256 |                                                                                                                                                       | Jefe de proceso E.J.                             |
| Molinos | Chumaceras                   | Desgaste           | Puentear molino | 8 | Alta temperatura por falta de lubricación                      | 5 | Revisión del sistema de lubricación, revisión de las líneas de lubricación, colocación de agua de enfriamiento. | 6 | 240 | Control estricto en la lubricación en operación y revisión minuciosa en los días de mantenimiento. Y como plan b, tener otras entradas de lubricación | Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                |                |                       |   |                        |   |                                                                 |   |     |                                                             |                                                                              |
|---------|----------------|----------------|-----------------------|---|------------------------|---|-----------------------------------------------------------------|---|-----|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Molinos | Camisa maza    | Rotura Dientes | Humedad del bagazo    | 8 | Fatiga                 | 6 | Reconstrucción de dientes en paros por mantenimiento programado | 5 | 240 | Mejorar técnicas y materiales de soldadura en la reparación | Supervisor de proceso E.J.                                                   |
| Molinos | Peine superior | Desgaste       | Puentear molino       | 5 | Juego axial de la maza | 6 | No se cuenta con una reparación en los muñones                  | 8 | 240 | Inspecciones y reparaciones necesarias para mejorar         | Supervisor de proceso E.J.                                                   |
| Molinos | Coronas        | Rotura         | Baja eficiencia       | 8 | Calidad material del   | 6 | Ruta de revisión física                                         | 4 | 192 | Verificación visual                                         | Supervisor de proceso E.J., Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |
| Molinos | Eje maza       | Grieta         | Posibilidad de rotura | 8 | Fatiga                 | 3 | Control de temperatura                                          | 8 | 192 |                                                             | Supervisor de proceso E.J.                                                   |



Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                                        |                 |    |                                 |   |                                                                 |    |     |                                                             |                            |
|---------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------|----|---------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------|----|-----|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Molinos | Camisa maza                  | Rotura Dientes                         | Baja eficiencia | 6  | Fatiga                          | 6 | Reconstrucción de dientes en paros por mantenimiento programado | 5  | 180 | Mejorar técnicas y materiales de soldadura en la reparación | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Peine superior               | Desgaste                               | Puentear molino | 6  | Calidad de soldadura de la maza | 6 | En cada parada de mantenimiento se rectifica la soldadura       | 5  | 180 | Mejorar la aplicación y materiales de la soldadura          | Jefe de proceso E.J.       |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Rotura en couplings (entrada y salida) | Puentear molino | 10 | Falta de engrasamiento          | 2 | Mantenimiento programado                                        | 8  | 160 | Lubricar en la parada programada                            | Lubricadores               |
| Molinos | Chumaceras                   | Desgaste                               | Calentamiento   | 8  | Mala calidad de material        | 2 | Cambio de proveedor                                             | 10 | 160 |                                                             | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Sistema de lubricación                 | Puentear molino | 4  | Rotura de tubería               | 5 | Alarma en el sistema                                            | 8  | 160 |                                                             | Lubricador de turno        |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                                                  |   |                                     |   |     |                                                                    |                            |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|--------------------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-----|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Sistema de lubricación | Puentear molino | 4 | Rotura de tubería                                | 5 | Alarma en el sistema                | 8 | 160 |                                                                    | Lubricador de turno        |
| Molinos | Coronas                      | Rotura                 | Puentear molino | 4 | Desajustes                                       | 8 | Dar ajuste antes de armar           | 5 | 160 |                                                                    | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Camisa maza                  | Desgaste               | Baja eficiencia | 6 | Calidad del material                             | 5 | Inspecciones del material entregado | 5 | 150 | Verificar la calidad de los materiales que utilizan las fundidoras | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Camisa maza                  | Rotura Dientes         | Baja eficiencia | 6 | Mala preparación al momento de la reconstrucción | 5 | Supervisión del trabajo             | 5 | 150 | Mejorar técnicas y materiales de soldadura en la reparación        | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Botellones                   | Pérdida Presión        | Puentear molino | 6 | Rotura de tubing por mala ubicación              | 5 | Inspecciones diarias                | 5 | 150 | Buscar otra ubicación                                              | Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Peine bagacero               | Desgaste               | Puentear molino | 5 | Metales dentro de los dientes de la maza         | 6 | Inspecciones visuales               | 5 | 150 | Inspecciones                                                       | Supervisor de proceso E.J. |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |            |                 |   |                                                                   |   |                                           |   |     |                                                                                                    |                                                                              |
|---------|------------------------------|------------|-----------------|---|-------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------|---|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Molinos | Eje de cuchilla cuarta maza  | Rotura     | Puentear molino | 6 | Por metal que no sea detectado y se trabe en un diente de la maza | 4 | Revisión diaria                           | 6 | 144 | Limpieza más seguida del electroimán                                                               | Supervisor de turno.                                                         |
| Molinos | Peine superior               | Desgaste   | Puentear molino | 7 | Rotura de los brazos de soporte                                   | 4 | Se modifica cada vez que pierde la ángulo | 5 | 140 | Revisión en sitio de la colocación                                                                 | Supervisor de proceso E.J.                                                   |
| Molinos | Cuchilla cuarta maza         | Rotura     | Puentear molino | 4 | Fuga manguera                                                     | 7 | Revisión diaria                           | 5 | 140 | Cambiar mangueras                                                                                  | Mecánicos                                                                    |
| Molinos | Coronas                      | Rotura     | Puentear molino | 8 | Tiempo de vida del material                                       | 2 | Ser más preciso en las inspecciones       | 8 | 128 | Control estricto en la lubricación en operación, y revisión minuciosa en los días de mantenimiento | Supervisor de proceso E.J., Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |
| Molinos | Reductor/Transmisión de baja | Chumaceras | Puentear molino | 8 | Rotura de topes en housing (caja)                                 | 2 | Inspecciones y control de temperatura     | 8 | 128 |                                                                                                    | Lubricador de turno                                                          |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                         |                |                 |   |                                                    |   |                                                     |   |     |                                                          |                                                  |
|---------|-------------------------|----------------|-----------------|---|----------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------|---|-----|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Molinos | Coronas                 | Desgaste       | Puentear molino | 8 | Tiempo de vida del material                        | 2 | Ser más preciso en las inspecciones                 | 8 | 128 |                                                          | Supervisor de proceso E.J.                       |
| Molinos | Puente cuchilla central | Desgaste       | Puentear molino | 5 | Vibración                                          | 5 | Ruta de revisión física                             | 5 | 125 | Mayor espesor donde va la cuchilla y modificar el diseño | Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos   | Fuga en sellos | Puentear molino | 5 | Rotura o desgaste de sellos                        | 5 | Inspecciones diarias                                | 5 | 125 | Mantener molienda estable                                | Coordinadores de turno                           |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos   | Fuga en sellos | Puentear molino | 5 | Por rotura de tornillos que provoque desalineación | 5 | Revisión diaria                                     | 5 | 125 | Revisión diaria                                          | Encargado de molinos                             |
| Molinos | Eje de peines           | Rotura         | Puentear molino | 5 | Por rotura de tornillos que provoque desalineación | 5 | Revisión diaria                                     | 5 | 125 | Revisión diaria                                          | Encargado de molinos                             |
| Molinos | Dados                   | Rotura         | Puentear molino | 5 | Mayor flotación                                    | 3 | Definir parámetros desde el sistema de la flotación | 8 | 120 |                                                          | Supervisor de turno                              |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                        |                          |                 |    |                             |   |                                                                                     |    |     |                                                                                           |                                 |
|---------|------------------------|--------------------------|-----------------|----|-----------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Molinos | Dados                  | Rotura                   | Puentear molino | 5  | Desajuste entre caras       | 3 | Reajustar                                                                           | 8  | 120 |                                                                                           | Jefe taller mecánico            |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos  | Fuga en sellos           | Puentear molino | 7  | Molida reducida             | 5 | Revisión de presión en manómetros, y revisión física en el circuito de lubricación. | 3  | 105 | Verificar la calidad del material a usar, evaluar el estado de todas las líneas de tubing | Supervisor de proceso E.J.      |
| Molinos | Variador de frecuencia | Componentes electrónicos | Puentear molino | 10 | humedad                     | 1 | Mantenimiento preventivo en reparación                                              | 10 | 100 | Verificaciones por mantenimiento                                                          | Supervisor de electricidad      |
| Molinos | Dados                  | Rotura                   | Puentear molino | 5  | Mucho torque (sobrecarga)   | 4 | Definir parámetros desde el sistema de la flotación                                 | 5  | 100 |                                                                                           | Jefe de proceso E.J.            |
| Molinos | Botellones             | Pérdida Presión          | Puentear molino | 5  | Mal estado de las mangueras | 5 | Revisión diaria                                                                     | 4  | 100 | Cambiar mangueras                                                                         | Encargado de molinos de molinos |
| Molinos | Eje de peines          | Rotura                   | Puentear molino | 5  | Durabilidad del material    | 5 | Revisión cada 8 días                                                                | 4  | 100 | Revisión diaria                                                                           | Supervisor de proceso E.J.      |
| Molinos | Eje de peines          | Deformación              | Puentear molino | 5  | Durabilidad del material    | 5 | Revisión cada 8 días                                                                | 4  | 100 | Revisión diaria                                                                           | Supervisor de proceso E.J.      |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                                                                     |   |                                  |   |     |                                       |                                 |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------|---|-----|---------------------------------------|---------------------------------|
| Molinos | Eje de peines                | Deformación            | Puentear molino | 5 | Por metal que no sea detectado y se trabaje en un diente de la maza | 4 | Revisión diaria                  | 5 | 100 | Inspecciones más profundas            | Encargado de molinos de molinos |
| Molinos | Eje de cuchilla cuarta maza  | Deformación            | Puentear molino | 4 | Durabilidad del material                                            | 5 | Buscar otra opción de materiales | 5 | 100 | Hacer análisis de calidad de material | Supervisor de proceso E.J.      |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Rotura de engranes     | Puentear molino | 8 | Rotura de engranes                                                  | 2 | Ruta de Inspección               | 6 | 96  |                                       | Supervisor de turno             |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Sistema de lubricación | Puentear molino | 6 | Rotura de tubería                                                   | 2 | Ruta de Inspección               | 8 | 96  |                                       | Supervisor de turno             |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Sistema de lubricación | Puentear molino | 4 | Rotura de tubería                                                   | 3 | Alarma en el sistema             | 8 | 96  |                                       | Lubricador de turno             |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                                           |                 |    |                                                 |   |                                                   |   |    |                                            |                                                  |
|---------|------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|----|-------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------|---|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Sistema de lubricación                    | Puentear molino | 5  | Taponamiento en tuberías                        | 3 | Monitoreo de temperatura                          | 6 | 90 | Colocar filtro de aceite                   | Supervisor de proceso E.J.                       |
| Molinos | Dados                        | Desgaste (barrido entre el eje y el dado) | Puentear molino | 5  | Falta de lubricación                            | 3 | Lubricar en paradas programadas                   | 6 | 90 |                                            | Lubricador de turno y encargado molinos          |
| Molinos | Eje de maza                  | Rotura                                    | Puentear molino | 10 | Calidad del material                            | 1 | Pedir certificado de calidad del eje al proveedor | 8 | 80 | No comprar sino hay certificado de calidad | Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza      | Desgaste                                  | Puentear molino | 8  | Rotura de los tornillos que sujetan la cuchilla | 2 | Ruta de inspección y ajuste                       | 5 | 80 |                                            | Encargado de molinos                             |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                          |   |                                   |   |    |                             |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|--------------------------|---|-----------------------------------|---|----|-----------------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Sistema de lubricación | Puentear molino | 5 | Taponamiento en tuberías | 2 | Control de temperatura            | 8 | 80 | Lubricador de turno         |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Chumaceras             | Puentear molino | 5 | Asentamiento             | 2 | Supervisión del trabajo terminado | 8 | 80 | Supervisor del área         |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Chumaceras             | Puentear molino | 5 | Alineamiento             | 2 | Supervisión del trabajo terminado | 8 | 80 | Supervisor del área         |
| Molinos | Dados                        | Rotura                 | Puentear molino | 5 | Fatiga                   | 2 | control de dureza                 | 8 | 80 | Coordinador de proceso E.J. |
| Molinos | Dados                        | Rotura                 | Puentear molino | 5 | Calidad de material      | 2 | control de dureza                 | 8 | 80 | Coordinador de proceso E.J. |



Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                    |                 |   |                                                               |   |                                                   |   |    |                                                                                                  |                                                     |
|---------|------------------------------|--------------------|-----------------|---|---------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------|---|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza      | Desgaste           | Puentear molino | 5 | Rotura de pernos horizontales y verticales de soporte del eje | 3 | Ruta de inspección y ajuste                       | 5 | 75 | Chequeo del diseño, revisión del ángulo de operación y revisión de calidad del material          | Supervisor de proceso E.J.,<br>Jefe taller mecánico |
| Molinos | Cuchilla central             | Desgaste           | Puentear molino | 5 | Desajuste                                                     | 3 | Revisión física, y cambio de material defectuoso. | 5 | 75 | Revisión de ajustes, llevar registro de la revisión para que quede documentada y tener repuestos | Supervisor de proceso E.J.,<br>Jefe taller mecánico |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Rotura de engranes | Puentear molino | 6 | Falta de lubricación                                          | 2 | Control de temperatura                            | 6 | 72 |                                                                                                  | Supervisor de turno                                 |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                        |   |                                                        |   |    |                     |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|------------------------|---|--------------------------------------------------------|---|----|---------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Sistema de lubricación | Puentear molino | 4 | Fuga de aceite         | 2 | Ruta de Inspección                                     | 8 | 64 | Supervisor de turno |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Sistema de lubricación | Puentear molino | 4 | Presión baja           | 2 | Control de temperatura                                 | 8 | 64 | Supervisor de turno |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Rodamientos            | Puentear molino | 4 | Lubricante contaminado | 2 | Control de temperatura a cada año se analiza el aceite | 8 | 64 | Supervisor de turno |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Chumaceras             | Puentear molino | 4 | Fuga en sellos         | 2 | Inspecciones y control de temperatura                  | 8 | 64 | Lubricador de turno |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                             |                |                 |   |                                                                |   |                     |   |    |                                      |                                  |
|---------|-----------------------------|----------------|-----------------|---|----------------------------------------------------------------|---|---------------------|---|----|--------------------------------------|----------------------------------|
| Molinos | Cabezotes Hidráulicos       | Fuga en sellos | Puentear molino | 4 | Desajuste entre el pistón y camisa                             | 4 | Cuando hay fugas    | 4 | 64 | Por fatiga                           | Mecánicos y Encargado de molinos |
| Molinos | Eje de peines               | Deformación    | Puentear molino | 4 | Por rotura de tornillos que provoque desalineación             | 4 | Revisión diaria     | 4 | 64 | Inspecciones profundas               | Encargado de molinos             |
| Molinos | Eje de cuchilla central     | Rotura         | Puentear molino | 4 | Por rotura de tornillos que provoque desalineación             | 4 | Revisión diaria     | 4 | 64 | Inspecciones en estructuras          | Mecánicos                        |
| Molinos | Eje de cuchilla cuarta maza | Deformación    | Puentear molino | 4 | Por rotura de los tornillos horizontales que sirven de soporte | 4 | Rutas de inspección | 4 | 64 | Evitar estancamientos en los molinos | Operador de molinos              |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                                       |   |                                            |   |    |                                                                                                          |                                                        |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|---------------------------------------|---|--------------------------------------------|---|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Molinos | Peine superior               | Desgaste               | Puentear molino | 5 | Error en maquinado (ángulo de diente) | 2 | Ruta de revisión física                    | 5 | 50 | Chequeo del diseño, revisión del ángulo de operación, revisión de calidad del material y tener repuestos | Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico       |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Sistema de lubricación | Puentear molino | 5 | Filtros dañados                       | 1 | Control de temperatura                     | 8 | 40 |                                                                                                          | Lubricador de turno                                    |
| Molinos | Eje entre dos                | Desgaste               | Puentear molino | 4 | Desgaste en soldadura                 | 1 | Cambiar tipo de electrodo a más resistente | 9 | 36 | Programa lubricación, calidad de material (dureza, inspección visual) y análisis de ultrasonido          | Supervisor de proceso E.J., Supervisor de proceso E.J. |
| Molinos | Botellones                   | Perdida Presión        | Puentear molino | 4 | Por fatiga                            | 3 | revisiones                                 | 3 | 36 | Mejorar el ajuste                                                                                        | Supervisor de proceso E.J.                             |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                             |                |                 |   |                                                                   |   |                                                   |   |    |                            |                      |
|---------|-----------------------------|----------------|-----------------|---|-------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------|---|----|----------------------------|----------------------|
| Molinos | Eje de peines               | Rotura         | Puentear molino | 4 | Por rotura de brazos que lo soportan                              | 3 | inspección diaria                                 | 3 | 36 | Inspección diaria          | Mecánicos            |
| Molinos | Eje de peines               | Deformación    | Puentear molino | 4 | Por rotura de brazos que lo soportan                              | 3 | inspección diaria                                 | 3 | 36 | Inspección diaria          | Mecánicos            |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos       | Fuga en sellos | Puentear molino | 3 | Por metal que no sea detectado y se trabe en un diente de la maza | 3 | Revisión cada 8 días.                             | 4 | 36 | Asegurar tornillería       | Mecánicos            |
| Molinos | Eje de peines               | Rotura         | Puentear molino | 3 | Por metal que no sea detectado y se trabe en un diente de la maza | 3 | Revisión cada 8 días.                             | 4 | 36 | Asegurar tornillería       | Mecánicos            |
| Molinos | Eje de cuchilla cuarta maza | Rotura         | Puentear molino | 3 | Durabilidad del material                                          | 3 | Revisión física, y cambio de material defectuoso. | 4 | 36 | Inspecciones más profundas | Encargado de molinos |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                        |                 |   |                   |   |                         |   |    |                        |                             |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------|---|-------------------|---|-------------------------|---|----|------------------------|-----------------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Rodamientos            | Puentear molino | 8 | Fatiga de equipo  | 1 | Control de temperatura  | 4 | 32 |                        | Supervisor de turno         |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Sistema de lubricación | Puentear molino | 4 | Filtros dañados   | 1 | Ruta de Inspección      | 8 | 32 |                        | Supervisor de turno         |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos        | Fuga en sellos         | Puentear molino | 4 | Fallo en fittings | 4 | inspecciones diarias    | 2 | 32 | Revisar periódicamente | Mecánicos                   |
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Rotura de eje          | Puentear molino | 2 | Desalineamiento   | 2 | supervisar              | 8 | 32 |                        | Supervisor de proceso E. J. |
| Molinos | Reductor/transmisión de alta | Rotura de engranes     | Puentear molino | 6 | Cojinetes         | 1 | Revisión de lubricación | 5 | 30 | Revisión física        | Supervisor de proceso E. J. |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                         |          |                 |   |                                           |   |                                                                  |   |    |              |                      |
|---------|-------------------------|----------|-----------------|---|-------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------|---|----|--------------|----------------------|
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Desgaste | Puentear molino | 5 | Mala calidad material                     | 1 | Ruta de inspección y ajuste                                      | 5 | 25 |              | Jefe de proceso E.J. |
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Desgaste | Puentear molino | 5 | Ubicación o ángulo de operación           | 1 | Se ajusta con la consideraciones de X empresa durante el montaje | 5 | 25 |              | Jefe de proceso E.J. |
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Rotura   | Puentear molino | 5 | Diseño                                    | 1 | Se ajusta con la consideraciones de X empresa durante el montaje | 5 | 25 |              | Jefe de proceso E.J. |
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Rotura   | Puentear molino | 5 | Desajuste de los tornillos o rotura       | 1 | Se ajustó con una camisa más gruesa                              | 5 | 25 |              | Encargado de molinos |
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Rotura   | Puentear molino | 5 | Metales dentro de los dientes de la maza. | 1 | Inspecciones visuales                                            | 5 | 25 | Inspecciones | Encargado de molinos |

Continuación de la tabla XXII.

|         |                              |                    |                 |   |                         |   |                         |    |    |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                  |
|---------|------------------------------|--------------------|-----------------|---|-------------------------|---|-------------------------|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Molinos | Reductor/transmisión de baja | Rotura de engranes | Puentear molino | 4 | Falta de lubricación    | 1 | Control de temperatura  | 5  | 20 | Revisión física                                                                                                                                                                                                                      | Supervisor de proceso E.J.                       |
| Molinos | Eje de peñes                 | Deformación        | Puentear molino | 2 | Ubicación de chumaceras | 1 | Ruta de revisión física | 10 | 20 | La importancia de hacer un buen mantenimiento en la reparación, y corregir lo que sea posible, llevar el control estricto de la revisión para lograr que detectar cualquier peligro antes de que se vuelva crítico y tener repuestos | Supervisor de proceso E.J., Jefe taller mecánico |



Continuación de la tabla XXII.

|         |                         |                |                 |   |                                  |   |                         |   |    |                              |                                   |
|---------|-------------------------|----------------|-----------------|---|----------------------------------|---|-------------------------|---|----|------------------------------|-----------------------------------|
| Molinos | Cuchilla de cuarta maza | Rotura         | Puentear molino | 2 | Calibración incorrecta           | 2 | Ruta de revisión física | 3 | 12 | Asegurarse de la calibración | Encargado de molinos              |
| Molinos | Eje de peines           | Deformación    | Puentear molino | 1 | Rotura de tornillo de chumaceras | 2 |                         | 2 | 4  | Inspección diaria            | Mecánicos                         |
| Molinos | Cabezotes hidráulicos   | Fuga en sellos | Puentear molino | 1 | Sobrepresión                     | 2 | control diario          | 1 | 2  | No sucede                    | Encargado de molinos y supervisor |

Fuente: elaboración propia, con base a reuniones programadas con grupo involucrado de proyecto.

La anterior matriz se empleó para priorizar los índices de probabilidad de riesgos más altos, y de ésta manera enfocarse en los mismos para proponer soluciones, las cuales se verán detalladas a partir del inciso 2.4.

### 2.3.3. Cuantificación de beneficio esperado de proyecto

Se cuantificó el beneficio esperado enfocado a la CTQ que se seleccionó de la matriz de Y's, el objetivo es demostrar cuantitativamente lo que se espera ahorrar y a la vez convertir pérdidas en ingresos en unidades monetarias al

momento de reducir el puenteo a doce horas como máximo a la semana. Los datos para los cálculos se hicieron con base a la zafra 2011-2012.

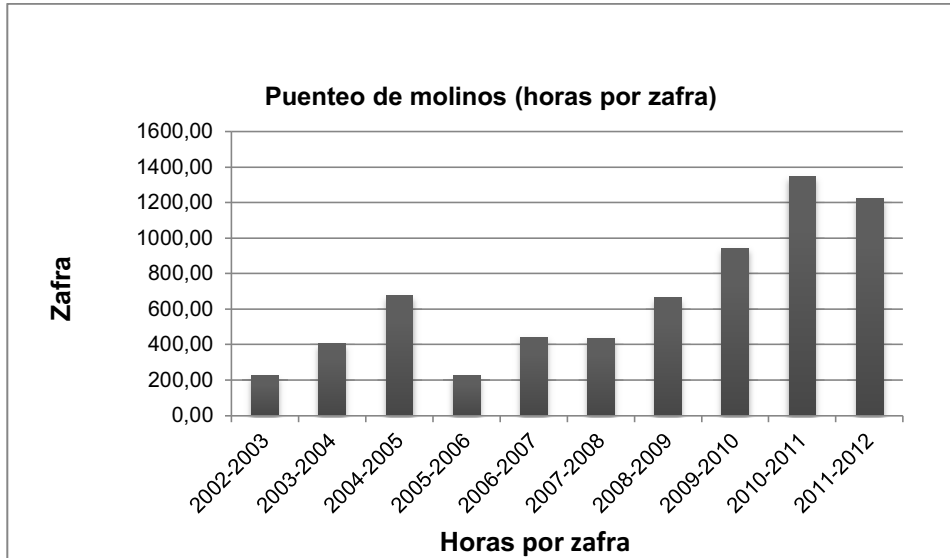
Como principal información se tienen los históricos del total de días y horas de puenteo de las últimas diez zafras, para ver gráficamente el comportamiento de la CTQ respecto a los días de operación, y también en porcentaje lo que representa en función del total de días de operación por zafra:

**Tabla XXIII. Históricos de días de operación y horas de puenteo de últimas diez zafras**

| Zafra     | Días de operación | Horas de puenteo | % tiempo total de puenteo= (horas puenteo)/(días de zafra *24 horas de operación) |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 2002-2003 | 166               | 224              | 5.62%                                                                             |
| 2003-2004 | 171               | 407,3            | 9.92%                                                                             |
| 2004-2005 | 176               | 677,39           | 16.04%                                                                            |
| 2005-2006 | 139               | 224,12           | 6.72%                                                                             |
| 2006-2007 | 168               | 442,05           | 10.96%                                                                            |
| 2007-2008 | 177               | 436,06           | 10.27%                                                                            |
| 2008-2009 | 178               | 664,02           | 15.54%                                                                            |
| 2009-2010 | 186               | 943,48           | 21.14%                                                                            |
| 2010-2011 | 159               | 1344,53          | 35.23%                                                                            |
| 2011-2012 | 176               | 1223             | 28.95%                                                                            |

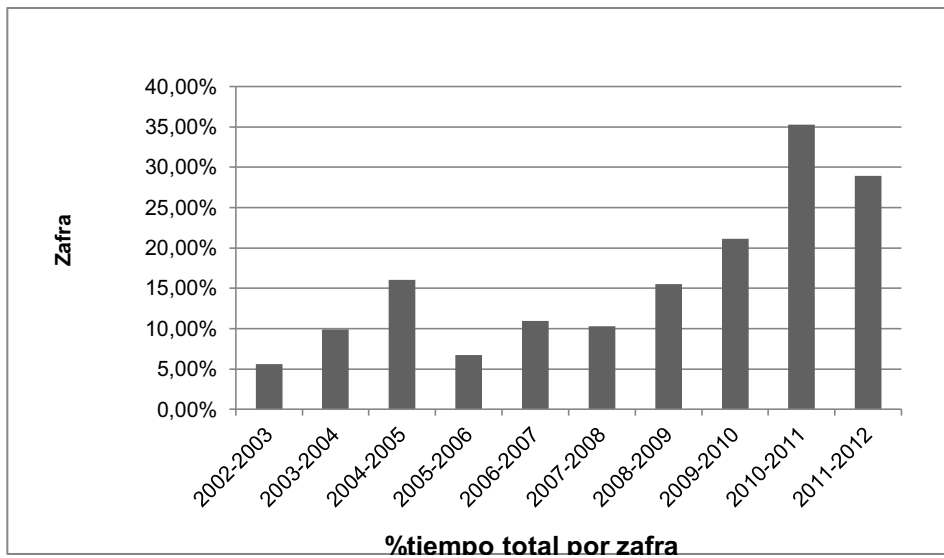
Fuente: Elaboración propia, con base a sistema CSA.

Figura 56. **Horas de puenteo de molinos en últimas diez zafras**



Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Porcentaje de tiempo de molinos en últimas diez zafras**

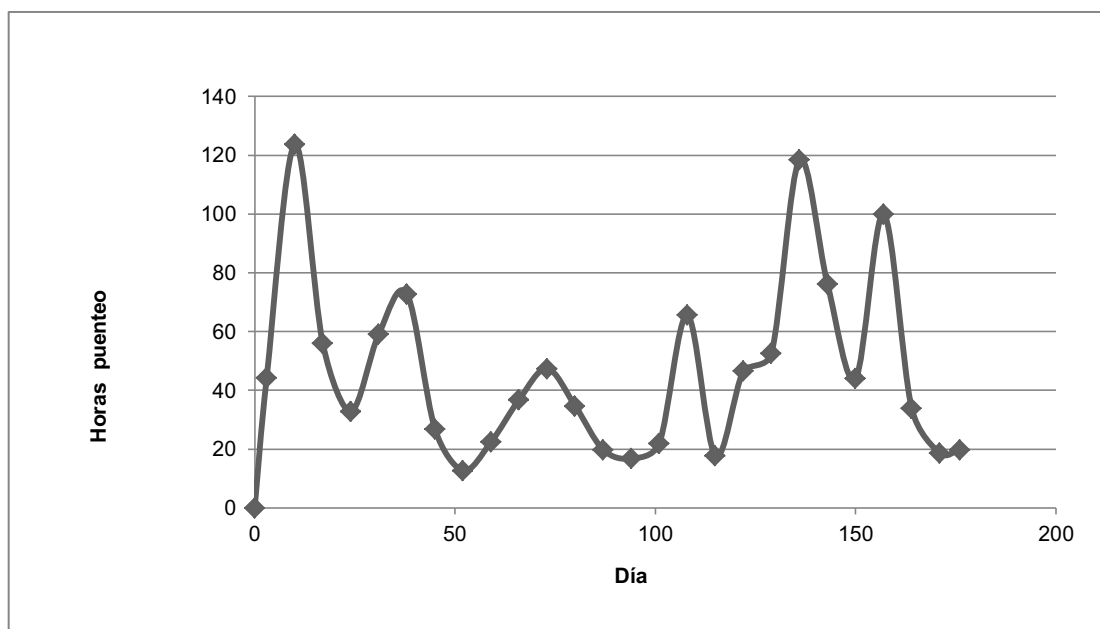


Fuente: elaboración propia.

En las últimas cuatro zafras es cuando más se incrementaron las horas de puenteo, las causas de las mismas se detallaron en los Diagramas de Pareto en el inciso 2.3.1.1.

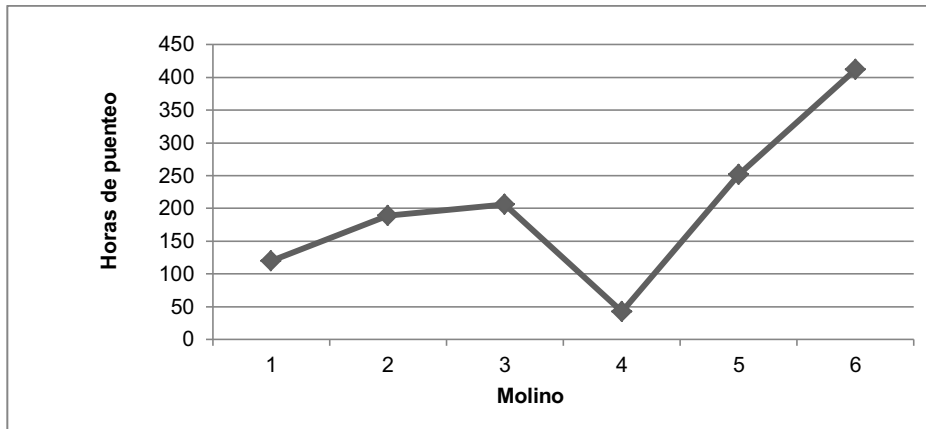
El principal objetivo de seis sigma es reducir variabilidad en los procesos y como efecto reducir los defectos por millón de oportunidades de falla o errores, en el siguiente cuadro se detallan los ahorros e ingresos aproximados que se esperan al momento de puentear el tándem de molinos a doce horas como máximo a la semana, es decir teniendo una calidad seis sigma.

Figura 58. **Comportamiento por semana de puenteo de molinos, zafra 2011-2012**



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Horas de puenteo por molino, zafra 2011, 2012**



Fuente: elaboración propia.

Con base a los datos históricos de zafra 2011-2012, se estimaron las pérdidas que se han tenido por no operar de manera eficiente el tándem de molinos, a continuación se detalla el análisis económico de puenteo de molinos:

Tabla XXIV. **Cuantificación de beneficio esperado**

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Datos históricos                                                        |           |
| Caña molidas a la fecha (toneladas)                                     | 1 203 540 |
| Caña puenteada (toneladas)                                              | 425 581   |
| Razón molida                                                            | 8 377     |
| Toneladas/hora                                                          | 348       |
| Horas puenteadas zafra 11-12                                            | 1 222     |
| Índices predeterminados                                                 |           |
| Incremento mínimo Pol bagazo puenteo molinos intermedios                | 0,5       |
| Incremento mínimo Pol bagazo puenteo molinos inicio y final             | 0,8       |
| % Bagazo caña                                                           | 27,2      |
| Azúcar perdida por puenteo                                              |           |
| Kilogramos de azúcar potenciales adicionales en bagazo/tonelada de caña | 1,4       |

Continuación de la tabla XXIV.

|                                                                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Kilogramos de azúcar potenciales no recuperadas                                                                                                                                          | 579 003    |
| Kilogramos de azúcar envasadas no recuperadas                                                                                                                                            | 473 277    |
| Sacos de azúcar envasada no recuperados                                                                                                                                                  | 9 466      |
| Pérdidas por puentear molinos                                                                                                                                                            | Q1 798 453 |
| Beneficio económico                                                                                                                                                                      |            |
| Asumiendo el costo unitario de un saco Q190, si se puentearan los molinos como máximo 12 horas semanalmente, es decir 300 horas aproximadamente por zafra, las pérdidas se redujeran a : | Q441 663   |
| El beneficio económico se convertiría en un ingreso adicional a lo que recibe regularmente la empresa puentear los molinos 12horas como máximo semanalmente que sería aproximadamente :  | Q1 356 789 |

Fuente: Elaboración propia, con base a análisis de zafras pasadas.

Evidentemente se tendrían ahorros significativos al momento de reducir las horas de puenteo en los molinos, llevando a cabo la implementación de las mejoras se espera reducir el tiempo de puenteo en un 25%, es decir se esperaría un ahorro y un ingreso iguales a Q449 613, y las pérdidas se redujeran a Q1 348 840 aproximadamente.

#### 2.4. Mejorar

En ésta fase se define un plan de acción enfocado a atacar las causas potenciales y mejorar los indicadores (IPR) seleccionados de la matriz AMEF. A continuación se presentan las propuestas de mejora o solución.

### **2.4.1. Propuesta de solución**

Dadas las distintas causas que provocaron el puenteo en los molinos, según los distintos gráficos de Pareto, las fallas potenciales en los equipos, sus respectivas causas y su frecuencia de falla, reflejados también dichos resultados en el análisis de capacidad de proceso, se determinaron planes de acción para atacar las causas que más han perjudicado en el tiempo de puenteo de los molinos, con base a la matriz Análisis de Modo de Efecto de Falla (AMEF).

Los planes de acción de solución al tiempo de puenteo de molinos se propusieron con base a los componentes críticos de los molinos, destacados en los Diagramas de Pareto y con relación a la matriz AMEF según el índice de prioridad de riesgo (IPR) más altos, especialmente los IPR de color rojo e inspecciones realizadas a los mismos junto al equipo de trabajo, también tomando muy en cuenta su experiencia, se hicieron propuestas de mejora, así mismo las acciones a realizar se ejecutaron al 100%, (ver apéndices, inciso 3).

