

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN
SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS
“A”, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ABDI UZIEL RODAS ARZÉT

ASESORADO POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón De León
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:

**DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN
SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS
“A”, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Industrial, con fecha septiembre de 2010.

Abdi Uziel Rodas Arzét



Guatemala, 7 de julio de 2011.
REF.EPS.DOC.765.07.11.

Ingeniera
Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Abdi Uziel Rodas Arzet**, Carné No. **200412685** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNION, S.A."**.

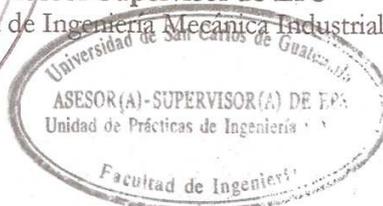
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



JHBE/ra



Guatemala, 7 de julio de 2011.
REF.EPS.D.539.07.11

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

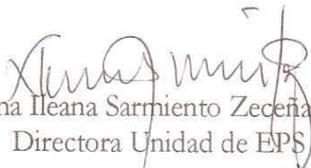
Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNION, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Abdi Uziel Rodas Arzet** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

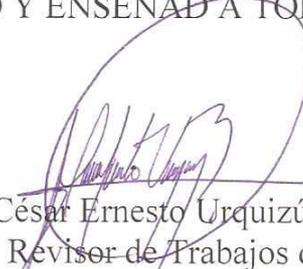


FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.110.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Abdi Uziel Rodas Arzet**, 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, julio de 2011.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.131.011

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 graduación titulado **DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A**, presentado por el estudiante universitario **Abdi Uziel Rodas Arzét**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2011.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.327.2011

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: **DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Abdi Uziel Rodas Arzét**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, septiembre de 2011



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme estar el día de hoy acá y haber alcanzado esta meta. Gracias padre.
- Mis abuelos** José Rodas Cortez (q.e.p.d.), Herminia Rosa Linda Maldonado Muños (q.e.p.d.), José Luis Arzét Montenegro, Raquel Dardón Mayen por su cariño y consejos en todo momento.
- Mis padres** Gersi Ofelia Arzét Dardón; por tu paciencia al enseñarme a leer: la m con la a (me) y apoyo al momento de mis fuerzas flaquear, gracias madre sin tí no sé en donde estaría. Ronaldo de Jesús Rodas Maldonado, por enseñarme que el trabajo dignifica al hombre y siempre es bueno aprender cosas nuevas y nunca ser conformista en la vida, sabiendo que el conocimiento no ocupa espacio. Esperando llenar de orgullo y satisfacción por esta meta alcanzada.
- Mis hermanos** Issac, José, Carlos, Gersi, Abner, Jermy y Esdras. Por estar conmigo en los momentos felices como también difíciles, gracias por su cariño, apoyo y consejos. No por nada son mis queridos hermanos.

- Mis tíos** Gracias por su tiempo y cariño compartido a lo largo de mi formación, los llevo en el corazón.
- Mi esposa** Diana Mercedes Rios de Rodas. Por llenar esa parte incompleta de mi vida con alegrías, angustias, cóleras. Gracias por ser la mujer con la cual compartiré el resto de mi vida.
- Mis hijos** Helea Jeaneth, Abdi Jared, Gerson Uziel, todos ellos de apellidos Rodas Rios. Por ser esas chispas que me llenaron el corazón de satisfacción y ser mi inspiración para alcanzar esta meta, sin ellos no lo hubiera logrado. Esperando que este triunfo les sirva en un futuro no muy lejano, como ejemplo para su superación personal e intelectual nunca olvidando al ser supremo.
- Mis sobrinos** Paola, Isabella, Jacob, Anabella, Isaac Jr, y los que faltan por venir.
- Mis compañeros** Luis Escobar, Erick Meza, Lorena Barrios, Nelson Garcia, Victor, Yolanda, Domingo Batten, Ronald Paxtor, Emerson Zarceño, Karla Son, Mageyda Sical, Nancy Ruiz y los que se me escaparon del pensamiento más no del corazón. Gracias por su invaluable amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Ingenio la Unión S.A.	Por haberme permitido poner en práctica los conocimientos obtenidos a lo largo de mi formación académica.
Ing. Carlos Cifuentes	Por la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado en las instalaciones del Ingenio la Unión S.A.
Ing. Enrique Velásquez	Por el tiempo empleado en el asesoramiento, supervisión y amistad, al momento de formular el proyecto.
Ing. Everardo Chan	Por brindarme su amistad y ayuda en problemas surgidos en la formulación del proyecto.
Personal de laboratorio	Por su ayuda en las elaboraciones de las pruebas desarrolladas a los filtros de jugo crudo del Ingenio La Unión S.A.
La Facultad de Ingeniería	Por permitirme forjar en sus aulas uno de mis más grandes anhelos.

Unidad de EPS

Por brindarme el asesoramiento necesario a través del ingeniero Jaime Batten Ezquivel para el desarrollo el presente trabajo de graduación.

**La Universidad de
San Carlos de Guatemala**

Por ser nuestra alma máter la cual nos ha visto crecer intelectualmente hasta ser los mejores profesionales y poder así alcanzar la excelencia.

Iglesia de Dios

Por enseñarme que a ninguna persona se le debe de adorar, si no sólo a nuestro Dios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Reseña histórica.....	2
1.1.2. Visión	6
1.1.3. Misión.....	6
1.1.4. Política de calidad	6
1.2. Organigrama de la empresa	7
1.3. Ubicación geográfica	9
2. DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL) PARA EL TANDEM DE MOLINOS "A", DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.....	11
2.1. Descripción del proceso de extracción de jugo.....	11
2.2. Aspectos básicos de filtros	15
2.3. Tipos de filtros de jugo crudo.....	16
2.3.1. Filtro horizontal (pachaquil)	16
2.3.1.1. Partes del filtro horizontal	17

2.3.1.2.	Ventajas del filtro horizontal	17
2.3.1.3.	Desventajas del filtro horizontal.....	18
2.3.2.	Filtro rotativo	18
2.3.2.1.	Ventajas del filtro rotativo	19
2.3.2.2.	Desventajas del filtro rotativo	20
2.4.	Análisis de la situación actual del filtro horizontal en el tándem A	20
2.4.1.	Análisis de muestras de bagazo del filtro horizontal	24
2.4.1.1.	Comprobar el porcentaje de humedad en bagazo	24
2.4.1.2.	Análisis de microbiología para el sistema de filtrado	26
2.4.2.	Herramientas de ingeniería.....	30
2.4.2.1.	Análisis causa-efecto	30
2.4.3.	Recolectar información para medidas y espacios del equipo	33
2.4.3.1.	Medidas del filtro horizontal.....	33
2.4.3.2.	Medidas de transportador helicoidal que conecta filtro con transportador inclinado.....	34
2.4.3.3.	Medidas del transportador inclinado de bagazo	35
2.4.3.4.	Medidas de transportador helicoidal que une transportador inclinado al molino dos.....	36
2.4.4.	Diseño de planos	37
2.4.4.1.	Situación actual	38
2.5.	Análisis de la situación actual del filtro rotativo en el tándem B	48
2.5.1.	Análisis de muestras de bagazo del filtro rotativo	49
2.5.1.1.	Comprobar porcentaje de humedad en bagazo	50

2.5.1.2.	Análisis de microbiología para el sistema de filtrado.....	52
2.6.	Análisis de resultados	56
2.6.1.	Cantidad de bagazo separado del jugo crudo por filtro horizontal y filtro rotativo.....	57
2.6.2.	Comparación de graficas del porcentaje de humedad en fibras del filtro horizontal y rotativo	59
2.6.3.	Análisis de gráficas del crecimiento bacteriano en filtro rotativo y horizontal	62
2.6.4.	Comparación de limpieza en filtro horizontal y filtro rotativo	65
2.6.5.	Consumo energético de ambos sistemas	67
2.6.6.	Control de mantenimiento en filtro horizontal y rotativo...	70
2.6.7.	Confrontación de los costos de mantenimiento de filtro horizontal y rotativo	73
2.6.8.	Elección del sistema de filtrado a implementar en el tándem A	78
2.7.	Propuesta de instalación de filtro rotativo	80
2.7.1.	Recolección de información para medidas de equipo	82
2.7.1.1.	Medidas generales de filtro rotativo	83
2.7.2.	Estructura para la implementación del nuevo sistema de filtrado.....	84
2.7.2.1.	Diseño de estructura que soporta filtro	84
2.7.2.2.	Soportes de estructura para armazón de filtro.....	85
2.7.2.3.	Estructura del cuerpo filtrante.....	87
2.7.2.4.	Bancazos para rodamientos del cuerpo filtrante.....	88
2.7.2.5.	Tubería transportadora de jugo caña hacia filtro.....	89

2.7.2.6.	Tubería transportadora de jugo filtrado hacia depósito	90
2.7.2.7.	Inclinación requerida para correcta evacuación de sólidos.....	91
2.7.2.8.	Armazón de filtro	93
2.7.3.	Selección de motor eléctrico	94
2.7.3.1.	Especificación de motor	96
2.7.3.2.	Caja reductora.....	97
2.7.3.2.1.	Especificación de caja reductora	97
2.7.4.	Bombas de jugo crudo	103
2.7.4.1.	Especificaciones de bomba.....	104
2.7.5.	Tanquería.....	110
2.7.5.1.	Tanque para jugo primario	111
2.7.5.2.	Tanque para jugo mezclado	112
2.7.6.	Propuesta para localización de filtro rotativo.....	113
2.7.6.1.	Propuesta de ubicación.....	116
2.7.6.2.	Programa de mantenimiento	125
2.7.6.3.	Programa de limpieza de filtro.....	130
3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	133
3.1.	Análisis económico en la implementación del proyecto.....	133
3.1.1.	Materiales a utilizar	133
3.1.2.	Piezas de filtro rotativo.....	136
3.1.3.	Mano de obra.....	137
3.1.4.	Equipo y maquinaria	137
3.2.	Beneficios esperados con la implementación del nuevo filtro	138
3.2.1.	Uso racional del recurso hídrico.....	138
3.2.2.	Consumo energético.....	140

3.3.	Análisis económico del proyecto.....	140
3.3.1.	Costos de operación	141
3.3.2.	Costos de mantenimiento.....	144
3.3.3.	Costo de instalación	144
3.3.4.	Costo de fabricación de filtro.....	147
3.4.	Costo total de inversión	150
3.5.	Evaluación de la inversión	151
3.5.1.	Evaluación para medir la rentabilidad del proyecto por medio del los métodos Beneficio/Costo y VPN.....	151
4.	CAPACITAR AL PERSONAL SOBRE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS “A”	157
4.1.	Planificar las capacitaciones.....	157
4.1.1.	Reuniones para introducir a los operarios.....	157
4.2.	Programación para capacitación	158
4.2.1.	Descripción de desventajas del filtro horizontal.....	159
4.2.2.	Ventajas de usar el filtro rotativo	161
4.2.3.	Integración del nuevo equipo para filtrado.....	162
4.2.3.1.	Descripción del funcionamiento del filtro rotativo.....	162
4.2.3.2.	Explicación para realizar la limpieza en el filtro.....	163
4.2.3.3.	Información sobre mantenimiento preventivo.....	164
	CONCLUSIONES	169
	RECOMENDACIONES.....	171
	BIBLIOGRAFÍA.....	173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de gerencia industrial Ingenio La Unión	8
2.	Mapa con indicaciones para llegar al Ingenio La Unión.....	9
3.	Proceso de recepción y preparación de caña en el tándem A.....	12
4.	Proceso actual de filtración de jugo crudo en tándem A.....	14
5.	Acumulación de bagacillo en canal de jugo crudo de molino hacia filtro horizontal.....	21
6.	Limpieza de conductor inclinado con agua caliente.....	22
7.	Limpieza en telas del filtro horizontal con extensiones de tubería para agua caliente.....	22
8.	Acumulación de bagacillo en tablillas y cadena transportadora en conductor inclinado	23
9.	Recolección de muestras de jugo en los molinos uno y dos del tándem A.....	27
10.	Recolección de jugo crudo en el tanque de jugo primario del tándem A.....	28
11.	Recolección de muestra de jugo crudo en el tanque de jugo mezclado del tándem A.....	28
12.	Fascos con muestras de jugos tomados en: molino uno, molino dos, tanque de jugo crudo, tanque de jugo mezclado y filtro horizontal	29
13.	Diagrama causa-efecto de la contaminación de jugo crudo en el tándem A.....	32
14.	Filtro horizontal	34