A continuación se presentan las mejoras propuestas para el área de molinos:

Tabla XXV. **Mejoras propuestas para el área de molinos**

| Equipo            | Componente                     | Funcionamiento            | Propuesta de solución o mejora/Objetivo                                               | Antecedentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Acción a realizar                                                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Todos los molinos | Catarina                       | Transmisión de baja       | Mejorar sellos de Catarina de baja por desgaste en el eje                             | El desgaste de los sellos de la catarina de baja se debe a la calidad de lubricación realizada en las chumaceras, es decir la calidad del aceite es afectado por impurezas debido a que han "reciclado" el aceite y éste a la vez recircula contaminado, esto afecta el impacto del eje con los sellos tipo laberinto. | Reparar los sellos y abrir otro agujero para un mejor drenaje del aceite por los laberintos, calzar el eje, maquinarlo y a la vez recuperar el desgaste. |
| Todos los molinos | Chumaceras de catarina y piñón | Transmisión de baja       | Mejorar los topes de la caja de las chumaceras de catarina y piñón                    | Históricamente se han roto los topes de las cajas de las chumaceras, por el giro radial que tienen las mismas en operación, esto debido a que el área los topes no es la suficiente y éstos se rompen                                                                                                                  | Realizar topes con mayor área para prevenir que se rompan.                                                                                               |
| Todos los molinos | Filtros de lubricación         | Sistema de lubricación    | Limpieza del sistema de lubricación completa                                          | Por recircular el lubricante contaminado, los filtros se taparon                                                                                                                                                                                                                                                       | Limpieza de tubería, filtros, válvulas y accesorios                                                                                                      |
| Todos los molinos | Datos de acople de molinos     | Transmisión de movimiento | Agregar otro agujero hacia el cuadrado del acople de la maza para mejorar lubricación | El desgaste y deformación de los cuadrados se debe a la falta de lubricación                                                                                                                                                                                                                                           | Apertura de dos agujeros más para mejorar la circulación de lubricación                                                                                  |
|                   |                                | Transmisión de movimiento | Encontrar la distancia adecuada y ángulo en las puntas de los cuadrados               | Desajuste en equipos                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ajustar el ángulo en las puntas entre 3/8" a 1/2"                                                                                                        |



Continuación de la tabla XXV.

|                   |                                                         |                               |                                                   |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                         |
|-------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Todos los molinos | Acoplamiento ente eje de catarina de baja y eje de maza | Alineación de lazo de control | Controlar la flotación de molinos                 | Flotación óptima alterada por exceso de velocidad o baja velocidad porque no se tiene cuidado al monitorear la operación en el cuarto de control de molinos                                                         | Supervisar durante zafra 2012-2013                                                      |
| Todos los molinos | Coronas                                                 | Transmisión de movimiento     | Mejorar acoplamiento entre dientes de las coronas | Se han tenido inconvenientes con el acabado del diente, dado que no es perfecto, y el acoplamiento o empinchamiento entre coronas no es el adecuado                                                                 | Solicitar repuestos que cumplan requerimientos de acoplamiento entre dientes de coronas |
|                   |                                                         | Sistema de lubricación        | Mejorar el sistema de lubricación                 | El tipo de lubricante que se ha usado no es el adecuado                                                                                                                                                             | Cambiar lubricante y elaboración de programa de limpieza                                |
| Todos los molinos | Chumaceras                                              | Soporte de ejes de mazas      | Doble sistema de lubricación                      | Se ha dado la ocasión que por no tener otra entrada de lubricación, se tapa el único orificio e impide el paso y circulación del lubricante afectando al desgaste de la chumacera                                   | Hacer otro agujero para lubricación interior.                                           |
|                   |                                                         | Soporte de ejes de mazas      | Cuña de lubricación maquinada                     | La cuña que tienen las tejas de las chumaceras se han hecho de manera manual, se observó en otros ingenios que la cuña está hecha de forma maquinada y tiene un buen funcionamiento porque es más parejo el acabado | Hacer la cuña de lubricación maquinada                                                  |
| Todos los molinos | Cuchilla central                                        | Limpieza de dientes de maza   | Reforzar con soldadura a dientes de cuchilla      | Por el desgaste continuo que sufren los dientes de la cuchilla central                                                                                                                                              | Revestimiento duro con soldadura para blindarlos                                        |

Continuación de la tabla XXV.

|                   |               |                             |                                                                      |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |
|-------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   |               | Limpieza de dientes de maza | Reparar poros en el material de las cuchillas centrales              | Se ha tenido el problema que los dientes de las cuchillas presentan poros                                                                                                         | Aplicar soldadura para reparar los poros que tiene el material                                 |
| Todos los molinos | Messchaert    | Limpieza de maza cañera     | Eliminar Messchaert                                                  | Se ha utilizado el Messchaert para la limpieza de los dientes de la maza cañera, pero también perjudica dado que éste a su vez desgasta los dientes de las mazas                  | En el levantamiento del tándem no colocar Messchaert                                           |
| Todos los molinos | Electroimán   | Atrapar metales             | Revisar electroimán                                                  | Por la desnivelación de la caña preparada que es ingresada al primer molino el electroimán en los niveles más altos no logra detectar y atraer metales que van en la caña picada. | Ajustar distancia entre faja y electroimán                                                     |
| Todos los molinos | Ejes de mazas | Extracción de jugo          | Recuperar diámetro en los ejes de las mazas que han sufrido desgaste | Por falta de lubricación los ejes de las mazas se han desgastado, logrando así un menor diámetro y mayor longitud                                                                 | Revestir con acero y acabado inoxidable para recurrar el diámetro de los ejes                  |
| Todos los molinos | Mazas         | Extracción de jugo          | Ajuste de muñones                                                    | cuando no están ajustan los muñones hay mucho juego axial de las mazas                                                                                                            | Ajustar muñones                                                                                |
|                   |               | Extracción de jugo          | Reconstruir dientes, garantizando la vida útil de los dientes        | Existen muchas mazas que salieron con muchos sholcos en las mazas, por lo que hay que repararlos con refuerzos para que éstos no se vuelvan a caer.                               | Revestir los fondos de dientes con pines de hierro fundido machuelados, garrapiñado y perleado |
|                   |               | Extracción de jugo          | Mejorar el sello de jugo                                             | Se han caído los sellos en las chumaceras                                                                                                                                         | Atornillar el flange o anillo a chumacera                                                      |

Fuente: elaboración propia, con base a validación de AMEF.

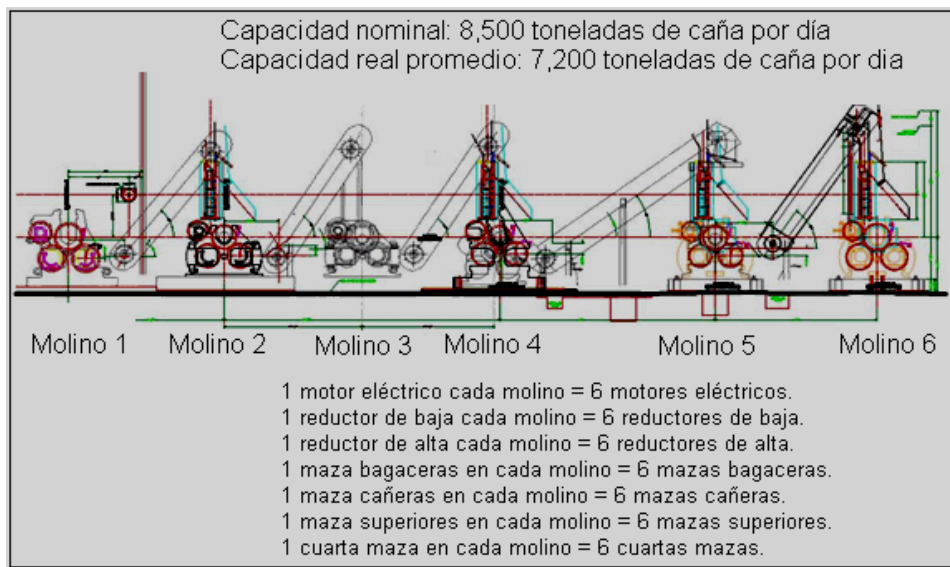
## 2.4.2. Rediseño del tándem de molinos

Como parte de las acciones de mejora fue el rediseño del tándem de molinos, dado que por los serios problemas que se han repetido en zafras anteriores, por la baja eficiencia de los molinos, se quitó un molino, reduciéndose el tándem a cinco molinos.

Uno de los motivos por el cual se rediseñó el tándem de molinos fue operar con mayor capacidad, es decir que en conjunto el tándem de molinos pueda moler más caña y con mejor índice de eficiencia.

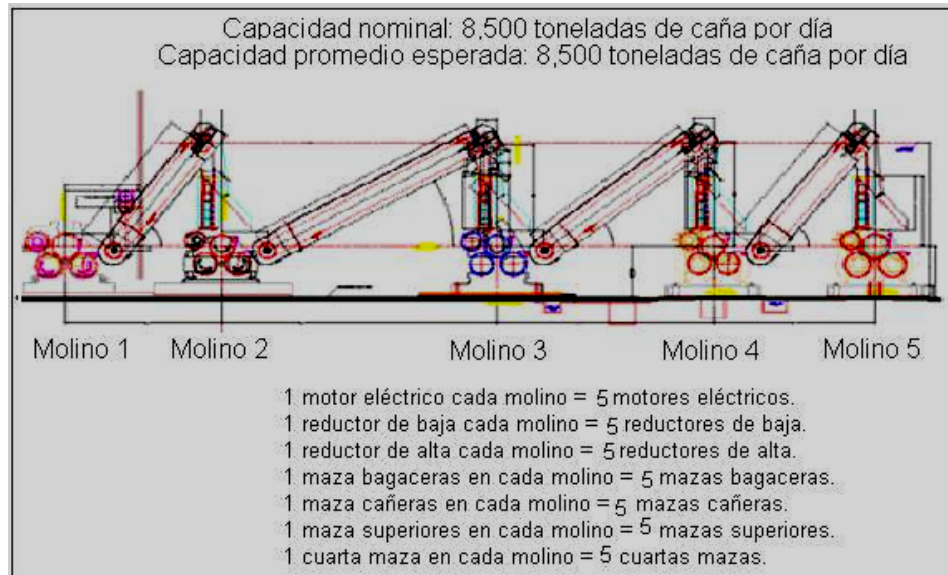
A continuación se muestran las capacidades del tándem de molinos como estaba en las zafras pasadas y como empezará a operar a partir de la zafra 2012-2013.

Figura 60. Tándem de molinos antes de zafra 2012-2013



Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Tándem de molinos a partir de zafra 2012-2013**



Fuente: elaboración propia.

Para zafras anteriores se tenían instalados seis molinos, los cuales éstos generaron altos costos por mantenimientos no programados correctivos, derivado a sus constantes fallas durante la operación según zafra, también la necesidad de rediseñar el tándem surgió para que la molienda alcance la meta diaria, es decir 8 500 toneladas de caña por día, el plan de mejora fue sacar dos molinos pequeños por uno de mayor capacidad, esto a su vez tendrá un impacto positivo a partir de la zafra 2012-2013 en:

- Los costos de mantenimiento: en vez de seis molinos serán a cinco molinos, eso quiere decir que se tendrá que invertir en menos insumos o recursos como: repuestos, materiales de soldadura y mano de obra.

- Consumo eléctrico: antes el tándem operaba con cinco motores de 1000hp y uno de 900hp, seis reductores de alta transmisión y seis reductores de baja transmisión, después del rediseño operará con cuatro motores de 1000hp y uno de 900hp, cinco reductores de alta transmisión y cinco reductores de baja transmisión.
- Cantidad de componentes a reparar cuando termine la temporada de zafra: entre los principales que ya no se repararán, cuatro mazas, un motor, un reductor, una catarina, tres piñones, un eje entredos, dos dados, una cuchilla central, un peine superior, un peine bagacero, nueve chumaceras y conductor intermedio, lo cual eso generará menos costo por mantenimiento y más tiempo disponible para realizar otras reparaciones que agreguen valor.
- Mejor supervisión a los mantenimientos preventivos: identificados los componentes mayormente vulnerables a dañarse, realizar inspecciones cuidadosas al tándem de molinos a diario durante la operación.
- Inventario de materiales y repuestos: relacionado con los costos de mantenimiento.
- Estar cerca de la meta de molienda a diario igual a 8 500 toneladas de caña por día: Con la implementación de un molino con mejor eficiencia y las reparaciones a los componentes críticos con buena calidad.

Como objetivo general del rediseño del tándem es ayudar a reducir el porcentaje meta (25%) de horas de puenteo en los molinos durante la operación 2012-2013.

### **2.4.3. Formato y registro para seguimiento del mantenimiento de mazas en molinos**

Para la elaboración del formato se inició investigando acerca de los diferentes mantenimientos que hacen en la empresa, para lo que corresponden en la época de zafra: mantenimiento preventivo operación y mantenimiento correctivo operación, así también a cargo de quiénes está hacer los mantenimientos durante la zafra.

También se investigó acerca del mantenimiento de soldadura, entre ellos, el garrapiñado, el blindaje, reparación de sholcos y perleado que se practica en las mazas de los molinos.

Es de suma importancia en el tándem de molinos estar operando de manera ininterrumpida, dado que ayuda a mantener constante la producción diariamente, y además asegura la calidad de la materia prima para los siguientes procesos productivos, éstos son energía, tratamiento de jugo y recuperación de azúcar.

El formato se validó en el último mes de la zafra 2011-2012, es decir en el mes de abril, por el supervisor del mantenimiento de soldadura y el supervisor del proceso de extracción de jugo de caña, por lo que se fue modificando conforme las pruebas de validación del formato en cada oportunidad de los mantenimientos programados en el mes.

La razón por la que se propuso el formato para el seguimiento en las mazas de los molinos, fue por llevar el control del mantenimiento en las mazas de los molinos, y de ésta manera inspeccionar los equipos y actuar antes que fallen los mismos, por medio de una previa evaluación al mantenimiento según


sea la severidad del caso, evitando mantenimientos correctivos operación, así como también influir sobre la reducción de los costos por mantenimiento.

El formato y el registro propuesto se elaboraron según lo definido en la cláusula 4.2.5 de la Norma 9001:2008 (Los registros requeridos por la ISO 9001), entre lo que aplica los registros requeridos de resultados de la acción correctiva y resultado de la acción preventiva, lo anterior corresponde a los apartados 8.5.2 y 8.5.3 respectivamente de la norma.

La forma del documento fue elaborado con base al Sistema de Gestión de Calidad de la empresa, entre ellos está el encabezado, clase de documento, título del documento, código del documento, versión, fecha de vigencia, logotipo, pie de página, letra, fecha y márgenes.

La forma de llenar el registro se explicó a los supervisores del proceso de extracción de jugo de caña, la copia del formato y registro se hizo entrega al personal de supervisión del proceso de extracción de jugo de caña de forma digital.


Figura 62. Formato, evaluación y seguimiento del mantenimiento en las mazas de los molinos

|  Pantaleon                                       |  | FORMATO                                                                |  |                |                               |                       |  |                |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------|--|----------------|-------------------------------|-----------------------|--|----------------|--|
|                                                                                                                                   |  | Evaluación y Seguimiento del Mantenimiento en las Mazas de los Molinos |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | 3-EJ-FR-018                                                            |  | VERSIÓN: 01    |                               | CORRELATIVO:          |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | ZAFRA: 2012 - 2013                                                     |  |                |                               | DÍA DE ZAFRA:         |  |                |  |
| Fecha: / /                                                                                                                        |  | Hora inicio:                                                           |  | Hora Arranque: |                               | Tiempo de reparación: |  |                |  |
| Molino                                                                                                                            |  | 1                                                                      |  | 2              |                               | 3                     |  | 4              |  |
| Maza                                                                                                                              |  | Código de maza                                                         |  | Cañera         |                               | Superior              |  | Cuarta maza    |  |
|                                                                                                                                   |  | 3                                                                      |  | 4              |                               | 5                     |  |                |  |
| <b>Evaluación de mazas</b>                                                                                                        |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Puntos de mejora:                                                                                                                 |  |                                                                        |  |                | Observaciones:                |                       |  |                |  |
| Blindaje                                                                                                                          |  | SI                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | NO                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Reparación de sholcos                                                                                                             |  | SI                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | NO                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Garrapiñado                                                                                                                       |  | SI                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | NO                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Perleado                                                                                                                          |  | SI                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | NO                                                                     |  |                |                               |                       |  |                |  |
| <b>Datos de Mantenimiento</b>                                                                                                     |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Procedencia de personal                                                                                                           |  | CSA                                                                    |  |                |                               | Tercerizado           |  |                |  |
| Tipo de mantenimiento                                                                                                             |  | Preventivo operación                                                   |  |                |                               | Correctivo operación  |  |                |  |
| Motivo de reparación                                                                                                              |  | Blindaje                                                               |  |                | Perleado                      |                       |  | Garrapiñado    |  |
|                                                                                                                                   |  | Rep. Sholcos                                                           |  |                |                               |                       |  |                |  |
| <b>Costos por mano de obra y materiales</b>                                                                                       |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Materiales                                                                                                                        |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Descripción de consumible                                                                                                         |  | SM80                                                                   |  |                |                               | Azúcar80              |  |                |  |
| Consumo de material en aplicación                                                                                                 |  | Cantidad Electrodo                                                     |  | Costo unitario |                               | Cantidad Electrodo    |  | Costo unitario |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  |                |                               | Q                     |  |                |  |
| Resumen Materiales                                                                                                                |  | Total de materiales                                                    |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
| <b>Mano de Obra</b>                                                                                                               |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Jornada/Turno                                                                                                                     |  | Diurna                                                                 |  | Mixta          |                               | Nocturna              |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Turno 1                                                                |  | Turno 1        |                               | Turno 1               |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
| Escala/Cantidad de ayudantes                                                                                                      |  | Turno 2                                                                |  | Turno 2        |                               | Turno 2               |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Tercerizado                                                            |  | Tercerizado    |                               | Tercerizado           |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  | Q              |  |
| Total de Ayudantes                                                                                                                |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | 1                                                                      |  | 1              |                               | 1                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | 2                                                                      |  | 2              |                               | 2                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | 3                                                                      |  | 3              |                               | 3                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | 4                                                                      |  | 4              |                               | 4                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Costo hora                                                             |  | Costo hora     |                               | Costo hora            |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  | Tercerizado                                                            |  | Tercerizado    |                               | Tercerizado           |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Q                                                                      |  | Q              |                               | Q                     |  | Q              |  |
| Total de Soldadores                                                                                                               |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Resumen Mano de obra                                                                                                              |  | Total de operarios                                                     |  | Q              |                               | Q                     |  | Q              |  |
|                                                                                                                                   |  | Total costo de mano de obra                                            |  | Q              |                               | Q                     |  | Q              |  |
| <b>Resultados Mazas</b>                                                                                                           |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Hubo reproceso SI/NO, ¿Por qué?                                                                                                   |  | SI                                                                     |  | NO             |                               |                       |  |                |  |
|                                                                                                                                   |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Avance; cumplimiento de mantenimiento                                                                                             |  | Blindaje                                                               |  | %              |                               | Perleado              |  | %              |  |
|                                                                                                                                   |  | Rep. Sholcos                                                           |  | %              |                               | Garrapiñado           |  | %              |  |
| Blindaje                                                                                                                          |  | Descripción:                                                           |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Reparación de sholcos                                                                                                             |  | Descripción:                                                           |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Garrapiñado                                                                                                                       |  | Descripción:                                                           |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Perleado                                                                                                                          |  | Descripción:                                                           |  |                |                               |                       |  |                |  |
| Nombre del encargado de grupo:                                                                                                    |  |                                                                        |  |                | Firma del encargado de grupo: |                       |  |                |  |
| Elaboró: Cynthia Maldonado.      Revisó: Supervisores de mantto. y de proceso.      Página 1/1. Aprobó: Jefe de proceso y mantto. |  |                                                                        |  |                |                               |                       |  |                |  |

Fuente: elaboración propia.



Figura 63. Registro, evaluación y seguimiento del mantenimiento en las mazas de los molinos

|  Pantaleon |              | REGISTRO                                                               |                |                               |                         |                       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
|                                                                                             |              | Evaluación y Seguimiento del Mantenimiento en las Mazas de los Molinos |                |                               |                         |                       |   |
| Fecha: / /                                                                                  |              | Hora inicio:                                                           |                | Hora Arranque:                |                         | Tiempo de reparación: |   |
| Molino                                                                                      |              | 1                                                                      |                | 2                             |                         | 3                     |   |
| Maza                                                                                        |              | Código de maza                                                         |                | Cañera                        |                         | Superior              |   |
|                                                                                             |              |                                                                        |                | Bagacera                      |                         | Cuarta maza           |   |
| Evaluación de mazas                                                                         |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Puntos de mejora:                                                                           |              | Observaciones:                                                         |                |                               |                         |                       |   |
| Blindaje                                                                                    | SI           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             | NO           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Reparación de sholcos                                                                       | SI           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             | NO           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Garrapiñado                                                                                 | SI           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             | NO           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Perleado                                                                                    | SI           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             | NO           |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Datos de Mantenimiento                                                                      |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Procedencia de personal                                                                     |              | CSA                                                                    |                |                               |                         | Tercerizado           |   |
| Tipo de mantenimiento                                                                       |              | Preventivo operación                                                   |                |                               |                         | Correctivo operación  |   |
| Motivo de reparación                                                                        |              | Blindaje<br>Rep. Sholcos                                               |                |                               | Perleado<br>Garrapiñado |                       |   |
| Costos por mano de obra y materiales                                                        |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Materiales                                                                                  |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Descripción de consumible                                                                   |              | SM80                                                                   |                |                               | Azúcar80                |                       |   |
| Consumo de material en aplicación                                                           |              | Cantidad Electrodo                                                     | Costo unitario | Cantidad Electrodo            | Costo unitario          |                       |   |
| Resúmen Materiales                                                                          |              | Total de materiales                                                    | Q              |                               | Q                       |                       |   |
| Mano de Obra                                                                                |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Jornada/Turno                                                                               |              | Diurna                                                                 |                | Mixta                         |                         | Nocturna              |   |
|                                                                                             |              | Turno                                                                  |                | Turno                         |                         | Turno                 |   |
|                                                                                             |              | 1                                                                      |                | 1                             |                         | 1                     |   |
| Escala/Cantidad de ayudantes                                                                |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | 2                                                                      |                | 2                             |                         | 2                     |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | Tercerizado                                                            |                | Tercerizado                   |                         | Tercerizado           |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
| Total de Ayudantes                                                                          |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             |              | 1                                                                      |                | 1                             |                         | 1                     |   |
| Escala/Cantidad de soldadores                                                               |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | 2                                                                      |                | 2                             |                         | 2                     |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | 3                                                                      |                | 3                             |                         | 3                     |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | 4                                                                      |                | 4                             |                         | 4                     |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
|                                                                                             |              | Tercerizado                                                            |                | Tercerizado                   |                         | Tercerizado           |   |
|                                                                                             |              | Costo hora                                                             | Q              | Costo hora                    | Q                       | Costo hora            | Q |
| Total de Soldadores                                                                         |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Resúmen Mano de obra                                                                        |              | Total de operarios                                                     |                |                               |                         |                       |   |
|                                                                                             |              | Total costo de mano de obra                                            | Q              | Q                             | Q                       | Q                     | Q |
| Resultados Mazas                                                                            |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Hubo reproceso SI/NO, ¿Por qué?                                                             |              | SI                                                                     | NO             |                               |                         |                       |   |
| Avance; cumplimiento de mantenimiento                                                       |              | Blindaje                                                               | %              | Perleado                      | %                       |                       |   |
|                                                                                             |              | Rep. Sholcos                                                           | %              | Garrapiñado                   | %                       |                       |   |
| Blindaje                                                                                    | Descripción: |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Reparación de sholcos                                                                       | Descripción: |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Garrapiñado                                                                                 | Descripción: |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Perleado                                                                                    | Descripción: |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |
| Nombre del encargado de grupo:                                                              |              |                                                                        |                | Firma del encargado de grupo: |                         |                       |   |
|                                                                                             |              |                                                                        |                |                               |                         |                       |   |

Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.4. Perfil propuesto para mantenimiento de soldadura

Como aseguramiento de la calidad del mantenimiento al proceso de extracción de jugo de caña, es contar con excelente mano de obra, para ello los trabajadores deben cumplir los requerimientos de la empresa para el puesto de soldador industrial, a continuación se desglosa las competencias deseables para un soldador industrial de escala No. 3, dado que es lo que se analizó la conveniencia de subcontratar o contratar a personal para el mantenimiento en el área de molinos.

- Descripción de puesto

Tabla XXVI. Descripción de puesto de soldador industrial, escala No. 3

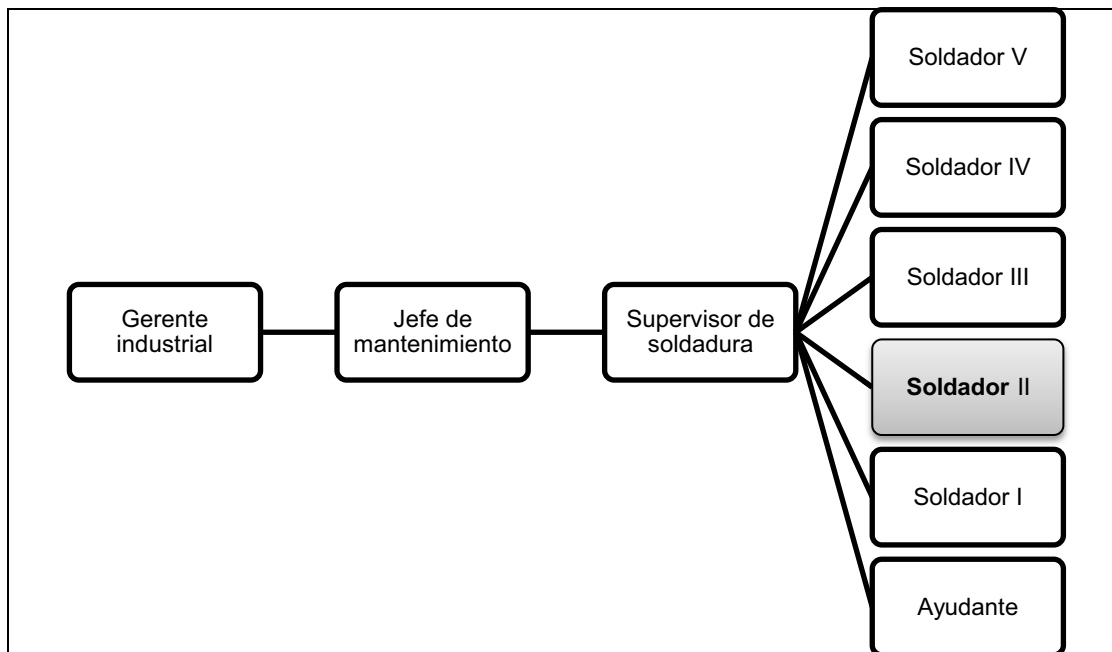
|                        |                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del puesto      | Soldador industrial                                                                                                                                                                                                                         |
| Departamento           | Mantenimiento                                                                                                                                                                                                                               |
| Jefe (s) inmediato (s) | Jefe de mantenimiento                                                                                                                                                                                                                       |
| Subalternos            | 3                                                                                                                                                                                                                                           |
| Horario de trabajo     | En época de zafra:<br>Turnos rotativos en horarios, 06:00-14:00 ,14:00-22:00 y 22:00-06:00<br>En época de reparación:<br>lunes a jueves, 07:00-12:00 y de 13:00-17:00<br>viernes, 07:00-12:00 y 13:00-16:00<br>(disponibilidad de horario). |

Fuente: elaboración propia.

- Ubicación en el organigrama

A continuación se detalla el orden jerárquico de los puestos superiores y subalternos del puesto Soldador III.

Figura 64. **Organigrama según perfil de puesto soldador industrial**



Fuente: elaboración propia.

- Objetivo principal del puesto

Dar soporte técnico en las actividades de mantenimiento de soldadura cuando se le requiera, y manejo del personal a su cargo.

- Características del puesto

Las principales características de un soldador de escala tres son las siguientes:

Tabla XXVII. **Características del puesto de soldador industrial**

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lugar de trabajo</b>                | Fábrica, Ingenio Concepción, S.A.                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Presentación personal</b>           | Uniforme en época de zafra y reparación.<br>Pantalón de lona color azul y camisa color verde/kaki de manga corta con logo de Pantaleón y zapatos adecuados para la tarea.                                                                 |
| <b>Disponibilidad de viajar</b>        | No.                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Vehículo y licencia de conducir</b> | No.                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Manejo de dinero</b>                | No.                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Manejo de equipo</b>                | Amoladoras industriales, equipos oxicorte, máquinas de soldar eléctrico, pulidoras, barrenos, prensas, polipastos, rotalima, herramientas de banco, computador, herramienta de uso general, máquina para corte plasma.                    |
| <b>Medidas de seguridad</b>            | Utilizar el equipo de seguridad de manera permanente mientras realiza trabajos que lo requieran.                                                                                                                                          |
| <b>Equipo de seguridad</b>             | Zapatos con punta de acero, lentes de seguridad industrial tipo in/out, guantes largos, careta, polainas, gabacha de protección de cuero, mangas de cuero y tapones auditivos.                                                            |
| <b>Riesgos de operación</b>            | Altas temperaturas, shock eléctricos y quemaduras, herramientas punzo cortantes, trabajo en alturas, maquinarias en movimiento, atención visual y auditiva, ceguera, enfermedades respiratorias, trabajo con herramientas de mucho corte. |
| <b>Parámetros</b>                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Edad</b>                            | 35 a 55 años.                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Sexo</b>                            | Masculino.                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Idiomas</b>                         | Español.                                                                                                                                                                                                                                  |

Fuente: elaboración propia.

- Atribuciones
  - Coordina actividades técnicas en el área mantenimiento de soldadura
    - Izaje de equipos y objetos parados
    - Trazos de figuras y equipos
    - Interpretación de planos
    - Manipulación de gases (cilindros y termos)
    - Manipulación de equipos y objetos pesados
    - Selección de materiales
    - Evaluación de montajes y desmontajes
  - Realiza el mantenimiento preventivo y correctivo operación de todo el equipo de la fábrica
    - Seguimiento de programación de mantenimientos preventivos
    - Seguir normas de SSO (Salud y Seguridad Ocupacional) y uso adecuado del equipo
    - Respetar y puntualizar los mantenimientos en tiempos estimados para los mantenimientos preventivos en el área de soldadura
    - Prestar atención a emergencias técnicas y reducir tiempos de entrega de trabajos en el área de mecánica de ajuste
    - Acudir a capacitaciones impartidas dentro y fuera de la empresa
    - Realizar soldaduras especiales

- Practicar buenas relaciones humanas con personal interno y externo
  - Cumplir con las normas BPM, SSO, Reglamentos Internos, establecidos por la empresa
- Interrelaciones internas / externas
  - Internas
    - Gerente industrial
    - Jefe de mantenimiento
    - Supervisor de soldadura
    - Jefe de turno operación
    - Personal de mantenimiento y todo departamento que requieran sus servicios
  - Externas
    - Empresas que prestan servicio de mantenimiento de soldadura a diferentes equipos y de usos generales en la fábrica.
- Requisitos para el personal que ocupe el puesto de trabajo:

Tabla XXVIII. **Requisitos para personal que ocupe el puesto de soldador industrial, escala tres**

| Descripción de los requisitos | Requisitos mínimos                                                                                                 | Requisitos deseables                                                                                                                                       |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Educación                     | Diversificado completo o más.                                                                                      | CAP (Certificado de Aptitud Profesional) del INTECAP en Soldadura Industrial (Soldador Industrial), computación y conocimiento en diseños estructurales.   |
| Experiencia                   | 3 años o más.                                                                                                      | Haber laborado en áreas de mantenimiento en soldadura en empresas industriales.                                                                            |
| Capacitación                  | Áreas de laboratorio en metales industriales, soldaduras especiales en aceros, hierro fundido y aceros inoxidable. | Cursos universitarios de ingeniería mecánica industrial (soldadura industrial), manejo de personal, clasificación de metales y resistencias de materiales. |

Fuente: elaboración propia.

El perfil se propuso tomando en cuenta las opiniones del jefe de mantenimiento y el supervisor del mantenimiento de soldadura, una de las razones de la anterior propuesta fue porque el personal subcontratado en el mantenimiento de soldadura debe realizar trabajos que un soldador de la escala mencionada requiere, y en la etapa de definir se vio que una de las causas de los problemas en el proceso es por la calidad de la mano de obra, entonces sería conveniente pensar en algún momento de contratar personal propio que cumpla con las competencias del perfil solicitado, que este caso es un soldador de escala tres y poder obtener resultados satisfactorios en el mantenimiento de soldadura en el proceso de extracción de jugo, ya que un equipo mal reparado no solo implica tiempo de puenteo en molinos sino los costos por mantenimiento correctivo se ven incrementados.

En el siguiente inciso se hizo un comparativo de costos al momento de contratar personal propio en el mantenimiento de soldadura, tomando como referencia mano de obra con el perfil que anteriormente fue descrito.

#### **2.4.5. Análisis financiero para mantenimiento de soldadura de mazas de los molinos, comparando dos escenarios de costos con pago a terceros y con pago a recurso propio**

Una de las causas de las fallas en los molinos ha sido el mantenimiento deficiente de soldadura, especialmente en las mazas, hace algunos años se ha subcontratado mano de obra, maquinaria y herramientas para dicho mantenimiento.

Dados los costos elevados por mantenimiento de soldadura, se diagnosticó la necesidad de realizar un comparativo de costos de recurso tercerizado y recurso propio. A continuación se presenta el desarrollo del análisis financiero:

- Recurso propio

Se tomaron datos históricos del salario para un soldador y un ayudante de soldador al año, tomando en cuenta las prestaciones de ley.



**Tabla XXIX. Cálculo de salario devengado mensual y anual para un soldador industrial y ayudante**

| Puesto       | Anual devengado base | Mensual devengado base | Bono de ley   | IGSS laboral       | Bono 14                          |
|--------------|----------------------|------------------------|---------------|--------------------|----------------------------------|
| Soldador III | Q 71126              | Q 5927,2               | Q 250         | Q 286,3            | Q 493,7                          |
| Aguinaldo    | Vacaciones           | Indemnización          | IGSS patronal | Total prestaciones | Total devengado con prestaciones |
| Q 493,7      | Q 246,9              | Q 493,7                | Q 632,4       | Q 2360,5           | Q 8251,4                         |
| Puesto       | Anual devengado base | Mensual devengado base | Bono de ley   | IGSS laboral       | Bono 14                          |
| Ayudante     | Q 39 000             | Q 3 250                | Q 250         | Q 157              | Q 270,7                          |
| Aguinaldo    | Vacaciones           | Indemnización          | IGSS patronal | Total prestaciones | Total devengado con prestaciones |
| Q 270,7      | Q 135,4              | Q 270,7                | Q 346,8       | Q 1 294,3          | Q 4 637,3                        |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXX. Cuadro resumen de cálculo de mano de obra para soldador industrial y ayudante de soldador industrial**

|                                            |             |                                           |             |
|--------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------|
| Salario base mensual                       | Q5 927,17   | Salario base mensual                      | Q3 250,00   |
| Total devengado mensual                    | Q8 251,38   | Total devengado mensual                   | Q4 637,34   |
| Total devengado zafra                      | Q46 117,29  | Total devengado zafra                     | Q25 918,27  |
| Total devengado reparación                 | Q52 899,25  | Total devengado reparación                | Q29 729,78  |
| Total devengado al año                     | Q99 016,54  | Total devengado al año                    | Q55 648,05  |
| Total devengado al año por ocho soldadores | Q792 132,35 | Total devengado al año por ocho ayudantes | Q445 184,40 |

Fuente: elaboración propia.

Para operar en fábrica el personal que realiza trabajos de soldadura industrial debe cumplir con los reglamentos de seguridad industrial, es indispensable portar equipo de protección personal (EPP), como parte del análisis de costos fue necesario incluir los costos del EPP y su tiempo de vida útil de los mismos.

Tabla XXXI. **Costo de equipo de protección personal para soldador**

| EPP para un soldador (total)            | Q 2 490        |           |                      |
|-----------------------------------------|----------------|-----------|----------------------|
| EPP                                     | Costo unitario | Vida útil | Vida útil en empresa |
| Casco y careta con adaptador para casco | Q 698          | 3 meses   | 1 año                |
| Protección ocular                       | Q 48           | 3 meses   | 6 meses              |
| Protección respiratoria                 | Q 375          | 6 meses   | 1 año                |
| Chaqueta de cuero con mangas            | Q 465          | 1 año     | 1 año                |
| Guates de cuero con mangas              | Q 54           | 1 año     | 1 año                |
| Gabacha de cuero                        | Q 80           | 1 año     | 1 año                |
| Polainas                                | Q 95           | 1 año     | 1 año                |
| Zapatos industriales con punta de acero | Q 675          | 1 año     | 1 año                |

Fuente: Elaboración propia, según cotización de empresa externa para CSA.