15.	Transportador helicoidal que une a filtro horizontal con transportador inclinado	35
16.	Conductor inclinado de bagazo	36
17.	Transportador helicoidal que conecta transportador inclinado con molino número dos	37
18.	Isométrico del filtro horizontal instalado en el tándem A.....	39
19.	Detalles de equipos a	40
20.	Detalles de equipos b	41
21.	Detalles de equipos c	42
22.	Planta de distribución actual del filtro horizontal en tándem A.....	43
23.	Sección de corte de A-A1 de la planta de distribución	44
24.	Sección de corte B-B1 de la distribución en planta	45
25.	Sección de corte C-C1 de la distribución en planta del filtro horizontal	46
26.	Sección de corte de D-D1 de la planta de distribución actual.....	47
27.	Limpieza interna del filtro rotativo realizada por operario del tándem B	49
28.	Recolección de muestras de jugo en los molinos uno y dos del tándem B	54
29.	Recolección de muestras de jugo del tanque de jugo primario del tándem B	54
30.	Recolección de muestra de jugo del tanque de jugo mezclado del tándem B	55
31.	Muestras de jugos tomadas de molino uno, molino 2, tanque de jugo primario, tanque de jugo mezclado y filtro rotativo.....	55
32.	Gráfica de porcentaje de humedad en fibras del filtro horizontal.....	60
33.	Gráfica de porcentaje de humedad en fibras del filtro rotativo.....	61
34.	Gráfica de la comparación de porcentajes de humedad en fibras de bagazo del filtro horizontal contra fibras de bagazo del filtro rotativo	62

35.	Gráfica de conteo aeróbico del crecimiento bacteriano en el jugo crudo del tándem A	63
36.	Gráfica Conteo aeróbico del crecimiento bacteriano en el jugo crudo del tándem B.....	64
37.	Gráfica del conteo aeróbico de las población de bacterias del filtro horizontal contra el conteo aeróbico de las poblaciones de baterias en el filtro rotativo	65
38.	Registro del mantenimiento realizado a los equipos.....	72
39.	Revisión de chumaceras y eje en filtro rotativo.....	76
40.	Chumacera <i>pillow block</i> modelo SNL 616 marca SKF, de filtro rotativo	76
41.	Revisión de soldadura en estructura del filtro rotativo	77
42.	Propuesta para el proceso de filtrado de jugo crudo con el filtro rotativo en el tándem A	82
43.	Filtro rotativo para jugo crudo de caña.....	83
44.	Estructura de hierro W10 x 22 en la cual se fijan el resto de piezas	85
45.	Vigas de hierros perfil W6 x12 y W4x13 que soportan el peso de la armazón del filtro.....	86
46.	Estructura de tubos que dan la rigidez necesaria a las telas del filtro.....	87
47.	Soportes principales y soportes axiales que intervienen en el correcto funcionamiento del filtro rotativo.....	88
48.	Tubería de 8" por la cual circula el jugo proveniente de los molinos hacia el filtro rotativo	89
49.	Tubería de 10" en la cual circula el jugo de que es pasado por las telas filtrantes hacia los tanques de almacenamiento	90
50.	Inclinación de 6,2° en filtro rotativo para realizar una correcta evacuación de sólidos.....	92
51.	Armazon del filtro rotativo	93
52.	Tabla de selección de motor reductor del catálogo <i>falk</i>	98

53.	Tabla para la determinación del acoplamiento	101
54.	Motor reductor de ejes paralelos	102
55.	Diagrama de funcionamiento de la bomba centrífuga	104
56.	Áreas de trabajo para bombas centrífugas, del catálogo de <i>Goulds Pumps</i>	108
57.	Curvas de funcionamiento para bomba con tamaño 4x6-13 MTX/LTX/MTX/LTX	109
58.	Vista isométrica trasera del filtro rotativo	117
59.	Vista en planta de la ubicación propuesta del filtro rotativo en el tándem A	118
60.	Elevación frontal de la vista en planta	119
61.	Sección de corte de de los puntos C-C1 de la vista en planta.....	120
62.	Sección de corte de los puntos B-B1 de la vista en planta.....	121
63.	Sección de corte de los puntos A-A1 de la vista en planta.....	122
64.	Elevación lateral izquierda.....	123
65.	Elevación del tanque de jugo primario y mezclado.....	124
66.	Programación del mantenimiento realizado al filtro rotativo en reparación.....	126
67.	Hoja de registro del filtro rotativo en tándem A, en funcionamiento normal época de zafra	128
68.	Diagrama de flujo de efectivo	154
69.	Flujo de efectivo para la inversión de la sustitución del filtro rotativo	
70.	Capacitación a operarios a	155
71.	Capacitación a operarios b	160
72.	Capacitación a operarios c	161
73.	Capacitación a operarios d	162
74.	Capacitación a operarios e	163
75.	Capacitación a operarios f	164

TABLAS

I.	Porcentaje de humedad en fibras de bagazo en filtro horizontal del tándem A	26
II.	Análisis de microbiología al jugo en el filtro horizontal del tándem A	30
III.	Porcentaje de humedad en fibras de bagazo en filtro rotativo del tándem B	52
IV.	Análisis de microbiología al jugo crudo en el tándem B.....	56
V.	Motores utilizados en el sistema del filtro horizontal.....	68
VI.	Motores utilizados para el funcionamiento del filtro rotativo	69
VII.	Listado de materiales utilizados en filtro horizontal	74
VIII.	Mano de obra en mantenimiento de filtro horizontal.....	75
IX.	Materiales utilizados en el mantenimiento de filtro rotativo.....	77
X.	Mano de obra para mantenimiento de filtro rotativo	78
XI.	Listado de materiales necesarios a utilizar en la instalación del filtro rotativo en el tándem A del Ingenio La Unión S.A.....	134
XII.	Mano de obra encargada de la instalación de filtro rotativo.....	145
XIII.	Materiales a utilizar en la instalación del filtro rotativo en el tándem A	146
XIV.	Mano de obra encargada de la fabricación de filtro rotativo.....	147
XV.	Listado de materiales y equipos utilizados en la fabricación del filtro rotativo, en el Ingenio La Unión	148
XVI.	Resumen del costo total de la inversión del filtro rotativo para jugo crudo, en el tándem A.....	150
XVII.	Programación del contenido desarrollado al personal del tándem A	158

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GPM	Galones por minuto
Gal/d	Galones-día
Gal/zafra	Galones-zafra
HP	<i>Horse power</i> (caballo de potencia)
kg	Kilogramo
kw	Kilowatts
kw/día	Kilowatts-día
kw/zafra	Kilowatts- zafra
N-m	Newton-metro
p³	Pie cúbico
p³/hr	Pie cúbicos - hora
RPM	Revoluciones por minuto

pH	Símbolo utilizado en química para acidez de un fluido
ton	Toneladas
ton/hr	Toneladas - hora

GLOSARIO

Alcalización	Proceso de tratamiento de jugo que consiste en aplicar cal (ya sea como lechada de cal o sacarato) al jugo (sulfitado o mezclado), para neutralizar la acidez natural del jugo y formar sales insolubles de cal, principalmente en forma de fosfatos de calcio.
Agua de imbibición	Agua caliente que se agrega al último molino de un tándem cañero para que su efecto sea de lixiviación.
Bagacillo	Partículas muy pequeñas de bagazo, separadas ya sea del jugo clarificado o del bagazo final por filtración.
Bagazo	Material sólido y fibroso, residuo de la molienda de la caña de azúcar, el cual suministra energía. Se llama respectivamente bagazo del primer molino, bagazo del segundo molino, etc., y bagazo del último molino, bagazo final o sencillamente bagazo, cuando se alude al material que sale del último molino. En general, el término bagazo se refiere al que sale del último molino, a menos que se especifique otra cosa.

Brix	Miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido.
Caña de azúcar	Planta del género <i>Saccharum</i> , y en la agricultura el cultivo producido de híbridos que provienen de un número de especies <i>Saccharum</i> comúnmente referidos como caña. Específicamente, la determinación y distribución de la sacarosa en la caña está en el material crudo aceptado en los molinos para su procesamiento.
Corrosión	Reacción química de un material metálico con su entorno, lo cual conduce a una variación de sus propiedades.
Dextrana	Es un polisacárido polímero de la D-glucosa $(C_6H_{10}O_5)_n$, formado por reacciones bioquímicas a partir de la sacarosa, con la intervención, principalmente del <i>leuconostoc mesenteroides</i> . La dextrana es un producto que ocasiona problemas en los filtros y en la cristalización, por incrementar la viscosidad de las soluciones de azúcar. Estos problemas se presentan con valores superiores a 0,05% (500 p.p.m.) en el azúcar crudo.

Evaporación	Operación unitaria de transferencia de calor, cuyo objetivo es eliminar el mayor porcentaje de agua que contiene el jugo clarificado sin llevarlo a su punto de saturación, de tal manera que, se obtiene un jugo con mayor cantidad de sólidos solubles (brix) y que comúnmente se conoce como meladura.
Guarapo	Sinónimo de jugo de caña.
Imbibición	Proceso en el cual se aplica agua (generalmente a alta temperatura) al bagazo en el molino 5 y 6 para mejorar la extracción de sacarosa de éste, mediante lixiviación. El agua que así se usa se llama agua de imbibición.
Lixiviación	Operación para separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente.
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Son ampliamente reconocidos como causantes de pérdidas de producto y de los problemas de procesamiento, en la producción de sacarosa de la caña de azúcar y remolacha azucarera.
Maza	Elementos cilíndricos con ranuras, que se utilizan para la extracción de jugo de la caña de azúcar.

Molino	Es una máquina para moler o triturar.
Meladura	Es el jugo clarificado concentrado que sale de último efecto del sistema de evaporadores, sin llegar al punto de saturación, que luego es enviado directamente hacia el proceso de evapocristalización en tachos, o bien al proceso de clarificación por fosfoflotación.
Melaza	Subproducto de todo el proceso de la fabricación o refinación del azúcar crudo: el líquido denso y viscoso que se separa de la masa cocida final de baja calidad y del cual no se puede cristalizar más azúcar por los métodos usuales. Se suele decir que es incomedible, porque no se usa para consumo humano, pero la melaza se puede comer sin resultados perjudiciales. Se le llama, también, miel final.
Potencia	Capacidad que tiene un cuerpo de efectuar un trabajo en un tiempo determinado.
pH (potencial hidrógeno)	Indica que la concentración de iones libres de hidrógeno. $\text{pH} = \logaritmo [(1/ \text{concentración molar de iones hidrógeno})]$.

Reductor	Conjunto de engranajes rectos ó helicoidales, acoplados de manera que reduzcan la velocidad en la entrada del sistema.
Tándem	Batería o conjunto de molinos, cada uno con cuatro masas metálicas que mediante presión, extrae el jugo de la caña.
Tablilla	Elemento de madera encargado de remover el bagacillo separado del jugo crudo, también es llamado rastrillo.
Zafra	Época en la cual se puede cosechar la caña de azúcar. Normalmente entre los meses de noviembre a mayo.