Se cotizaron los precios de maquinaria y herramienta para trabajos de soldadura, en el caso de la soldadora industrial se escogió una según la capacidad de inversión de la empresa, así también se realizó el cálculo de la depreciación por medio del método de línea recta para la maquinaria y la herramienta:

Tabla XXXII. **Costo, vida útil y descripción de herramienta para soldador industrial**

| Herramienta                                                   | Un soldador     |              |                 |                  |                             |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| Descripción                                                   | Costo/metro (Q) | Unidad/metro | Costo total (Q) | Vida útil (años) | Vida útil en empresa (años) |
| Cable cobre 3/0 para máquina de soldar                        | 88,16           | 31           | 2703,57         | 3                | 2                           |
| Conector hembra/macho p/cable soldar #3/0 2 MBP, 1 MBP        | 107,69          | 1            | 107,69          | 4                | 4                           |
| Chispero                                                      | 10,11           | 1            | 10,11           | 4                | 4                           |
| Limpia boquilla C-9                                           | 9,65            | 1            | 9,65            | 4                | 4                           |
| Porta tiza                                                    | 10,64           | 1            | 10,64           | 4                | 4                           |
| Cortador harris 73-2                                          | 1041,66         | 1            | 1041,66         | 4                | 4                           |
| Maneralharris 43-2                                            | 678,07          | 1            | 678,07          | 4                | 4                           |
| Boquilla p/cortar # 2 6290                                    | 48,11           | 1            | 48,11           | 4                | 4                           |
| Llave ajustable 12"                                           | 227,32          | 1            | 227,32          | 4                | 4                           |
| Escuadra de 12"                                               | 75,32           | 1            | 75,32           | 4                | 4                           |
| Nivel de aluminio 24                                          | 350,06          | 1            | 350,06          | 4                | 4                           |
| Martillo de bola de 2 libras                                  | 188,63          | 1            | 188,63          | 4                | 4                           |
| Regulador para acetileno 25-15-300                            | 514,24          | 1            | 514,24          | 4                | 4                           |
| Regulador para oxígeno 25-100-540                             | 514,24          | 1            | 514,24          | 4                | 4                           |
| Tenaza para cable tierra 500 A                                | 112,33          | 1            | 112,33          | 4                | 4                           |
| Porta electrodo para 500 a 7939A3                             | 130,49          | 1            | 130,49          | 4                | 4                           |
| Válvula de cheque flujo oxígeno 88-3FGR para maneral harris   | 59,96           | 1            | 59,96           | 4                | 4                           |
| Válvula de cheque flujo acetileno 88-3FGL para maneral harris | 59,96           | 1            | 59,96           | 4                | 4                           |
| Juego de arrestadores de flama 4301651, 88-5FBR               | 860,55          | 1            | 860,55          | 4                | 4                           |
| Manguera para oxiacetileno                                    | 24,17           | 31           | 741,15          | 4                | 4                           |
| Picador                                                       | 20,60           | 1            | 20,60           | 4                | 4                           |
| Plomo de centro 47-973 de 8 oz. Stanley                       | 46,36           | 1            | 46,36           | 4                | 4                           |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Costo, vida útil y descripción de maquinaria para soldar**

| Maquinaria          | Costo unitario | Vida útil (años) | Vida útil en empresa (años) |
|---------------------|----------------|------------------|-----------------------------|
| Soldadora AC/DC 250 | Q 25 118,28    | 5                | 10                          |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Cálculo de depreciación de maquinaria y herramienta mediante el método de línea recta**

| Calculo de valor de rescate por el método de línea recta |           |                                |                        |                                       |
|----------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Tipo de activo                                           | Monto (Q) | Valor de rescate comercial (Q) | Depreciación anual (Q) | Reinversión con 6,7% de inflación (Q) |
| Maquinaria                                               |           | 50%                            | 20%                    | 6,7% para año 5                       |
| Soldadora AC/DC 250 (K1053-9)                            | 25118,28  | 12 559,14                      | 2511,83                | 26 801,20                             |
| Herramientas                                             |           | 50%                            | 25%                    | 6,7% para año 4                       |
| Total de herramientas (la que se puede vender otra vez)  | 46456,98  | 23 228,49                      | 5807,12                | 49 569,59                             |

Fuente: elaboración propia.

Para el porcentaje de tasa de inflación, se investigó en la página del Banco de Guatemala, los valores históricos de la tasa de inflación, y para estimar la tasa de inflación para los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017, se calculó el promedio de los históricos:

Tabla XXXV. **Tasas de inflación para proyección de costos**

| Año  | Tasa de inflación |
|------|-------------------|
| 2002 | 8,1%              |
| 2003 | 5,5%              |
| 2004 | 7,2%              |
| 2005 | 9,1%              |
| 2006 | 5,8%              |
| 2007 | 6,8%              |
| 2008 | 11,4%             |
| 2009 | 3,9%              |
| 2010 | 5,4%              |
| 2011 | 6,2%              |
| 2012 | 4,5%              |
| 2013 | 6,7%              |
| 2014 | 6,7%              |
| 2015 | 6,7%              |
| 2016 | 6,7%              |
| 2017 | 6,7%              |

Fuente: [www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=71&c=gt&l=es](http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=71&c=gt&l=es). Consulta: 25 de agosto de 2012.

Para la proyección de costos a largo plazo, que se mostrarán más adelante, se tomó en cuenta la tasa de descuento, el cálculo de la misma se desarrolla a continuación:

Datos:

Tasa de inflación ( $i_i$ ) = 6,7%

Tasa pasiva<sup>2</sup>( $i_p$ ) : 5%

<sup>2</sup>[www.s21.com.gt/pulso/2011/03/09/suben-intereses-prestamos-quetzales](http://www.s21.com.gt/pulso/2011/03/09/suben-intereses-prestamos-quetzales)

Cálculo:

$$\text{Tasa de descuento} = (i_i * i_p) + i_p$$

$$\text{Tasa de descuento} = (6,7\% * 5\%) + 5\%$$

$$\text{Tasa de descuento} = 5.3\%$$

Nota: los valores de las tasas utilizadas fueron tomadas como referencia del Banco de Guatemala.

A continuación se muestra el flujo de egresos tomando en cuenta costo de mano de obra, inversión de maquinaria, herramientas y equipo de protección personal.

**Tabla XXXVI. Escenario de costos implementando recurso propio en empresa para el mantenimiento de soldadura en mazas de los molinos**

| Cifras en quetzales (Q)             |       |          |          |          |             |          |
|-------------------------------------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------|
|                                     | Año 0 | Año 1    | Año 2    | Año 3    | Año 4       | Año 5    |
| Depreciaciones y valores de rescate |       |          |          |          |             |          |
| Depreciación de cable               |       | 5 407,15 | 5 407,15 | 5 769,43 | 5 769,43    |          |
| Valor de rescate maquinaria         |       |          |          |          |             |          |
| Depreciación maquinaria             |       | 2 511,83 | 2 511,83 | 2 511,83 | 2 511,83    | 2 511,83 |
| Valor de rescate herramientas       |       |          |          |          | (23,228,49) |          |
| Depreciación herramientas           |       | 5 807,12 | 5 807,12 | 5 807,12 | 5 807,12    |          |

Continuación de la tabla XXXVI.

|                                                         |         |           |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Costos fijos                                            |         |           |          |          |          |          |
| Mano de Obra                                            |         | 706 042   | 706 042  | 706 042  | 706 042  | 706 042  |
| Mantenimiento                                           |         |           |          |          |          |          |
| Maquinaria                                              |         | 4 000     | 4 000    | 4 000    | 4 000    |          |
| Inversión Inicial                                       |         |           |          |          |          |          |
| Equipo de protección personal                           |         |           |          |          |          |          |
| Costo total de EPP para soldadores                      | 19 920  | 19 920    | 19 920   | 19 920   | 19 920   |          |
| Herramientas                                            |         |           |          |          |          |          |
| Costo total herramientas para soldadores                | 68 086  |           | 21 629   |          | 68 086   |          |
| Cable de cobre                                          | 21 629  |           | 21 629   |          | 21 629   |          |
| Maquinaria                                              |         |           |          |          |          |          |
| 8 Soldadoras industriales                               | 200 946 |           |          |          |          |          |
| Total, Flujo de egresos                                 | 288 952 | 1 294 883 | 1 316511 | 1 294883 | 1 339740 | 1 243829 |
| Total, Flujo de egresos, aplicando tasa de interés 6,7% | 288 952 | 1 381 640 | 1 404718 | 1 381640 | 1 429503 | 1 327165 |

Fuente: elaboración propia.

Nota: No se contemplaron la reinversión de las máquinas soldadoras ni el valor de rescate de las mismas, dado que se reinvertiría en las máquinas hasta en el año 10.

- Recurso subcontratado

Se estimaron los costos según cotizaciones pasadas para el mantenimiento de soldadura en las mazas de los molinos, también se tomaron en cuenta las modalidades de subcontratación.

**Tabla XXXVII. Estimación de costos de mantenimiento de soldadura subcontratado**

| Cifras en Quetzales (Q)                    |             |                                        |                 |                                  |           |
|--------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------|
| Costos estimados por tercerizados, molinos | Un Soldador | Pareja soldadores, soldador y ayudante | Ocho soldadores | Seis soldadores y seis ayudantes | Total     |
|                                            | Al mes      | Al mes                                 | Zafra           | Reparación                       | Al año    |
| Mano de obra                               | 9 378       | 16 746                                 | 425 131         | 653 103                          | 1 078 235 |
| Herramienta básica                         | 7 177       | 7 177                                  | 57 416          | 43 062                           | 100 477   |
| Alquiler de maquinaria                     | 20 451      | 20 451                                 | 115 887         | 132 929                          | 248 817   |
| Total (incluye I.V.A.)                     | 37 006      | 44 374                                 | 598 434         | 829 095                          | 1 427 529 |

Fuente: elaboración propia.

Para el comparativo de costos proyectados a cinco años se utilizó la tasa de descuento anteriormente calculada, así también se repartió la inversión del año cero de los costos estimados contratando recurso propio.

**Tabla XXXVIII. Anualidades de inversión de activos de año cero de costos con recurso propio para mantenimiento de soldadura**

| (Inversión) | Anualidades, Cifras en Quetzales (Q) |        |        |        |        |
|-------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Año 0       | Año 1                                | Año 2  | Año 3  | Año 4  | Año 5  |
| 288 952     | 67 295                               | 67 295 | 67 295 | 67 295 | 67 295 |

Fuente: elaboración propia.



Para el comparativo de costos proyectados a cinco años se utilizó la tasa de inflación anteriormente calculada, se utilizó la tasa de descuento para evaluar el proyecto según el VPN (Valor Presente Neto), así también se repartió la inversión del año cero de los costos estimados contratando recurso propio en los cinco años proyectados.

A continuación se muestra el comparativo de costos para mantenimiento de soldadura con recurso propio y recurso subcontratado:

**Tabla XXXIX. Comparativo de dos escenarios de costos para mantenimiento de soldadura con recurso propio y subcontratado**

| Tasa de descuento (involucra inflación)<br>asumiendo tasa de inflación y pasiva estables, cifras en Quetzales (Q) |             |           |          |          |          |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Proyecciones/Comparativo dos escenarios                                                                           | Inversiones | 6,7%      | 6,7%     | 6,7%     | 6,7%     | 6,7%     |
|                                                                                                                   | Año 0       | Año 1     | Año 2    | Año 3    | Año 4    | Año 5    |
| Tercerizado (sin I.V.A)                                                                                           |             | 1 340 392 | 1430199  | 1 526022 | 1 628265 | 1 737359 |
| VPN                                                                                                               | 6 530509    |           |          |          |          |          |
| CSA                                                                                                               | 288 952     | 1 448935  | 1 472013 | 1 448935 | 1 496798 | 1 394460 |
| VPN                                                                                                               | 6 192857    |           |          |          |          |          |
| Ahorro por año                                                                                                    |             | (108 543) | (41 814) | 77087    | 131468   | 342899   |
| Ahorro a largo plazo                                                                                              | 337 652     |           |          |          |          |          |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XL. Porcentajes de ahorro contratando recurso propio**

| Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| -8%   | -3%   | 5%    | 8%    | 20%   |

Fuente: elaboración propia.

Si se dejara de subcontratar personal que desempeñe trabajos para mantenimiento de soldadura, los ahorros monetarios se obtendrían a partir del año 3, además las ventajas que se podrían llegar a tener son:

- Supervisión continua hacia la calidad del trabajo de mano de obra
- Se contaría con maquinaria para realizar mantenimientos de soldadura en cualquier momento, no importando la temporada de la empresa (zafra o reparación).
- Se contaría con el criterio de personal de la empresa al momento de realizar un mantenimiento de soldadura especial, aplicando el material y cantidades de material según la severidad del caso.
- Al momento de contratar personal para mantenimiento de soldadura industrial, se preocuparía que se ajuste al perfil de puesto requerido por la empresa (descrito anteriormente).
- A largo plazo se verían los ahorros significativamente
- Se vería favorecida la calidad de los mantenimientos, tendría un gran impacto en el funcionamiento del tándem de molinos.

## **2.5. Controlar**

En esta fase se definen mecanismos de control que aseguren que las acciones tomadas en la etapa mejorar para que no se dejen de realizar con el paso del tiempo. El primer período para controlar las acciones de mejora implementadas se realizará en la zafra 2012-2013.

### 2.5.1. Plan de control

A continuación se presenta la planificación propuesta para controlar el proyecto hasta su cierre (al finalizar zafra 2012-2013), la planificación se elaboró con base a los documentos propuestos, como ya se platicó al principio, ésta fase de la metodología se quedó en propuesta.

Tabla XLI. Plan de control, zafra 2012-2013

| Herramienta a utilizar                                                                         | Plan de control                                                                                                                                                                                                                                  | Responsable                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Registro de control para componentes de molinos (Propuesto)                                    | Llevar el control del tiempo de puenteo de cada componente reportado de molinos, una vez por turno durante la zafra 2012-2013.                                                                                                                   | Supervisor de proceso de E.J. de turno |
|                                                                                                | Generar reportes semanales de horas puenteadas por componente, por falla, efecto, motivo, y causa de efecto de tiempo de puenteo.                                                                                                                | Cynthya Maldonado                      |
| Registro de evaluación y seguimiento del mantenimiento de las mazas en los molinos (Propuesto) | Evaluar cada semana el estado de las mazas por molino.                                                                                                                                                                                           | Supervisor de proceso de E.J.          |
|                                                                                                | Programar su respectivo mantenimiento de soldadura al mantenimiento preventivo programado semanal a dos molinos críticos e inspecciones, tomándolos como prioridad.                                                                              | Coordinador de proceso de E.J.         |
| Registro de apoyo semanal para planificación de mantenimiento preventivo                       | Evaluar con base al "registro de control para componentes de molinos (propuesto)" una vez a la semana los componentes por sus respectivas fallas, según severidad, control y ocurrencia para priorizar el mantenimiento de componentes críticos. | Cynthya Maldonado                      |
|                                                                                                | Autoevaluar el mantenimiento una vez hecho el mismo, para determinar si falló o no el componente nuevamente, si falló colocar el tiempo de puenteo que representó la falla del componente.                                                       | Cynthya Maldonado                      |

Fuente: elaboración propia.

Los registros control para componentes de molinos y registro de apoyo semanal para planificación de mantenimiento preventivo, se propusieron en el mes de septiembre del 2012, a continuación se presentan los modelos propuestos, para fines de ejemplificación se llenaron algunos campos.

Figura 65. **Registro de control para componentes de molinos**

| REGISTRO                          |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  |                           |                                                |                |
|-----------------------------------|--------|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------|----------------|
| Control de tiempo puenteo molinos |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  |                           |                                                |                |
| 3-EJ-RG-019                       |        |                        | VERSIÓN: 01                                         |                                 |                                      | CORRELATIVO:     |                           |                                                |                |
| ZAFRA: 2012 - 2013                |        |                        |                                                     |                                 | SEMANA:                              |                  |                           | 25                                             |                |
| Fecha                             | Molino | Componente             | Modo potencial de falla                             | Efectos potenciales de falla    | Causas Potenciales de falla          | Horas de puenteo | Horas puenteo (decimales) | Acciones correctivas (no más de 90 caracteres) | Responsable    |
| 01/05/2013                        | 3      | Relé de protección     | Falla en contadores y reles de control              | Humedad del bagazo              | Tiempo de vida del material          | 01:12:00         | 12                        | se mantuvo constante                           | Victor Herrera |
| 02/05/2013                        | 4      | Reductor/transmisión   | Thyristores                                         | Cambio de maza y puenteo molino | Sobrecarga del motor eléctrico       | 01:56:00         | 1.933333333               |                                                | Juán Aguilar   |
| 03/05/2013                        | 4      | Rodamientos            | Falla de programación                               | Puenteo el Molino               | la en servomotor de carga automática | 01:20:00         | 1.333333333               |                                                | Eulatio García |
| 04/05/2013                        | 5      | Relé de protección     | Rodamientos                                         | Posibilidad de rotura           | la en servomotor de carga automática | 05:50:00         | 5.833333333               |                                                | Victor Herrera |
| 05/05/2013                        | 4      | Relé de protección     | Fallo de carga automática de interruptor de cierre. | Baja eficiencia                 | Sobrecarga del motor eléctrico       | 06:50:00         | 6.833333333               |                                                | Sergio Gómez   |
| 06/05/2013                        | 2      | Cables de alimentación | Falla de programación                               | Baja eficiencia                 | Envejecimiento                       | 08:08:00         | 8.133333333               |                                                | Antonio Yanci  |
| 07/05/2013                        | 3      | Variador de frecuencia | Fallo de carga automática de interruptor de cierre. | Baja eficiencia                 | Suciedad                             | 06:10:00         | 6.166666667               |                                                | Eulatio García |
| 08/05/2013                        | 2      | Transformador          | Corro circuito                                      | Eje Roto                        | Tiempo de vida del material          | 07:56:00         | 7.933333333               |                                                | Otoniel Luján  |
| 09/05/2013                        | 3      | Relé de protección     | Falla de programación                               | Baja eficiencia                 | la en servomotor de carga automática | 08:56:00         | 8.933333333               |                                                | Eulatio García |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
|                                   |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 0                         |                                                |                |
| Total horas puenteadas semana     |        |                        |                                                     |                                 |                                      |                  | 48.3                      |                                                |                |

**Cantidad Molidor:**  
Si la celda está de color rojo, significa que se excedió de 12 horas semanales de puenteo.

Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Registro semanal de apoyo para la planificación de mantenimiento preventivo

| REGISTRO SEMANAL DE APOYO PARA LA PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO |                                                          |                                                                |                      |                  |                                             |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| A elaborar 4 horas antes del Mantenimiento Preventivo                       |                                                          |                                                                |                      |                  |                                             |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| ZAFRA: 2012/13                                                              |                                                          |                                                                |                      |                  |                                             |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| SEMANA: 1                                                                   |                                                          |                                                                |                      |                  |                                             |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| MOLINO: 1                                                                   |                                                          |                                                                |                      |                  |                                             |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
|                                                                             |                                                          | EVALUACIÓN SEMANAL                                             |                      |                  | PRIORIZADOR                                 | POST-EVALUACIÓN                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
|                                                                             |                                                          | 1=bajo<br>9=alto                                               | 1=fácil<br>9=difícil | 1=bajo<br>9=alto |                                             | 1=bajo<br>9=alto                                                     |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
|                                                                             |                                                          | ¿Posibilidad de<br>¿Cómo afectaría<br>el Tiempo de<br>Puenteo? |                      |                  | ¿Qué tan fácil lo<br>detecto y<br>prevengo? | ¿Posibilidad de<br>que falle hasta<br>el próximo Paro<br>Programado? | Componentes a<br>Realizar<br>Mantenimiento | Autoevaluación<br>de efectividad<br>del<br>Mantenimiento | ¿Tiempo de<br>¿Falló en los<br>próximos 7<br>días? |           | ¿Tiempo de<br>Puenteo (en<br>horas)? |
| No.                                                                         | MOLINO   COMPONENTE   FALLA                              | SEVERIDAD                                                      | CONTROL              | OCURRENCIA       | RPN                                         | Preventivo                                                           | Descripción Corta - Manto. Prev.           | Preventivo                                               | días?                                              | SEVERIDAD |                                      |
| 1                                                                           | BOTELLONES   Pérdida Presión                             | 6                                                              | 5                    | 5                | 150                                         | ✓                                                                    | Cambiar manguera x4                        | 100%                                                     |                                                    |           |                                      |
| 2                                                                           | CABEZOTES HIDRAULICOS   Fuga en Sellos                   | 5                                                              | 5                    | 5                | 125                                         | ✓                                                                    | Renovación de Sellos                       | 90%                                                      |                                                    |           |                                      |
| 3                                                                           | CABLES DE ALIMENTACIÓN AL TRANSFORMADOR   Corto circuito | 7                                                              | 0                    | 0                | 0                                           |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| 4                                                                           | CAMISA MAZA   Desgaste                                   | 6                                                              | 5                    | 5                | 150                                         | ✓                                                                    | Evaluación de desgaste                     | 100%                                                     |                                                    |           |                                      |
| 5                                                                           | CAMISA MAZA   Rotura Dientes                             | 8                                                              | 8                    | 6                | 384                                         | ✓                                                                    | Ajuste de pernos                           | 50%                                                      | si                                                 | 10        |                                      |
| 6                                                                           | CARBONES   Falta de excitación                           | 7                                                              | 0                    | 0                | 0                                           |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| 7                                                                           | CHUMACERAS   Desgaste                                    | 8                                                              | 6                    | 5                | 240                                         | ✓                                                                    | Cambio de chumaceras                       | 100%                                                     |                                                    |           |                                      |
| 8                                                                           | CHUMACERAS   Fallo en lubricación                        | 5                                                              | 8                    | 2                | 80                                          |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| 9                                                                           | CHUMACERAS   Rotura                                      | 5                                                              | 2                    | 2                | 20                                          | ✓                                                                    | Ajuste                                     | 100%                                                     |                                                    |           |                                      |
| 10                                                                          | CORONAS   Desgaste                                       | 8                                                              | 8                    | 2                | 128                                         | ✓                                                                    | Cambio de Coronas                          | 80%                                                      |                                                    |           |                                      |
| 11                                                                          | CORONAS   Rotura                                         | 2                                                              | 5                    | 2                | 20                                          |                                                                      |                                            |                                                          |                                                    |           |                                      |
| 12                                                                          | CUCHILLA 4A. MAZA   Desgaste                             | 8                                                              | 5                    | 3                | 120                                         | ✓                                                                    | Soldadura Reforzar                         | 100%                                                     |                                                    |           |                                      |

Fuente: Comité Seis Sigma, PSH.

### **3. PLAN DE AHORRO ENERGÉTICO EN OFICINAS DEL INGENIO CONCEPCIÓN, S.A.**

A continuación se presenta el desarrollo del plan de ahorro energético:

#### **3.1. Objetivos**

Objetivo general

Concientizar al personal acerca del uso de la energía eléctrica en cada una de las oficinas en la iluminación y los aparatos eléctricos en las oficinas del área administrativa y producción de la empresa.

Objetivos específicos

- Calcular los MWh con base a la situación actual de consumo energético en la empresa para iluminación y aparatos eléctricos para la época de zafra y reparación en las oficinas administrativas y de producción.
- Calcular los MWh con base a la propuesta de nuevos hábitos de consumo energético y tecnología LED para iluminación y aparatos eléctricos para la época de zafra y reparación en las oficinas administrativas y de producción.
- Demostrar el ahorro energético y ahorro de costos a corto y a largo plazo para la iluminación y aparatos eléctricos de las oficinas, en tres escenarios de consumo energético en las oficinas administrativas y de producción.

- Proponer rótulos en lugares estratégicos para que puedan ser visibles y a la vez los mismos ser útiles como recordatorio al personal respecto a acciones que ayuden al ahorro energético de iluminación y aparatos eléctricos en las oficinas administrativas y de producción.

### **3.2. Justificación de estudio energético**

En las empresas industriales uno de los más importantes compromisos en cuanto a la transformación de materias primas y la producción de su producto terminado es cuidar el medio ambiente produciendo de una manera más limpia, producir de una manera más limpia conlleva a acatarse de normas y certificaciones para el medio ambiente, como por ejemplo la certificación de las Normas ISO 14 000.

Producir de una manera más limpia significa prolongar la vida en el mundo, disminuyendo ciertas consecuencias como el efecto invernadero, aire contaminado, enfermedades en la piel, enfermedades estomacales, enfermedades respiratorias, terminar la existencia de recursos naturales, fauna y flora, agua contaminada, entre otras.

También producir de una manera más limpia significa abrir las brechas para negociar mundialmente, dado que actualmente como uno de los requerimientos de los clientes es que las industrias cumplan con las normas de medio ambiente, de esta manera no solo se dan a conocer las empresas nacionales sino también incrementan su competitividad y sus ventas.

Teniendo claro que producir de una manera más limpia en las empresas industriales se obtienen muchos beneficios no solo para el medio ambiente sino también beneficios financieros para la empresa, es importante estar a la

vanguardia de desarrollar e implementar proyectos de mejora continua que estén vinculados con el medio ambiente.

A continuación se desarrolla el plan de ahorro energético delimitado a las oficinas administrativas y de producción del Ingenio Concepción, S.A., dando a conocer el estimado de lo que actualmente se consume en energía para iluminación y aparatos eléctricos, así también los beneficios financieros y energéticos que se tendrían al momento de invertir en tecnología LED para la iluminación, la aplicación de nuevos hábitos del uso de energía para iluminación y aparatos eléctricos por medio de rótulos dentro de las instalaciones de cada oficina.

### **3.3. Marco teórico**

- Consecuencias ambientales del consumo eléctrico, ¿Cuál es el impacto ambiental que produce el uso de la energía?

Se dice que hay impacto ambiental, cuando una acción o actividad produce una alteración en el medio natural o en alguno de los componentes del medio.

Uno de los principales impactos ambientales en el sector energía, es la incidencia de los contaminantes producidos por la combustión de combustibles (fuente).

En mayor o menor grado, la extracción, producción, transporte y consumo de energía produce alteraciones medioambientales, afectando también la vida y desarrollo del ser humano. Algunas de ellas son:



- Contaminación visual (es la menos seria)

Es producida por las construcciones de las fábricas que alteran el paisaje. Podemos nombrar: las torres de extracción de petróleo, torres de alta tensión, los miles de cables eléctricos que cruzan los cielos de las ciudades y pueblos, los molinos eólicos, etc.

- Contaminación atmosférica, alteración de la composición natural del aire, por emisiones de gases tóxicos producidos por la combustión del petróleo o sus derivados (bencina, parafina, diesel, etc), gas, carbón o leña. Es una de las más conocidas, siendo la contaminación urbana la más seria por el daño inmediato que se produce en la salud de las personas que viven en las ciudades.

La contaminación atmosférica trae como consecuencia dos fenómenos que amenazan gravemente el equilibrio de nuestro medio ambiente:

- Lluvia ácida
- Calentamiento del planeta (efecto invernadero)
- Alteración de ecosistemas con destrucción de la biodiversidad, la pérdida del equilibrio en los ecosistemas (extinción de especies vegetales y animales) puede ser producida por distintos tipos de contaminación:
  - Contaminación de aire
  - Contaminación de agua
  - Contaminación de tierra

Este tipo de contaminación, puede darse además por la construcción de embalses y centrales hidroeléctricas, donde es necesario inundar extensas áreas, alterando drásticamente el ecosistema del lugar.

- Pérdida de vegetación (bosques, matorrales, etc.) y erosión de suelos: producido por tala indiscriminada de árboles y arbustos para usarlos como combustibles u otros fines. Debido a esto se encuentran en el mundo, varias especies que están en peligro de extinción.
- Agotamiento de los recursos naturales, por explotación sostenida y hasta hace algunos años sin control alguno, de los recursos energéticos fósiles y biomasa (leña) se produce un agotamiento del recurso.

Todo lo antes mencionado, afecta la salud y el desarrollo de la vida en general.

- ¿Cuáles son los impactos?

A continuación se describen los impactos que produce el extraer, transportar y consumir energía de las distintas fuentes energéticas.

- El petróleo y sus derivados
  - Extracción: al extraer petróleo pueden ocurrir accidentes, como derrames que afecten el entorno que lo rodea. Si el petróleo se encuentra junto a depósitos de gas natural, en pozos ubicados en el mar o en tierra, normalmente éste es

quemado, así se libera a la atmósfera una serie de elementos contaminantes: hollín, monóxido, dióxido de carbono y óxido de azufre.

- Transporte: el principal impacto es que al ser transportado por mar, en barco, ocurra un derrame debido a un accidente. Cuando un petrolero se accidenta, produce un enorme impacto en el ecosistema marino al derramar cientos o miles de toneladas de petróleo crudo sobre las aguas, el que se esparce en una gran extensión que suele abarcar varios kilómetros a la redonda.
  - Consumo: la combustión de los principales derivados del petróleo ya refinado, (gasolina, bencina, parafina, petróleo diesel, etc.), genera gran cantidad de hollín (carbón sin quemar); CO (monóxido de carbono), que es un veneno; y CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) principal constituyente del *smog* de las grandes ciudades y causante principal del efecto invernadero en la planeta.
- El gas natural
- Extracción: al obtener gas natural es común la quema de un pequeño porcentaje de este gas en los pozos. Esto provoca un impacto ambiental atmosférico, ya descrito en la explicación sobre la extracción de petróleo.
  - En los pozos extractores de gas, es común ver las enormes y altas chimeneas coronadas por fuego (llamas). Esta

combustión, incompleta, contamina la atmósfera (monóxido, dióxido de carbono, etc.).

- Transporte: no presenta mayor riesgo que las posibles explosiones de gasoductos debido a fallas en sus sistemas reguladores de la presión, lo cual, es poco probable. Muy pocas veces ha ocurrido un accidente de este tipo.
  - Consumo: el mayor impacto ambiental que presenta este energético es la combustión. En todo caso, el gas natural es el combustible que produce menos contaminación atmosférica, y por lo tanto, es considerado el combustible más limpio en la actualidad.
- El carbón
- Extracción: el carbón es un mineral bastante quebradizo, que se extrae mediante el esfuerzo directo del ser humano, y por lo mismo, los mineros están expuestos al polvo residual de las faenas, produciendo daños en su salud.
  - Transporte: el almacenamiento y distribución del carbón no presenta riesgos de impacto ambiental, sin embargo su almacenamiento al aire libre sin protección produce la oxidación de ciertos compuestos como el azufre que al entrar en contacto con lluvias, generan compuestos ácidos y corrosivos que escurren y queman el suelo en que se encuentran, donde pueden filtrarse hacia las capas subterráneas.

- Consumo: la combustión del carbón genera hollín, monóxido y dióxido de carbono, además de otros polutos derivados del azufre y del nitrógeno.
- La electricidad, es un energético limpio, es decir no contamina el medio ambiente al ser utilizada, sin embargo debemos poner atención en los procesos que son necesarios para producirla y transportarla hasta el lugar de uso.
  - Producción hidroeléctrica: es sí misma, la generación de hidroelectricidad es un sistema limpio, que no atenta contra el medio ambiente, pues no genera contaminantes atmosféricos. Sin embargo, los embalses y lagos artificiales que se deben construir para almacenar y controlar el agua, alteran el medio ambiente: sumergen territorios fértiles y útiles para la agricultura, desvían los cursos naturales de agua, etc. Todo esto modifica el sistema ecológico natural del área, afectando drásticamente la vida de las especies animales y vegetales que habitan las aguas y la superficie de tierra inundada, como, microorganismos acuáticos, plantas, peces, semillas, aves, etc. Además se producen desequilibrios climáticos importantes en las regiones circundantes a la gran superficie de agua del lago artificial.
  - Producción termoeléctrica: provoca impacto ambiental atmosférico. Libera a la atmósfera grandes cantidades de gases contaminantes, debido al uso de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural.

- La biomasa (leña)
  - Extracción o explotación: a diferencia de los combustibles anteriores, la leña, debiera ser un energético renovable, pero usado como en la actualidad en que se cortan más árboles que los que se plantan, se convierte en no renovable. Su explotación indiscriminada produce pérdida de la masa vegetal en la región de donde se extrae, reduciendo la capacidad vital del área afectada y alterando o destruyendo la biodiversidad de la selva, bosque o zona de foresta.
  - Almacenamiento: presenta peligro de incendios durante el verano.
  - Transporte: no produce impacto ambiental.
  - Consumo: su combustión impacta al ambiente de la misma manera que los combustibles citados anteriormente, con el agravante que su combustión libera mucho más hollín que los otros.

Con base a los impactos ambientales que se presentan en el sector de energía, Pantaleón en los ingenios, generan energía mediante el desecho de la materia prima: bagazo de caña, según la teoría se entiende entonces que el impacto ambiental asociado es el de la biomasa que provocan o contribuyen a la contaminación atmosférica.

Cabe mencionar que en el Ingenio Concepción, existen mecanismos que ayudan a proteger el medio ambiente en el proceso de energía, como lo son las cajas húmedas, que su función es sedimentar el hollín (últimas partículas del bagazo quemado) que está expuesto a salir de las chimeneas, otro mecanismo es aprovechar el agua evaporándola y condensándola, para en cualquiera de sus estados el agua pueda servir como refrigerante o alimentando a las turbinas con vapor sobrecalentado y de ésta manera generar energía, y así sucesivamente recirculando el agua sin desperdiciarla.

### **3.4. Situación actual de la empresa**

En Pantaleón, S.A., Ingenio Concepción., es una empresa que es amigable con el medio ambiente, en el proceso de energía cuenta con cinco turbogeneradores, tres condensing y dos de escape, tres para alimentar eléctricamente a la empresa y dos para la venta de energía eléctrica, actualmente se generan 27MW (cifra nominal) para la venta.

Los turbogeneradores funcionan con base de vapor sobrecalentado, el vapor es proveniente de las calderas, y las calderas son alimentadas con bagazo de caña, se dice que es una empresa amigable con el medio ambiente dado que su combustible es un recurso renovable, ya que en las fincas donde se cosecha la caña son tratadas constantemente, ayudando a que la tierra siempre esté en buenas condiciones, además de sus mecanismos anteriormente mencionados en el último párrafo del inciso 3.3., y finalmente el tratamiento que le dan al agua de su propiedad, para que no sean factores contaminantes al medio ambiente.

En época de zafra se autosostienen energéticamente y su fuente de combustible es el bagazo de caña, en época de reparación una parte es

generación interna con base a bagazo de caña y chip de madera, y la otra parte se compra a la EEGA.

Figura 67. **Matriz de administración de energía, CSA**

| Nivel | Política energética                                                                                                                                               | Organización                                                                                                                                                             | Motivación                                                                                                                                                                         | Sistemas de Información                                                                                                                                                                               | Posicionamiento (benchmarking)                                                                                                | Inversión                                                                                                                                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4     | La Política energética contiene un plan de acción, que incluye todas las áreas de la empresa y, a su vez, forma parte de una estrategia de protección al ambiente | La administración de la energía está totalmente integrada a la estructura administrativa. Existe una delegación clara de responsabilidades para el manejo de la energía. | Existe una clara utilización de los canales formales e informales de comunicación. El equipo a cargo de la administración de la energía mantiene comunicación a todos los niveles. | La empresa define los objetivos a partir del análisis de los sistemas que afectan su operación, monitorea el consumo, identifica las fallas, cuantifica los ahorros y da seguimiento a los objetivos. | Se realizan estudios de mercado para evaluar la eficiencia energética y el desempeño de la energía dentro de la organización. | Se tiene una postura favorable a la inversión en proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía; además, se busca utilizar nuevas tecnologías más eficientes. |
| 3     | Existe una política energética formal, pero no se tiene el apoyo de los directivos                                                                                | Existe un comité de energía, integrado por representantes de cada una de las áreas que componen la empresa.                                                              | El comité de energía cuenta con un canal de comunicación principal para mantenerse en contacto con los miembros de la empresa.                                                     | Se reportan algunos logros, obtenidos según mediciones hechas, sin embargo, no se reportan de manera efectiva los beneficios a los usuarios.                                                          | Existen campañas regulares de concientización sobre el uso de la energía.                                                     | Se aplica el mismo criterio de evaluación de proyectos.                                                                                                          |
| 2     | Existe una política energética poco elaborada, impuesta por el gerente general o por el gerente de mantenimiento                                                  | El encargado de la administración de la energía reporta los resultados a un comité, sin embargo, la línea de mando y responsabilidades no está totalmente definida.      | Se tiene contacto con la mayoría de los empleados de la empresa a través de un comité a cargo del gerente general.                                                                 | Se tiene un registro de los consumos de energía y el costo de la misma. Las unidades de energía empiezan a tomar importancia en la compra de la misma.                                                | Solo se capacita al personal directamente involucrado.                                                                        | Sólo se toma en cuenta la tasa de retorno como criterio para la evaluación de proyectos.                                                                         |
| 1     | Existe una serie de reglas no escritas en cuanto al manejo de la energía en la empresa.                                                                           | La administración de la energía es una responsabilidad de tiempo parcial a cargo del personal con autoridad o influencia limitada.                                       | Se tiene contacto informal entre los departamentos y algunos empleados.                                                                                                            | Los costos se reportan con base en los datos reportados en las facturas. Los ingenieros archivan los reportes para uso interno, sin analizarlos.                                                      | Sólo existen contactos informales para promover el uso eficiente de la energía.                                               | Sólo se autorizan los proyectos de bajo costo.                                                                                                                   |
| 0     | No existen políticas implícitas.                                                                                                                                  | No existe un encargado de la administración de la energía.                                                                                                               | No se tiene contacto con los usuarios.                                                                                                                                             | No existe un sistema de información, no hay un registro del consumo de la energía.                                                                                                                    | No se promueve la eficiencia energética.                                                                                      | No se invierte en proyectos de eficiencia energética.                                                                                                            |

Fuente: elaboración propia, con base a [www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/2/Matriz01.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/2/Matriz01.pdf), consulta: mayo de 2012.

- Resultados:

Ponderación ideal: 24

Ponderación obtenida: 22, 92% administración de energía.



### 3.4.1. Consumo anual de energía de la empresa en los últimos cinco años

El consumo eléctrico en la empresa se divide por dos épocas o temporadas: zafra y reparación, a continuación se detallan los MWh consumidos por toda la empresa en los últimos cinco años:

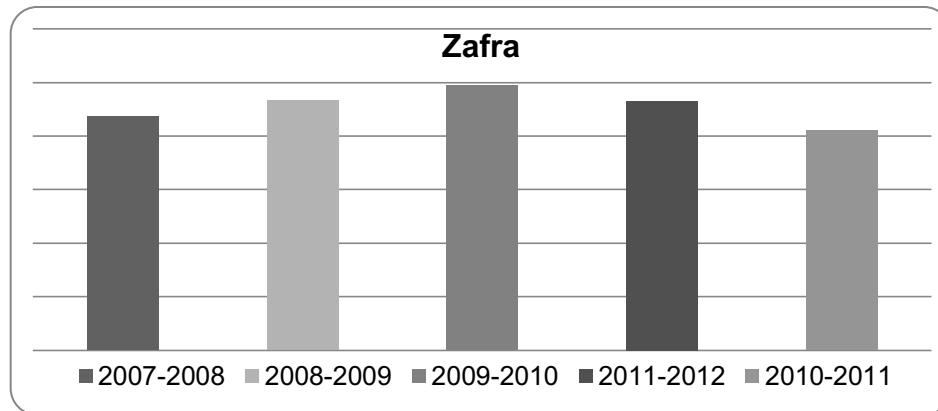
Tabla XLII. Consumo de energía de la empresa en los últimos cinco años

| Año | Período                           | MWh    | Total por año |
|-----|-----------------------------------|--------|---------------|
| 1   | Zafra 07-08                       | 43 630 | 47 283        |
|     | Reparación 08                     | 3 653  |               |
| 2   | Zafra 08-09                       | 46 603 | 52 178        |
|     | Reparación 09                     | 5 574  |               |
| 3   | Zafra 09-10                       | 49 445 | 52 006        |
|     | Reparación 10                     | 2 561  |               |
| 4   | Zafra 10-11                       | 41 047 | 43 894        |
|     | Reparación 11                     | 2 847  |               |
| 5   | Zafra 11-12                       | 46 520 | 50179         |
|     | Reparación 12<br>(valor estimado) | 3 659  |               |

Fuente: elaboración propia, con base a información de planta eléctrica CSA.

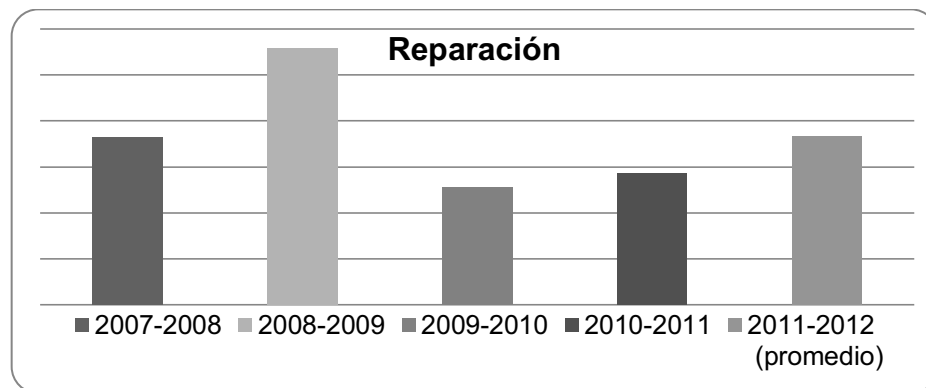
Nota: para reparación 2012 se calculó el promedio del consumo de MWh de las reparaciones anteriores, para estimar el consumo para ese año, dado que no se cuenta con dicha información real.

Figura 68. **Gráfica de consumo MWh por la empresa durante últimas cinco zafras**



Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Gráfica de consumo MWh por la empresa durante últimas cinco reparaciones**



Fuente: elaboración propia.

Con las gráficas de las figuras 68 y 69 indudablemente se puede ver cómo ha variado el consumo de energía de una forma favorable dado que los dos últimos valores de MWh consumida por la empresa han sido los más bajos

### 3.4.2. Variación del precio de energía eléctrica en los últimos cinco años

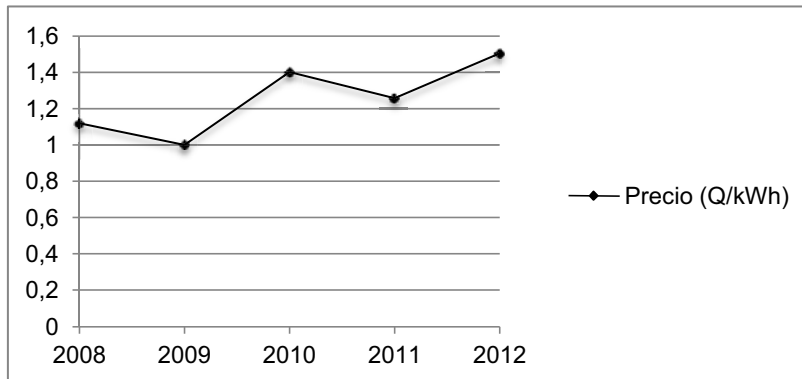
Los precios en los últimos cinco años se promediaron con base a los precios históricos mensuales por año.

Tabla XLIII. Precio promedio de energía en los últimos cinco años

| Año  | Precio (Q/kWh) |
|------|----------------|
| 2008 | 1,118          |
| 2009 | 0,999          |
| 2010 | 1,400          |
| 2011 | 1,256          |
| 2012 | 1,503          |

Fuente: elaboración propia.

Figura 70. Gráfica de variación del precio de energía, últimos cinco años



Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. Consumidores

Por ser una empresa grande se optó por dividir los consumidores por área, a continuación se describen los consumidores por área de la empresa:

Tabla XLIV. Consumo por área en la empresa

| Área           | Consumidores                                                                                             |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beneficio café | Proceso de café                                                                                          |
| Talleres       | Agrícola                                                                                                 |
|                | Caseta                                                                                                   |
| Refinería      | Proceso de recuperación de azúcar                                                                        |
| Generación     | Planta eléctrica                                                                                         |
| Fábrica        | Oficina técnica                                                                                          |
|                | Proceso Extracción de jugo de caña                                                                       |
|                | Proceso Tratamiento de jugo                                                                              |
|                | Proceso Recuperación de azúcar                                                                           |
|                | Proceso Energía                                                                                          |
|                | Chipiadora                                                                                               |
|                | Caseta                                                                                                   |
| Otros consumos | Obras civiles, Producto terminado, Campo, Centro de salud, materiales, talleres, seguridad, Club social. |

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4. Indicadores

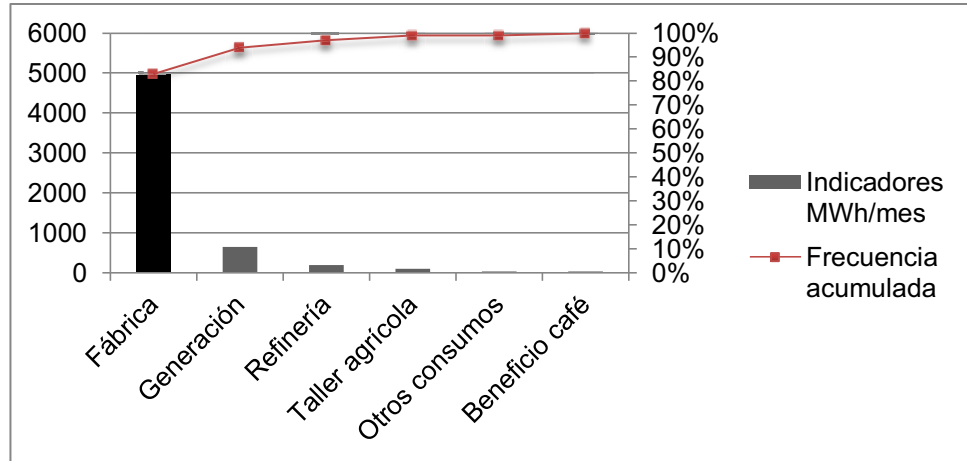
Con base a los consumidores por área en la empresa se describe el consumo en MWh mensual, así mismo se hizo el cálculo de la frecuencia relativa y acumulada para la gráfica de Pareto que se presentará en la figura 71 y de ésta manera visualizar que área es la que más consume energía de toda la empresa.

Tabla XLV. **Indicadores de consumo de energía eléctrica en MWh/mes en la empresa**

| Área            | Indicadores MWh/mes | Frecuencia acumulada |
|-----------------|---------------------|----------------------|
| Fábrica         | 4 960               | 83%                  |
| Generación      | 640                 | 94%                  |
| Refinería       | 198                 | 97%                  |
| Taller agrícola | 105                 | 99%                  |
| Otros consumos  | 36                  | 99%                  |
| Beneficio café  | 30                  | 100%                 |
| Consumo total   | 5 969               |                      |

Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Diagrama de Pareto según indicadores en MWh/mes promedio por área**



Fuente: elaboración propia.

**Interpretación:**

El veinte por ciento es dado por el Área de Generación, Refinería, Taller Agrícola, Beneficio Café y en otros consumos, quiere decir que fábrica consume el ochenta por ciento de energía de toda la empresa. Para reducir los costos de energía eléctrica los proyectos que se llevarían a cabo serían para el área de fábrica para obtener oportunidades de ahorro significativo.

### 3.5. Plan de ahorro energético

Para la elaboración del plan de ahorro energético se hizo un estudio del consumo eléctrico que actualmente hay en las oficinas de la oficina técnica de la empresa, para ello se hizo un listado de cantidad de lámparas y equipos eléctricos por oficina, además se hizo un estudio de consumo innecesario en las oficinas para finalmente hacer propuestas sobre la iluminación y utilización de los equipos eléctricos.

#### 3.5.1. Consumos anuales actuales e innecesarios en cuanto a iluminación

A continuación se presentan los consumos anuales actuales e innecesarios en cuanto a iluminación:

Tabla XLVI. Consumo actual de iluminación anual en planta baja de oficinas

| Oficina                                                      | Cantidad Lámparas |       |       | Tipo de lámpara | Horas aprox. Permanecen encendidas |            | Consumo eléctrico kWh por periodo (lo que representa en una factura eléctrica) |                       |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|-------|-------|-----------------|------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                              | (20W)             | (40W) | (75W) |                 | Zafra                              | Reparación | Zafra (170 días)                                                               | Reparación (195 días) |
| Coordinación de Recuperación de Azúcar y Tratamiento de Jugo |                   | 4     |       | fluorescente    | 24                                 | 10         | 653                                                                            | 312                   |

Continuación de la tabla XLVI.

|                                                                             |   |    |   |               |    |    |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|----|---|---------------|----|----|-------|-------|
| Coordinación de<br>Automatización y<br>Supervisión de Extracción de<br>Jugo |   | 4  |   | fluorescente  | 24 | 10 | 653   | 312   |
| Supervisión Automatización                                                  |   | 4  |   | fluorescente  | 10 | 10 | 272   | 312   |
| Jefatura Tratamiento de Jugo                                                |   | 4  |   | fluorescente  | 10 | 10 | 272   | 312   |
| Jefatura RR.HH.                                                             |   | 4  |   | fluorescente  | 10 | 10 | 272   | 312   |
| Baño mujeres                                                                |   | 4  |   | fluorescente  | 4  | 4  | 109   | 125   |
| Baño hombres                                                                |   | 4  |   | fluorescente  | 4  | 4  | 109   | 125   |
| Pasillo lado norte                                                          | 4 |    |   | fluorescente  | 24 | 10 | 326   | 156   |
| Recepción                                                                   |   |    | 3 | incandescente | 24 | 12 | 918   | 527   |
| Gradas                                                                      |   |    | 3 | incandescente | 24 | 12 | 918   | 527   |
| Pila                                                                        |   |    | 1 | incandescente | 4  | 4  | 51    | 59    |
| Documentación, laboratorio                                                  |   | 4  |   | fluorescente  | 12 | 10 | 326   | 312   |
| Lab. Bodega muestra                                                         |   | 4  |   | fluorescente  | 5  | 5  | 136   | 156   |
| Lab sala                                                                    |   | 4  |   | fluorescente  | 24 | 10 | 653   | 312   |
| Coordinación de laboratorio                                                 |   | 4  |   | fluorescente  | 12 | 10 | 326   | 312   |
| jefatura laboratorio                                                        |   | 4  |   | fluorescente  | 10 | 10 | 82    | 94    |
| Pila laboratorio                                                            |   |    | 1 | fluorescente  | 14 | 7  | 179   | 102   |
| Baño jefe laboratorio                                                       |   |    | 1 | incandescente | 2  | 2  | 26    | 29    |
| Pasillo laboratorio                                                         | 2 | 4  |   | fluorescente  | 24 | 10 | 816   | 390   |
| Laboratorio                                                                 |   | 28 |   | fluorescente  | 24 | 10 | 4 570 | 2 184 |
| Laboratorio entrada                                                         | 6 |    |   | fluorescente  | 24 | 10 | 490   | 234   |
| Laboratorio 1                                                               |   | 4  |   | fluorescente  | 24 | 10 | 653   | 312   |
| Laboratorio 2                                                               |   | 4  |   | fluorescente  | 24 | 10 | 653   | 312   |
| Baño de afuera mujeres                                                      |   |    | 1 | incandescente | 3  | 3  | 38    | 44    |
| Baño de afuera hombres                                                      |   |    | 1 | incandescente | 3  | 3  | 38    | 44    |
| Corredor baño afuera                                                        |   |    | 1 | incandescente | 0  | 0  | 0     | 0     |

Fuente: elaboración propia.



Tabla XLVII. **Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual de planta baja por zafra y reparación de iluminación**

|                   |          |                        |         |
|-------------------|----------|------------------------|---------|
| Total zafra (kWh) | 13 537,1 | Total reparación (kWh) | 7 914,1 |
| Total zafra (MWh) | 13,5     | Total reparación (MWh) | 7,91    |
| Total por año MWh | 21,5     |                        |         |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Consumo actual innecesario anual en planta baja de Oficinas**

| Oficina                                                            | Cant. Lámparas |       |       | Tipo de lámpara | Horas aprox. Permanec en encendidas innecesariamente |            | Consumo eléctrico kWh por periodo |            | Consumo eléctrico kWh por periodo |                       |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|-----------------------|
|                                                                    | (20W)          | (40W) | (75W) |                 | Zafra                                                | Reparación | Zafra                             | Reparación | Zafra (170 días)                  | Reparación (195 días) |
| Coordinación de Recuperación de Azúcar y Tratamiento de Jugo       | 4              |       |       | Fluorescente    | 1                                                    |            | 0                                 | 0,16       | 0                                 | 31,2                  |
| Coordinación de Automatización y Supervisión de Extracción de Jugo | 4              |       |       | Fluorescente    | 6                                                    | 4          | 0,96                              | 0,64       | 163,2                             | 124,8                 |

Continuación de la tabla XLVIII.

|                              |   |    |   |               |    |   |      |      |       |       |
|------------------------------|---|----|---|---------------|----|---|------|------|-------|-------|
| Supervisión Automatización   |   | 4  |   | Fluorescente  | 6  | 4 | 0,96 | 0,64 | 163,2 | 124,8 |
| Jefatura Tratamiento de Jugo |   | 4  |   | Fluorescente  | 3  | 2 | 0,48 | 0,32 | 81,6  | 62,4  |
| Jefatura RR.HH.              |   | 4  |   | Fluorescente  | 3  | 2 | 0,48 | 0,32 | 81,6  | 62,4  |
| Baño mujeres                 |   | 4  |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño hombres                 |   | 4  |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Pasillo lado norte           | 4 |    |   | Fluorescente  | 12 |   | 0,96 | 0    | 163,2 | 0     |
| Recepción                    |   |    | 3 | Incandescente | 12 |   | 2,7  | 0    | 459   | 0     |
| Gradas                       |   |    | 3 | Incandescente | 12 |   | 2,7  | 0    | 459   | 0     |
| Pila                         |   |    | 1 | Incandescente |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Documentación, laboratorio   |   | 4  |   | Fluorescente  | 2  | 1 | 0,32 | 0,16 | 54,4  | 31,2  |
| Lab. Bodega muestra          |   | 4  |   | Fluorescente  | 1  | 1 | 0,16 | 0,16 | 27,2  | 31,2  |
| Lab sala                     |   | 4  |   | Fluorescente  |    | 1 | 0    | 0,16 | 0     | 31,2  |
| Coordinación de laboratorio  |   | 4  |   | Fluorescente  | 2  | 1 | 0,32 | 0,16 | 54,4  | 31,2  |
| jefatura laboratorio         |   | 4  |   | Fluorescente  | 2  | 1 | 0,32 | 0,16 | 16,32 | 9,36  |
| Pila laboratorio             |   |    | 1 | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño jefe laboratorio        |   |    | 1 | Incandescente |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Pasillo laboratorio          | 2 | 4  |   | Fluorescente  | 12 |   | 2,4  | 0    | 408   | 0     |
| Laboratorio                  |   | 28 |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Laboratorio entrada          | 6 |    |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Laboratorio 1                |   | 4  |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Laboratorio 2                |   | 4  |   | Fluorescente  |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño de afuera mujeres       |   |    | 1 | Incandescente |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño de afuera hombres       |   |    | 1 | Incandescente |    |   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Corredor baño afuera         |   |    | 1 | Incandescente | 0  | 0 | 0    | 0    | 0     | 0     |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Cuadro resumen de consumo eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta baja por zafra y reparación de iluminación**

|                   |      |                        |       |
|-------------------|------|------------------------|-------|
| Total zafra (kWh) | 2131 | Total reparación (kWh) | 539,8 |
| Total zafra (MWh) | 2,1  | Total reparación (MWh) | 0,54  |
| Total poraño      | 2,67 |                        |       |

Fuente: elaboración propia

Tabla L. **Consumo actual de iluminación anual en planta alta en las oficinas**

| Oficina                    | Cantidad Lámparas |       |       | tipo de lámpara | Horas aprox. Permanecen encendidas |            | Consumo eléctrico kWh por periodo |            | Consumo eléctrico kWh por periodo (lo que representa en una factura eléctrica) |            |
|----------------------------|-------------------|-------|-------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                            | (20W)             | (40W) | (75W) |                 | Zafra                              | Reparación | Zafra                             | Reparación | Zafra                                                                          | Reparación |
| Sala de Dibujo             |                   | 16    |       | Fluorescente    | 24                                 | 10         | 15,4                              | 6,4        | 2611,2                                                                         | 1248       |
| Jefatura de P&C            |                   | 8     |       | Fluorescente    | 10                                 | 10         | 3,2                               | 3,2        | 544                                                                            | 624        |
| Jefe de mantenimiento      |                   | 4     |       | Fluorescente    | 10                                 | 10         | 1,6                               | 1,6        | 272                                                                            | 312        |
| Pasillo entrada a fábrica  |                   |       | 1     | Incandescente   | 12                                 | 10         | 0,9                               | 0,75       | 153                                                                            | 146,3      |
| Recepción planta baja      |                   |       | 3     | Incandescente   | 12                                 | 10         | 2,7                               | 2,25       | 459                                                                            | 438,8      |
| Planilla                   |                   | 4     |       | Fluorescente    | 10                                 | 10         | 1,6                               | 1,6        | 272                                                                            | 312        |
| Sala de reuniones          |                   | 8     |       | Fluorescente    | 5                                  | 5          | 1,6                               | 1,6        | 81,6                                                                           | 93,6       |
| Sala de refacción          |                   | 4     |       | Fluorescente    | 16                                 | 6          | 2,56                              | 0,96       | 435,2                                                                          | 187,2      |
| Jefatura de Automatización |                   | 4     |       | Fluorescente    | 10                                 | 10         | 1,6                               | 1,6        | 272                                                                            | 312        |

Continuación de la tabla L.

|                                                     |   |   |               |    |    |      |      |       |       |
|-----------------------------------------------------|---|---|---------------|----|----|------|------|-------|-------|
| Jefatura de Tratamiento                             | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Sala de Ingeniería                                  | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Jefatura de proceso Energía                         | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Jefatura de proceso Extracción                      | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Pasillo frente a secretaría de Gerencia             | 4 |   | Fluorescente  | 24 | 10 | 3,84 | 1,6  | 652,8 | 312   |
| Secretaría Gerencia                                 | 4 |   | Fluorescente  | 24 | 10 | 3,84 | 1,6  | 652,8 | 312   |
| Gerencia                                            | 8 |   | Fluorescente  | 5  | 5  | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Baño de Gerencia                                    |   | 1 | Incandescente | 2  | 2  | 0,15 | 0,15 | 25,5  | 29,25 |
| Baño Jefatura de proceso Tratamiento y Energía      |   | 1 | Incandescente | 2  | 2  | 0,15 | 0,15 | 25,5  | 29,25 |
| Lavamanos Jefatura de proceso Tratamiento y Energía |   | 1 | Incandescente | 2  | 2  | 0,15 | 0,15 | 25,5  | 29,25 |
| Pila                                                |   | 1 | Incandescente | 2  | 2  | 0,15 | 0,15 | 25,5  | 29,25 |
| Baño mujeres                                        | 2 |   | Fluorescente  | 12 | 2  | 0,96 | 0,16 | 163,2 | 31,2  |
| Baño hombres                                        | 2 |   | Fluorescente  | 12 | 2  | 0,96 | 0,16 | 163,2 | 31,2  |
| Pasillo                                             | 5 |   | Fluorescente  | 24 | 12 | 2,4  | 1,2  | 408   | 234   |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual planta alta por zafra y reparación de iluminación**

|                   |       |                        |       |
|-------------------|-------|------------------------|-------|
| Total zafra (kWh) | 8 602 | Total reparación (kWh) | 6 271 |
| Total zafra (MWh) | 8,6   | Total reparación (MWh) | 6,3   |
| Total por año MWh | 14,9  |                        |       |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Consumo actual innecesario de iluminación al año, planta alta**

| Oficina                   | Cant. Lámparas |       |       | tipo de lámpara | Horas aprox. Permanec en encendidas innecesariamente |            | Consumo eléctrico kWh por periodo |            | Consumo eléctrico kWh por periodo |            |
|---------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|                           | (20W)          | (40W) | (75W) |                 | Zafra                                                | Reparación | Zafra                             | Reparación | Zafra                             | Reparación |
| Sala de Dibujo            |                | 16    |       | Fluorescente    | 10                                                   | 6          | 6,4                               | 3,8        | 1088                              | 748,8      |
| Jefatura de P&C           |                | 8     |       | Fluorescente    |                                                      |            | 0                                 | 0          | 0                                 | 0          |
| Jefe de mantenimiento     |                | 4     |       | Fluorescente    | 10                                                   | 10         | 1,6                               | 1,6        | 272                               | 312        |
| Pasillo entrada a fábrica |                |       | 1     | Incandescente   |                                                      |            | 0                                 | 0          | 0                                 | 0          |
| Recepción planta baja     |                |       | 3     | Incandescente   |                                                      |            | 0                                 | 0          | 0                                 | 0          |
| Planilla                  |                | 4     |       | Fluorescente    | 10                                                   | 10         | 1,6                               | 1,6        | 272                               | 312        |
| Sala de reuniones         |                | 8     |       | Fluorescente    |                                                      |            | 0                                 | 0          | 0                                 | 0          |

Continuación de la tabla LII.

|                                                     |   |   |   |               |    |    |      |      |       |       |
|-----------------------------------------------------|---|---|---|---------------|----|----|------|------|-------|-------|
| Sala de refacción                                   |   | 4 |   | Fluorescente  | 8  | 6  | 1,28 | 0,96 | 217,6 | 187,2 |
| Jefatura de Automatización                          |   | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Jefatura de Tratamiento                             |   | 4 |   | Fluorescente  |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Sala de Ingeniería                                  |   | 4 |   | Fluorescente  |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Jefatura de proceso Energía                         |   | 4 |   | Fluorescente  |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Jefatura de proceso Extracción                      |   | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Pasillo frente a secretaría de Gerencia             |   | 4 |   | Fluorescente  | 12 | 10 | 1,92 | 1,6  | 326,4 | 312   |
| Secretaría Gerencia                                 |   | 4 |   | Fluorescente  | 10 | 10 | 1,6  | 1,6  | 272   | 312   |
| Gerencia                                            |   | 8 |   | Fluorescente  |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño de Gerencia                                    |   |   | 1 |               |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño Jefatura de proceso Tratamiento y Energía      |   |   | 1 |               |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Lavamanos Jefatura de proceso Tratamiento y Energía |   |   | 1 |               |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Pila                                                |   |   | 1 | Incandescente |    |    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Baño mujeres                                        |   | 2 |   | Fluorescente  | 8  |    | 0,64 | 0    | 108,8 | 0     |
| Baño hombres                                        |   | 2 |   | Fluorescente  | 8  |    | 0,64 | 0    | 108,8 | 0     |
| Pasillo                                             | 5 |   |   | Fluorescente  | 12 | 12 | 1,2  | 1,2  | 204   | 234   |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta alta por zafra y reparación de iluminación**

|                   |       |                        |       |
|-------------------|-------|------------------------|-------|
| Total zafra (kWh) | 3 414 | Total reparación (kWh) | 3 042 |
| Total zafra (MWh) | 3,4   | Total reparación (MWh) | 3,04  |
| Total poraño MWh  | 6,5   |                        |       |

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Resumen de consumo eléctrico en las oficinas respecto a iluminación

Tomando como base la tarifa que aplica para el sector no regulado que ofrece la EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.) Q1.6716/kWh<sup>3</sup>, dado que la empresa consume una potencia mayor a 100kW, excluyendo las tarifas de pliego tarifario, que es un ajuste que se calcula en la factura eléctrica, estos son:

- Generación y transporte
  - Valor agregado de Distribución (VAD)
  - Ajustes de precio trimestral o solidaridad
  
- Distribución
  - Cargo fijo por cliente
  - Cargo unitario por energía
  - Cargo unitario por potencia contratada
  - Cargo unitario por potencia máxima

<sup>3</sup>[www.ieee.org.sv/concapan/descargas/memoria\\_secciones/Jueves\\_10/chaparrastique/P71.pdf](http://www.ieee.org.sv/concapan/descargas/memoria_secciones/Jueves_10/chaparrastique/P71.pdf).  
Consulta: junio de 2012.

Los kWh aproximados que representan en la factura eléctrica anualmente en la oficina técnica (planta baja y planta alta) y el costo por la iluminación actualmente se describe a continuación:

Tabla LIV. **Cuadro resumen de costo anual por consumo anual actual en iluminación en la planta baja y alta de oficinas**

| Planta                              | Época al año           |                             |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                                     | kWh zafra<br>(170días) | kWh reparación<br>(195días) |
| Baja                                | 13 537                 | 7 914                       |
| Alta                                | 8 602                  | 6 271                       |
| Total por época kWh                 | 22 139                 | 14 185                      |
| Total por año kWh                   | 36 324                 |                             |
| Costo unitario Q/kWh                | 1,67                   |                             |
| Costo total por año aproximadamente | Q 60 720               |                             |

Fuente: elaboración propia.

$$C_{\text{total iluminacion}} = \frac{Q1,67}{\text{kWh}} * 36\,324 \text{ kWh}$$

$$C_{\text{total iluminacion}} \approx Q60\,720$$

Los kWh innecesarios aproximados que representan en la factura eléctrica anualmente en la oficina técnica son:



Tabla LV. **Cuadro de costo anual por consumo actual innecesario en iluminación en la planta baja y alta de oficinas**

| Planta               | Época al año           |                             |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|
|                      | kWh zafra<br>(170días) | kWh reparación<br>(195días) |
| Baja                 | 2 131                  | 540                         |
| Alta                 | 3 414                  | 3 042                       |
| Total por época kWh  | 5 545                  | 3 582                       |
| Total por año kWh    | 9 126                  |                             |
| Costo unitario Q/kWh | 1,67                   |                             |
| Costo total por año  | Q 15 256               |                             |

Fuente: elaboración propia.