RESUMEN

El Ingenio La Unión pertenece al Grupo Unión – Los Tarros. Es uno de los trece ingenios que forman parte de la agroindustria azucarera de Guatemala. El Ingenio La Unión S.A. comenzó operaciones el 20 de enero de 1970 en la Finca Belén, situada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla, produciendo en su primera zafra 160 mil quintales de azúcar. Actualmente tiene una capacidad instalada de 18 000 toneladas/día neto y aproximadamente 150 días de zafra. El 20% del azúcar molida se procesa para producir azúcar blanca estándar, mientras que el 80% restante se compone de azúcar cruda a granel como producto final.

En la zafra 2009-2010 produjo 6 677 608,74 quintales de azúcar siendo ésta la mejor producción de azúcar en la historia del ingenio.

Además se produce melaza la cual es vendida para la elaboración de licores y con el residuo de la molienda de la caña de azúcar más conocido como bagazo se genera electricidad.

El Ingenio La Unión está comprometido en satisfacer los requerimientos de calidad que sus clientes requieran, utilizando la filosofía de la mejora continua, la cual consiste en una superación constante en los procesos productivos, mejorando y sustituyendo equipos que ya no son acordes para el correcto funcionamiento en el proceso de fabricación de cristales de azúcar.

Debido a esto el ingenio busca la forma de evitar la contaminación del jugo crudo que es atacado por bacterias el cual es enviado hacia el departamento de

fábrica. Cuando el jugo presenta altos índices de contaminación es más difícil efectuar la recuperación de los cristales de azúcar en el proceso de cristalización en tachos, aumentando así la cantidad de miel final o melaza y reduciendo la cantidad de cristales recuperados en la miel.

Con base en observaciones realizadas en el tándem A, se determinó que en el caso del filtro horizontal (Pachaquil), muchas de sus piezas fijas entran en contacto directo con el jugo proveniente de los molinos números uno y dos. Una vez que el jugo ha sido filtrado es separado el bagazo, el cual es enviado hacia el molino número dos para ser nuevamente exprimido por el resto de molinos.

De tal manera se considera realizar la implementación del filtro rotativo en el tándem A, lo cual mejorará la productividad significativamente, reduciendo la contaminación en el jugo, disminuyendo la recirculación del jugo en el molino dos, reduciendo la probabilidad de paros no programados por desperfectos ocurridos en el sistema de filtración, disminuyendo los costos de mantenimiento correctivo y preventivo, y mejorando la distribución en la nave de molinos del Ingenio La Unión.

OBJETIVOS

General

Diseñar la instalación del filtro rotativo en sustitución del filtro horizontal (Pachaquil), para el tándem de molinos "A", del Ingenio la Unión.

Específicos

1. Desarrollar los análisis de contaminación, porcentaje de humedad, para los filtros de jugo crudo instalados en los tándem A y B del Ingenio La Unión.
2. Determinar por medio de la investigación los parámetros de humedad en el funcionamiento del filtro horizontal y filtro rotativo.
3. Obtener los costos de funcionamiento y mantenimiento del filtro horizontal y rotativo.
4. Determinar la inversión total para la instalación del filtro rotativo en el tándem A.
5. Realizar el análisis de beneficio-costos y el del flujo de dinero en el tiempo por medio del método Valor Presente Neto (VPN), para medir la rentabilidad del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El Ingenio La Unión se ha caracterizado por buscar la mejora continua en sus procesos de productivos, tal es el caso de la limpieza en seco, sistemas de recolección en seco de los hogares de calderas, sistemas de clarificación de aguas y reutilización de los vapores.

Actualmente se encuentran instaladas dos líneas de extracción de jugo crudo siendo: el tándem A y tándem B, en ambos se utiliza el mismo proceso de preparación de caña y extracción de jugo de las fibras, la única variación es el proceso de separación de sólidos o sistema de filtrado. En el tándem A está instalado el filtro horizontal (Pachaquil), mientras que en el tándem B se cuenta con el filtro rotativo.

Con el presente trabajo se desarrollaron las pruebas a las fibras de bagazo de ambos filtros, para determinar los porcentajes de humedad con que las fibras son evacuadas de los filtros, también se realizaron los análisis bacteriológicos para determinar el crecimiento poblacional de bacterias, tomas de muestras para obtener la cantidad de bagacillo separado del jugo crudo por ambos filtros. Con el fin de determinar cuál es el sistema más adecuado y eficiente para el sistema de filtrado en el tándem A del Ingenio La Unión.

El filtro horizontal es un sistema muy usado en la separación de sólidos en los jugos en ingenios azucareros, pero este sistema ya no está acorde a los requerimientos del ingenio debido a los siguientes factores: contaminación de jugo crudo, probabilidad de falla elevada por el gran número de piezas en movimiento, alto costo de mantenimiento preventivo y correctivo.

El problema de la contaminación radica en la limpieza que es realizada al filtro, éste es limpiado con el agua caliente proveniente de las calderas por medio de mangueras, extensiones y boquillas. A los operarios encargados de la limpieza se les dificultan limpiar correctamente las piezas que se encuentran en movimiento y a las que no se pueden observar la acumulación de bagacillo. Debido a esto los encargados de la limpieza proceden de acuerdo a su intuición y experiencias.

El mantenimiento efectuado al filtro tiene un costo elevado. Esto se debe a la fricción generada por las tablillas en los costados y fondo del filtro horizontal y conductor inclinado, provocando el desgaste de las láminas.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes de la empresa

En el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla, se encuentran ubicadas entre otras industrias, varias empresas dedicadas a la producción de azúcar, entre las cuales está Ingenio La Unión, S.A. el cual está ubicado en finca Belén.

Tiene como colindancias al Norte la finca Cañaverales del Sur, al Noroeste colinda con las fincas Santa Isabel y San Felipe, al Este, las fincas San Ignacio, El Brillante, caserío Las Morenas, y el río Petayá. Al Sur colinda con las fincas Tesalia y Venecia, al Oeste con la finca Limones y el río Cristóbal.

El área ocupada por las instalaciones del ingenio es de 4,89 manzanas. Las coordenadas geográficas de las instalaciones del ingenio son: Latitud Norte 14 grados 16 minutos 11 segundos. Longitud Oeste 91 grados 05 minutos 05 segundos y una altitud de 280 metros, sobre el nivel de mar.

El clima de la región es cálido, registrándose temperaturas de 14,2°C (min.), y 36,7°C (máx.).

Se observa una precipitación pluvial abundante durante los meses de mayo a octubre, mientras que en los meses de noviembre a abril se considera una época seca. La precipitación pluvial promedio es de 3 085,5 mm, aunque hay lluvias esporádicas; la humedad se encuentra en el 80%, pero se hace

notar que es una región donde llueve mucho, principalmente en época de invierno y espontáneamente en épocas de verano.

1.1.1. Reseña histórica

En abril de 1950, don José García, un próspero comerciante de abarrotes, emprendió una nueva empresa que le llevaría a una de las más grandes aventuras en la historia de la agroindustria de Guatemala. Pasaría de vender dulces y abarrotes a cultivar caña y a transformarla en miel, panela y azúcar. Adquirió la Finca Los Tarros y con ella, la mágica pasión que inspira trabajarla y sacarle el provecho a la tierra.

Los Tarros presentaba grandes oportunidades para un visionario como don Pepe García, pero también grandes retos, pues el ingenio requería mucha inversión de tiempo, dedicación y dinero, ya que prácticamente no tenía más que un trapiche.

Cuando don Pepe y doña Ana María Cottone de García adquirieron la sociedad Aparicio Hermanos, la Finca Los Tarros y sus anexos, la producción anual en los inmuebles adquiridos eran 300 quintales de café pergamino 2 000 toneladas de caña y 300 cargas de panela, además de unos 300 novillos.

Con la reforma agraria impulsada por el presidente Jacobo Arbenz Guzmán, don Pepe García trabajó afanosamente desde el inicio. Con la energía que le inyectó, la Finca Los Tarros empezó a crecer en productividad y desde el inicio de sus operaciones, se incrementaron las cargas de panela, los quintales de café pergamino y el ganado de engorde. Se tuvo un buen desarrollo tanto en café como en la caña de azúcar produciendo panela y mieles vírgenes.

En 1959, la caña de azúcar utilizada para producir panela empezó a ser transformada en mieles vírgenes, que eran vendidas a la destilería de Santa Lucía Cotzumalguapa. Luego, ésta suspendió las compras de miel y entonces en Los Tarros se tomó la decisión de producir azúcar.

Con ese propósito, durante el gobierno del General e Ingeniero Miguel Ydígoras Fuentes, fue comprada al Estado la maquinaria de la Finca Nacional, llamada Cecilia, situada en San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez. El precio pagado fue de 18 mil quetzales. Se transportaba la caña en tres camiones, cada uno con cinco toneladas por viaje. Otra parte la transportaban veinte carretas de madera, haladas por bueyes, hacia los lugares cercanos al ingenio.

Los Tarros era un ingenio que tenía pequeños molinos de 36 pulgadas de largo, cuya capacidad de molienda diaria oscilaba entre 400 y 600 toneladas. Sin embargo la operación del ingenio empezó a crecer. Se adquirió un molino, lo que permitió aumentar la molienda a 1 800 toneladas diarias.

Entre 1950 y 1967, don Pepe fue el principal responsable de la empresa, sin embargo sus hijos Similiano y Lucrecia estaban a punto de recibir el legado de su padre, valores más grandes que el patrimonio de la empresa familiar: honorabilidad y amor al trabajo.

El hijo mayor de don Pepe y doña Anny de García, Similiano Garcia se integró a partir de 1950, como un trabajador más a Los Tarros. Se pasaba meses enteros en el ingenio y las fincas; de esa forma llegó a conocer todos los pormenores del negocio y a todos los compañeros de trabajo en todas las fases del proceso, desde el cultivo hasta la fabricación de azúcar. Se caracterizó siempre por ser un hombre con gran energía humana, lo que le hizo ser el motor más poderoso de Los Tarros, y tiempo después, de La Unión.

Don Similiano supo ganarse el respeto y la admiración de todos, por sus cualidades empresariales y humanas. Su impulso empresarial lo combinó con iniciativas de mejora a todo el personal en las áreas de educación, salud y condiciones de vida en general.

Dado que en terrenos aledaños al Ingenio Los Tarros, no existían tierras para continuar ampliando este ingenio, a finales de los años sesenta se adquirieron fincas en zonas bajas de Santa Lucía Cotzumalguapa, en donde se vislumbraba mayor potencial de crecimiento. Y se decidió fundar una nueva planta de producción de azúcar, a la que se llamó Ingenio La Unión.

El Ingenio La Unión comenzó operaciones el 20 de enero de 1970 en la Finca Belén, situada en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla y en su primera zafra produjo 160 mil quintales de azúcar.

Luego se inició el proyecto de ampliación para lo que se necesitó más maquinaria. La mayor parte de los equipos se compraron en Puerto Rico. La primera etapa del proyecto consistía en llevar al ingenio a moler 2 000 toneladas de caña/día, y en una segunda etapa llevarlo a 6 000 toneladas de caña/día. Al inicio de los años noventa el ingenio ya molía 7 000 toneladas de caña/día.

Posteriormente mediante cambios paulatinos, pero sobre todo debido a una mejor gestión del grupo humano de la fábrica, se logró llegar a moler 12 500 toneladas de caña/día.

A comienzos de los años 90, cuando existía un déficit en la producción de energía eléctrica en el país y acababa de promulgarse una ley que permitía a empresas privadas participar en la generación de electricidad, se tuvo la visión

del potencial de este nuevo negocio y se firmó un contrato con la Empresa Eléctrica de Guatemala para la venta de energía eléctrica y se empezó de esta forma a cogenerar, usando como combustible el bagazo de la caña de azúcar.

Para lograr cumplir con este contrato se tuvo que hacer grandes inversiones en calderas de más alta presión, turbogeneradores de mayor potencia y cambios significativos en los equipos del proceso industrial, para ahorrar energía y lograr la venta contratada.

Entre los cambios realizados, cabe destacar que este ingenio fue el primero en el mundo en usar motores eléctricos de corriente alterna como fuerza motriz para todos los molinos.

Actualmente se genera suficiente electricidad para ser autosuficiente en el proceso industrial y a su vez se vende al mercado eléctrico nacional 30 MWH.

En forma paralela al desarrollo de la fábrica, se dio una evolución y mejoramiento en el área agrícola. Se estableció el paquete tecnológico del cultivo de la caña, que consiste en preparación de tierras, siembra, fertilización, riegos, control de malezas, control de enfermedades y plagas, así como la cosecha de caña. Esta última incluye corte, alce y transporte, el denominado camino de la sacarosa, planificación y aplicación de madurantes.

La Unión fue el primer ingenio en Centro América en aplicar tecnología biológica para el control integrado y sostenible de plagas. Actualmente éstas se emplean en otros ingenios y países para mejorar la sanidad vegetal.

En el 2000, como la mejor opción para realizar la transición de la segunda a la tercera generación de accionistas, se firmó un convenio mediante el cual se constituyó el Consejo de Administración, formado por directores externos.

En el 2007, se desarrolló el proyecto de expansión que llevó al ingenio a moler 18 000 toneladas de caña/día en la zafra 2008-2009.

1.1.2 Visión

Ser líderes en caña, azúcar y electricidad trabajando en unión.

1.1.3. Misión

Ser una Corporación Agroindustrial, comprometida a mantener niveles de rentabilidad adecuados y sostenidos contribuyendo a fortalecer las inversiones estratégicas necesarias, que aumenten la capacidad competitiva de la corporación en el mercado global del azúcar y eléctrico, y le permita ser instrumento de superación para todos los integrantes de la organización.

1.1.4. Política de calidad

“Producimos y comercializamos caña, azúcar y electricidad, para satisfacer requerimientos de calidad de nuestros clientes, a través de la mejora continua de los procesos y el desarrollo de nuestro personal.

Estamos comprometidos con la productividad y rentabilidad de la Empresa, para ser competitivos en los mercados. Mantenemos una conducta ética coherente con la legislación de nuestro país.”

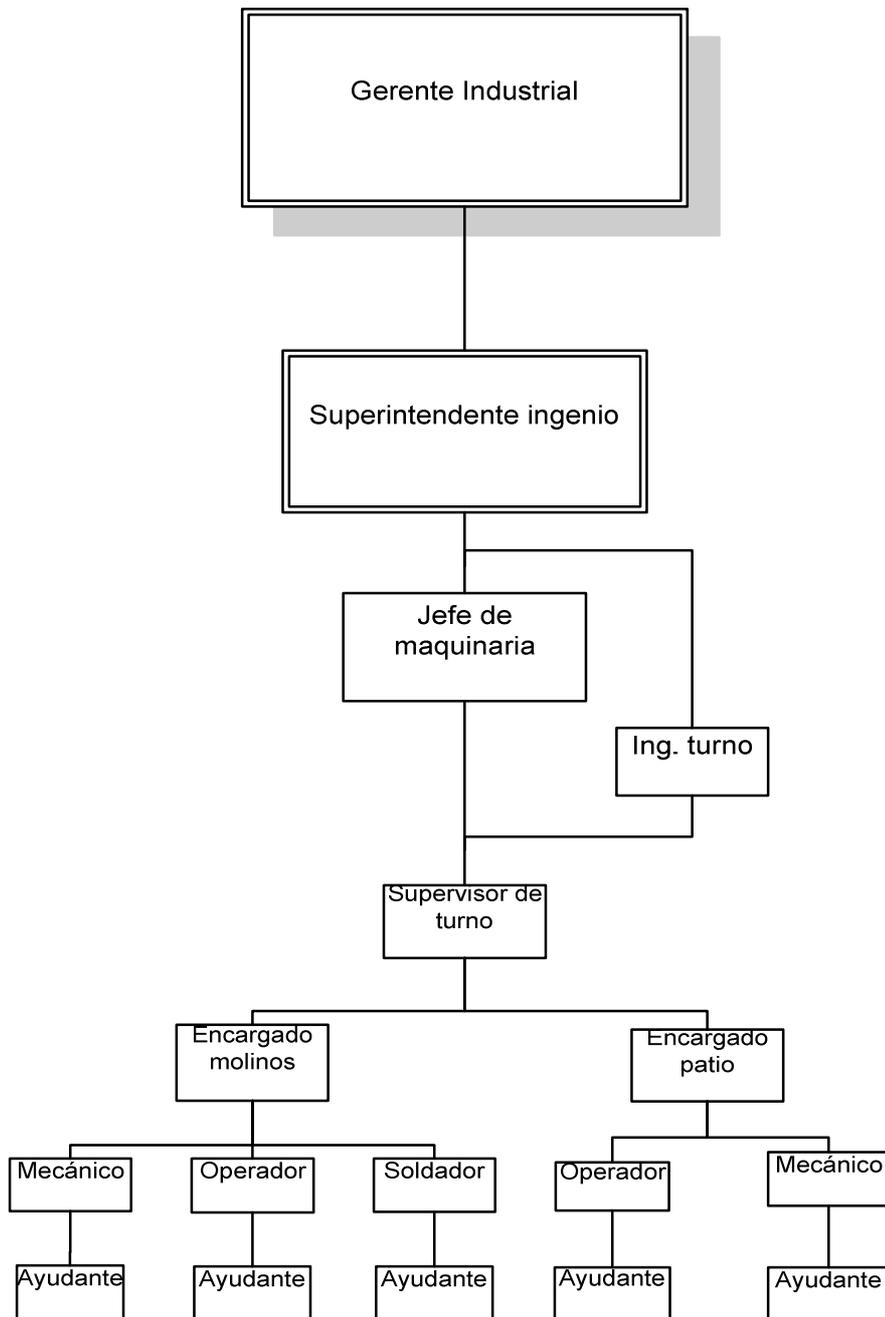
1.2. Organigrama de la empresa

A Continuación se presentará la forma en que están estructurados los niveles de responsabilidad a nivel gerencial en el Ingenio La Unión como se puede observar en la figura 1.

El organigrama en tiempo de zafra azucarera presenta una estructura jerárquica, con niveles de responsabilidad de tipo vertical.

Es una estructura conocida como departamental funcional y es muy utilizada por las empresas, ya que este orden de jerarquías brinda seguridad a los jefes y responsabilidad a todos los demás subordinados.

Figura 1. Organigrama de gerencia industrial ingenio La Unión

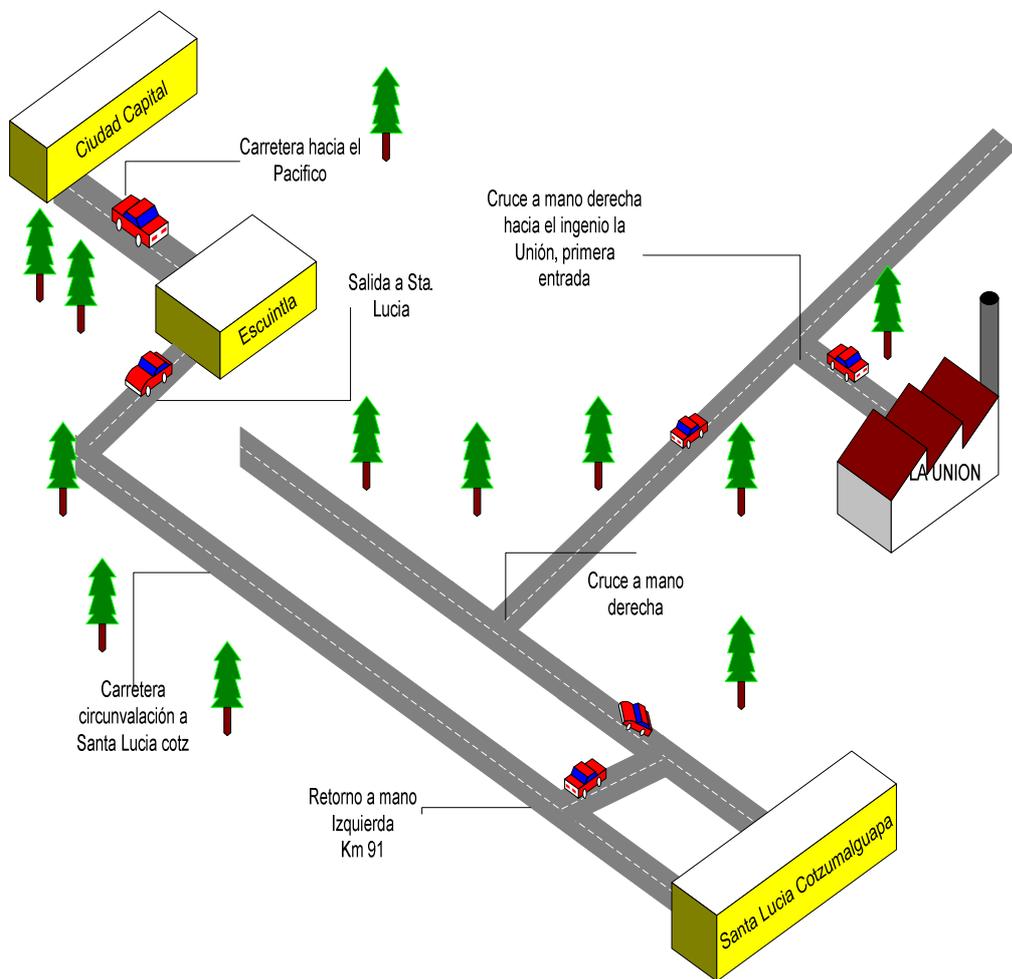


Fuente: Ingenio La Unión S.A.

1.3. Ubicación geográfica

El Ingenio La Unión se encuentra ubicado en la Finca Belén km 101,5 carretera Cerro Colorado, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Figura 2. Mapa con indicaciones para llegar al Ingenio La Unión



Fuente: elaboración propia.

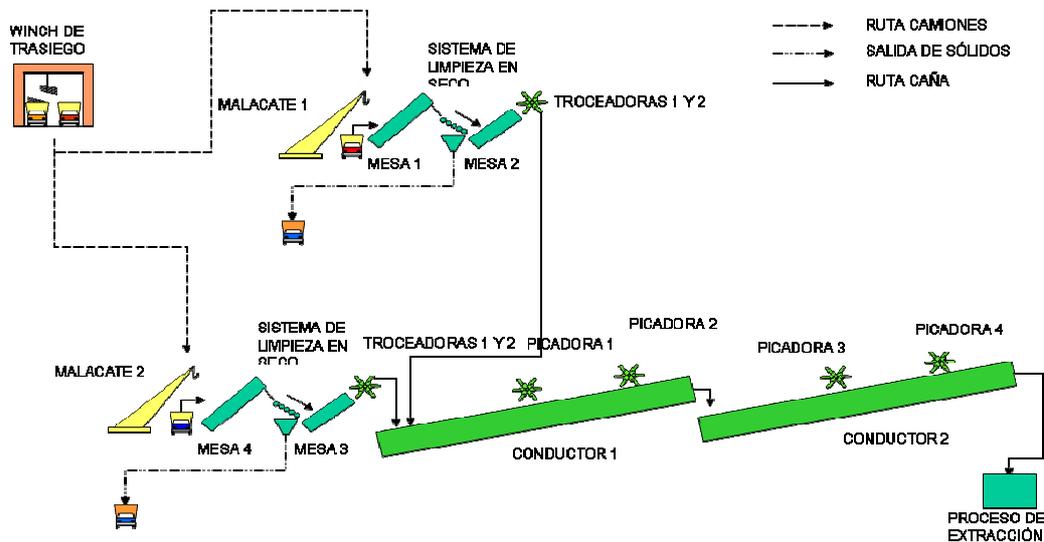
2. DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL) PARA EL TANDEM DE MOLINOS “A”, DEL INGENIO LA UNIÓN, S.A.