Si se usara adecuadamente la iluminación en la oficina técnica se tendría un ahorro de aproximadamente Q15 256 anualmente.

$$C_{\text{total iluminación innecesaria}} = Q1,67/\text{kWh} * 9\ 126\ \text{kWh}$$

$$C_{\text{total iluminación innecesaria}} \approx Q15\ 256$$

### 3.5.3. Estudio del consumo eléctrico en las oficinas de la empresa, respecto a los aparatos eléctricos

A continuación se presentan los consumos anuales actuales e innecesarios en cuanto a iluminación:

Tabla LVI. **Consumo actual de aparatos eléctricos anual en planta baja de oficinas**

| Área                 | Oficina                                                         | Cantidad           | Equipo      | Horas que permanecen los equipos, funcionando al día |            | Horas que permanecen los equipos, funcionando por temporada |                       | kWh    |            |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|------------|
|                      |                                                                 |                    |             | Zafra                                                | Reparación | Zafra (170 días)                                            | Reparación (195 días) | Zafra  | Reparación |
| Producción           | Coordinación Recuperación de azúcar y Tratamiento de jugo       | 2                  | Computadora | 6                                                    | 9          | 876                                                         | 1 377                 | 788    | 1 239      |
|                      |                                                                 | 1                  | Dispensador | 2                                                    | 1          | 292                                                         | 153                   | 158    | 83         |
|                      | Coordinación Automatización y Supervisión de Extracción de jugo | 2                  | Computadora | 6                                                    | 9          | 876                                                         | 1 377                 | 788    | 1 239      |
| Administración       | Supervisión Automatización                                      | 2                  | Computadora | 9                                                    | 9          | 1 206                                                       | 1 377                 | 1 085  | 1 239      |
|                      | Jefatura Tratamiento de jugo                                    | 1                  | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                                       | 1 377                 | 482    | 620        |
|                      | Jefatura RR.HH                                                  | 1                  | Laptop      | 8                                                    | 9          | 1 072                                                       | 1 377                 | 268    | 344        |
|                      | Recepción RR.HH                                                 | 1                  | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                                       | 1 377                 | 482    | 620        |
|                      | Documentación laboratorio                                       | 1                  | Computadora | 10                                                   | 9          | 1 340                                                       | 1 377                 | 603    | 620        |
|                      | Coordinación laboratorio                                        | 1                  | Computadora | 10                                                   | 9          | 1 340                                                       | 1 377                 | 603    | 620        |
|                      |                                                                 | 1                  | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                                       | 1 377                 | 482    | 620        |
|                      | Laboratorio                                                     | 5                  | Computadora | 24                                                   |            | 3 216                                                       | 0                     | 7 236  | 0          |
|                      |                                                                 | 2                  | Computadora |                                                      | 9          | 0                                                           | 1 377                 | 0      | 1 239      |
| Jefatura laboratorio | 1                                                               | Computadora        | 8           | 9                                                    | 321,6      | 413,1                                                       | 145                   | 186    |            |
| Todas las oficinas   | 3                                                               | Aire Acondicionado | 24          | 12                                                   | 3 216      | 1 836                                                       | 52 389                | 29 908 |            |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **resumen**

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Total (kWh) por zafra      | 65 511  |
| Total (kWh) por reparación | 38 577  |
| Total (kWh) por año        | 104 087 |
| Total (MWh) por año        | 104,1   |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Consumo actual innecesario de aparatos eléctricos anual en planta baja de oficinas**

| Área                         | Oficina                                                         | Cantidad                   | Equipo             | kWh kW*horas-día*(zafra/reparación) |      |   |                       |   |    |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|------|---|-----------------------|---|----|
|                              |                                                                 |                            |                    | Zafra (170 días)                    |      |   | Reparación (195 días) |   |    |
|                              |                                                                 |                            |                    | W                                   | S    | C | W                     | S | C  |
| Producción                   | Coordinación Recuperación de azúcar y Tratamiento de jugo       | 2                          | Computadora        | 1840                                | 0    | 0 | 0                     | 0 | 18 |
|                              |                                                                 | 2                          | Monitor            | 394                                 | 0    | 0 | 0                     | 4 | 9  |
|                              |                                                                 | 1                          | Dispensador        | 0                                   | 0    | 0 | 0                     | 0 | 0  |
|                              | Coordinación Automatización y Supervisión de Extracción de jugo | 2                          | Computadora        | 1840                                | 0    | 0 | 0                     | 0 | 18 |
|                              |                                                                 | 2                          | Monitor            | 394                                 | 0    | 0 | 0                     | 4 | 9  |
|                              | Administración                                                  | Supervisión Automatización | 2                  | Computadora                         | 1431 | 0 | 0                     | 0 | 0  |
| 2                            |                                                                 |                            | Monitor            | 307                                 | 7    | 0 | 0                     | 4 | 9  |
| Jefatura Tratamiento de jugo |                                                                 | 1                          | Computadora        | 0                                   | 0    | 8 | 0                     | 0 | 9  |
|                              |                                                                 | 1                          | Monitor            | 0                                   | 0    | 4 | 0                     | 0 | 4  |
| Jefatura RR.HH               |                                                                 | 1                          | Laptop             | 67                                  | 0    | 0 | 38                    | 0 | 0  |
|                              |                                                                 | 1                          | Cargador de Laptop | 0                                   | 0    | 0 | 0                     | 0 | 0  |
| Recepción RR.HH              |                                                                 | 1                          | Computadora        | 0                                   | 0    | 8 | 0                     | 0 | 9  |

Continuación de la tabla LVIII.

|                           |   |                    |      |   |    |       |   |    |
|---------------------------|---|--------------------|------|---|----|-------|---|----|
|                           | 1 | Monitor            | 0    | 0 | 4  | 0     | 2 | 4  |
| Documentación laboratorio | 1 | Computadora        | 0    | 0 | 7  | 0     | 0 | 9  |
|                           | 1 | Monitor            | 0    | 0 | 3  | 0     | 2 | 4  |
| Coordinación laboratorio  | 1 | Computadora        | 0    | 0 | 7  | 0     | 0 | 9  |
|                           | 1 | Monitor            | 0    | 0 | 3  | 0     | 2 | 4  |
|                           | 1 | Computadora        | 0    | 0 | 8  | 0     | 0 | 9  |
|                           | 1 | Monitor            | 0    | 0 | 4  | 0     | 2 | 4  |
| Laboratorio               | 2 | Computadora        | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 | 18 |
|                           | 2 | Monitor            | 0    | 0 | 0  | 0     | 4 | 9  |
|                           | 3 | Computadora        | 0    | 0 | 41 | 0     | 0 | 28 |
|                           | 3 | Monitor            | 0    | 0 | 19 | 0     | 6 | 13 |
| Jefatura laboratorio      | 1 | Laptop             | 20   | 0 | 0  | 11    | 0 | 0  |
|                           | 1 | Cargadores laptop  | 0    | 0 | 0  | 0     | 0 | 0  |
| Todas las oficinas        | 3 | Aire Acondicionado | 4366 | 0 | 0  | 29908 | 0 | 0  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta baja por zafra y reparación de aparatos eléctricos**

|                   |        |                        |        |
|-------------------|--------|------------------------|--------|
| Total zafra (kWh) | 10 781 | Total reparación (kWh) | 30 202 |
| Total zafra (MWh) | 10,78  | Total reparación (MWh) | 30,20  |
| Total MWh por año |        | 40,98                  |        |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. Consumo actual de aparatos eléctricos al año de planta alta

| Área           | Oficina                | Cantidad    | Equipo      | Horas que permanecen los equipos, funcionando al día |            | Horas que permanecen los equipos, por temporada |                       | kWh   |            |
|----------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------|------------|
|                |                        |             |             | Zafra                                                | Reparación | Zafra (170 días)                                | Reparación (195 días) | Zafra | Reparación |
| Producción     | Sala dibujo            | 1           | Impresora   | 24                                                   | 9          | 3 504                                           | 1 377                 | 1 822 | 716        |
|                |                        | 1           | Computadora | 24                                                   | 9          | 3 504                                           | 1 377                 | 1 577 | 620        |
|                |                        | 2           | Computadora | 0                                                    | 9          | 0                                               | 1 377                 | 0     | 1 239      |
| 3              |                        | Computadora | 8           | 9                                                    | 1 072      | 1 377                                           | 1 447                 | 1 859 |            |
| 1              |                        | Escáner     | 0.01        | 0.01                                                 | 0.93       | 1.06                                            | 0.01                  | 0.02  |            |
| 1              |                        | UPS         | 24          | 10                                                   | 3 216      | 1 530                                           | 49                    | 23    |            |
| 1              |                        | Router      | 24          | 9                                                    | 3 216      | 1 377                                           | 35                    | 15    |            |
| Administración | Jefatura P&C           | 2           | Laptop      | 8                                                    | 9          | 1 072                                           | 1 377                 | 536   | 689        |
|                |                        | 1           | Plotter     | 8                                                    | 9          | 1 072                                           | 1 377                 | 120   | 154        |
|                |                        | 1           | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                           | 1 377                 | 482   | 620        |
|                | Jefatura Mantenimiento | 1           | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                           | 1 377                 | 482   | 620        |
|                | Planilla               | 1           | Computadora | 8                                                    | 9          | 1 072                                           | 1 377                 | 482   | 620        |
|                | Sala refacción         | 1           | Microondas  | 2                                                    | 1          | 268                                             | 153                   | 402   | 230        |
|                |                        | 1           | Cafetera    | 10                                                   | 18         | 1 340                                           | 2 754                 | 1 461 | 3 002      |
|                |                        | 1           | Oasis       | 24                                                   | 24         | 3 216                                           | 3 672                 | 3 587 | 4 096      |

Continuación de la tabla LIX.

|                                      |   |                         |    |    |       |       |        |        |
|--------------------------------------|---|-------------------------|----|----|-------|-------|--------|--------|
| Jefatura Automatización              | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
| Jefatura proceso Recuperación Azúcar | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
| Jefatura proceso Energía             | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
| Jefatura proceso Extracción de jugo  | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
| Pasillo frente a secretaria gerencia | 1 | Impresora/Fotocopiadora | 8  | 9  | 1072  | 1 377 | 933    | 1198   |
| Secretaria gerencia                  | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
| Gerencia                             | 1 | Computadora             | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 482    | 620    |
|                                      | 1 | Laptop                  | 8  | 9  | 1 072 | 1 377 | 268    | 344    |
| Todas las oficinas                   | 2 | Aire Acondicionado      | 24 | 12 | 3 216 | 1 836 | 34 926 | 19 939 |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXI. Cuadro resumen de consumo eléctrico actual en MWh anual de planta alta por zafra y reparación de aparatos eléctricos**

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Total (kWh) por zafra      | 51504  |
| Total (kWh) por reparación | 39701  |
| Total (kWh) por año        | 91 205 |
| Total (MWh) por año        | 91,21  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. Consumo actual innecesario de aparatos eléctricos al año de planta alta

| Área           | Oficina                              | Cantidad | Equipo            | kWh<br>kW*horas-día*(zafra/reparación) |    |    |            |    |    |
|----------------|--------------------------------------|----------|-------------------|----------------------------------------|----|----|------------|----|----|
|                |                                      |          |                   | Zafra                                  |    |    | Reparación |    |    |
|                |                                      |          |                   | E                                      | SB | C  | E          | SB | C  |
| Producción     | Sala dibujo                          | 1        | Impresora         | 1518                                   | 0  | 0  | 0          | 0  | 16 |
|                |                                      | 1        | Computadora       | 0                                      | 0  | 0  | 0          | 0  | 6  |
|                |                                      | 1        | Monitor           | 0                                      | 0  | 0  | 0          | 2  | 2  |
|                |                                      | 2        | Computadora       | 0                                      | 0  | 20 | 0          | 0  | 12 |
|                |                                      | 2        | Monitor           | 0                                      | 0  | 6  | 0          | 4  | 3  |
|                |                                      | 3        | Computadora       | 0                                      | 0  | 16 | 0          | 0  | 18 |
|                |                                      | 3        | Monitor           | 0                                      | 10 | 5  | 0          | 6  | 5  |
|                |                                      | 1        | Escáner           | 145                                    | 0  | 0  | 165        | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | UPS               | 0                                      | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Router            | 0                                      | 0  | 0  | 25         | 0  | 0  |
| Administración | Jefatura P&C                         | 2        | Laptop            | 40                                     | 0  | 0  | 23         | 0  | 0  |
|                |                                      | 2        | Cargadores laptop | 0                                      | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Plotter           | 240                                    | 0  | 0  | 257        | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Computadora       | 0                                      | 0  | 5  | 0          | 0  | 6  |
|                |                                      | 1        | Monitor           | 0                                      | 3  | 2  | 0          | 2  | 2  |
|                | Jefatura Mantenimiento               | 1        | Computadora       | 0                                      | 0  | 5  | 0          | 0  | 6  |
|                |                                      | 1        | Monitor           | 0                                      | 3  | 2  | 0          | 2  | 2  |
|                | Planilla                             | 1        | Computadora       | 0                                      | 0  | 5  | 0          | 0  | 6  |
|                |                                      | 1        | Monitor           | 0                                      | 3  | 2  | 0          | 2  | 2  |
|                | Sala refacción                       | 1        | Microondas        | 402                                    | 0  | 0  | 459        | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Cafetera          | 730                                    | 0  | 0  | 834        | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Oasis             | 2392                                   | 0  | 0  | 2731       | 0  | 0  |
|                | Jefatura Automatización              | 1        | Computadora       | 0                                      | 0  | 5  | 0          | 0  | 6  |
|                |                                      | 1        | Monitor           | 0                                      | 3  | 2  | 0          | 2  | 2  |
|                | Jefatura proceso Recuperación Azúcar | 1        | Laptop            | 67                                     | 0  | 0  | 38         | 0  | 0  |
|                |                                      | 1        | Cargadores laptop | 0                                      | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  |

Continuación de la tabla LXI.

|                                      |   |                         |      |     |   |       |     |   |
|--------------------------------------|---|-------------------------|------|-----|---|-------|-----|---|
| Jefatura proceso                     | 1 | Computadora             | 0    | 0   | 5 | 0     | 0   | 6 |
|                                      | 1 | Monitor                 | 0    | 3   | 2 | 0     | 2   | 2 |
| Energía                              | 1 | Computadora             | 0    | 0   | 5 | 0     | 0   | 6 |
|                                      | 1 | Monitor                 | 0    | 3   | 2 | 0     | 2   | 2 |
| Jefatura proceso                     | 1 | Computadora             | 0    | 0   | 5 | 0     | 0   | 6 |
| Extracción de jugo                   | 1 | Monitor                 | 0    | 3   | 2 | 0     | 2   | 2 |
| Pasillo frente a secretaría gerencia | 1 | Impresora/Fotocopiadora | 1632 | 171 | 0 | 1864  | 195 | 0 |
| Secretaria gerencia                  | 1 | Computadora             | 0    | 0   | 5 | 0     | 0   | 6 |
|                                      | 1 | Monitor                 | 0    | 3   | 2 | 0     | 2   | 2 |
| Gerencia                             | 1 | Computadora             | 0    | 0   | 5 | 0     | 0   | 6 |
|                                      | 1 | Monitor                 | 0    | 3   | 2 | 0     | 2   | 2 |
|                                      | 1 | Laptop                  | 67   | 0   | 0 | 38    | 0   | 0 |
|                                      | 1 | Cargadores laptop       | 0    | 0   | 0 | 0     | 0   | 0 |
| Todas las oficinas                   | 2 | Aire Acondicionado      | 2910 | 0   | 0 | 19939 | 0   | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Cuadro resumen de consumo energético eléctrico actual en MWh anual innecesario de planta alta por zafra y reparación de aparatos eléctricos**

|                   |        |                        |       |
|-------------------|--------|------------------------|-------|
| Total zafra (kWh) | 10451  | Total reparación (kWh) | 26719 |
| Total zafra (MWh) | 10,45  | Total reparación (MWh) | 26,72 |
| Total por año kWh | 37 170 |                        |       |
| Total por año MWh | 37,17  |                        |       |

Fuente: elaboración propia.



### 3.5.4. Resumen de consumo eléctrico en las oficinas respecto a los aparatos eléctricos

Tomando como base la tarifa para el sector no regulado descrita en el inciso No. 3.5.1.5, los kWh aproximados que representan en la factura eléctrica anualmente en la oficina técnica (planta baja y planta alta) y el costo por el funcionamiento de los aparatos eléctricos actualmente se describe a continuación:

Tabla LXIV. Cuadro resumen de costo anual por consumo actual de aparatos eléctricos en la planta baja y planta alta de las oficinas

| Planta               | Época al año           |                             |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|
|                      | kWh zafra<br>(170días) | kWh reparación<br>(195días) |
| Baja                 | 65 511                 | 38 577                      |
| Alta                 | 51 504                 | 39 701                      |
| Total por época kWh  | 117 015                | 78 277                      |
| Total por año kWh    | 195 292                |                             |
| Costo unitario Q/kWh | 1,67                   |                             |
| Costo total por año  | Q 326 451              |                             |

Fuente: elaboración propia.

$$C_{\text{total aparatos e.}} = Q1,67/\text{kWh} * 195\,292 \text{ kWh}$$

$$C_{\text{total aparatos e.}} \approx Q326451$$

Los kWh innecesarios aproximados que representan en la factura eléctrica anualmente en la oficina técnica son:

Tabla LXV. **Cuadro resumen de costo anual por consumo actual innecesario de aparatos eléctricos en la planta baja y alta de las oficinas**

| Planta               | Época al año           |                             |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|
|                      | kWh zafra<br>(170días) | kWh reparación<br>(195días) |
| Baja                 | 10781                  | 30202                       |
| Alta                 | 10451                  | 26719                       |
| Total por época kWh  | 21232                  | 56921                       |
| Total por año kWh    | 78153                  |                             |
| Costo unitario Q/kWh | 1,67                   |                             |
| Costo total por año  | Q 130 640              |                             |

Fuente: elaboración propia.

$$C_{\text{total innecesario aparatos e.}} = Q1,67/\text{kWh} * 78\ 153\ \text{kWh}$$

$$C_{\text{total innecesario aparatos e.}} \approx Q130\ 640$$

Si se usaran adecuadamente los aparatos eléctricos en la oficina técnica se tendría un ahorro de aproximadamente Q130 640 anualmente.

El ahorro total anual si se utilizaran adecuadamente la iluminación y los aparatos eléctricos en la oficina técnica asciende a un total aproximado de:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{innecesario aparato e.}} + C_{\text{iluminacion innecesaria}}$$

$$C_{\text{total}} = Q(130\ 640 + 15256)$$

$$C_{\text{total al año}} \approx Q145\ 896$$

### 3.6. Presentación de plan de ahorro energético

A continuación se presenta el resumen del plan de ahorro energético en las oficinas de la empresa, el cual incluyen las propuestas en cuanto a iluminación, las proyecciones de costos y el beneficio económico del mismo.

#### 3.6.1. Resumen del plan de ahorro energético en las oficinas de la empresa

Actualmente se cuenta en la oficina técnica con lámparas fluorescentes e incandescentes, y se detalla a continuación:

Tabla LXVI. **Detalle de lámparas instaladas en las oficinas de planta baja**

| Planta baja            | Fluorescente | Fluorescente | Incandescente |
|------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Cantidad               | 12           | 88           | 12            |
| W (cada lámpara)       | 20           | 40           | 75            |
| Potencia Consumida kWh | 0,24         | 3,52         | 0,9           |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. **Detalle de lámparas instaladas en las oficinas de planta alta**

| Planta alta            | Fluorescente | Fluorescente | Incandescente |
|------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Cantidad               | 5            | 84           | 8             |
| W (cada lámpara)       | 20           | 40           | 75            |
| Potencia Consumida kWh | 0,1          | 3,36         | 0,6           |

Fuente: elaboración propia.

Para calcular los ahorros estimados que se tendrían por utilizar lámparas con iluminación LED para cada una de las oficinas para la planta baja y alta, no se utilizó algún método para cálculo de iluminación, dado que la lámparas propuestas investigadas son equivalentes a las lámparas de tubo fluorescentes convencionales es decir con especificaciones técnicas equivalentes.

Los tipos de lámparas elegidas fueron:

- Para oficinas y pasillos, lámparas de tubo fluorescente con tecnología LED

Éste tipo de lámpara está fabricada con leds SMD de alta calidad alojados en una estructura de aluminio extruido para proporcionar una solución virtualmente irrompible a prueba de vandalismo, además asegura una vida mínima de cuatro años, es decir mucho más que los tubos fluorescentes convencionales, sus principales características son:

- Son de alta resistencia a golpes y vibraciones

- Instalación eléctrica sin necesidad de cebadores ni balastos. Instalación rápida y fácil para reducir al mínimo costes de instalación o sustitución
- Encendido suave sin descargas
- Arranque instantáneo al 100% luminosidad sin sobreconsumos. Baja emisión de calor, temperaturas ambiente de trabajo desde -40°C hasta +50°C, ideal para trabajar con climas extremos
- Dimensiones equivalentes a las de un fluorescente convencional y totalmente intercambiables
- Vida útil de sobre 50 000 horas y garantía estándar de tres años
- Intensidad y Flujo luminoso equivalente a tubo convencional con balasto electrónico de bajo consumo y un 30% inferior si conectado a balasto electromagnético
- Libre de materiales peligrosos, cumple con normativa RoHS (Restriction of Hazardous Substance) en su acrónimo en español (Restricción de Sustancias Peligrosas)

Sus especificaciones técnicas son:

**Tabla LXVIII. Especificaciones técnicas de lámparas led propuestas**

| Referencia | Potencia (W) | Longitud (m) | Diámetro (mm) | No. LED's | Intensidad Luminosa (lux/1m) | Flujo Luminoso (lm) | Precio aproximado |
|------------|--------------|--------------|---------------|-----------|------------------------------|---------------------|-------------------|
| S00212-NW  | 11           | 60           | 26            | 96        | 130                          | 525                 | Q 286             |
| S00218-NW  | 22           | 120          | 26            | 192       | 200                          | 1050                | Q 572             |

Fuente: [www.ermec.com/catalogos/2009/CAT-ERMEC-ILU-FLUORESCENTE-LED.pdf](http://www.ermec.com/catalogos/2009/CAT-ERMEC-ILU-FLUORESCENTE-LED.pdf),

Consultada: 15 julio de 2012.

- Para otras áreas donde hay instaladas lámparas incandescentes el tipo de lámpara elegidas como sustituto fue

**Tabla LXIX. Especificaciones técnicas de lámpara fluorescente propuesta**

| Tipo de lámpara | Consumo (W) | Iluminación (lm) | Vida útil (horas) | Precio aproximado |
|-----------------|-------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Led             | 6           | 400              | 60 000            | Q342              |

Fuente: [www.weiku.com/LED-Bulbs-Tubes/buy-High-Quality-6W-LED-Spot-Light.html](http://www.weiku.com/LED-Bulbs-Tubes/buy-High-Quality-6W-LED-Spot-Light.html),

Consultada: 15 julio de 2012.

La propuesta comprende la sustitución de lámparas de tubo fluorescente con lámparas de tubo fluorescente con tecnología led, que anteriormente ya se describieron sus características principales y sus especificaciones técnicas, y así también las lámparas incandescentes por lámparas led.

Si se cambiaran las lámparas fluorescentes por lámparas LED, se tendría un consumo como se detalla en la siguiente tabla, tomando como base la cantidad de lámparas fluorescentes que actualmente se encuentran instaladas en las oficinas de la Oficina Técnica:

Que como beneficio seria:

Tabla LXX. **Porcentajes de ahorro de lámparas propuestas**

| Fluorescente/Incandescente | Lo que consumen las LEDS de las fluorescentes | Ahorro estimado |
|----------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| 20W                        | 35%                                           | 65%             |
| 40W                        | 35%                                           | 65%             |
| 75W                        | 8%                                            | 92%             |

Fuente: elaboración propia.

Los beneficios en unidades monetarias serían:

Tabla LXXI. **Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta baja, según consumo actual**

| Fluorescente/Incandescente<br>Planta baja | Lo que consume actualmente zafra durante el día kWh* | Lo que consume actualmente reparación durante el día kWh* | Total kWh | Lo que consumiría con iluminación LED aproximadamente kWh | Ahorro aproximado kWh |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| 20W                                       | 979,2                                                | 468                                                       | 1 447,2   | 506,5                                                     | 940,7                 |
| 40W                                       | 10 390,4                                             | 6 115,2                                                   | 16 505,6  | 5 776,9                                                   | 10 728,6              |
| 75W                                       | 2 167,5                                              | 1 330,9                                                   | 3 498,4   | 279,8                                                     | 3 218,5               |
|                                           |                                                      | Costo                                                     | Q35 857,8 | Q10 971,3                                                 | Q 24 886,5            |
|                                           |                                                      | Total de Kwh                                              | 21451,2   | 6 563,4                                                   | 14 887,8              |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla LXXII. Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta alta, según consumo actual**

| Fluorescente/Incandescente<br>Planta alta | Lo que consume actualmente zafra durante el día kWh* | Lo que consume actualmente reparación durante el día kWh* | Total kWh | Lo que consumiría con iluminación LED aproximadamente kWh | Ahorro aproximado kWh |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| 20W                                       | 408                                                  | 234                                                       | 642       | 224,7                                                     | 417,3                 |
| 40W                                       | 7480                                                 | 5335,2                                                    | 12815,2   | 4485,3                                                    | 8329,9                |
| 75W                                       | 714                                                  | 702                                                       | 1416      | 113,3                                                     | 1302,7                |
|                                           |                                                      | Costo                                                     | Q24 862   | Q8 063                                                    | Q16 799               |
|                                           |                                                      | Total de Kwh                                              | 14873     | 4823                                                      | 10050                 |

Fuente: elaboración propia

**Tabla LXXIII. Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta baja, según consumos innecesarios**

| Fluorescente/Incandescente<br>Planta baja | Lo que consume actualmente zafra innecesariamente kWh* | Lo que consume actualmente reparación innecesariamente kWh* | Total kWh | Lo que consumiría con iluminación LED aproximadamente kWh | Ahorro aproximado kWh |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| 20W                                       | 244,8                                                  | 81,6                                                        | 326,4     | 114,2                                                     | 212,2                 |
| 40W                                       | 968,3                                                  | 539,7                                                       | 1508,1    | 527,8                                                     | 980,3                 |
| 75W                                       | 918                                                    | 0                                                           | 918       | 73,4                                                      | 844,6                 |
|                                           |                                                        | Costo                                                       | Q4 601    | Q1 196                                                    | Q3 405                |
|                                           |                                                        | Total de Kwh                                                | 2752      | 716                                                       | 2037                  |

Fuente: elaboración propia



**Tabla LXXIV. Beneficios esperados con lámparas propuestas en planta alta, según consumos innecesarios**

| Fluorescente/Incandescente<br>Planta alta | Lo que consume actualmente<br>zafra<br>innecesariamente<br>kWh* | Lo que consume actualmente<br>reparación<br>innecesariamente<br>kWh* | Total kWh | Lo que consumiría con<br>iluminación LED<br>aproximadamente kWh | Ahorro<br>aproximado<br>kWh |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 20W                                       | 204                                                             | 234                                                                  | 438       | 153,3                                                           | 284,7                       |
| 40W                                       | 3 209,6                                                         | 2808                                                                 | 6 017,6   | 2 106,2                                                         | 3 911,4                     |
| 75W                                       | 0                                                               | 0                                                                    | 0         | 0                                                               | 0                           |
|                                           |                                                                 | Costo                                                                | Q10 791   | Q3 777                                                          | Q7 014                      |
|                                           |                                                                 | Total de Kwh                                                         | 6456      | 2259                                                            | 4196                        |

Fuente: elaboración propia

(\*) Supuesto: 170 días en época de zafra y 195 días en época de reparación al año. Precio kWh Q1,6716.

A continuación se presenta la propuesta del plan de ahorro energético:

**Tabla LXXV. Plan de ahorro energético**

| Áreas de<br>Mejoramiento                 | Objetivo                                                                                                                                                       | Medidas para reducción de consumo                                                                                                                                                                                                                                            | Ahorro total estimado                                       |                                                                  | Responsable(s)                                    |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Todas las oficinas de la Oficina Técnica | Concientizar al personal acerca del uso de la energía eléctrica en cada una de las oficinas en la iluminación y los aparatos eléctricos de la Oficina Técnica. | El personal que tenga a su cargo equipo de cómputo, escáner, impresoras, fotocopidora y plotter apagarlos y desconectarlos al momento de retirarse de sus actividades laborales. En caso de que el equipo de cómputo deba permanecer encendido, apagar solamente el monitor. | Iluminación actual, utilizando adecuadamente Q15 256 anual. | Utilizando adecuadamente los aparatos eléctricos Q130 640 anual. | Todo el personal que labora en la Oficina Técnica |

Continuación de la tabla LXXV.

|  |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                         |                                                                    |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|  | Encender únicamente cuando sea necesario los equipos como el escáner, impresora, fotocopiadora y plotter.                                                                                                 | Iluminación propuesta y utilizando adecuadamente Q41 686 anual.                                         | Iluminación propuesta y no utilizando adecuadamente Q31 267 anual. |
|  | En época de zafra desconectar los equipos de cómputo que no se utilizan por el personal que operan rotativos. En caso de que el equipo de cómputo deba permanecer encendido, apagar solamente el monitor. | Total por iluminación (uso adecuado) y aparatos eléctricos con actual instalación ≈ Q145 896 anual      |                                                                    |
|  | Aprovechar la iluminación natural, abrir cortinas si es necesario.<br>Apagar y desconectar si fuera posible el oasis, cafetera y microondas, apagar la iluminación en los baños mientras no se utilice.   | Total por iluminación (uso inadecuado) y aparatos eléctricos con instalación propuesta ≈ Q161 907 anual |                                                                    |
|  | Hacer un estudio de dimensión para los aires acondicionado, según las áreas a cubrir en la Oficina Técnica.                                                                                               | Total por iluminación (uso adecuado) y aparatos eléctricos con instalación propuesta ≈ Q172 326 anual   |                                                                    |

Fuente: elaboración propia

Detalle de los diferentes escenarios del consumo de la iluminación y aparatos eléctricos:

**Tabla LXXVI. Proyección de costos no utilizando adecuadamente la energía eléctrica en las oficinas**

| Consumo uso no adecuado (actualmente instalado) | Año (tasa de descuento del 5,3%) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                 | 0                                | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
| Inversión inicial (iluminación)                 | Q -                              |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| consumo iluminación                             |                                  | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     | Q60 720     |
| Consumo aparatos eléctricos                     |                                  | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 | Q326<br>451 |
| <b>Total</b>                                    | 0                                | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 | Q387<br>171 |
| VPN                                             |                                  | Q2 946 551  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LXXVII. Proyección de costos utilizando adecuadamente la energía eléctrica en las oficinas**

| Propuesto consumo uso adecuado (actualmente instalado) | Año (tasa de descuento del 5,3%) |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                        | 0                                | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
| Inversión inicial (iluminación)                        | Q -                              |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| consumo iluminación                                    |                                  | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     | Q45 328     |
| Consumo aparatos eléctricos                            |                                  | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 | Q195<br>811 |
| <b>Total</b>                                           | 0                                | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 | Q241<br>139 |
| VPN                                                    |                                  | Q1 835 180  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

Fuente: elaboración propia

**Tabla LXXVIII. Proyección de costos utilizando adecuadamente la energía eléctrica con tecnología LED en las oficinas**

| Propuesto consumo uso adecuado, tecnología led | Año (tasa de descuento del 5,3%) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                | 0                                | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
| Inversión inicial (iluminación)                | Q110 095                         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| consumo iluminación                            |                                  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  | Q14 061  |
| Consumo aparatos eléctricos                    |                                  | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 | Q195 811 |
| Total                                          | Q110 095                         | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 | Q235 512 |
| VPN                                            | Q1 792 359                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

Fuente: elaboración propia

Conclusión: les conviene a la empresa implementar tecnología LED, dado que a largo plazo se ve beneficiada la empresa con un 39% de ahorro, se lograría utilizando los recursos de consumo energético de una manera más consciente por parte del personal. Aunque por otra parte si se implementara la tecnología LED propuesta y se siguiera utilizando de manera inconsciente la energía eléctrica disminuiría el ahorro esperado.

### 3.7. Conclusiones de estudio energético

- El total de kWh consumidos por las oficinas de administración y de producción como actualmente el personal acostumbra hacer el consumo de la energía eléctrica en cuanto a iluminación y los aparatos eléctricos anualmente asciende al valor de 36 324 y 195 292 respectivamente.

- El total de kWh que se podría consumir con las propuestas implementadas por las oficinas de administración y de producción en cuanto a iluminación y los aparatos eléctricos asciende al valor de 9 126 y 78 153 respectivamente.
- Evidentemente el ahorro por consumo energético sería significativo respecto a lo que se consume actualmente, el ahorro a largo plazo, proyectado a diez años es aproximadamente Q1 154 192, implementando tecnología LED y haciendo un uso adecuado de los recursos.
- Los rótulos colocados en cada punto estratégico dentro del área del edificio de las oficinas, garantizarán que el personal siempre recuerde practicar lo que en el texto o imagen del rótulo transmita como mensaje del mismo.

### **3.8. Recomendaciones de estudio energético**

- Practicar acciones que cuiden al medio ambiente y a la vez que reduzcan costos por el consumo de energía es un buen inicio para concientizar al personal y tomarlo como punto de partida para proponer e implementar proyectos enfocados a producción más limpia dentro de las industrias.
- Buscar oportunidades de mejora dentro de las instalaciones de la empresa especialmente en el área de fábrica que es donde se consume el ochenta por ciento del consumo total de energía eléctrica.

- Realizar un estudio de consumo energético en áreas críticas de la fábrica para buscar oportunidades de ahorro e implementación de tecnología más eficiente.
- Concientizar al personal de fábrica por medio de rótulos con mensajes de imágenes y/o textos cortos para más facilidad de entender, sin perder el tiempo mientras lo leen o en el peor de los casos no llamen la atención observarlos.
- Utilizar de una manera más consciente la energía eléctrica beneficiaría a la empresa en ahorros grandes a largo plazo, sería interesante buscar otro tipo de lámparas que se ajusten a las instalaciones de la empresa para evitarse el ahorro de la instalación así solo se reduciría a una sustitución de lámparas con tecnología LED pero más ahorrativas que las investigadas para el análisis anterior, para proyectar los ahorros que se tendrían al momento de implementarlas.
- Sería conveniente instalar lámparas con sensores incorporados en los pasillos para que éstos también contribuyeran al ahorro energético, encendiéndose los mismos solo cuando se detecte la presencia de la(s) persona(s) pasando en determinado momento.



## 4. CAPACITACIÓN

Para el desarrollo del proyecto seis sigma y el plan de ahorro energético se realizaron reuniones con el equipo del proyecto y personal que laboran en la oficina técnica y para ello se hizo un diagnóstico, planeación, programación y evaluación del trabajo que se realizó en la empresa.

### 4.1. Diagnóstico de capacitación

- Proyecto seis sigma aplicado al proceso de extracción de jugo de caña

Para el desarrollo del proyecto seis sigma, se presentó la necesidad de realizar reuniones para dar seguimiento al mismo, para que todos los participantes involucrados aportaran ideas y avances.

Además fue importante para el seguimiento del proyecto contar con el apoyo de un *black belt*, para la validación de los avances de las fases de la metodología, lo anterior llevado a cabo con reuniones.

- Plan de ahorro energético para las oficinas de la empresa

Para dar a conocer los resultados del estudio energético eléctrico y el plan de ahorro energético se entregó el informe al gerente de fábrica y así mismo para implementar los rótulos propuestos se contó con su permiso.

Los rótulos implementados como parte de la propuesta del plan de ahorro energético, fue necesario hablar con el personal que labora en las oficinas en



donde se llevó a cabo el estudio energético para iluminación y aparatos eléctricos, dándoles a saber el objetivo principal de lo realizado.

#### 4.2. Planificación de capacitación

A continuación se detalla la planificación de actividades y recursos a utilizar para presentación del proyecto seis sigma.

Tabla LXXIX. Planificación de proyecto seis sigma

| Título de reunión                                               | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                  | Recursos necesarios                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planteamiento del proyecto a equipo CSA, fase "Definir"         | Plantear los problemas que se han presentado en el proceso de extracción de jugo de caña y proponer soluciones respecto a soldadura en las mazas y ponerse de acuerdo para hacer comparativos de electrodos SM80 y Azúcar 80 en las mazas de los molinos. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |
| Determinación de problema y título del proyecto, fase "Definir" | Avanzar en la fase "Definir" de la metodología mediante participación del equipo CSA involucrado en el proyecto                                                                                                                                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |
| Avances de planteamiento del proyecto                           | Dar seguimiento y apoyo al proyecto y terminar fase "Define" junto con documentación respectiva                                                                                                                                                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |

Continuación de la tabla LXXIX.

|                                                                      |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Seguimiento del proyecto con Gerente de fábrica, fase "Medir"</p> | <p>Revisar el mapa de proceso, revisar normalidad y capacidad del proceso, revisar espina de pescado y hacer el plan de recolección de las X's</p>             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Medir"</p>             | <p>Revisar análisis de capacidades de la zafra 09-10 y comparar con las actuales, revisar Diagramas de Pareto de todos los molinos, revisar la matriz FMEA</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Analizar"</p>          | <p>Delimitar el FMEA solamente para molinos e interactuar con el grupo involucrado en el proceso de extracción y mantenimiento para mejorar el FMEA</p>        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Mejorar"</p>           | <p>Proponer mejoras al área de molinos</p>                                                                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |

Continuación de la tabla LXXIX.

|                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fases "Analizar" y "Mejorar"</p> | <p>Revisar Diagrama de Pareto de todos los molinos, revisar la matriz FMEA. Revisar seguimiento de trabajos</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Mejorar"</p>               | <p>Inspeccionar mejoras a implementar al proyecto</p>                                                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cámara digital</li> <li>2. Tabla Shannon(tabla de madera con ganchos de presión para sostener los documentos)</li> <li>3. Lapiceros</li> <li>4. Hojas en blanco</li> </ol>                                                    |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Mejorar"</p>               | <p>Proponer mejoras a matriz FMEA para uso de zafra 2012-2013, como parte de la fase "Mejorar"</p>              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Mejorar"</p>               | <p>Inspeccionar avances de mejoras implementadas al proyecto</p>                                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cámara digital</li> <li>2. Tabla Shannon(tabla de madera con ganchos de presión para sostener los documentos)</li> <li>3. Lapiceros</li> <li>4. Hojas en blanco</li> </ol>                                                    |

Continuación de la tabla LXXIX.

|                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Mejorar"</p>   | <p>Discutir sobre implementación de propuestas de mejoras al área de molinos</p>                                                                                                                                                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |
| <p>Seguimiento del proyecto seis sigma, fase "Controlar"</p> | <p>Discutir mejoras implementadas al proyecto, proponer registro de control de tiempo de punteo para componentes de molinos y registro de seguimiento de mantenimiento de las mazas en los molinos en la próxima zafra y presentar FMEA mejorada.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Programas Quality Companion y Minitab</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>5. Sala de reuniones</li> <li>6. Lapiceros</li> <li>7. Hojas en blanco</li> </ol> |

Fuente: elaboración propia.

A continuación se detalla la planificación de actividades y recursos a utilizar para presentación del plan de ahorro energético y otras actividades como valor agregado al proyecto seis sigma.

**Tabla LXXX. Planificación de ahorro energético y otras actividades**

| Título de reunión                                                                                      | Objetivo                                                                                                                                    | Recursos necesarios                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Demostración de análisis financiero para mantenimiento de soldadura en el área de molinos              | Demostrar cuantitativamente el beneficio con recurso propio versus tercerizado respecto al mantenimiento de soldadura en el área de molinos | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |
| Demostración de análisis financiero para mantenimiento de soldadura en el área de molinos              | Demostrar cuantitativamente el beneficio con recurso propio versus tercerizado respecto al mantenimiento de soldadura en el área de molinos | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |
| Exposición de plan de ahorro energético para oficinas de CSA                                           | Exponer el plan de ahorro energético elaborado para las oficinas de área administrativa de la empresa                                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> <li>5. Lapiceros</li> <li>6. Hojas en blanco</li> </ol> |
| Capacitación sobre el registro de evaluación y seguimiento del mantenimiento de soldadura en las mazas | Explicar sobre el llenado del registro: 3-EJ-RG-018 al personal de supervisión del proceso de extracción de jugo de caña.                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laptop</li> <li>2. Paquete de programas de Microsoft Office</li> <li>3. Cañonera</li> <li>4. Sala de reuniones</li> </ol>                                                   |

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Programación de capacitación

A continuación se presenta la programación de actividades y recursos a utilizar para presentación del proyecto seis sigma.

Tabla LXXXI. Programación de proyecto seis sigma

| Fecha     | Lugar | Título de reunión                               | Hora inicio | Hora fin   | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                  | Agenda                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Participantes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------|-------|-------------------------------------------------|-------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13-feb-12 | CSA   | Planteamiento del proyecto a equipo CSA         | 09:30 a.m.  | 11:30 a.m. | Plantear los problemas que se han presentado en el proceso de extracción de jugo de caña y proponer soluciones respecto a soldadura en las mazas y ponerse de acuerdo para hacer comparativos de electrodos SM80 y Azúcar 80 en las mazas de los molinos. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Exponer situación actual de las mazas del tándem de molinos</li> <li>2. Elaboración de Lluvia de ideas respecto a la problemática del proceso.</li> <li>3. Participación en la propuesta de comparativos de materiales de soldadura para mazas.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gerente de fábrica</li> <li>2. Black belt</li> <li>3. Jefe de proceso E.J.</li> <li>4. Jefe de mantenimiento</li> <li>5. Jefe de P&amp;C</li> <li>6. Coordinador de proceso E.J.</li> <li>7. Supervisor de proceso E.J.</li> <li>8. Supervisor de mantenimiento</li> <li>9. Cynthia Maldonado</li> </ol> |
| 25-feb-12 | CSA   | Determinación de problema y título del proyecto | 09:00 a.m.  | 01:00 p.m. | Avanzar en la fase "Define" de la metodología mediante participación del equipo CSA involucrado en el proyecto                                                                                                                                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinación del problema central con el que se trabajará el proyecto</li> <li>2. Armar con la lluvia de ideas el Diagrama de Ishikawa de primer nivel</li> </ol>                                                                                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gerente de fábrica</li> <li>2. Jefe de proceso E.J.</li> <li>3. Jefe de mantenimiento</li> <li>4. Jefe de P&amp;C</li> <li>5. Cynthia Maldonado</li> </ol>                                                                                                                                               |

Continuación de la tabla LXXX.

|           |     |                                                 |            |            |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                      |
|-----------|-----|-------------------------------------------------|------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19-mar-12 | CSA | Avances de planteamiento del proyecto           | 09:30 a.m. | 11:30 a.m. | Dar seguimiento y apoyo al proyecto y terminar fase "Define" junto con documentación respectiva                                                                            | 1. Revisión de charter del proyecto<br>2. Revisión documentación<br>3. Entrega del programa Quality Companion para documentar proyecto                                                          | 1. Gerente de fábrica<br>2. Master black belt<br>3. Black belt<br>4. Jefe de P&C<br>5. Cynthia Maldonado                                                             |
| 02-may-12 | CSA | Seguimiento del proyecto con Gerente de fábrica | 10:15 a.m. | 12:00 p.m. | Revisar el mapa de proceso, revisar normalidad y capacidad del proceso, revisar espina de pescado y hacer el plan de recolección de las X's                                | 1. Revisión de mapa de proceso<br>2. Revisión de normalidad de los datos<br>3. Revisión de capacidad del proceso<br>4. Revisión espina de pescado<br>5. Elaborar plan de recolección de las X's | 1. Gerente de fábrica<br>2. Master Black belt<br>3. Black belt<br>4. Jefe de proceso E.J.<br>5. Jefe de P&C<br>6. Supervisor de proceso E.J.<br>7. Cynthia Maldonado |
| 11-may-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma             | 03:00 p.m. | 04:30 p.m. | Revisar análisis de capacidades de la zafra 09-10 y comparar con las actuales, revisar Diagramas de Pareto de los molinos, revisar matriz FMEA, como parte de fase "Medir" | 1. Revisión análisis de capacidad de la zafra 09-10 y comparar con actuales<br>2. Revisión Diagramas de Paretos por molino<br>3. Explicación de Matriz FMEA                                     | 1. Gerente de fábrica<br>2. Master Black belt<br>3. Black belt<br>4. Jefe de proceso E.J.<br>5. Jefe de P&C<br>6. Supervisor de proceso E.J.<br>7. Cynthia Maldonado |

Continuación de la tabla LXXX.

|           |     |                                     |            |            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|-----|-------------------------------------|------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15-may-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 02:00 p.m. | 05:00 p.m. | Delimitar el FMEA solamente para molinos e interactuar con el grupo involucrado en el proceso de extracción y mantenimiento para mejorar el FMEA, como parte de la fase "Analizar" | 1. Depurar FMEA y delimitarlo solo para área de molinos<br>2. Aportación de ideas interactuando el grupo involucrado<br>3. Revisión de los DPMO's respecto a las últimas cuatro zafras | 1. Gerente de fábrica<br>2. Black belt<br>3. Jefe de proceso E.J.<br>4. Jefe de mantenimiento<br>5. Jefe de P&C<br>6. Supervisor de proceso E.J.<br>7. Supervisor de electricidad<br>8. Encargados de molinos<br>9. Cynthia Maldonado |
| 15-jun-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 08:00 a.m. | 10:00 a.m. | Proponer mejoras al área de molinos como parte de la fase "Mejorar"                                                                                                                | 1. Con la ayuda de los Diagramas de Pareto, FMEA y evidencias con fotografía, proponer mejoras para la solución de los tiempos de punteo                                               | 1. Gerente de fábrica<br>2. Black belt<br>3. Jefe de proceso E.J.<br>4. Jefe de mantenimiento<br>5. Supervisores de proceso E.J.<br>6. Supervisores de mantenimiento<br>7. Cynthia Maldonado                                          |
| 23-jul-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 03:00 p.m. | 04:30 p.m. | Revisar Diagramas de Pareto de todos los molinos, revisar la matriz FMEA. Revisar seguimiento de trabajos, como parte de la fase "Analizar" y "Mejorar"                            | 1. Revisar y seguimiento matriz FMEA y Paretos por molino y por zafra desde 2008-2009 hasta 2011-2012                                                                                  | 1. Gerente de fábrica<br>2. Black belt<br>3. Jefe de proceso E.J.<br>4. Jefe de mantenimiento<br>5. Jefe de P&C<br>6. Supervisores de proceso E.J.<br>7. Supervisor de mantenimiento<br>8. Cynthia Maldonado                          |



Continuación de la tabla LXXX.

|           |     |                                     |            |            |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                  |
|-----------|-----|-------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 02-ago-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 10:00 a.m. | 12:00 p.m. | Inspeccionar mejoras a implementar al proyecto                                              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar cada componente de molinos prioritarios que ocasionaron mayor tiempo perdido por puentear los molinos en zafras pasadas en su implementación de mejora</li> <li>2. Tomar fotografías durante el recorrido de la inspección</li> <li>3. Elaborar reporte de mejoras</li> </ol>       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Black belt</li> <li>2. Supervisor de proceso E.J. Cynthia Maldonado</li> </ol>                                         |
| 13-ago-12 | OG  | Seguimiento del proyecto seis sigma | 02:00 p.m. | 05:00 p.m. | Proponer mejoras a matriz FMEA para uso de zafra 2012-2013, como parte de la fase "Mejorar" | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar la matriz FMEA 2011-2012</li> <li>2. Delimitar matriz hacia componentes de molinos con más frecuencia de falla según Diagramas de Pareto</li> <li>3. Agregar y/o modificar celdas en el formato de matriz en excel a modo se convertirlo amigable al momento de llenarlo</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Master black belt</li> <li>2. Black belt</li> <li>3. Jefe P&amp;C corporativo</li> <li>4. Cynthia Maldonado</li> </ol> |

Continuación de la tabla LXXX.

|           |     |                                     |            |            |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|-----|-------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11-ago-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 08:00 a.m. | 10:00 a.m. | Inspeccionar avances de mejoras implementadas al proyecto                                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar cada componente de molinos prioritarios que ocasionaron mayor tiempo perdido por puentear los molinos en zafras pasadas en su implementación de mejora</li> <li>2. Tomar fotografías durante el recorrido de la inspección</li> <li>3. Elaborar reporte de mejoras</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Black belt</li> <li>2. Supervisor de proceso E.J.</li> <li>2. Cynthia Maldonado</li> </ol>                                                                                                                                               |
| 16-ago-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 08:00 a.m. | 10:00 a.m. | Discutir sobre implementación de propuestas de mejoras al área de molinos, como parte de fase "Mejorar" | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reportar los avances de las mejoras implementadas propuestas en la reunión 15-jun-12.</li> </ol>                                                                                                                                                                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gerente de fábrica</li> <li>2. Black belt</li> <li>3. Jefe de proceso E.J.</li> <li>4. Jefe de mantenimiento</li> <li>5. Supervisores de proceso E.J.</li> <li>6. Supervisores de mantenimiento</li> <li>7. Cynthia Maldonado</li> </ol> |

Continuación de la tabla LXXX.

|           |     |                                     |       |            |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                |
|-----------|-----|-------------------------------------|-------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 26-sep-12 | CSA | Seguimiento del proyecto seis sigma | 10:00 | 12:30 p.m. | Discutir mejoras implementadas al proyecto, proponer registro de control de tiempo de puenteo para componentes de molinos y registro de seguimiento de mantenimiento de las mazas en los molinos en la próxima zafra y presentar FMEA mejorada. | 1. Recapitular Y del proyecto, gráficas y metas del proyecto<br>2. Revisar avances y comentarios<br>3. Presentar matriz FMEA, registro para seguimiento de mantenimiento para mazas de molinos y registro de seguimiento de puenteo de molinos para fase "Control" de la metodología | 1. Gerente de fábrica<br>2. Master Black belt<br>3. Black belt<br>4. Jefe de proceso E.J.<br>5. Jefe de mantenimiento<br>6. Supervisor de proceso E.J.<br>7. Cynthia Maldonado |
|-----------|-----|-------------------------------------|-------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta la programación de actividades y recursos a utilizar para presentación del plan de ahorro energético y otras actividades como valor agregado al proyecto seis sigma.

**Tabla LXXXII. Programación de ahorro energético en oficinas y otras actividades**

| Fecha     | Lugar | Título de reunión                                                                         | Hora inicio | Hora fin   | Objetivo                                                                                                                                    | Agenda                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Participantes                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 28-ago-12 | CSA   | Demostración de análisis financiero para mantenimiento de soldadura en el área de molinos | 09:30 a.m.  | 10:00 a.m. | Demostrar cuantitativamente el beneficio con recurso propio versus tercerizado respecto al mantenimiento de soldadura en el área de molinos | <ol style="list-style-type: none"> <li>Exponer situación actual en cuanto a costos por mano de obra, maquinaria y herramientas tercerizado</li> <li>Exponer inversiones necesarias en cuanto a mano de obra, maquinaria, EPP y herramientas para mantenimiento de soldadura enfocado al área de molinos.</li> <li>Exponer los dos escenarios de costos en cuanto a recurso propio versus tercerizado y los ahorros esperados a corto y a largo plazo</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>Gerente de fábrica</li> <li>Jefe de proceso E.J.</li> <li>Jefe de proceso T.J.</li> <li>Jefe de proceso En</li> <li>Jefe de proceso R.A.</li> <li>Jefe de mantenimiento</li> <li>Cynthya Maldonado</li> </ol> |
| 04-sep-12 | CSA   | Demostración de análisis financiero para mantenimiento de soldadura en el área de molinos | 07:00 a.m.  | 08:00 a.m. | Demostrar cuantitativamente el beneficio con recurso propio versus tercerizado respecto al mantenimiento de soldadura en el área de molinos | <ol style="list-style-type: none"> <li>Exponer situación actual en cuanto a costos por mano de obra, maquinaria y herramientas tercerizado</li> <li>Exponer inversiones necesarias en cuanto a mano de obra, maquinaria, EPP y herramientas para mantenimiento de soldadura enfocado al área de molinos.</li> <li>Exponer los dos escenarios de costos en cuanto a recurso propio versus tercerizado y los ahorros esperados</li> </ol>                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>Jefe de RR.HH corporativo</li> <li>Jefe de RR.HH CSA</li> <li>Cynthya Maldonado</li> </ol>                                                                                                                    |

Continuación de la tabla LXXXII.

|           |     |                                                              |            |            |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                               |
|-----------|-----|--------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 05-oct-12 | CSA | Exposición de plan de ahorro energético para oficinas de CSA | 08:00 a.m. | 09:00 a.m. | Exponer el plan de ahorro energético elaborado para las oficinas de área administrativa de la empresa | 1. Exponer situación actual del costo de energía en las oficinas<br>2. Exponer propuestas para ahorro energético en cuanto a iluminación y aparatos eléctricos de las oficinas<br>3. Dar a conocer los rótulos propuestos para concientizar al personal del ahorro energético<br>4. Exponer tres escenarios de costos para el uso de la energía eléctrica dentro de las oficinas | 1. Gerente de fábrica<br>2. Cynthia Maldonado |
|-----------|-----|--------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Evaluación de capacitación

A continuación se presenta la evaluación de actividades y recursos a utilizar para presentación del proyecto seis sigma.

**Tabla LXXXIII. Evaluación de proyecto seis sigma**

| Fecha     | Descripción de evaluación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Tareas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13-feb-12 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Se recopiló la opinión de cada participante en la reunión, armando lluvia de ideas.</li> <li>* Es el proyecto ya quedó claro para los participantes</li> <li>* Se determinó fecha para la aplicación de soldadura en la maza superior del molino 5</li> <li>* Queda pendiente armar la espina de pescado</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar el problema central con el que se va a trabajar en el proyecto y armar con la lluvia de ideas el Diagrama de Ishikawa</li> <li>2. Colocar soldadura en la maza superior del molino 5, mitad con electrodo SM80 y mitad con electrodo Azúcar 80</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 25-feb-12 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Hubo participación por parte del personal y se logró concluir respecto al problema central del problema con las distintas causas del mismo armando la lluvia de ideas</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar las causas apuntadas en la lluvia de ideas en el Diagrama de Ishikawa de primer nivel</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 19-mar-12 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Se repasa la VOC y CTQ</li> <li>* Es el proyecto más avanzado hasta el momento</li> <li>* Queda pendiente repasar la espina de pescado</li> <li>* Queda pendiente que se recolecte información para llevar el día del taller</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Completar el equipo de proyecto con teléfono y correo electrónico</li> <li>2. Colocar los comentarios de la minuta del Comité</li> <li>3. Mejorar el mapa de proceso, 6M's, medio ambiente, materiales, mano de obra, mediciones y métodos</li> <li>4. Buscar la correlación entre puento de molinos Pol en bagazo</li> <li>5. Documentar la regresión y correlación de Pol en bagazo con puento de molinos en Quality Companion</li> <li>6. Llevar datos para analizar el día de la capacitación</li> <li>7. Colocar la minuta dentro del Quality Companion</li> </ol> |
| 02-may-12 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Se empieza a evaluar el tiempo perdido por puento de molinos.</li> <li>* Se procede a sacar la data de la Y.</li> <li>* Se sacan gráficas de tiempo para las zafras 10-11 y 11-12.</li> <li>* Se sacan pruebas de normalidad y capacidad para las zafras 10-11 y 11-12.</li> <li>* Para la zafra 1011 se ve una Distribución normal de los datos.</li> <li>* Para la zafra 1112 se ve una Distribución log normal.</li> <li>* Se pide una reunión para el viernes en la tarde para ver la operación de los molinos. A las 2:00 p.m. o a las 4:30 p.m.</li> </ul> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hacer análisis de capacidad de la zafra 0910 y comparar con las actuales</li> <li>2. Hacer Diagramas de Pareto ya sea por tándem o por molino. Mejorarlo y segmentarlo</li> <li>3. Observar la matriz FMEA y segmentarla solo en los molinos, añadir o mejorar</li> <li>4. Explicar a Gerente de fábrica la matriz FMEA</li> <li>5. Recolectar información de las variables de la espina de pescado</li> </ol>                                                                                                                                                          |

Continuación de la tabla LXXXII.

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>11-may-12</p> | <p>* Se revisó la capacidad del proceso y la normalidad de los datos, los datos no se ajustaron a Distribución normal sino a una Distribución de Weibull</p> <p>* Se discutió respecto al 20% de las causas que ocasionaron el 80% del tiempo perdido por puentear los molinos durante las zafras pasadas</p> <p>* Se platicó acerca de la matriz FMEA para aplicarla a zafra 2012-2013</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar la meta de reducción de defectos para la nueva zafra</li> <li>2. Hacer gráfico de DPMO's por zafra</li> <li>3. Seguimiento a reunión con el equipo de trabajo y trabajar Diagramas de Pareto para mejorar las prácticas en la reparación</li> <li>4. Hacer presentación de Diagramas de Pareto por molinos más detallada para reunión del día martes (dejar solo los molinos)</li> <li>5. Preparar información de la matriz FMEA y solo dejar la parte de molinos</li> </ol> |
| <p>15-may-12</p> | <p>* Se recopiló la opinión de cada participante en la reunión, completando la matriz FMEA</p> <p>* Se acordó quienes serán los responsables de ponderar la severidad de las fallas en el FMEA</p>                                                                                                                                                                                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Depuración del FMEA para molinos y enlistar causas una a una, discutidas en reunión, y enviar la misma con copia a Gerente de fábrica, Black belt y Supervisor de proceso de E.J.</li> <li>2. Ponderar la severidad de cada falla enlistada en el FMEA, para posteriormente discutirlo en grupo</li> <li>3. Revisión de los DPMO'S por zafra y Diagramas de Pareto por molino de la zafra 11-12</li> <li>4. Graficar los cambios de peines por zafra</li> </ol>                       |
| <p>15-jun-12</p> | <p>* Las propuestas son muy enfocadas a las causas según los Diagramas de Pareto analizados</p> <p>* Personal del proceso de E.J. inspeccionó puntos críticos de mejora en los componentes de los equipos de molinos</p>                                                                                                                                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dar instrucciones de mejoras propuestas a personal operativo y seguimiento de las mismas con inspecciones mensuales</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Continuación de la tabla LXXXII.

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>23-jul-12</p> | <p>Se están haciendo varios cambios:<br/>         * Cambio de proveedor de masas<br/>         Tiene que haber un compromiso de parte de todos los involucrados el reducir el tiempo de puenteo<br/>         Se están haciendo varios cambios:<br/>         *Cambios en los molinos<br/>         Mazas inferiores perforadas en molinos 4 y 5. En otro ingenio se han tenido buenos resultados, mejora la humedad y extracción<br/>         *Cada vez que salga 1 molino las variables van a subir, se tendrán problemas<br/>         *Hay que tener mayor tiempo disponible operando<br/>         *Tiene que haber un compromiso de parte de todos los involucrados el reducir el tiempo de puenteo<br/>         *Aprovechar el inicio de la zafra para mejorar los rendimientos<br/>         *Otra cosa que va a ayudar six sigma es a comprobar la mejora de manera estadística<br/>         *Se realizó una reunión con la Sirena para mejorar algunas cosas como por ejemplo la supervisión en la aplicación de consumibles<br/>         *Mejorar el pichel entre coronas<br/>         *Se hizo más robusto el eje de la cuchilla de la 4ta maza<br/>         *Buscar la mejora para retener los metales en el electroimán<br/>         Otro ingenio de la corporación tiene un nivelador que hace que el colchón se empareje antes de entrar al electroimán<br/>         *Mantener un buen sistema de lubricación<br/>         *Mejorar el pichel entre coronas<br/>         *Desajuste de dados es una causa<br/>         *Pineo de masa y colocación de pernos para colocación de soldadura<br/>         *Se hizo más robusto el eje de la cuchilla de la cuarta maza<br/>         *Se hizo un documento en base a la FMEA muy bueno. Darle seguimiento, buen avance, se elaboró en conjunto con el departamento de extracción<br/>         *Se pide compromiso para que en zafra sean más correctivas las acciones en la parte eléctrica<br/>         *Se presentaron gráficas de Pareto de los tiempos de puenteo por causa y por molino parado</p> | <p>1. Poner en práctica las propuestas realizadas por el equipo de extracción<br/>         2. Seguimiento próxima reunión<br/>         3. Poner al día documentación del proyecto en el programa Quality Companion<br/>         4. Supervisión de actividades y elaboración de documento de seguimiento</p> |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Continuación de la tabla LXXXII.

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 02-ago-12 | <p>* Las propuestas de mejora arrancaron su implementación muy bien identificando los puntos críticos de mejora en cada componente que ha contribuido fuertemente en el tiempo perdido por puenteo de molinos, los avances se adjuntaron en el reporte de inspección del proyecto</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adjuntar reporte de inspección a la documentación de proyecto en el programa Quality Companion</li> <li>2. Mandar reporte a Gerente de Fábrica con copia a los involucrados del proyecto</li> </ol>                                                                                                            |
| 13-ago-12 | <p>* Hubo excelente participación sobre cómo mejorar la plantilla de la matriz FMEA para zafra 2012-2013</p> <p>* Se escogieron 25 componentes críticos según el IPR (índice de probabilidad de riesgo) de la zafra 2011-2012, para darle seguimiento en la siguiente zafra.</p>      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Delimitar a 25 componentes de los molinos la matriz FMEA</li> <li>2. Colocar el tiempo de puenteo por cada componente y molino según data de zafra 2011-2012</li> <li>3. Modificar fórmulas de celdas para que sea más fácil de alimentar plantilla al momento de utilizarla por personal encargado</li> </ol> |
| 11-ago-12 | <p>* Las mejoras se han implementado en un 55% en promedio, van por buen avance respecto a las pruebas previas al arranque de zafra 2012-2013</p>                                                                                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adjuntar reporte de inspección a la documentación de proyecto en el programa Quality Companion</li> <li>2. Mandar reporte a Gerente de Fábrica con copia a los involucrados del proyecto</li> </ol>                                                                                                            |
| 16-ago-12 | <p>* Se observaron los avances de las mejoras implementadas a todos los componentes de los molinos por todo el equipo involucrado del proyecto</p>                                                                                                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dar seguimiento a mejoras implementadas al área de molinos</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                          |

Continuación de la tabla LXXXII.

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>26-sep-12</p> | <p>*Se quiere lograr puentear como máximo dos molinos por semana, seis horas cada uno. Todo lo anterior mencionado vinculado al plan de mantto. y teniendo en cuenta como molinos críticos 1 y 5</p> <p>*Los laberintos para drene del aceite de las chumaceras se están haciendo en empresa especializada</p> <p>* Hay 10 coronas en cola para reparación, y 2 pendientes de endosar del molino 4</p> <p>* Se lleva un 80% de avance en el mejoramiento de los sellos de las tejas de las chumaceras, solamente se han terminado de mazas superiores</p> <p>*En cuanto al sistema de lubricación de chumaceras, van 6/10 chumaceras reparadas</p> <p>*Faltan cuatro cuñas de lubricación por terminar</p> <p>* Ya se dio seguimiento al material de las cuchillas centrales</p> <p>* De las diez mazas pendientes, solo falta una maza por reparar, quedaría pendiente la inspección de las mismas.</p> <p>* Sería bueno incorporar al registro de los materiales del electroimán la procedencia de los mismos para llevar un mejor control</p> <p>*3/3 bombas de maceración mejoradas en cuanto al acoplamiento directo. Quedaría pendiente la demostración de nueva tecnología de acoples de otra empresa para bomba de maceración No. 3, para ver la efectividad de su funcionamiento</p> <p>*Personal estuvo de acuerdo con la propuesta de registro para seguimiento del puenteo de los componentes de los molinos para la zafra 2012-2013, queda pendiente realizar modificaciones al registro</p> <p>*Pendiente revisión de mantto. con coordinador y supervisor de proceso de E.J.</p> <p>* Hasta cuando esté el conductor de banda instalado, se buscará el ángulo de posición del electroimán, el segundo electroimán se colocará al final del conductor de caña No.3 y al principio del conductor de banda de hule.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cotizar equipo rayos X's o detector de metales a instalar en el conductor de caña</li> <li>2. Aplicar soldadura antidesgaste a peines superiores, ya no a bagaceros</li> <li>3. Darle seguimiento a grietas longitudinales de muñon de catarina de baja y corregir daños, solicitar un diagnostico a empresa externa</li> <li>4. Investigar cómo conectar Minitab a Access, ya que sí se puede a través de una herramienta llamada ODBC (open data base connection)</li> </ol> |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: elaboración propio.

A continuación se presenta la evaluación de actividades y recursos a utilizar para presentación del plan de ahorro energético y otras actividades como valor agregado al proyecto seis sigma.

**Tabla LXXXIV. Evaluación de plan de ahorro energético para oficinas y otras actividades**

| Fecha     | Descripción de evaluación                                                                                                                                                               | Tareas                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 28-ago-12 | * Al personal convocado a la reunión estuvo de acuerdo con el análisis financiero desarrollado                                                                                          | 1. Mandar documento con modificaciones a gerente de fábrica y a jefe de RR.HH. |
| 04-sep-12 | * Al personal convocado a la reunión estuvo de acuerdo con el análisis financiero desarrollado.<br>* Se detalló paso a paso el desarrollo del cálculo del análisis financiero           | Ninguna                                                                        |
| 05-oct-12 | * Solamente el informe en donde va contenido el plan de ahorro energético a Gerente de fábrica.<br>* Les interesó los rótulos que se pegaron en oficinas para concientizar al personal. | Ninguna                                                                        |

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Los clientes principales identificados para el proceso de extracción de jugo de caña fueron cuatro internos, siendo éstos la Junta Directiva, Gerente de Producción, Gerente Industrial y el Jefe de Proceso respectivamente. Los clientes tomaron un papel muy importante para saber sus necesidades y expectativas respecto al problema planteado inicialmente mala operación del proceso de extracción de jugo de caña y como efectos baja recuperación de azúcar, incremento de costos y baja calidad de los materiales en el proceso, así también fue muy útil saber cada una de sus opiniones para diagnosticar la causa raíz del problema central tiempo en puenteo de molinos con base a la experiencia de cada uno de los clientes e involucrados en el proyecto seis sigma.
2. La variable crítica de calidad fue definida con base a una matriz de variables Y's para la cual se eligió entre otras variables importantes del proceso como: calidad de los materiales, calidad de mano de obra, calidad en mantenimiento a equipos, pol en bagazo, temperatura en agua de imbibición e índice de preparación, en donde las mismas fueron sometidas a calificaciones según ponderaciones de criterios y escala de resultados. La variable crítica de calidad seleccionada fue tiempo de puenteo en molinos.

3. Las causas principales que más han provocado puenteo de molinos según el Diagrama de Ishikawa de segundo nivel fueron: fallas en las partes de los molinos, frecuencia de cambio de peines flotantes y cuchillas centrales, pesos de piedras que entran al ingenio. Según los Diagramas de Pareto las causas de las fallas en las partes de los molinos fueron: embagazamiento de mazas, cambio y asentamiento de peine superior y cuchilla central, fallas eléctricas, rotura y movimiento de corona, aplicación de soldaduras a mazas, por revisión de sistema de lubricación de piñón de catarina de baja y por quebrarse eje cuadrado de cuchilla de cuarta maza.
  
4. El ahorro esperado al momento de reducir el tiempo de puenteo en un 25% respecto de la zafra pasada, es decir de 1222 horas a 916 horas, el ahorro y a la vez ingreso sería aproximadamente de Q441700 y las pérdidas de azúcar se redujeran de Q1 798 450 a Q1 356800, evidentemente el beneficio sería significativo a corto plazo, mientras que a largo plazo sería reducir el tiempo de puenteo semanal a 12 horas, lo que significaría tener un ahorro e ingreso igual a 1 356 800 y las pérdidas de azúcar serían aproximadamente de Q441 700 . El estudio financiero para mantenimiento de soldadura de mazas en los molinos fue elaborado con el propósito de: comparar el costo del mantenimiento tercerizado y el costo de mantenimiento propio, dado que en el área de molinos se subcontrata personal para el mantenimiento de soldadura en las mazas, pero hace algún tiempo se han observado deficiencias en la calidad del mantenimiento, ello involucra la mano de obra, los ahorros estimados proyectados para los primeros cinco años son: -8%, -3%, 5%, 8% y 20% respectivamente.

5. La elaboración del registro se propuso con el fin de dar seguimiento de la a evaluación y del mantenimiento de soldadura en mazas y además llevar un mejor control del manejo costo de materiales, mano de obra y el costo total que conlleva el mantenimiento de soldadura de mazas. El mismo fue elaborado en el último mes de la zafra 2011-2012, para hacer la prueba de su utilidad, y explicar el uso del mismo a los encargados del mantenimiento en molinos.
  
6. El consumo innecesario anual de energía eléctrica de los aparatos eléctricos e iluminación en las oficinas de la empresa es 9,13 MWh y 78,15 MWh respectivamente, lo que corresponde en promedio 0,76MWh y 6,51MWh mensualmente. Y los costos de los mismos serían igual Q15 256 y Q130 640 anuales respectivamente. El costo de inversión implementando tecnología LED en las oficinas de la empresa y el porcentaje de ahorro esperado a largo plazo son Q110 095 y el 39% respectivamente.
  
7. Las reuniones se planificaron y programaron aproximadamente con un mes de anticipación cada una dado que según la necesidad diagnosticada fue importante darle seguimiento estricto, especialmente al proyecto seis sigma, en cada reunión se elaboraron minutas para darle un punto de partida a las tareas por realizar y así también a la siguiente reunión, lo cual fue útil para no perder el enfoque y el objetivo de cada reunión en cada una de las fases de la metodología y en el estudio del ahorro energético.



## RECOMENDACIONES

1. Los encargados del proceso analizado, deberían de buscar otras variables críticas para la calidad del proceso de extracción de jugo de caña para ayudar a reducir aún más el tiempo de puenteo de molinos, buscando la mejora continua y tener una calidad seis sigma.
2. Los encargados del departamento de planeación y control con ayuda del comité seis sigma sería bueno que estandaricen los términos de las causas registradas de los tiempos de puenteo de molinos, ya que al momento de agrupar las causas varían por algunas palabras significando lo mismo, esto para cuando se realicen Diagramas de Pareto o algún otro análisis, categorice las causas de manera irrepetible.
3. Respecto al seguimiento a las fallas potenciales, modos potenciales y causas potenciales de puenteo en los componentes de los molinos, los encargados en cada inicio de reparación deberían de revisar y evaluar el desempeño de los componentes con la ayuda de la matriz AMEF, y así mismo ponderar por severidad, frecuencia y detección los componentes que mayor tiempo de puenteo representen para la próxima zafra.
4. Para los registros propuestos de evaluación y seguimiento del mantenimiento de soldadura en mazas y el registro de control de tiempo de puenteo para componentes de molinos, asignar a un encargado del departamento de planeación y control para mejorar los mismos en una base de datos para reducir el error humano al momento alimentar la información en los registros, generando datos confiables.



5. Los encargados del proceso de extracción de jugo de caña, al momento de decidir trabajar con recurso propio en el mantenimiento de soldadura en mazas, deberán tomar en cuenta las competencias en donde está deficiente el personal subcontratado para mejorar la calidad en el mantenimiento en el área de molinos y así ayudar a reducir paradas por mantenimiento correctivo. También considerar los beneficios intangibles que se podrían obtener al momento de contratar a personal para mantenimiento de soldadura, descritos en el análisis financiero.
  
6. El ahorro del consumo de energía eléctrica podría empezar por charlas hacia el personal de la empresa, para la concientización sobre el consumo energético y como complemento los rótulos ubicados en lugares estratégicos para que sirvan como recordatorio para el personal.
  
7. Sería interesante que los encargados de los proyectos seis sigma realizaran proyectos de ahorro energético hacia el Área de Fábrica, dado que representa el 80% del consumo total de energía eléctrica de toda la empresa, además la implementación de tecnología LED podría ahorrar aún más si se logra tener responsabilidad ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE ALVARADO, Ana María. *Aplicación de metodología seis sigma para mejorar la capacidad de la variable nivelación vertical en la aplicación de pintura (fondos) de una ensambladora de vehículos*. Trabajo de graduación de Msc. Ing. Industrial. Bogotá: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, 2010. 107 p.
2. CHEN, James C.P. *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa, 1991. 1201 p. ISBN 968-18-3662-6.
3. *Control Estadístico de la Calidad con MINITAB, VI. Capacidad de procesos* [en línea], [ref. de Junio 2012]. Disponible en Web: <[http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_6.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_6.pdf)>.
4. *Estimación de índices de capacidad de procesos, Ingeniería Industrial* [en línea], Año 9, No.2: 93-106,2010 [ref. de agosto 2012]. Disponible en Web: <<http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3719590.pdf>>. ISSN Online 0718-8307.
5. GONZÁLEZ, Fernando, *Seis sigma para gerentes y directores* [en línea]. 2003. Colección Negocios, Empresa y Economía. <http://www.librosenred.com/libros/seissigmaparagerentesydirectores.html>. ISBN 987-561-003-8. [Consulta: 2 de mayo de 2012]

6. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2010. p. 296. ISBN: 978-607-15 -0315- 2.
7. HUNTER, Pamela. *Ocho formas de obtener la voz del cliente*. Informe inédito. Six sigma basics, febrero 2011.
8. MEJÍA, Enrique. FMEA, *Manual Posibilidad de falla y análisis de influencia* [en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/54035338/14/Realizacion-del-FMEA-5-pasos>>. Norma VW 01154IO 101. [Consulta: 15 de junio de 2102.]
9. Sistema de Gestión de Calidad, según ISO 9001:2000 [en línea], España: [ref. mayo de 2012], Disponible en web: <[http://www.rebiun.org/opencms/opencms/handle404?exporturi=/export/docReb/biblio\\_iso.pdf&%5d.>](http://www.rebiun.org/opencms/opencms/handle404?exporturi=/export/docReb/biblio_iso.pdf&%5d.>)

## APÉNDICES

### APÉNDICE 1. Formato para recolección de información para la variable crítica de calidad (CTQ)

Se elaboraron formatos sencillos para clasificar la información de la variable crítica de calidad.

#### Formatos para recolección de información de tiempo en puenteo de los seis molinos

| Día de zafra | Turno:     |             |             | Molino Puenteado | Hora de Paro | Hora de Arranque | Tiempo Puenteado | Observaciones (causas): | Tiempo Puenteado |    |    |    |    |    |  |
|--------------|------------|-------------|-------------|------------------|--------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|----|----|----|----|----|--|
|              | 6:00-14:00 | 14:00-22:00 | 22:00-06:00 |                  |              |                  |                  |                         | M1               | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |  |
| 1            |            |             |             |                  |              |                  |                  |                         |                  |    |    |    |    |    |  |
| 2            |            |             |             |                  |              |                  |                  |                         |                  |    |    |    |    |    |  |
| n            |            |             |             |                  |              |                  |                  |                         |                  |    |    |    |    |    |  |

Fuente: Elaboración propia

MN= Molino N

### Formato para la estimación de horas puenteadas por zafra por molino

| Zafra:                                      |                                   |                           |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Causas Molino n                             | Tiempo puento (H/M <sup>4</sup> ) | Tiempo puento (decimales) |
|                                             |                                   |                           |
|                                             |                                   |                           |
|                                             |                                   |                           |
|                                             |                                   |                           |
| Total de horas puento Molino n              |                                   |                           |
| Total de horas puento por todos los molinos |                                   |                           |
| Porcentaje de tiempo puento                 |                                   | %                         |
| Frecuencia                                  |                                   |                           |

Fuente: elaboración propia

### Formato para la estimación de horas de puento por molino y por día junto a observaciones como justificación del puento según el molino

| Fecha inicio: | de D/M/A <sup>5</sup> | Fecha de finalización:       | D/M/A            |
|---------------|-----------------------|------------------------------|------------------|
| Día de zafra  | Observaciones:        | Tiempo puentoado (decimales) | Molino puentoado |
| 1             |                       |                              |                  |
| 2             |                       |                              |                  |
| 3             |                       |                              |                  |
| n             |                       |                              |                  |

Fuente: elaboración propia

<sup>4</sup> H/M: Horas/Minutos.