2.1. Descripción del proceso de extracción de jugo

El proceso comienza con la recepción de caña, la cual es descargada de los camiones por medio de los malacates o grúas de hilos hacia las mesas como se observa en la figura 3. Cuando cae hacia la primera mesa la caña pasa sobre un sistema de rodillos móviles que forman un tamiz el cual permite que la basura vegetal y sólidos minerales pasen por medio de ellos, estos son trasladados a una banda de hule para su remoción.

La caña limpia pasa para la preparación inicial en las troceadoras, las cuales cortan la caña en pedazos adecuados de tal forma que caigan en el conductor principal formando un colchón uniforme.

Figura 3. Proceso de recepción y preparación de caña en el tándem A



Fuente: elaboración propia.

Después se procede a la molienda de caña. Ésta es recibida desde la última picadora en el primer molino, lugar en donde se debe tener el mayor y mejor trabajo de extracción del jugo contenido en la caña, a éste se le llama jugo primario. Cuando es sobrepasada la capacidad del molino éste se atasca debido a las fibras del bagazo, motivo por el cual el moedor debe estar pendiente del nivel que se mantiene en la tolva o chute del molino. La caña picada entonces pasa del molino 1 hacia los demás, los cuales siguen con la extracción del jugo remanente en la caña picada o bagazo.

Para lograr una mayor recuperación del azúcar contenida en el bagazo, el proceso necesita agua caliente o agua de imbibición, la cual se aplica en la entrada al último molino, ayudando a diluir el azúcar contenida en el bagazo.

Luego esta mezcla llamada agua de maceración se envía al molino anterior para hacer la misma función de recolección de azúcar y así sucesivamente hasta llegar al segundo molino. Al aumentar el agua de imbibición pueden ocurrir atascamiento en los conductores inclinados debido al peso de las fibras.

El jugo que se recolecta aquí es la recuperación de azúcar de todos los molinos, con excepción del primero, y se le denomina jugo mezclado. El jugo mezclado es utilizado en la línea de azúcar crudo.

El jugo obtenido del primer molino se denomina jugo primario y es utilizado en la línea de azúcar blanco.

El jugo primario y mezclado es pasado por una serie de telas colocadas a un costado de los molinos, al cual le denominan filtro horizontal o pachaquil como se puede observar en la figura 5. Éste detiene las fibras que se encuentran en el jugo crudo, las cuales se remueven por medio de tablillas y son llevadas hacia el molino número dos. En este proceso es donde se producen los problemas de contaminación del jugo mezclado y primario.

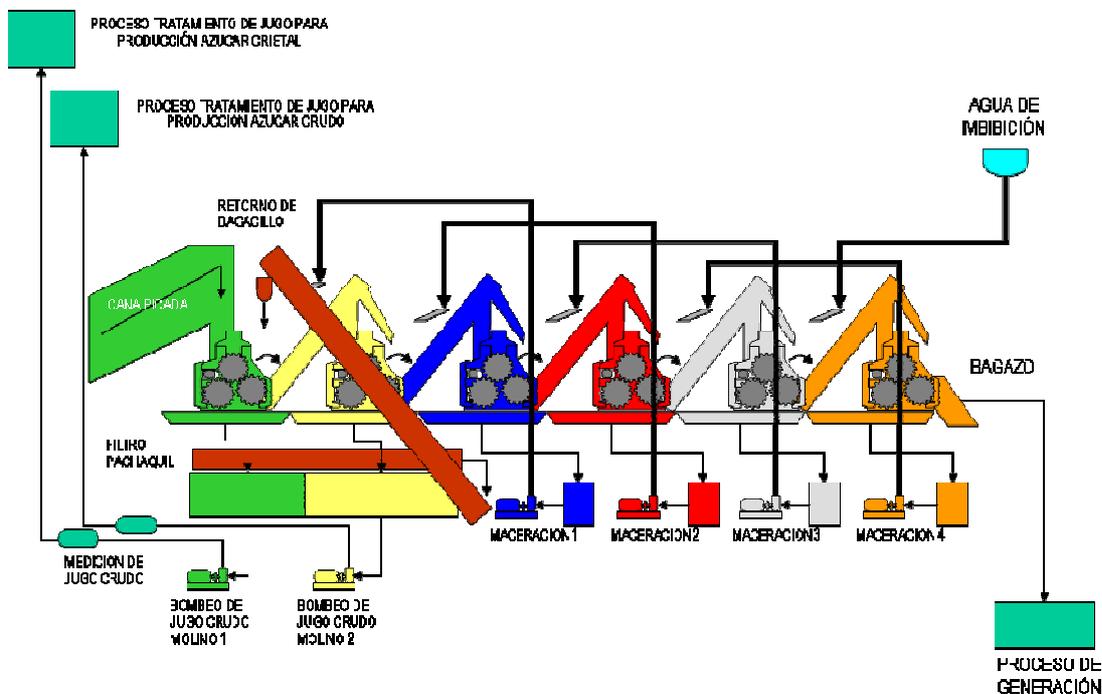
El jugo que se recolecta en el primer molino es bombeado como materia prima para la fabricación de azúcar blanco y el jugo mezclado se bombea para la fabricación de azúcar crudo. Ambos son enviados al proceso de tratamiento de jugo.

El bagazo obtenido en el último molino debe llevar condiciones adecuadas de humedad para ser combustible de las calderas de vapor, las cuales pertenecen al proceso de generación de energía.

Cuando sale el bagazo del último molino una parte es enviada hacia las calderas, para ser usado como combustible en el hogar de las calderas y la otra parte es dirigida al depósito de bagazo para ser utilizado posteriormente para generar energía una vez terminada la época de zafra.

Una vez que es enviado el jugo hacia el departamento de fábrica comienza el tratamiento del guarapo para evitar que siga el aumento de la cantidad de bacterias, en el cual le aplica cal. Después de ser tratado el jugo es enviado al proceso de evaporación de agua en el jugo crudo para dejar la mayor cantidad de sacarosa concentrada, después de haber pasado por el último evaporador, es pasado a los evaporacristales o tachos donde es extraído el cristal de azúcar. Una vez extraído el cristal se tiene como subproducto la melaza, a la cual ya no se puede recuperar más cristales de azúcar.

Figura 4. Proceso actual de filtración de jugo crudo en tándem A.



Fuente: elaboración propia.

2.2. Aspectos básicos de filtros

El jugo extraído por los molinos, contiene en solución todos los elementos solubles de la caña y otros en suspensión de carácter insoluble tales como: fibra o bagacillo, arcilla, tierra, etc. Estos deben ser de un fácil funcionamiento y limpieza, por lo cual debe mantener un nivel bajo en el crecimiento de las bacterias.

La cantidad de bagacillo que pasa en el jugo enviado hacia la fábrica está en función del diseño e instalación de varios equipos.

La calidad del azúcar a producir está regida con la cantidad de impurezas que acompañan al jugo mezclado hacia la fabricación, ya que mientras mayor sea la cantidad, mayor será la dificultad de llegar al producto final. Los insolubles enviados hacia fabricación en el jugo motivan la adopción de medidas para controlar y minimizar tal efecto. La forma más común consiste en filtros de jugo crudo de caña, lo cual consiste en pasar el jugo por las telas perforadas, separando los sólidos (bagacillo) del jugo, posteriormente se deposita en un tanque para ser transportado hacia clarificación.

De los molinos cae hacia los platos aproximadamente de un 15% a 20% del peso en caña como bagacillo, el cual tiene una fibra seca aproximadamente de 8% y 92% de jugo. Esto se traduce en que si el jugo que sale de los molinos fuera directo a casa de calderas llevaría como promedio 80 gramos de bagacillo por litro de jugo crudo o guarapo. Debido a eso la importancia de filtrar el jugo.

En tanto, el bagacillo que ha sido separado se transporta de nuevo hacia el molino número dos para ser extraído el jugo que contiene sus fibras y comenzar con el proceso de lavado de colchón.

2.3. Tipos de filtros de jugo crudo

La industria azucarera utiliza dos tipos de filtros para la remoción de los sólidos que se encuentran suspendidos en el jugo crudo siendo los siguientes:

- Filtro horizontal
- Filtro rotativo

2.3.1. Filtro horizontal (pachaquil)

La tecnología tradicional más utilizada es la del filtro horizontal que utiliza el rastrillo de bagacillo y tanques para manipular el jugo que provenía de las bandejas de los molinos uno y dos.

Estos transportadores de arrastre cuentan con fondo, que está constituido por una tela perforada y que normalmente descarga el bagacillo en dirección del segundo molino.

En el filtro horizontal la tela a instalar en la sección de jugo será de 225 perforaciones por pulg² (35 perforaciones por cm²). En el caso de que la proporción de bagacillo en el jugo sea muy elevada, se debe buscar un área de filtrado mayor con la misma tela y no sustituirle por otra cuyas perforaciones sean mayores.

Estos equipos ya están en desuso por su baja eficiencia y por tener un gran potencial para la infección en el Tándem y paros no programados debido a desperfectos mecánicos.

2.3.1.1. Partes del filtro horizontal

Las piezas mecánicas y equipos que están comprendidas en el filtro horizontal, se establecieron por medio del mantenimiento de reparación una vez concluida la época de zafra, la cuales son:

- Telas filtrantes tipo *vee wire*
- Armazón de telas en marco metálico S.S. 304
- Rastrillos o tablillas de telas del filtro de madera con cepillos plásticos
- Cadena de ingeniería RC 160, número 4103 F29 para telas de filtro
- Riel de paso de tablillas de madera
- Ejes motriz, intermedio, de cola y con dos *Sprockets* 160 B 14 para cadena 4103 F29 para cada eje, en filtro
- Conductor helicoidal con 16" diámetro, paso de 16", SS 304 de filtro hacia transportador inclinado
- Transportador inclinado
- Rastrillo o tablilla de conductor inclinado de madera con cepillos plásticos
- Cadena de ingeniería RC 160 4103 F29 para conductor inclinado
- Riel de paso de tablilla de madera en conductor inclinado
- Transportador helicoidal diámetro 16", paso de 16", SS 304 que conecta transportador inclinado hacia molino número dos
- Ejes motriz, de cola y con dos *Sprockets* 160 B 14 para cadena 4103 F29 cada uno en conductor inclinado
- Tanque de jugo crudo y mezclado

2.3.1.2. Ventajas del filtro horizontal

Con base en el desenvolvimiento de los operarios respecto a la operación del filtro se determino lo siguiente:

- Conocimiento de funcionamiento por parte de operarios

2.3.1.3. Desventajas del filtro horizontal

Las desventajas observadas en el funcionamiento normal del filtro y reparación fueron las siguientes:

- Dificil acceso para limpieza de telas del filtro
- Poca visibilidad al momento de la limpieza
- Acumulación de bagacillo en rastrillo
- Acumulación de bagazo en paredes del filtro
- Dificil limpieza de cadena conductora de rastrillo
- Desgaste y abolladuras sufridas a rastrillo o tablillas en telas perforadas
- Abrasión producida por tablillas en transportador inclinado
- Descomposición de bagazo atorado generando aumento de bacterias
- Contaminación de jugo que entra en contacto con bagazo en descomposición
- Área de filtrado pequeña lo que genera la saturación del mismo
- Dificil mantenimiento a equipos instalados cerca de filtro horizontal
- Costo elevado de mantenimiento
- Dificil mantenimiento de partes del filtro horizontal
- Sistema obsoleto para requerimiento del ingenio

2.3.2. Filtro rotativo

Los filtros rotatorios son utilizados para la separación continua de sólidos, de forma rápida y con un bajo costo de operación. Las aplicaciones que comúnmente se les dan en ingenios azucareros son: separación de sólidos (bagacillo) del jugo crudo proveniente de los molinos número uno y dos.