<sup>5</sup> D/M/A: Día/Mes/Año.

**Formato para la estimación del tiempo perdido por puenteo de molinos según equipo, causa, motivo de falla y frecuencia de puenteo en molinos**

| Zafra: |        |              |       |                |            |                          |               |
|--------|--------|--------------|-------|----------------|------------|--------------------------|---------------|
| No.    | Equipo | Motivo Falla | Causa | Tiempo Perdido | Frecuencia | tiempo total (decimales) | Minutos/horas |
| 1      |        |              |       |                |            |                          |               |
| 2      |        |              |       |                |            |                          |               |
| 3      |        |              |       |                |            |                          |               |
| n      |        |              |       |                |            |                          |               |

Fuente: elaboración propia

**Formato para la estimación de los pesos de piedras entrantes al ingenio, las cuales perjudican a los molinos**

| Peso de piedras que entran a los molinos zafra n |              |                    |              |
|--------------------------------------------------|--------------|--------------------|--------------|
| FECHA                                            | DIA DE ZAFRA | PESO DE BASCULA Kg | ACUMULADO Kg |
| D/M/A                                            | 1            |                    |              |
| D/M/A                                            | 2            |                    |              |
| D/M/A                                            | 3            |                    |              |
| A la fecha                                       |              |                    | Kg           |

Fuente: elaboración propia

## APÉNDICE 2. Recolección de datos de variable crítica de calidad

Se recopiló información histórica de las variables siendo la principal fuente de información los reportes diarios de la empresa desde la zafra 2008-2009 hasta la zafra 2011-2012.

### 2.1. Causas y tiempo de puenteo en el tándem de molinos

A continuación se presentan las causas de los molinos que más tiempo permanecieron puenteados por zafra.

Zafra 2008-2009

| Zafra:                                                                        | 2008-2009                   |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Causas Molino 5</b>                                                        | <b>tiempo puenteo (H/M)</b> | <b>tiempo puenteo decimales (horas)</b> |
| Desalojar donelly por atoro.                                                  | 0:05                        | 0,08                                    |
| Por habilitar enfriamiento de la caja superior.                               | 0:22                        | 0,37                                    |
| Por soldar guardera de la cuarta maza.                                        | 0:12                        | 0,20                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 4:03                        | 4,05                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 0:10                        | 0,17                                    |
| Por cambio de chumacera lado calderas en maza superior.                       | 3:23                        | 3,38                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 6:08                        | 6,13                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 1:53                        | 1,88                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 3:05                        | 3,08                                    |
| Rellenar presión hidráulica.                                                  | 0:08                        | 0,13                                    |
| Maza embagazada.                                                              | 1:45                        | 1,75                                    |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                         | 2:00                        | 2,00                                    |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                         | 0:05                        | 0,08                                    |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                         | 2:26                        | 2,43                                    |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                         | 3:27                        | 3,45                                    |
| Rellenar presión hidráulica.                                                  | 0:03                        | 0,05                                    |
| Por soldar pichel de peine superior lado calderas y desembagazar maza cañera. | 0:34                        | 0,57                                    |

|                                                                                                         |       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
| Por soldar pichel de peine superior lado calderas y desembagazarmaza cañera.                            | 3:38  | 3,63 |
| Por soldar pichel de peine superior lado calderas y desembagazar maza cañera.                           | 1:03  | 1,05 |
| Por soldar pichel de peine superior lado calderas, desembagazar maza cañera y asentar cuchilla central. | 0:38  | 0,63 |
| Por soldar pichel de peine superior lado calderas, desembagazar maza cañera y asentar cuchilla central. | 1:25  | 1,42 |
| Por levantarse peine superior y romperse tornillo del flange.                                           | 6:30  | 6,50 |
| Pordesembagazar la maza superior, cambiar y asentar peine superior.                                     | 8:00  | 8,00 |
| Pordesembagazar la maza superior y cambiar y asentar peine superior.                                    | 7:40  | 7,67 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                            | 0:02  | 0,03 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 5:16  | 5,27 |
| Por soldar guardera de peine superior lado calderas.                                                    | 0:16  | 0,27 |
| Por aplicar soldadura a maza.                                                                           | 4:58  | 4,97 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 1:00  | 1,00 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 7:28  | 7,47 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 8:00  | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 1:15  | 1,25 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 1:00  | 1,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 6:10  | 6,17 |
| Por sellar pichel lado calderas.                                                                        | 0:35  | 0,58 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:47  | 0,78 |
| Por romperse eje de peine superior y cambiar el peine superior por desgaste.                            | 8:00  | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 08:00 | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 5:08  | 5,13 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 5:52  | 5,87 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 8:00  | 8,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 8:00  | 8,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 8:00  | 8,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 2:45  | 2,75 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 5:47  | 5,78 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 8:00  | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 3:30  | 3,50 |
| Por darse vuelta el peine superior.                                                                     | 2:40  | 2,67 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 8:00  | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 4:30  | 4,50 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 3:20  | 3,33 |



|                                      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|
| Maza embagazada.                     | 8:00 | 8,00 |
| Maza embagazada.                     | 3:05 | 3,08 |
| Maza embagazada.                     | 4:37 | 4,62 |
| Maza embagazada.                     | 3:20 | 3,33 |
| Maza embagazada.                     | 4:34 | 4,57 |
| Cambio y asentamiento peine superior | 7:00 | 7,00 |
| Total de horas puenteado Molino 5    |      | 216  |
| Porcentaje de puenteo                |      | 30%  |
| Frecuencia                           |      | 57   |

Fuente: elaboración propia.

#### Zafra 2009-2010

| Zafra:                                                                          | 2009-2010            |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>Causas Molino 5</b>                                                          | tiempo puenteo (H/M) | tiempo puenteo decimales (horas) |
| Maza embagazada.                                                                | 3:55                 | 3,92                             |
| Rellenar presión hidráulica.                                                    | 0:08                 | 0,13                             |
| Por quebrarse pernos de cuchilla cuarta maza.                                   | 5:53                 | 5,88                             |
| Maza embagazada.                                                                | 0:50                 | 0,83                             |
| Maza embagazada.                                                                | 2:20                 | 2,33                             |
| Maza embagazada.                                                                | 1:24                 | 1,40                             |
| Por abrir cuarta maza.                                                          | 1:36                 | 1,60                             |
| Maza embagazada.                                                                | 3:10                 | 3,17                             |
| Maza embagazada.                                                                | 8:00                 | 8,00                             |
| Maza embagazada.                                                                | 08:00                | 8,00                             |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                           | 2:43                 | 2,72                             |
| Maza embagazada.                                                                | 2:40                 | 2,67                             |
| Por corregir rotura en niple de lubricación entrada chumacera reductor de baja. | 0:58                 | 0,97                             |
| Maza embagazada.                                                                | 2:55                 | 2,92                             |
| Maza embagazada.                                                                | 2:15                 | 2,25                             |
| Por soldar anillo en el extremo de la maza superior lado de calderas.           | 6:10                 | 6,17                             |
| Por soldar anillo en el extremo de la maza superior lado de calderas.           | 0:15                 | 0,25                             |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                           | 2:25                 | 2,42                             |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                           | 8:00                 | 8,00                             |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                           | 0:40                 | 0,67                             |

|                                                                                                               |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Por quitar y ajustar portacarbones y cambio de escobillas.                                                    | 1:36  | 1,60  |
| Por quitar y ajustar portacarbones y cambio de escobillas.                                                    | 2:00  | 2,00  |
| Por cambiar tornillo vertical lado calderas y tornillo horizontal lado motores de la cuchilla de cuarta maza. | 3:40  | 3,67  |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                                  | 0:15  | 0,25  |
| Por abrir setting de cuarta maza y abrir setting de donelly.                                                  | 1:30  | 1,50  |
| Maza embagazada.                                                                                              | 4:39  | 4,65  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                         | 4:06  | 4,10  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                         | 04:40 | 4,67  |
| Por colocar tope sobre chumacera de la cuarta maza lado de motor.                                             | 0:33  | 0,55  |
| Por colocar sello y babero en peine superior.                                                                 | 2:00  | 2,00  |
| Por soldar tope de tornillo en la cuarta maza.                                                                | 2:06  | 2,10  |
| Por cerrar setting de la cuarta maza.                                                                         | 5:52  | 5,87  |
| Por apretar tornillos en mono cuarta maza lado calderas.                                                      | 0:28  | 0,47  |
| Por rotura de oreja que sujeta el brazo del peine superior lado molinos.                                      | 2:05  | 2,08  |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                                  | 0:05  | 0,08  |
| Por cambio de chumacera de la maza superior lado motor.                                                       | 0:04  | 0,07  |
| Por cambio de chumacera maza superior lado calderas.                                                          | 6:19  | 6,32  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                         | 15:20 | 15,33 |
| Por voltearse peine superior.                                                                                 | 8:14  | 8,23  |
| Por asentamiento del peine superior.                                                                          | 15:00 | 15,00 |
| Maza embagazada.                                                                                              | 4:25  | 4,42  |
| Por corregir ajustes en el eje de soporte del peine superior.                                                 | 6:37  | 6,62  |
| Maza embagazada.                                                                                              | 4:35  | 4,58  |
| Maza embagazada.                                                                                              | 6:04  | 6,07  |
| Por falla en el sistema de lubricación del reductor de alta.                                                  | 1:10  | 1,17  |
| Por habilitar bomba auxiliar de lubricación del reductor de alta.                                             | 0:13  | 0,22  |
| Por soldar tornillo jalador cuarta maza lado molinos.                                                         | 0:33  | 0,55  |
| Por ajustar cuchilla cuarta maza.                                                                             | 0:35  | 0,58  |
| Por ajustar cuarta maza (meterla 3/4").                                                                       | 2:07  | 2,12  |
| Maza embagazada.                                                                                              | 3:55  | 3,92  |
| Por ajustar cuña y corona cuarta maza lado caldera.                                                           | 5:04  | 5,07  |
| Por romperse tornillos del mono 4ta maza lado calderas.                                                       | 2:30  | 2,50  |
| Por romperse tornillos del mono 4ta maza lado calderas.                                                       | 2:01  | 2,02  |
| Por romperse tornillos del mono 4ta maza lado calderas y virar corona 4ta maza.                               | 4:28  | 4,47  |
| Por romperse tornillos del mono 4ta maza lado calderas.                                                       | 0:30  | 0,50  |
| Por romperse tornillos del mono 4ta maza lado calderas (se metio 3/4" la 4ta maza).                           | 4:40  | 4,67  |
| Ajuste y asentamiento de peine superior.                                                                      | 2:14  | 2,23  |

|                                                                           |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Por colocar topes en corona maza superior lado motor.                     | 3:10  | 3,17  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 13:28 | 13,47 |
| Maza embagazada.                                                          | 01:00 | 1,00  |
| Maza embagazada.                                                          | 04:12 | 4,20  |
| Por quebrarse tornillos de la chumacera lado calderas del peine superior. | 01:30 | 1,50  |
| Por quebrarse tornillos de la chumacera lado calderas del peine superior. | 05:15 | 5,25  |
| Maza embagazada.                                                          | 07:45 | 7,75  |
| Maza embagazada.                                                          | 00:55 | 0,92  |
| Por soldar cartabones en chumacera del peine superior lado motor.         | 00:56 | 0,93  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 03:40 | 3,67  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 08:00 | 8,00  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 01:55 | 1,92  |
| Maza embagazada.                                                          | 03:08 | 3,13  |
| Por corregir pichel lado motor.                                           | 01:40 | 1,67  |
| Maza embagazada.                                                          | 02:22 | 2,37  |
| Por lubricar acoplamiento de dados.                                       | 00:30 | 0,50  |
| Por limpiar taco en el espolón lado motor.                                | 00:27 | 0,45  |
| Para revisar espolón y placa fija lado motor.                             | 00:17 | 0,28  |
| Para revisar espolón y placa fija lado motor.                             | 00:18 | 0,30  |
| Por quitar taco formado en espolón lado motor.                            | 00:30 | 0,50  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 03:07 | 3,12  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 08:00 | 8,00  |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                     | 06:40 | 6,67  |
| Por soldar fuga en tubing de presión hidráulica lado motor.               | 00:40 | 0,67  |
| Por soldar fuga en tubing de presión hidráulica lado motor.               | 00:15 | 0,25  |
| Por quebrarse eje cuadrado de cuarta maza.                                | 02:13 | 2,22  |
| Por quebrarse eje cuadrado de cuarta maza.                                | 04:44 | 4,73  |
| Por quebrarse eje cuadrado de cuarta maza.                                | 08:00 | 8,00  |
| Por quebrarse eje cuadrado de cuarta maza.                                | 02:26 | 2,43  |
| Por quebrarse eje cuadrado de cuarta maza.                                | 06:15 | 6,25  |
| Por romperse tornillo horizontal de cuchilla cuarta maza lado motor.      | 05:18 | 5,30  |
| Por romperse tornillo horizontal de cuchilla cuarta maza lado motor.      | 04:46 | 4,77  |
| Por cambiar cuchilla de cuarta maza.                                      | 05:05 | 5,08  |
| Por cambiar cuchilla de cuarta maza.                                      | 00:52 | 0,87  |
| Por cambiar cuchilla de cuarta maza.                                      | 08:00 | 8,00  |
| Por cambiar cuchilla de cuarta maza.                                      | 08:00 | 8,00  |
| Por cambiar cuchilla de cuarta maza.                                      | 05:30 | 5,50  |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Total de horas puenteado Molino 5 | 337 |
| Total de horas puenteado Molino 5 | 37% |
| Frecuencia                        | 94  |

Fuente: elaboración propia.

### Zafra 2010-2011

| Zafra:                                                                                                         | 2010-2011            |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>Causas Molino 6</b>                                                                                         | tiempo puenteo (H/M) | tiempo puenteo decimales (horas) |
| Maza embagazada.                                                                                               | 1:00                 | 1,00                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 8:00                 | 8,00                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 0:25                 | 0,42                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 2:22                 | 2,37                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 3:25                 | 3,42                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 3:40                 | 3,67                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 1:17                 | 1,28                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 8:00                 | 8,00                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 1:15                 | 1,25                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 5:54                 | 5,90                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 2:45                 | 2,75                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 7:45                 | 7,75                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 1:02                 | 1,03                             |
| Por corregir fuga de aceite en botellón hidráulico.                                                            | 0:45                 | 0,75                             |
| Por revisar bomba de maceración No. 4 estaba atrancada por un pedazo de madera.                                | 1:04                 | 1,07                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 0:03                 | 0,05                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 1:13                 | 1,22                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 0:29                 | 0,48                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 0:30                 | 0,50                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 0:56                 | 0,93                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 5:53                 | 5,88                             |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                                   | 0:15                 | 0,25                             |
| Falla eléctrica motor.                                                                                         | 0:38                 | 0,63                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 2:08                 | 2,13                             |
| Maza embagazada.                                                                                               | 3:30                 | 3,50                             |
| Por levantar pichel lado calderas, modificar brazo lado motor y verificar medidas de ataque de peine superior. | 6:36                 | 6,60                             |

|                                                                        |      |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Maza embagazada.                                                       | 3:08 | 3,13 |
| Maza embagazada.                                                       | 0:31 | 0,52 |
| Maza embagazada.                                                       | 2:35 | 2,58 |
| Maza embagazada.                                                       | 4:27 | 4,45 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:53 | 0,88 |
| Maza embagazada.                                                       | 1:38 | 1,63 |
| Maza embagazada.                                                       | 1:58 | 1,97 |
| Soldar dientes de la maza garrapiñado.                                 | 7:33 | 7,55 |
| Maza embagazada.                                                       | 5:55 | 5,92 |
| Maza embagazada.                                                       | 1:07 | 1,12 |
| Maza embagazada.                                                       | 1:37 | 1,62 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:38 | 0,63 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:46 | 0,77 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:10 | 0,17 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:30 | 0,50 |
| Maza embagazada.                                                       | 2:40 | 2,67 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 3:47 | 3,78 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 2:30 | 2,50 |
| Abrir 1" a la maza cañera y ajustar cuchilla central.                  | 4:00 | 4,00 |
| Revisar y corregir sello de cabezote lado Calderas.                    | 0:50 | 0,83 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:07 | 0,12 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:21 | 0,35 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:51 | 0,85 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:40 | 0,67 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:36 | 0,60 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:19 | 0,32 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:56 | 0,93 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:29 | 0,48 |
| Falla eléctrica motor.                                                 | 0:10 | 0,17 |
| Cambio de sello del cabezote.                                          | 1:00 | 1,00 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:24 | 0,40 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:17 | 0,28 |
| Rellenar presión hidráulica.                                           | 0:04 | 0,07 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:24 | 0,40 |
| Maza embagazada.                                                       | 0:54 | 0,90 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:09 | 0,15 |
| Desalojar donelly por atoro.                                           | 0:13 | 0,22 |
| Por revisión de la bomba 4 de maceración.                              | 0:24 | 0,40 |
| Rellenar presión hidráulica.                                           | 0:02 | 0,03 |
| Para colocar tapón en salida de jugo del peine superior lado calderas. | 0:20 | 0,33 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                  | 1:58 | 1,97 |

|                                                                                                |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Maza embagazada.                                                                               | 0:26 | 0,43 |
| Maza embagazada.                                                                               | 0:50 | 0,83 |
| Maza embagazada.                                                                               | 0:41 | 0,68 |
| Maza embagazada.                                                                               | 5:09 | 5,15 |
| Falla eléctrica motor.                                                                         | 0:36 | 0,60 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                   | 0:16 | 0,27 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:03 | 2,05 |
| Maza embagazada.                                                                               | 5:16 | 5,27 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:12 | 2,20 |
| Por reconstruir con soldadura los dientes de la maza superior.                                 | 1:30 | 1,50 |
| Por reconstruir con soldadura los dientes de la maza superior.                                 | 3:33 | 3,55 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:14 | 2,23 |
| Por reparar brazo lado motor del peine superior.                                               | 1:00 | 1,00 |
| Por reparar brazo lado motor del peine superior.                                               | 1:35 | 1,58 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:55 | 2,92 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:10 | 1,17 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:15 | 2,25 |
| Maza embagazada.                                                                               | 0:08 | 0,13 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:00 | 1,00 |
| Por fabricar brazo del peine superior lado motor.                                              | 4:30 | 4,50 |
| Por corregir pichel lado caldera.                                                              | 1:13 | 1,22 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:52 | 1,87 |
| Maza embagazada.                                                                               | 0:30 | 0,50 |
| Maza embagazada.                                                                               | 3:50 | 3,83 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:10 | 1,17 |
| Maza embagazada.                                                                               | 2:28 | 2,47 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 0:18 | 0,30 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 6:05 | 6,08 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:55 | 1,92 |
| Por revisión y desalojar donelly.                                                              | 0:45 | 0,75 |
| Por revisión y desalojar donelly.                                                              | 0:52 | 0,87 |
| Maza embagazada.                                                                               | 4:19 | 4,32 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:39 | 1,65 |
| Maza embagazada.                                                                               | 1:11 | 1,18 |
| Por recortar extremos del peine superior, modificar pichelos y reparar guardera lado calderas. | 2:50 | 2,83 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 3:51 | 3,85 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 0:45 | 0,75 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 6:35 | 6,58 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                          | 8:00 | 8,00 |

|                                                                                                        |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                  | 3:10 | 3,17 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                           | 0:48 | 0,80 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                           | 0:55 | 0,92 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 1:23 | 1,38 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 2:00 | 2,00 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 2:24 | 2,40 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 2:46 | 2,77 |
| Por ajustar tensores del peine superior.                                                               | 1:30 | 1,50 |
| Revisión del molino, abrir 3/8" la maza cañera y revisar el motor del ventilador del motor del molino. | 4:03 | 4,05 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 2:21 | 2,35 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 1:27 | 1,45 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 0:17 | 0,28 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 0:30 | 0,50 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 3:52 | 3,87 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 0:37 | 0,62 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 2:00 | 2,00 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 3:35 | 3,58 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 8:00 | 8,00 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 4:07 | 4,12 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                           | 0:11 | 0,18 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 6:31 | 6,52 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 1:59 | 1,98 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 3:38 | 3,63 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                            | 7:25 | 7,42 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 1:08 | 1,13 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 0:03 | 0,05 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                  | 0:27 | 0,45 |
| Por sellar fuga de jugo en el molino.                                                                  | 1:06 | 1,10 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                           | 0:32 | 0,53 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                           | 0:07 | 0,12 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 0:51 | 0,85 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 0:38 | 0,63 |
| Maza embagazada.                                                                                       | 1:57 | 1,95 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 1:15 | 1,25 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 1:07 | 1,12 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 1:45 | 1,75 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 4:32 | 4,53 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                 | 1:45 | 1,75 |

|                                                 |      |      |
|-------------------------------------------------|------|------|
| Falla eléctrica motor.                          | 1:08 | 1,13 |
| Falla eléctrica motor.                          | 2:31 | 2,52 |
| Falla eléctrica motor.                          | 8:00 | 8,00 |
| Falla eléctrica motor.                          | 2:50 | 2,83 |
| Falla eléctrica motor.                          | 1:10 | 1,17 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:31 | 0,52 |
| Rellenar presión hidráulica.                    | 0:05 | 0,08 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:12 | 0,20 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:09 | 0,15 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:09 | 0,15 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:34 | 0,57 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:27 | 0,45 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:08 | 0,13 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:09 | 0,15 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:31 | 0,52 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:10 | 0,17 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:14 | 0,23 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:08 | 0,13 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:13 | 0,22 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:34 | 0,57 |
| Por abrir 1/8" el setting de la maza bagacera.  | 0:45 | 0,75 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:06 | 0,10 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:15 | 0,25 |
| Rellenar presión hidráulica.                    | 0:20 | 0,33 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:12 | 0,20 |
| Rellenar presión hidráulica.                    | 1:18 | 1,30 |
| Rellenar presión hidráulica.                    | 1:04 | 1,07 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:14 | 0,23 |
| Cambio de sello del cabezote.                   | 1:08 | 1,13 |
| Cambio de sello del cabezote.                   | 5:58 | 5,97 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:07 | 0,12 |
| Maza embagazada.                                | 2:29 | 2,48 |
| Soldar dientes de la maza garrapiñado.          | 3:55 | 3,92 |
| Soldar dientes de la maza garrapiñado.          | 3:30 | 3,50 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central. | 3:45 | 3,75 |
| Maza embagazada.                                | 4:00 | 4,00 |
| Maza embagazada.                                | 2:50 | 2,83 |
| Maza embagazada.                                | 1:30 | 1,50 |
| Falla eléctrica motor.                          | 0:05 | 0,08 |
| Desalojar donelly por atoro.                    | 0:05 | 0,08 |
| Desalojar donelly por atoro.                    | 0:08 | 0,13 |
| Desalojar donelly por atoro.                    | 0:43 | 0,72 |



|                                                                                   |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:06 | 0,10 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:18 | 0,30 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:11 | 0,18 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:13 | 0,22 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:07 | 0,12 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:12 | 0,20 |
| Maza embagazada.                                                                  | 2:20 | 2,33 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:08 | 0,13 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                             | 1:37 | 1,62 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:04 | 0,07 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:10 | 0,17 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Por colocar tapón en salida de jugo peine superior lado calderas.                 | 0:23 | 0,38 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:10 | 0,17 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:06 | 0,10 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:04 | 0,07 |
| Falla eléctrica motor                                                             | 0:08 | 0,13 |
| Por revisión de flotación maza superior y quitar calzas del fatigador lado motor. | 3:35 | 3,58 |
| Por revisión de flotación maza superior y quitar calzas del fatigador lado motor. | 8:00 | 8,00 |
| Por revisión de flotación maza superior y quitar calzas del fatigador lado motor. | 3:35 | 3,58 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:09 | 0,15 |
| Maza embagazada.                                                                  | 1:27 | 1,45 |
| Soldar dientes de la maza garrapiñado.                                            | 3:52 | 3,87 |
| Falla eléctrica motor.                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Maza embagazada.                                                                  | 1:45 | 1,75 |
| Maza embagazada.                                                                  | 0:10 | 0,17 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                             | 1:00 | 1,00 |
| Maza embagazada.                                                                  | 6:06 | 6,10 |
| Por cerrar "chute" (entrada y salida).                                            | 0:45 | 0,75 |
| Maza embagazada.                                                                  | 0:36 | 0,60 |
| Maza embagazada.                                                                  | 2:12 | 2,20 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                   | 1:27 | 1,45 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                   | 8:00 | 8,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                   | 8:00 | 8,00 |

|                                                                                          |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                          | 8:00 | 8,00 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                          | 8:00 | 8,00 |
| Pulir maza cañera y asentamiento de cuchilla central.                                    | 4:05 | 4,08 |
| Maza embagazada.                                                                         | 1:39 | 1,65 |
| Maza embagazada.                                                                         | 1:08 | 1,13 |
| Maza embagazada.                                                                         | 0:41 | 0,68 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                    | 0:30 | 0,50 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                    | 5:30 | 5,50 |
| No operar correctamente provocando inestabilidad en la operación (atoros en el donelly). | 2:41 | 2,68 |
| No operar correctamente provocando inestabilidad en la operación (atoros en el donelly). | 3:31 | 3,52 |
| No operar correctamente provocando inestabilidad en la operación (atoros en el donelly). | 8:00 | 8,00 |
| Total de horas puenteadas Molino 6                                                       |      | 480  |
| Porcentaje de puenteo                                                                    |      | 35%  |
| Frecuencia                                                                               |      | 238  |

Fuente: elaboración propia.

#### Zafra 2011-2012

| Zafra:                                                                                                                   | 2011-2012            |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>Causas Molino 6</b>                                                                                                   | tiempo puenteo (H/M) | tiempo puenteo decimales |
| Por cambio del tornillo horizontal cuarta maza lado calderas, soldar tornillo horizontal L/M y desembagazar maza cañera. | 5:40                 | 5,67                     |
| Inspección física por problemas de alto amperaje del motor, eje de la cuchilla cuarta maza está torcido.                 | 13:14                | 13,23                    |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                                             | 0:10                 | 0,17                     |
| Por revisión de la bomba 4 de maceración.                                                                                | 1:20                 | 1,33                     |
| Por montar bomba 4 de maceración por cambio de impelente por desgaste en aspas.                                          | 0:37                 | 0,62                     |
| Por cambiar roldanas planas de ajuste de los pernos horizontales de la cuchilla de cuarta maza y limpiar la cuchilla.    | 0:16                 | 0,27                     |
| Por cambiar roldanas planas de ajuste de los pernos horizontales de la cuchilla de cuarta maza y limpiar la cuchilla.    | 8:00                 | 8,00                     |
| Por cambiar roldanas planas de ajuste de los pernos horizontales de la cuchilla de cuarta maza y limpiar la              | 8:00                 | 8,00                     |

|                                                                                                         |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| cuchilla.                                                                                               |      |      |
| Por cambio de cuchilla de la cuarta maza y asentamiento de la misma.                                    | 5:55 | 5,92 |
| Por alta vibración de motor del molino, por estar montada la cuchilla de cuarta maza sobre maza cañera. | 1:11 | 1,18 |
| Por correrse tuerca lado cuchilla 4ta. Maza hacia la punta del perno.                                   | 4:25 | 4,42 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:51 | 0,85 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:06 | 0,10 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                            | 0:10 | 0,17 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:08 | 0,13 |
| Maza embagazada                                                                                         | 1:30 | 1,50 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                         | 1:18 | 1,30 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:06 | 0,10 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:03 | 0,05 |
| Abrir el chute en la parte inferior lado maza superior.                                                 | 2:19 | 2,32 |
| Abrir el chute en la parte inferior lado maza superior.                                                 | 1:15 | 1,25 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 3:09 | 3,15 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 3:35 | 3,58 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:34 | 0,57 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:04 | 0,07 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 5:50 | 5,83 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                  | 1:00 | 1,00 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Cambio de sello hidráulico lado calderas.                                                               | 1:25 | 1,42 |
| Por ajustar sello de jugo del peine superior.                                                           | 0:21 | 0,35 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:09 | 0,15 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                            | 0:06 | 0,10 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 1:37 | 1,62 |
| Garrapiñado y perleado de maza superior y maza cañera.                                                  | 1:19 | 1,32 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 6:15 | 6,25 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 6:15 | 6,25 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 6:00 | 6,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 2:34 | 2,57 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 0:55 | 0,92 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 0:20 | 0,33 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 2:03 | 2,05 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 8:00 | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                   | 1:45 | 1,75 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                            | 0:05 | 0,08 |
| Maza embagazada.                                                                                        | 3:14 | 3,23 |

|                                                                                                                       |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Maza embagazada.                                                                                                      | 8:00 | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 3:30 | 3,50 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                                          | 0:07 | 0,12 |
| Por asentar cuchilla de la cuarta maza.                                                                               | 0:03 | 0,05 |
| Por asentar cuchilla de la cuarta maza.                                                                               | 0:18 | 0,30 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 0:59 | 0,98 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 2:30 | 2,50 |
| Cambio, ajuste y asentamiento cuchilla central.                                                                       | 2:20 | 2,33 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 0:33 | 0,55 |
| Por cambiar tornillo horizontal de la cuchilla de cuarta maza lado motor (por romperse).                              | 0:16 | 0,27 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                                          | 0:16 | 0,27 |
| Cambio cuchilla cuarta maza.                                                                                          | 2:50 | 2,83 |
| Cambio cuchilla cuarta maza.                                                                                          | 8:00 | 8,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 7:57 | 7,95 |
| Por cambiar roldanas planas de ajuste de los pernos horizontales de la cuchilla de cuarta maza y limpiar la cuchilla. | 0:20 | 0,33 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 4:15 | 4,25 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 1:15 | 1,25 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 0:48 | 0,80 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 5:20 | 5,33 |
| Por soldar tornillo jalador de la chumacera de cuarta maza lado motor.                                                | 0:34 | 0,57 |
| Falla eléctrica motor.                                                                                                | 0:35 | 0,58 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                                          | 0:07 | 0,12 |
| Atoro de bagazo en la taza del molino.                                                                                | 0:30 | 0,50 |
| Por barrerse tornillo de empuje de chumacera cuarta maza lado calderas.                                               | 0:26 | 0,43 |
| Colocar tope entre chumacera de 4ta. Maza y virgen lado motor.                                                        | 0:22 | 0,37 |
| Destapar y limpiar tanque maceración 4 por exceso de bagazo en taza                                                   | 0:12 | 0,20 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 1:57 | 1,95 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 1:40 | 1,67 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                                 | 4:00 | 4,00 |
| Por colocar soporte en guardera lado motor.                                                                           | 1:00 | 1,00 |
| Ajuste y asentamiento de peine bagacero.                                                                              | 0:34 | 0,57 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 0:40 | 0,67 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 3:50 | 3,83 |
| Maza embagazada.                                                                                                      | 5:05 | 5,08 |

|                                                                                                    |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Ajuste y asentamiento de peine bagacero.                                                           | 1:04 | 1,07 |
| Ajuste y asentamiento de peine bagacero.                                                           | 0:19 | 0,32 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 3:09 | 3,15 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 2:00 | 2,00 |
| Limpieza del peine superior, asentar y colocar peineta.                                            | 4:28 | 4,47 |
| Atoro de bagazo en la taza del molino.                                                             | 0:28 | 0,47 |
| Desalojar donelly por atoro.                                                                       | 0:10 | 0,17 |
| Por corregir complemento de la placa fija por fuga de jugo.                                        | 1:25 | 1,42 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 0:48 | 0,80 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 2:38 | 2,63 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 2:00 | 2,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 3:55 | 3,92 |
| Por soldar tope en caja de chumacera 4ta maza L/motor, ajustar meschaert y garrapiñar maza cañera. | 3:33 | 3,55 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                       | 0:05 | 0,08 |
| Cambio de sello del cabezote                                                                       | 1:09 | 1,15 |
| Falla eléctrica motor.                                                                             | 0:13 | 0,22 |
| Falla eléctrica motor.                                                                             | 0:07 | 0,12 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 2:18 | 2,30 |
| Por cambio de cuchilla central.                                                                    | 6:50 | 6,83 |
| Por cambio de cuchilla central.                                                                    | 8:00 | 8,00 |
| Por cambio de cuchilla central.                                                                    | 8:00 | 8,00 |
| Por cambio de cuchilla central.                                                                    | 8:00 | 8,00 |
| Por cambio de cuchilla central.                                                                    | 4:27 | 4,45 |
| Cambio y asentamiento peine bagacero.                                                              | 2:00 | 2,00 |
| Por revisar físicamente el molino para ver lo que provoco el disparo.                              | 0:06 | 0,10 |
| Colocar tornillo en chumacera peine bagacero lado motor.                                           | 1:28 | 1,47 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 3:10 | 3,17 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 8:00 | 8,00 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 1:00 | 1,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 6:00 | 6,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 1:00 | 1,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                              | 1:40 | 1,67 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 7:50 | 7,83 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 8:00 | 8,00 |
| Cambio de la maza superior.                                                                        | 7:15 | 7,25 |
| Maza embagazada.                                                                                   | 2:37 | 2,62 |

|                                                                                                      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Cambio de sello del cabezote.                                                                        | 1:20 | 1,33 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 4:30 | 4,50 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 5:25 | 5,42 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:46 | 0,77 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 7:40 | 7,67 |
| Rellenar presión hidráulica.                                                                         | 1:17 | 1,28 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:53 | 1,88 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 2:44 | 2,73 |
| Por colocar pichel.                                                                                  | 0:19 | 0,32 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:17 | 1,28 |
| Cambio de sello del cabezote.                                                                        | 0:55 | 0,92 |
| Cambio de sello del cabezote.                                                                        | 0:55 | 0,92 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:07 | 1,12 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:38 | 1,63 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 2:14 | 2,23 |
| Ajuste y asentamiento de peine superior.                                                             | 5:00 | 5,00 |
| Rotura de tornillo vertical cuarta maza                                                              | 1:03 | 1,05 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                | 4:52 | 4,87 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 3:25 | 3,42 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:50 | 0,83 |
| Por cambio de tubing de presión hidráulica.                                                          | 0:36 | 0,60 |
| Por cambio de tubing de presión hidráulica.                                                          | 1:09 | 1,15 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:30 | 1,50 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 4:55 | 4,92 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:28 | 0,47 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:00 | 1,00 |
| Corte de brazos de peine flotante.                                                                   | 1:00 | 1,00 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                | 1:40 | 1,67 |
| Cambio y asentamiento peine superior.                                                                | 1:30 | 1,50 |
| Ajuste y asentamiento de peine superior.                                                             | 1:45 | 1,75 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:15 | 1,25 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:15 | 0,25 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:16 | 1,27 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:21 | 0,35 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 1:00 | 1,00 |
| Desembagazar maza y ajuste de peine superior.                                                        | 1:00 | 1,00 |
| Desembagazar maza y ajustar peine superior.                                                          | 2:24 | 2,40 |
| Desembagazar maza superior, corregir brazo del peine superior lado motor y ajuste de peine superior. | 5:03 | 5,05 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:41 | 0,68 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 0:52 | 0,87 |
| Maza embagazada.                                                                                     | 2:07 | 2,12 |

|                                   |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| Maza embagazada.                  | 1:09 | 1,15 |
| Maza embagazada.                  | 0:32 | 0,53 |
| Maza embagazada.                  | 0:15 | 0,25 |
| Total de horas puenteado Molino 6 |      | 415  |
| Porcentaje de puenteo             |      | 34%  |
| Frecuencia                        |      | 164  |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla de resumen de tiempo puenteado por molino y por zafra**

| Zafra     | Molino | Tiempo puenteado (horas) | % tiempo puenteado | Frecuencia | Frecuencia relativa | Frecuencia acumulada |
|-----------|--------|--------------------------|--------------------|------------|---------------------|----------------------|
| 2008-2009 | 1      | 76                       | 11%                | 27         | 8,7%                | 8,7%                 |
|           | 2      | 35                       | 5%                 | 42         | 13,6%               | 22,3%                |
|           | 3      | 118                      | 17%                | 61         | 19,7%               | 42,1%                |
|           | 4      | 69                       | 10%                | 44         | 14,2%               | 56,3%                |
|           | 5      | 216                      | 30%                | 57         | 18,4%               | 74,8%                |
|           | 6      | 198                      | 28%                | 78         | 25,2%               | 100,0%               |
|           | Total  | 712                      | 100%               | 309        | 100%                |                      |
| 2009-2010 | 1      | 12                       | 1%                 | 4          | 1,3%                | 1,3%                 |
|           | 2      | 191                      | 21%                | 44         | 14,6%               | 15,9%                |
|           | 3      | 54                       | 6%                 | 39         | 13,0%               | 28,9%                |
|           | 4      | 116                      | 13%                | 30         | 10,0%               | 38,9%                |
|           | 5      | 337                      | 37%                | 94         | 31,2%               | 70,1%                |
|           | 6      | 209                      | 23%                | 90         | 29,9%               | 100,0%               |
|           | Total  | 919                      | 100%               | 301        | 100%                |                      |
| 2010-2011 | 1      | 60                       | 4%                 | 13         | 2,5%                | 2,5%                 |
|           | 2      | 171                      | 13%                | 44         | 8,4%                | 10,9%                |
|           | 3      | 346                      | 25%                | 133        | 25,5%               | 36,5%                |
|           | 4      | 151                      | 11%                | 47         | 9,0%                | 45,5%                |
|           | 5      | 155                      | 11%                | 46         | 8,8%                | 54,3%                |
|           | 6      | 480                      | 35%                | 238        | 45,7%               | 100,0%               |
|           | Total  | 1363                     | 100%               | 521        | 100%                |                      |
| 2011-2012 | 1      | 120                      | 10%                | 23         | 4,9%                | 4,9%                 |
|           | 2      | 189                      | 15%                | 84         | 18,1%               | 23,0%                |
|           | 3      | 206                      | 17%                | 63         | 13,5%               | 36,6%                |
|           | 4      | 42                       | 3%                 | 25         | 5,4%                | 41,9%                |

|       |      |      |     |       |        |
|-------|------|------|-----|-------|--------|
| 5     | 251  | 21%  | 106 | 22,8% | 64,7%  |
| 6     | 415  | 34%  | 164 | 35,3% | 100,0% |
| Total | 1223 | 100% | 465 | 100%  |        |

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Frecuencia de fallas en los equipos del tándem de molinos

| No. | Equipo                              | Frecuencia | Total tiempo perdido | Minutos/Horas |
|-----|-------------------------------------|------------|----------------------|---------------|
| 1   | Conductor de bagazo 1               | 2          | 6,72                 | Minutos       |
| 2   | Conductor intermedio 1              | 20         | 4,59                 | Horas         |
| 3   | Conductor intermedio 2              | 13         | 7,2                  | Horas         |
| 4   | Conductor intermedio 3              | 21         | 10,18                | Horas         |
| 5   | Conductor intermedio 4              | 10         | 7                    | Horas         |
| 6   | Conductor intermedio 5              | 1          | 22                   | Minutos       |
| 7   | Conductor intermedio 6              | 2          | 4,68                 | Minutos       |
| 8   | Electroimán, conductor intermedio 1 | 1          | 3                    | Minutos       |
| 9   | Molino 1                            | 38         | 5,1                  | Horas         |
| 10  | Molino 2                            | 11         | 4,33                 | Horas         |
| 11  | Molino 3                            | 1          | 4,39                 | Minutos       |
| 12  | Molino 4                            | 1          | 14,67                | Minutos       |
| 13  | Molino 5                            | 4          | 23,65                | Minutos       |
| 14  | Molino 6                            | 361        | 26,59                | Minutos       |
| 15  | Motor molino 6                      | 28         | 3,19                 | Horas         |
| 16  | Rastra de bagacillo                 | 42         | 13,08                | Horas         |
| 17  | Sinfín bagacillo                    | 3          | 43,46                | Minutos       |
| 17  | Tanque de jugo alcalizado           | 1          | 3,86                 | Minutos       |

Fuente: elaboración propia.