Estos poseen características técnicas tales como inclinación de 6,2 grados. El tambor con la tela filtrante giran a 7,5 rpm. Todos sus accesorios van montados en chasis de acero al carbono que facilita su transporte y montaje en el sitio de trabajo.

La tela es fabricada con alambre de perfil triangular en acero inoxidable 304, reforzado con alambre de perfil trapezoidal. Tiene una estructura tubular de acero inoxidable la cual garantiza la duración del tambor. Los soportes de rodamientos son fabricados en lámina de acero inoxidable 304 y con pistas de acero maquinadas donde se apoyan los rodillos axiales y radiales sobre los que gira el tambor. La transmisión es proporcionada por medio de un motor reductor de ejes paralelos y transmisión final por medio de cadena.

2.3.2.1. Ventajas del filtro rotativo

En relación al trabajo realizado por los operarios al filtro en época de zafra y en tiempo de reparación se determino lo siguiente:

- Fácil limpieza de telas
- Mejor visibilidad al momento de la limpieza
- Menor tiempo de limpieza
- No existe acumulamiento de bagazo en telas
- Sistema intupible
- Es auto limpiable
- Menor cantidad de piezas en movimiento
- Bajo costo de mantenimiento

2.3.2.2. Desventajas del filtro rotativo

Con base en el funcionamiento del filtro rotativo se determino las desventajas:

- Sin evidencias

2.4. Análisis de la situación actual del filtro horizontal en el tándem A

En el proceso de extracción del jugo de caña es necesario realizar la separación de los sólidos que van suspendidos en el jugo crudo. El jugo se hace pasar por el sistema de filtrado llamado filtro horizontal (pachaquil), el cual separa los sólidos (bagacillo) del jugo crudo.

Uno de los problemas observados en el tándem de "A" de molinos del ingenio es la contaminación del jugo crudo, ésto debido a que el jugo que ingresa hacia el filtro entra en contacto con piezas fijas dentro del filtro en las cuales se queda atorado el bagacillo como se observa en la figura 5.

Una vez que han transcurrido dos horas el bagazo es atacado por la bacteria *leconostoc-mesenteroides* la que contamina el jugo crudo. Esta bacteria se caracteriza por el daño que causa en la producción de azúcar debido a que se alimenta de la cadena glucosa-fructuosa de la cual se producen los cristales de azúcar. Cuando esta bacteria se alimenta procesa y defeca la molécula invertida (separada).

Figura 5. Acumulación de bagacillo en canal de jugo crudo de molino hacia filtro horizontal



Fuente: Ingenio La Unión.

Para mitigar los efectos de la contaminación en el jugo crudo en el tándem se realiza limpieza de los molinos cuatro veces por turno, comenzando por el molino número uno y finalizando con el filtro horizontal. La limpieza se realiza con agua a setenta grados centígrados para impedir el crecimiento de bacterias como se aprecia en la figura 6, pero el aumento de bacterias sigue en aumento debido que hay partes en las cuales los operarios no logran observar si se está limpiando adecuadamente como se observa en la figura 7.

Los lugares donde se observó mayor concentración de bagacillo atascado fue en las tablillas, cadena que transporta tablillas, hembra o riel donde corre la tablilla, el canal donde sale el jugo crudo, fondo del filtro, área que abarca la tablilla, ocurriendo lo mismo en el transportador inclinado como se ve en las figuras 8.

Figura 6. Limpieza de conductor inclinado con agua caliente



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 7. Limpieza en telas del filtro horizontal con extensiones de tubería para agua caliente



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 8. Acumulación de bagacillo en tablillas y cadena transportadora en conductor inclinado



Fuente: Ingenio La Unión.

Otro inconveniente que ocurre con el filtro horizontal es que tiene una gran cantidad de partes en movimiento constante, lo cual genera un desgaste en las piezas: cadenas, *sprockets*, tablillas, láminas laterales, riel o hembras, láminas de fondo, telas. En zafras pasadas se han producido paros por el quiebre de las tablillas o rastrillos que limpian las telas del filtro o las del conductor inclinado.

Cuando se sobrecarga la cadena de transportación de tablilla, el bagazo que sale es demasiado y aumenta la carga en el sistema, provocando que se rompan las cadenas o sobando los dientes del *sprocket* de la cadenas. Esto provoca paros no programados, deteniendo así la molida en el tándem A.

El rubro de mantenimiento de este sistema de filtrado es elevado, debido al número de partes que conforman la correcta función del mismo.

2.4.1. Análisis de muestras de bagazo del filtro horizontal

Los análisis fueron desarrollados por el laboratorio de control de calidad al bagazo que provenía del filtro horizontal, lo que permite conocer el porcentaje de humedad con que salen las fibras de bagazo del filtro horizontal.

También permite definir en qué parte del proceso de extracción y filtración del jugo crudo está ocurriendo la contaminación del mismo. Ello para evitar que el bagazo que se encuentra contaminado re-circulé en el proceso de extracción de jugo de caña.

2.4.1.1. Comprobar el porcentaje de humedad en bagazo

El análisis de humedad en las fibras de bagazo indicará que tan empapadas salen las fibras que se encuentran en el jugo crudo del filtro horizontal instalado en el tándem A.

Instructivo para desarrollar pruebas de humedad en bagazo

- Pesar recipiente donde se colocará la muestra de bagazo. Este peso se llama TARA.
- Pesar 100 gramos de bagazo en el recipiente.
- Colocar en horno de temperatura constante a 105°C . durante 6 horas.
- Al cabo de este tiempo se pesa de nuevo la bandeja que contiene el bagazo. Anotar este peso.
- Se suma cien al peso inicial menos el peso final, dando así la relación del porcentaje de humedad en las fibras de bagazo.

Cálculo para el porcentaje de humedad:

$$\% \text{humedad} = (100 + P_o) - P_f$$

Donde:

P_o = peso inicial (bandeja + bagazo mojado)

P_f = peso final (bandeja + bagazo seco)

100 = constante de la fórmula

Cálculo del porcentaje de humedad para la muestra No.1

$$\% \text{humedad No.1} = (100 + 666,40) - 687,20$$

$$\% \text{humedad No.1} = 79,20$$

Los cálculos obtenidos en las pruebas de humedad realizadas a las fibras de bagazo que provenían del filtro horizontal se tabularon en la tabla I.

Estos datos dan la cantidad de agua que tenían las fibras de bagazo una vez que son evacuadas del filtro horizontal. Mientras más humedad, más peso es enviado al molino número dos aumentando la carga de trabajo.

Tabla I. Porcentaje de humedad en fibras de bagazo en filtro horizontal del tándem A

Peso total muestra (gr)	Peso Inicial bandeja (gr)	Peso final bandeja + bagazo (gr)	% Humedad
2 045,20	666,40	687,20	79,20
3 488,90	669,60	693,60	76,00
2 201,30	662,30	681,20	81,10
2 190,80	667,10	689,50	77,60
1 850,50	855,00	879,60	75,40
1 685,20	855,10	878,00	77,10
2 343,60	662,00	680,60	81,40
1 853,70	662,10	684,80	77,30
1 929,50	661,90	683,90	78,00
1 844,10	662,20	682,10	80,10
1 852,70	662,10	680,10	82,00
1 632,30	662,10	675,70	86,40

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.2. Análisis de microbiología para el sistema de filtrado

El estudio se realizó al jugo que provenía del molino número uno, molino número dos, filtro horizontal, tanque de jugo primario y tanque de jugo mezclado. Este análisis se desarrolló para diagnosticar en que parte del proceso de extracción, filtrado y almacenamiento del jugo crudo se está dando el aumento o crecimiento de la actividad microbiana.

Instructivo para desarrollar el análisis microbiológico

- Esterilización de los frascos que contendrán el jugo.
- Recolectar muestras en: molino uno, molino dos, filtro horizontal, tanque de jugo primario, tanque de jugo mezclado (molino dos) como se muestra en las figuras nueve, diez, once, doce.
- Un mililitro de muestra se mezcla con una solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Del frasco anterior se saca un mililitro y se mezcla con otra solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Del frasco anterior se saca un mililitro y se mezcla con una tercera solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Se procede a incubar la muestra de veinticuatro a cuarenta y ocho horas, a una temperatura de treinta y seis grados centígrados.
- Se procede a verificar el número de colonias que se desarrollaron.

Figura 9. Recolección de muestras de jugo en los molinos uno y dos del tándem A



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 10. Recolección de jugo crudo en el tanque de jugo primario del tándem A



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 11. Recolección de muestra de jugo crudo en el tanque de jugo mezclado del tándem A



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 12. Frascos con muestras de jugos tomados en: molino uno, molino dos, tanque de jugo crudo, tanque de jugo mezclado y filtro horizontal



Fuente: Ingenio La Unión.

Los datos resultantes de los análisis realizados a los jugos de los molinos uno y dos, tanques de jugo primario, tanque de jugo mezclado se tabularon en la tabla II. En ésta se puede observar la disolución inicial, el número de colonias contadas y el *brix* que es otro indicador de la cantidad de sólidos solubles en el jugo.

Tabla II. Análisis de microbiología al jugo en el filtro horizontal del tándem A

Muestra de jugo	Dilución	Conteo aeróbico	Brix
Jugo Molino no. 1	10 ⁶	38	16,8
Jugo primario	10 ⁶	80	16,7
Jugo molino no.2	10 ⁶	28	10,6
Jugo mezclado	10 ⁶	69	13,3
Jugo filtro horizontal	10 ⁶	75	16,90

Fuente: Ingenio La Unión.

2.4.2. Herramientas de ingeniería

En esta sección se utilizará la herramienta de causa-efecto o diagrama de *Ishikawa*, el cual indicará cuál es el problema principal de la contaminación de jugo crudo, obteniendo las causas principales y también las causas secundarias que afectan en el proceso.

2.4.2.1. Análisis causa-efecto

El estudio elaborado al filtro horizontal instalado en el tándem A de molinos, se realizó para detectar las causas que influyen en la contaminación del jugo crudo.

La información recopilada necesaria para la elaboración se tomó de forma directa por medio de la observación del sistema, apreciando en qué partes se va dando el acumulamiento de bagazo.

Se realizaron charlas con los operarios que se encargan de la limpieza del filtro horizontal. También se efectuaron charlas con los supervisores, los cuales explicaron la forma en que ejecutan el plan de limpieza del tándem A, comenzando desde las desfibradoras, molinos y filtro horizontal, utilizando agua caliente.

De igual forma se observó cuando se dedicaban a la limpieza del filtro, denotándose la dificultad para limpiar las piezas que se encuentran en movimiento constante. El operario trata de alcanzar piezas fijas, pero debido a la poca visibilidad que se tiene no se pueden limpiar completamente las láminas laterales del filtro. Así mismo, en las uniones de lámina y angulares donde se forman ángulos de 90° es un lugar propicio para la acumulación de fibras.

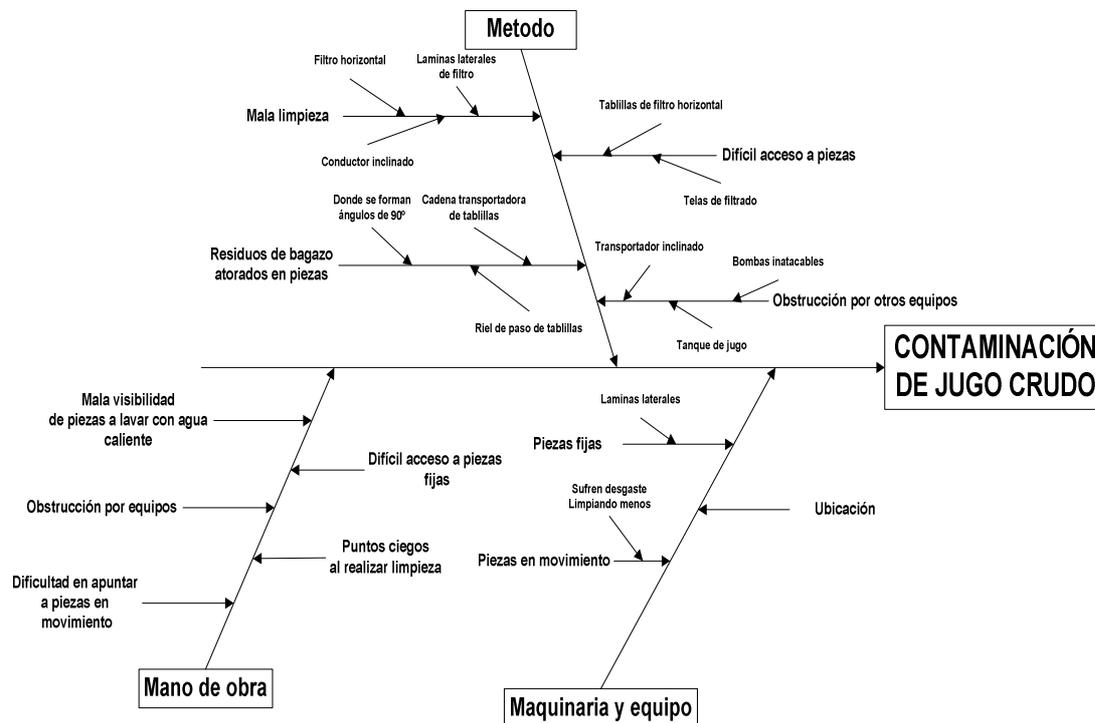
Al momento de limpiar las tablillas o rastrillo de remover las fibras que son retenidas por las telas, éstos no son capaces de limpiar totalmente el área de las telas, dejando residuos en las telas que entran en contacto con el jugo que vuelve a ingresar.

Las tablillas como se encuentran en movimiento van desgastando las telas hasta el punto de quebrar o levantar los alambres que forman las telas de filtración, provocando el paso de bagazo por dichos orificios, incrementando la cantidad del mismo que es enviada hacia la fábrica. Ello aumenta la carga en el siguiente proceso de la elaboración de azúcar.

Otro problema observado es en la tubería que transporta el jugo hacia la fábrica, pues se obstruye el acceso hacia el tanque de jugo crudo. De igual forma en las bombas que empujan el jugo en de la tubería, el transportador inclinado no permite hacer una buena limpieza al gusano que conecta el filtro horizontal con el transportador inclinado.

En base a los argumentos anteriores se procedió a la elaboración del diagrama causa y efecto como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Diagrama causa-efecto de la contaminación de jugo crudo en el tándem A



Fuente; elaboración propia.

En la figura 13 se presenta el diagrama causa-efecto que da una clara visualización del problema principal y las posibles causas que afectan en la contaminación de jugo crudo en el tándem A. La causa de método hace referencia a la limpieza que es realizada al filtro, la cual es difícil por el sistema y equipos que se encuentran instalados. En la mano de obra se toma en cuenta la habilidad y conocimiento del trabajo. En maquinaria y equipo se muestran las causas ocasionados por el filtro horizontal de jugo crudo.

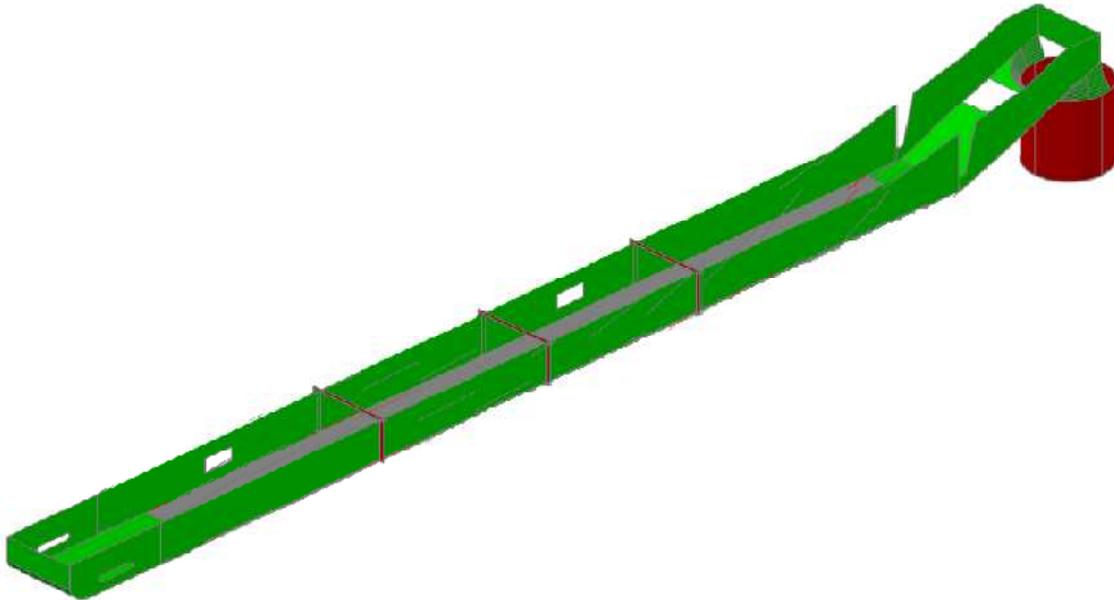
2.4.3. Recolectar información para medidas y espacios del equipo

En el tándem A se realizó la obtención de medidas por medio de la medición directa, una vez concluida la época de zafra. Con ayuda de los operarios se determinó las medidas del sistema de filtrado instalado actualmente, el cual está conformado por; filtro horizontal, transportador helicoidal pequeño (une al filtro horizontal con conductor inclinado), conductor inclinado, transportador helicoidal grande (conecta conductor inclinado con molino número dos), tablillas o rastrillo de filtro horizontal, cadenas transportadoras de tablillas de filtro, tablillas de conductor inclinado, cadena conductora de rastrillos.

2.4.3.1. Medidas del filtro horizontal

Las medidas fueron obtenidas del sistema de filtrado instalado en el tándem A. En base a la figura 14 se darán las medidas, siendo las siguientes: 497,64 pulgadas de largo por 43,11 pulgadas de ancho. Al multiplicar el largo por el ancho se obtendrá el área de filtrado que es de 20 761,2 pulg². Altura de láminas laterales 30,04 pulgadas, en la parte posterior tiene una inclinación de 25°.

Figura 14. Filtro horizontal



Fuente: elaboración propia

Al paso de las tablillas por el filtro, éstas fueron causando desgaste en las láminas laterales. Una vez que se comenzaron a perder las cerdas de las tablillas, éstas entraron en contacto directo con las telas del filtro lastimando y produciendo agujeros o áreas donde pasaba el jugo sin ser filtrado.

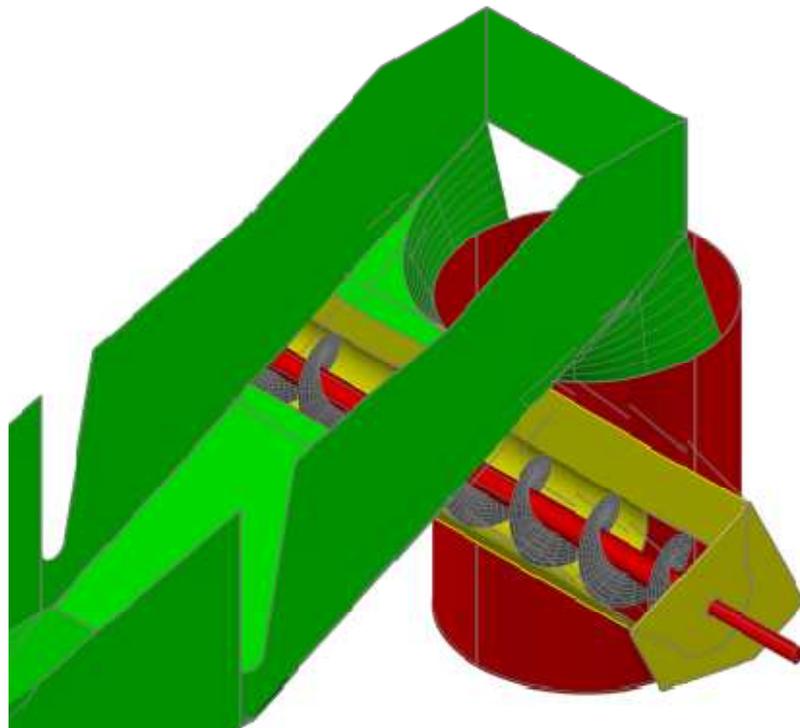
2.4.3.2. Medidas de transportador helicoidal que conecta filtro con transportador inclinado

Éste es el encargado de transportar las fibras que son retenidas por las telas del filtro hacia el conductor inclinado, como se puede ver en la figura 15.

El cual posee un radio de disco de 16", paso de hélice de 16". El eje del transportador tiene una longitud de 96,35 pulgadas y diámetro de 4,5 pulgadas.

El transportador no presentaba indicios de desgaste, ésto debido a que el material que se utilizó es lámina con especificaciones de la norma ASTM para acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ de grosor. No se detectó corrosión en el mismo.

Figura 15. Transportador helicoidal que une a filtro horizontal con transportador inclinado



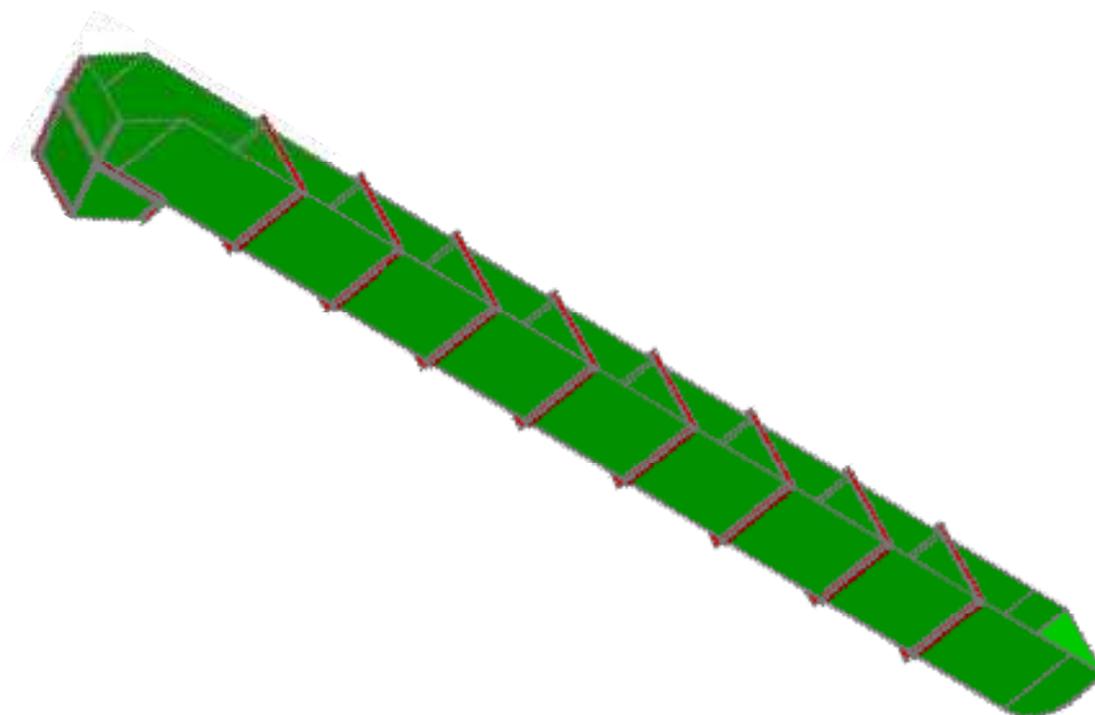
Fuente: elaboración propia.