2.3. Frecuencia de cambio de peines superiores y cuchillas centrales en los molinos en las zafras 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012

| Peines superiores    |          |          |          |          |          |          |              |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Zafra                | Molino 1 | Molino 2 | Molino 3 | Molino 4 | Molino 5 | Molino 6 | Total peines |
| 2008-2009            | 2        | 2        | 3        | 3        | 6        | 2        | 18           |
| 2009-2010            | 1        | 2        | 1        | 2        | 7        | 3        | 16           |
| 2010-2011            | 1        | 1        | 2        | 3        | 2        | 10       | 19           |
| 2011-2012            | 2        | 4        | 1        | 2        | 6        | 7        | 22           |
| Total hasta la fecha |          |          |          |          |          |          | 75           |

Fuente: elaboración propia.

| Cuchillas centrales  |    |    |    |    |    |    |                 |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|-----------------|
| Zafra                | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | Total cuchillas |
| 2008-2009            | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 3               |
| 2009-2010            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0               |
| 2010-2011            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1               |
| 2011-2012            | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 2               |
| Total hasta la fecha |    |    |    |    |    |    | 6               |

Fuente: elaboración propia.

2.3. Peso de piedras que entran a ingenio

Como una de las causas del segundo Diagrama de Ishikawa en la M de medio ambiente, es respecto a las piedras que entran al ingenio, que en el peor de los casos cuando no son apartadas algunas piedras que no se ven a simple vista, esas piedras se atascan en molinos y por lo tanto rompen los dientes, provocando de esta manera que se atoren las mazas y en efecto se puentee el molino(s) afectado(s).

**Tabla de resumen de pesos de piedras que entran a ingenio por zafra**

| Semana         | Peso(kg) 2008-2009 | Peso(kg) 2009-2010 | Peso(kg) 2010-2011 | Peso(kg) 2011-2012 |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1              | 12 790             | 4 550              | 3 170              | 851                |
| 2              | 13 700             | 1 610              | 1 706              | 1 534              |
| 3              | 7 540              | 310                | 880                | 1 960              |
| 4              | 5 200              | 4 360              | 1 700              | 654                |
| 5              | 5 340              | 1 640              | 1 134              | 1 460              |
| 6              | 1 330              | 2 968              | 1 390              | 1 210              |
| 7              | 3 030              | 5 750              | 910                | 550                |
| 8              | 3 950              | -                  | 1 255              | 740                |
| 9              | 3 240              | 1 600              | 1 890              | 1 690              |
| 10             | 3 080              | 700                | 870                | 1 220              |
| 11             | 2 500              | 919                | 795                | 610                |
| 12             | 1 100              | 2 490              | 650                | 1 500              |
| 13             | 2 540              | 210                | 1 190              | 930                |
| 14             | 2 690              | 2 170              | 1 245              | 1 000              |
| 15             | 520                | 580                | 280                | 1 400              |
| 16             | 1 060              | 1 600              | 841                | 950                |
| 17             | 420                | 220                | 680                | 1 460              |
| 18             | 610                | 453                | 420                | 1 010              |
| 19             | 590                | 300                | 950                | 440                |
| 20             | 1 010              | 2 880              | 970                | 950                |
| 21             | 1 915              | -                  | -                  | 1 150              |
| 22             | 490                | 340                | 1 080              | 380                |
| 23             | 1 680              | 730                | -                  | 1 100              |
| 24             | 1 710              | 411                |                    | 730                |
| 25             | 3 980              | 350                |                    | 200                |
| 26             |                    | 280                |                    | 1 077              |
| 27             |                    | -                  |                    |                    |
| <b>Totales</b> | <b>82015</b>       | <b>37 421</b>      | <b>24 006</b>      | <b>26756</b>       |

Fuente: elaboración propia.

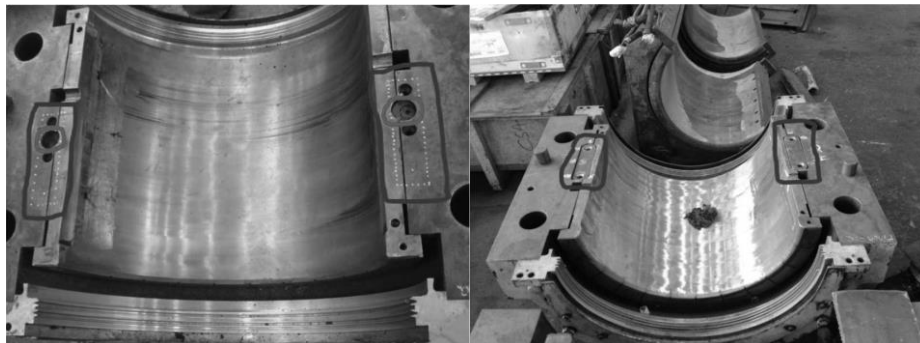
### **APÉNDICE 3. Fotografías de componentes de molinos donde se realizaron mejoras según la matriz A.M.E.F.**

3.1. Se mejoraron sellos de catarina de baja por desgaste en el eje, por lo que se abrió otro agujero para un mejor drene de aceite por los laberintos de los sellos de las chumaceras



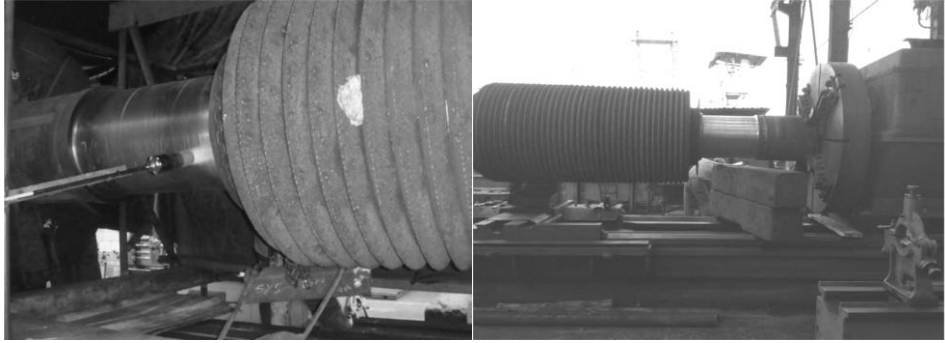
Fuente: fábrica CSA.

3.2. Se mejoraron los topes de la caja de las chumaceras de catarina y pinón, debido a que se han roto y la chumacera empieza a girar, por lo que se realizaron los topes con mayor área previniendo que se rompan en operación



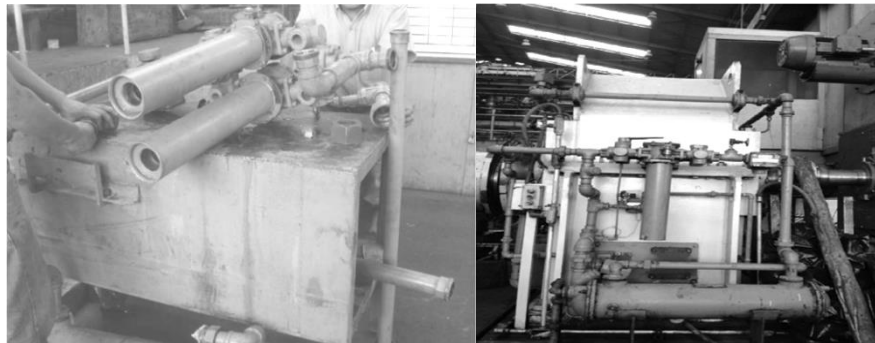
Fuente: fábrica CSA.

3.3. Se recuperó el diámetro de cada una de las mazas que presentaron desgaste debido a la falta de lubricación



Fuente: fábrica CSA.

3.4. Se limpiaron completamente el sistema de lubricación, comprendieron tubería, filtros, válvulas y accesorios.



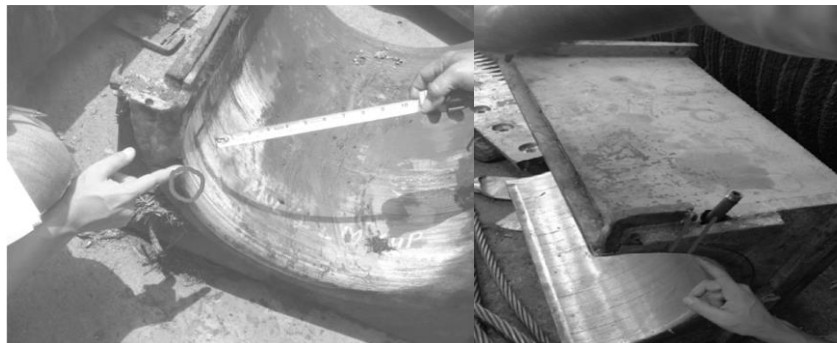
Fuente: fábrica CSA.

3.5. Se mejoró el empujamiento de las coronas, es decir el acoplamiento entre engranaje a engranaje para no causar desgaste entre los dientes.



Fuente: fábrica CSA.

3.6. Doble sistema de lubricación de las chumaceras, por lo que si se tapa un orificio asegurar la lubricación por el otro



Fuente: fábrica CSA.

3.7. Se reforzó con soldadura los dientes de cuchillas centrales, debido al desgaste continuo que sufren los dientes de las mismas.



Fuente: fábrica CSA.

3.8. Se mejoraron las mazas en el taller de tornos, así también para que no hayan sholcos o evitar la pérdida de dientes se cimentaron con varilla de hierro negro y luego se le aplicó la soldadura.



Fuente: fábrica CSA.

## APÉNDICE 4. Fotografías de componentes mencionados en el capítulo 2 y glosario

### 4.4 Tándem de seis molinos



Fuente: Fábrica CSA.

### 4.2 Peine bagacero



Fuente: Fábrica CSA.

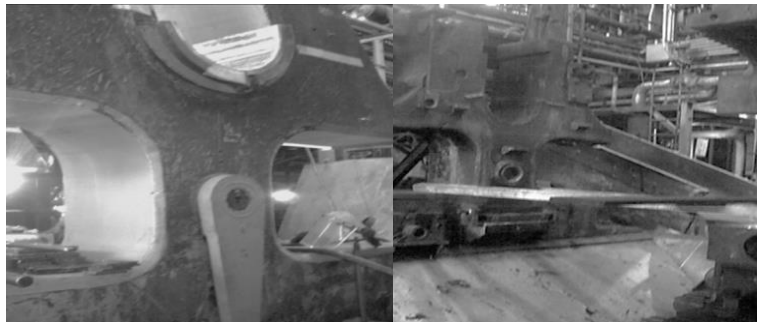


#### 4.3 Cuarta maza de un molino



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.4 Virgen inclinada y Virgen recta



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.5 Cuchilla central instalada en un molino



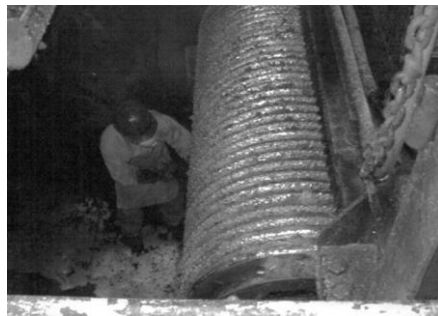
Fuente: fábrica CSA.

#### 4.6 Maza de molinos



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.7 Cuarta maza en mantenimiento preventivo



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.8 Bagazo que sale del último molino



Fuente: fábrica CSA.

4.9 Coronas acopladas a los ejes de las mazas de un molino



Fuente: fábrica CSA.

4.10 Entredos



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.11 Maza con sholcos



Fuente: fábrica CSA.

#### 4.12 Mantenimiento de soldadura en mazas



Fuente: fábrica CSA.

## Estudio energético

### APÉNDICE 5. Propuesta de diseño de rótulos de ahorro energético en las oficinas de la empresa

Los rótulos fueron pegados en los monitores del personal en las oficinas.

#### 5.1. Rótulos propuestos para oficinas



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### 1 Valores positivos y negativos de Z, según una Distribución normal

#### 1.1. Valores positivos de Z

| Normal | 0      | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0      | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| 0.1    | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 |
| 0.2    | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| 0.3    | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| 0.4    | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| 0.5    | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| 0.6    | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 |
| 0.7    | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7704 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 |
| 0.8    | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 |
| 0.9    | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| 1      | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| 1.1    | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 |
| 1.2    | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.9015 |
| 1.3    | 0.9032 | 0.9049 | 0.9066 | 0.9082 | 0.9099 | 0.9115 | 0.9131 | 0.9147 | 0.9162 | 0.9177 |
| 1.4    | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9265 | 0.9279 | 0.9292 | 0.9306 | 0.9319 |
| 1.5    | 0.9332 | 0.9345 | 0.9357 | 0.9370 | 0.9382 | 0.9394 | 0.9406 | 0.9418 | 0.9429 | 0.9441 |
| 1.6    | 0.9452 | 0.9463 | 0.9474 | 0.9484 | 0.9495 | 0.9505 | 0.9515 | 0.9525 | 0.9535 | 0.9545 |
| 1.7    | 0.9554 | 0.9564 | 0.9573 | 0.9582 | 0.9591 | 0.9599 | 0.9608 | 0.9616 | 0.9625 | 0.9633 |
| 1.8    | 0.9641 | 0.9649 | 0.9656 | 0.9664 | 0.9671 | 0.9678 | 0.9686 | 0.9693 | 0.9699 | 0.9706 |
| 1.9    | 0.9713 | 0.9719 | 0.9726 | 0.9732 | 0.9738 | 0.9744 | 0.9750 | 0.9756 | 0.9761 | 0.9767 |
| 2      | 0.9772 | 0.9778 | 0.9783 | 0.9788 | 0.9793 | 0.9798 | 0.9803 | 0.9808 | 0.9812 | 0.9817 |
| 2.1    | 0.9821 | 0.9826 | 0.9830 | 0.9834 | 0.9838 | 0.9842 | 0.9846 | 0.9850 | 0.9854 | 0.9857 |
| 2.2    | 0.9861 | 0.9864 | 0.9868 | 0.9871 | 0.9875 | 0.9878 | 0.9881 | 0.9884 | 0.9887 | 0.9890 |
| 2.3    | 0.9893 | 0.9896 | 0.9898 | 0.9901 | 0.9904 | 0.9906 | 0.9909 | 0.9911 | 0.9913 | 0.9916 |
| 2.4    | 0.9918 | 0.9920 | 0.9922 | 0.9925 | 0.9927 | 0.9929 | 0.9931 | 0.9932 | 0.9934 | 0.9936 |
| 2.5    | 0.9938 | 0.9940 | 0.9941 | 0.9943 | 0.9945 | 0.9946 | 0.9948 | 0.9949 | 0.9951 | 0.9952 |
| 2.6    | 0.9953 | 0.9955 | 0.9956 | 0.9957 | 0.9959 | 0.9960 | 0.9961 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9964 |



|     |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5.7 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 |
| 5.8 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 |
| 5.9 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 |
| 6   | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 | 1.0000<br>E+00 |

Fuente: <http://www.elosiodelosantos.com/sergiman/div/tablnorm.html>, consulta: junio 2012.

## 1.2 Valores negativos de Z

| Normal | 0      | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0      | 0.5000 | 0.4960 | 0.4920 | 0.4880 | 0.4840 | 0.4801 | 0.4761 | 0.4721 | 0.4681 | 0.4641 |
| -0.1   | 0.4602 | 0.4562 | 0.4522 | 0.4483 | 0.4443 | 0.4404 | 0.4364 | 0.4325 | 0.4286 | 0.4247 |
| -0.2   | 0.4207 | 0.4168 | 0.4129 | 0.4090 | 0.4052 | 0.4013 | 0.3974 | 0.3936 | 0.3897 | 0.3859 |
| -0.3   | 0.3821 | 0.3783 | 0.3745 | 0.3707 | 0.3669 | 0.3632 | 0.3594 | 0.3557 | 0.3520 | 0.3483 |
| -0.4   | 0.3446 | 0.3409 | 0.3372 | 0.3336 | 0.3300 | 0.3264 | 0.3228 | 0.3192 | 0.3156 | 0.3121 |
| -0.5   | 0.3085 | 0.3050 | 0.3015 | 0.2981 | 0.2946 | 0.2912 | 0.2877 | 0.2843 | 0.2810 | 0.2776 |
| -0.6   | 0.2743 | 0.2709 | 0.2676 | 0.2643 | 0.2611 | 0.2578 | 0.2546 | 0.2514 | 0.2483 | 0.2451 |
| -0.7   | 0.2420 | 0.2389 | 0.2358 | 0.2327 | 0.2296 | 0.2266 | 0.2236 | 0.2206 | 0.2177 | 0.2148 |
| -0.8   | 0.2119 | 0.2090 | 0.2061 | 0.2033 | 0.2005 | 0.1977 | 0.1949 | 0.1922 | 0.1894 | 0.1867 |
| -0.9   | 0.1841 | 0.1814 | 0.1788 | 0.1762 | 0.1736 | 0.1711 | 0.1685 | 0.1660 | 0.1635 | 0.1611 |
| -1     | 0.1587 | 0.1562 | 0.1539 | 0.1515 | 0.1492 | 0.1469 | 0.1446 | 0.1423 | 0.1401 | 0.1379 |
| -1.1   | 0.1357 | 0.1335 | 0.1314 | 0.1292 | 0.1271 | 0.1251 | 0.1230 | 0.1210 | 0.1190 | 0.1170 |
| -1.2   | 0.1151 | 0.1131 | 0.1112 | 0.1093 | 0.1075 | 0.1056 | 0.1038 | 0.1020 | 0.1003 | 0.0985 |
| -1.3   | 0.0968 | 0.0951 | 0.0934 | 0.0918 | 0.0901 | 0.0885 | 0.0869 | 0.0853 | 0.0838 | 0.0823 |
| -1.4   | 0.0808 | 0.0793 | 0.0778 | 0.0764 | 0.0749 | 0.0735 | 0.0721 | 0.0708 | 0.0694 | 0.0681 |
| -1.5   | 0.0668 | 0.0655 | 0.0643 | 0.0630 | 0.0618 | 0.0606 | 0.0594 | 0.0582 | 0.0571 | 0.0559 |
| -1.6   | 0.0548 | 0.0537 | 0.0526 | 0.0516 | 0.0505 | 0.0495 | 0.0485 | 0.0475 | 0.0465 | 0.0455 |
| -1.7   | 0.0446 | 0.0436 | 0.0427 | 0.0418 | 0.0409 | 0.0401 | 0.0392 | 0.0384 | 0.0375 | 0.0367 |
| -1.8   | 0.0359 | 0.0351 | 0.0344 | 0.0336 | 0.0329 | 0.0322 | 0.0314 | 0.0307 | 0.0301 | 0.0294 |
| -1.9   | 0.0287 | 0.0281 | 0.0274 | 0.0268 | 0.0262 | 0.0256 | 0.0250 | 0.0244 | 0.0239 | 0.0233 |
| -2     | 0.0228 | 0.0222 | 0.0217 | 0.0212 | 0.0207 | 0.0202 | 0.0197 | 0.0192 | 0.0188 | 0.0183 |
| -2.1   | 0.0179 | 0.0174 | 0.0170 | 0.0166 | 0.0162 | 0.0158 | 0.0154 | 0.0150 | 0.0146 | 0.0143 |
| -2.2   | 0.0139 | 0.0136 | 0.0132 | 0.0129 | 0.0125 | 0.0122 | 0.0119 | 0.0116 | 0.0113 | 0.0110 |



|      |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -2.3 | 0.0107         | 0.0104         | 0.0102         | 0.0099         | 0.0096         | 0.0094         | 0.0091         | 0.0089         | 0.0087         | 0.0084         |
| -2.4 | 0.0082         | 0.0080         | 0.0078         | 0.0075         | 0.0073         | 0.0071         | 0.0069         | 0.0068         | 0.0066         | 0.0064         |
| -2.5 | 0.0062         | 0.0060         | 0.0059         | 0.0057         | 0.0055         | 0.0054         | 0.0052         | 0.0051         | 0.0049         | 0.0048         |
| -2.6 | 4.6612<br>E-03 | 4.5271<br>E-03 | 4.3965<br>E-03 | 4.2692<br>E-03 | 4.1453<br>E-03 | 4.0246<br>E-03 | 3.9070<br>E-03 | 3.7926<br>E-03 | 3.6811<br>E-03 | 3.5726<br>E-03 |
| -2.7 | 3.4670<br>E-03 | 3.3642<br>E-03 | 3.2641<br>E-03 | 3.1667<br>E-03 | 3.0720<br>E-03 | 2.9798<br>E-03 | 2.8901<br>E-03 | 2.8028<br>E-03 | 2.7179<br>E-03 | 2.6354<br>E-03 |
| -2.8 | 2.5551<br>E-03 | 2.4771<br>E-03 | 2.4012<br>E-03 | 2.3274<br>E-03 | 2.2557<br>E-03 | 2.1860<br>E-03 | 2.1182<br>E-03 | 2.0524<br>E-03 | 1.9884<br>E-03 | 1.9262<br>E-03 |
| -2.9 | 1.8658<br>E-03 | 1.8071<br>E-03 | 1.7502<br>E-03 | 1.6948<br>E-03 | 1.6411<br>E-03 | 1.5889<br>E-03 | 1.5382<br>E-03 | 1.4890<br>E-03 | 1.4412<br>E-03 | 1.3949<br>E-03 |
| -3   | 1.3499<br>E-03 | 1.3062<br>E-03 | 1.2639<br>E-03 | 1.2228<br>E-03 | 1.1829<br>E-03 | 1.1442<br>E-03 | 1.1067<br>E-03 | 1.0703<br>E-03 | 1.0350<br>E-03 | 1.0008<br>E-03 |
| -3.1 | 9.6760<br>E-04 | 9.3544<br>E-04 | 9.0426<br>E-04 | 8.7403<br>E-04 | 8.4474<br>E-04 | 8.1635<br>E-04 | 7.8885<br>E-04 | 7.6220<br>E-04 | 7.3638<br>E-04 | 7.1136<br>E-04 |
| -3.2 | 6.8714<br>E-04 | 6.6368<br>E-04 | 6.4095<br>E-04 | 6.1895<br>E-04 | 5.9765<br>E-04 | 5.7703<br>E-04 | 5.5706<br>E-04 | 5.3774<br>E-04 | 5.1904<br>E-04 | 5.0094<br>E-04 |
| -3.3 | 4.8342<br>E-04 | 4.6648<br>E-04 | 4.5009<br>E-04 | 4.3423<br>E-04 | 4.1889<br>E-04 | 4.0406<br>E-04 | 3.8971<br>E-04 | 3.7584<br>E-04 | 3.6243<br>E-04 | 3.4946<br>E-04 |
| -3.4 | 3.3693<br>E-04 | 3.2481<br>E-04 | 3.1311<br>E-04 | 3.0179<br>E-04 | 2.9086<br>E-04 | 2.8029<br>E-04 | 2.7009<br>E-04 | 2.6023<br>E-04 | 2.5071<br>E-04 | 2.4151<br>E-04 |
| -3.5 | 2.3263<br>E-04 | 2.2405<br>E-04 | 2.1577<br>E-04 | 2.0778<br>E-04 | 2.0006<br>E-04 | 1.9262<br>E-04 | 1.8543<br>E-04 | 1.7849<br>E-04 | 1.7180<br>E-04 | 1.6534<br>E-04 |
| -3.6 | 1.5911<br>E-04 | 1.5310<br>E-04 | 1.4730<br>E-04 | 1.4171<br>E-04 | 1.3632<br>E-04 | 1.3112<br>E-04 | 1.2611<br>E-04 | 1.2128<br>E-04 | 1.1662<br>E-04 | 1.1213<br>E-04 |
| -3.7 | 1.0780<br>E-04 | 1.0363<br>E-04 | 9.9611<br>E-05 | 9.5740<br>E-05 | 9.2010<br>E-05 | 8.8417<br>E-05 | 8.4957<br>E-05 | 8.1624<br>E-05 | 7.8414<br>E-05 | 7.5324<br>E-05 |
| -3.8 | 7.2348<br>E-05 | 6.9483<br>E-05 | 6.6726<br>E-05 | 6.4072<br>E-05 | 6.1517<br>E-05 | 5.9059<br>E-05 | 5.6694<br>E-05 | 5.4418<br>E-05 | 5.2228<br>E-05 | 5.0122<br>E-05 |
| -3.9 | 4.8096<br>E-05 | 4.6148<br>E-05 | 4.4275<br>E-05 | 4.2473<br>E-05 | 4.0741<br>E-05 | 3.9076<br>E-05 | 3.7475<br>E-05 | 3.5936<br>E-05 | 3.4458<br>E-05 | 3.3037<br>E-05 |
| -4   | 3.1671<br>E-05 | 3.0359<br>E-05 | 2.9099<br>E-05 | 2.7888<br>E-05 | 2.6726<br>E-05 | 2.5609<br>E-05 | 2.4536<br>E-05 | 2.3507<br>E-05 | 2.2518<br>E-05 | 2.1569<br>E-05 |
| -4.1 | 2.0658<br>E-05 | 1.9783<br>E-05 | 1.8944<br>E-05 | 1.8138<br>E-05 | 1.7365<br>E-05 | 1.6624<br>E-05 | 1.5912<br>E-05 | 1.5230<br>E-05 | 1.4576<br>E-05 | 1.3948<br>E-05 |
| -4.2 | 1.3346<br>E-05 | 1.2769<br>E-05 | 1.2215<br>E-05 | 1.1685<br>E-05 | 1.1176<br>E-05 | 1.0689<br>E-05 | 1.0221<br>E-05 | 9.7737<br>E-06 | 9.3447<br>E-06 | 8.9337<br>E-06 |
| -4.3 | 8.5399<br>E-06 | 8.1627<br>E-06 | 7.8015<br>E-06 | 7.4555<br>E-06 | 7.1241<br>E-06 | 6.8069<br>E-06 | 6.5031<br>E-06 | 6.2123<br>E-06 | 5.9340<br>E-06 | 5.6675<br>E-06 |
| -4.4 | 5.4125<br>E-06 | 5.1685<br>E-06 | 4.9351<br>E-06 | 4.7117<br>E-06 | 4.4979<br>E-06 | 4.2935<br>E-06 | 4.0980<br>E-06 | 3.9110<br>E-06 | 3.7322<br>E-06 | 3.5612<br>E-06 |
| -4.5 | 3.3977<br>E-06 | 3.2414<br>E-06 | 3.0920<br>E-06 | 2.9492<br>E-06 | 2.8127<br>E-06 | 2.6823<br>E-06 | 2.5577<br>E-06 | 2.4386<br>E-06 | 2.3249<br>E-06 | 2.2162<br>E-06 |
| -4.6 | 2.1125<br>E-06 | 2.0133<br>E-06 | 1.9187<br>E-06 | 1.8283<br>E-06 | 1.7421<br>E-06 | 1.6597<br>E-06 | 1.5811<br>E-06 | 1.5060<br>E-06 | 1.4344<br>E-06 | 1.3660<br>E-06 |
| -4.7 | 1.3008<br>E-06 | 1.2386<br>E-06 | 1.1792<br>E-06 | 1.1226<br>E-06 | 1.0686<br>E-06 | 1.0171<br>E-06 | 9.6797<br>E-07 | 9.2113<br>E-07 | 8.7648<br>E-07 | 8.3391<br>E-07 |
| -4.8 | 7.9333<br>E-07 | 7.5465<br>E-07 | 7.1779<br>E-07 | 6.8267<br>E-07 | 6.4920<br>E-07 | 6.1731<br>E-07 | 5.8693<br>E-07 | 5.5799<br>E-07 | 5.3043<br>E-07 | 5.0418<br>E-07 |
| -4.9 | 4.7918<br>E-07 | 4.5538<br>E-07 | 4.3272<br>E-07 | 4.1115<br>E-07 | 3.9061<br>E-07 | 3.7107<br>E-07 | 3.5247<br>E-07 | 3.3477<br>E-07 | 3.1792<br>E-07 | 3.0190<br>E-07 |
| -5   | 2.8665         | 2.7215         | 2.5836         | 2.4524         | 2.3277         | 2.2091         | 2.0963         | 1.9891         | 1.8872         | 1.7903         |

|      |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           | E-07           |
| -5.1 | 1.6983<br>E-07 | 1.6108<br>E-07 | 1.5277<br>E-07 | 1.4487<br>E-07 | 1.3737<br>E-07 | 1.3024<br>E-07 | 1.2348<br>E-07 | 1.1705<br>E-07 | 1.1094<br>E-07 | 1.0515<br>E-07 |
| -5.2 | 9.9644<br>E-08 | 9.4420<br>E-08 | 8.9462<br>E-08 | 8.4755<br>E-08 | 8.0288<br>E-08 | 7.6050<br>E-08 | 7.2028<br>E-08 | 6.8212<br>E-08 | 6.4592<br>E-08 | 6.1158<br>E-08 |
| -5.3 | 5.7901<br>E-08 | 5.4813<br>E-08 | 5.1884<br>E-08 | 4.9106<br>E-08 | 4.6473<br>E-08 | 4.3977<br>E-08 | 4.1611<br>E-08 | 3.9368<br>E-08 | 3.7243<br>E-08 | 3.5229<br>E-08 |
| -5.4 | 3.3320<br>E-08 | 3.1512<br>E-08 | 2.9800<br>E-08 | 2.8177<br>E-08 | 2.6640<br>E-08 | 2.5185<br>E-08 | 2.3807<br>E-08 | 2.2502<br>E-08 | 2.1266<br>E-08 | 2.0097<br>E-08 |
| -5.5 | 1.8990<br>E-08 | 1.7942<br>E-08 | 1.6950<br>E-08 | 1.6012<br>E-08 | 1.5124<br>E-08 | 1.4284<br>E-08 | 1.3489<br>E-08 | 1.2737<br>E-08 | 1.2026<br>E-08 | 1.1354<br>E-08 |
| -5.6 | 1.0718<br>E-08 | 1.0116<br>E-08 | 9.5479<br>E-09 | 9.0105<br>E-09 | 8.5025<br>E-09 | 8.0224<br>E-09 | 7.5687<br>E-09 | 7.1399<br>E-09 | 6.7347<br>E-09 | 6.3520<br>E-09 |
| -5.7 | 5.9904<br>E-09 | 5.6488<br>E-09 | 5.3262<br>E-09 | 5.0215<br>E-09 | 4.7338<br>E-09 | 4.4622<br>E-09 | 4.2057<br>E-09 | 3.9636<br>E-09 | 3.7350<br>E-09 | 3.5193<br>E-09 |
| -5.8 | 3.3158<br>E-09 | 3.1236<br>E-09 | 2.9424<br>E-09 | 2.7714<br>E-09 | 2.6100<br>E-09 | 2.4579<br>E-09 | 2.3143<br>E-09 | 2.1790<br>E-09 | 2.0513<br>E-09 | 1.9310<br>E-09 |
| -5.9 | 1.8175<br>E-09 | 1.7105<br>E-09 | 1.6097<br>E-09 | 1.5147<br>E-09 | 1.4251<br>E-09 | 1.3407<br>E-09 | 1.2612<br>E-09 | 1.1863<br>E-09 | 1.1157<br>E-09 | 1.0492<br>E-09 |
| -6   | 9.8659<br>E-10 | 9.2762<br>E-10 | 8.7209<br>E-10 | 8.1980<br>E-10 | 7.7057<br>E-10 | 7.2423<br>E-10 | 6.8061<br>E-10 | 6.3955<br>E-10 | 6.0091<br>E-10 | 5.6455<br>E-10 |

Fuente: <http://www.elosiodelosantos.com/sergiman/div/tablnorm.html>. Consulta: junio 2012.