2.4.3.3. Medidas del transportador inclinado de bagazo

El transportador inclinado cuenta con un ángulo de inclinación de 26° . Éste tiene un largo de 577,6 pulgadas, un ancho de 30,2 pulgadas y la altura de láminas laterales es de 42,9 pulgadas como se aprecia en la figura 16.

Éste presentaba desgaste en sus láminas laterales como en lámina de fondo, debido al desgaste producido por la tablilla y a la descomposición del jugo que va en las fibras provocando la oxidación y desgaste de la misma.

Figura 16. Conductor inclinado de bagazo



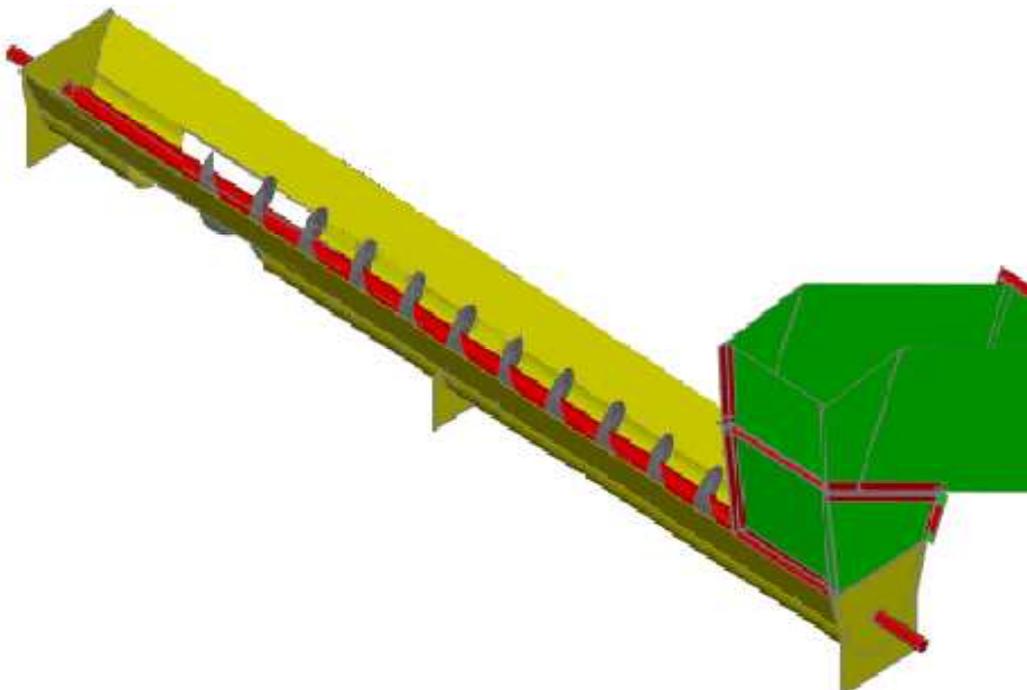
Fuente: elaboración propia.

2.4.3.4. Medidas de transportador helicoidal que une transportador inclinado al molino dos

Este transporta las fibras de bagazo que vienen del conductor inclinado hacia el molino número dos para volver a ser exprimidas. El transportador helicoidal tienen un diámetro de 16 pulgadas, paso de 16 pulgadas, largo en eje de 241,33 pulgadas y un diámetro de eje 4,5 pulgadas, como se puede apreciar

en la figura 17. Éste al igual que el transportador helicoidal anterior, no presentó indicios de oxidación o desgaste en las hélices.

Figura 17. Transportador helicoidal que conecta transportador inclinado con molino número dos



Fuente: elaboración propia.

2.4.4. Diseño de planos

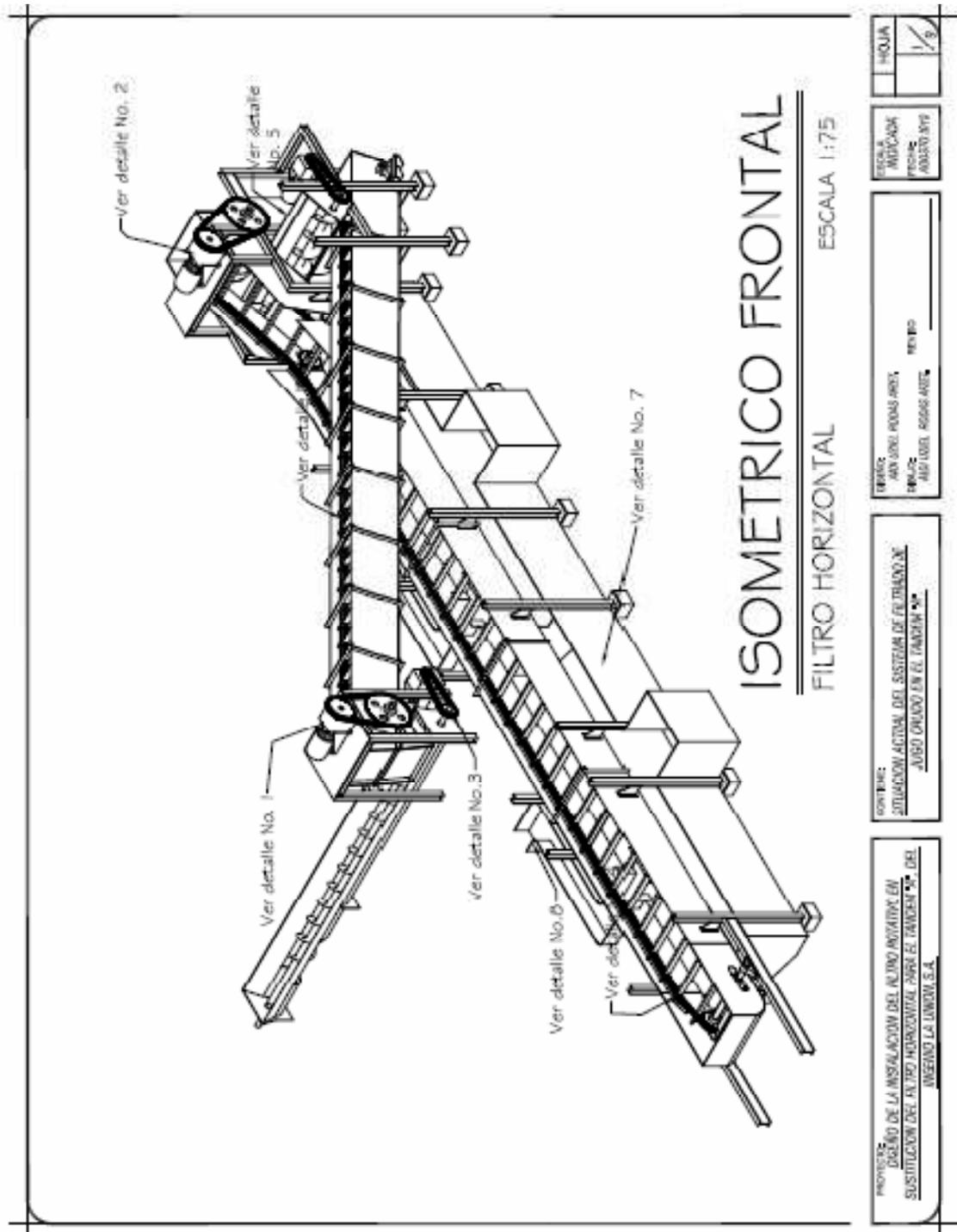
En esta sección se podrá apreciar el sistema de filtrado de jugo crudo proveniente de los molinos uno y dos, empleados actualmente en tándem A. el jugo ingresa al filtro por medio de los canales de alimentación, éste es pasado por el filtro horizontal. El bagazo retenido por las telas es removido por las tablillas o rastrillos hacia el transportador helicoidal que lo envía hacia el conductor inclinado, el cual es transportado por medio de tablillas hacia el

transportador helicoidal grande que envía el bagazo de vuelta al molino número dos para volver a ser exprimido.

2.4.4.1. Situación actual

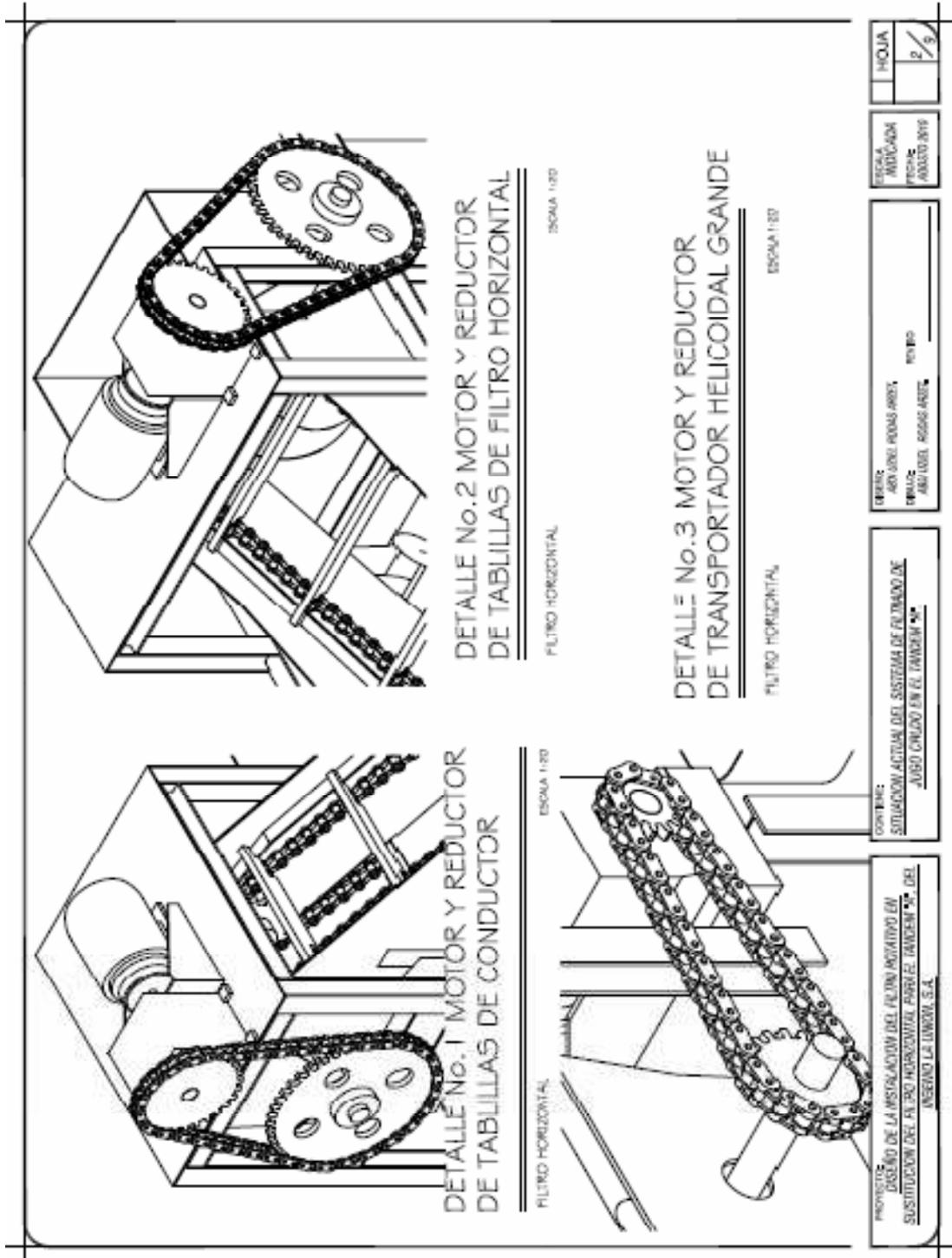
Las medidas obtenidas del filtro horizontal y los demás componentes, fueron tomadas en la época de reparación del equipo. En la figura 18 se mostrará el sistema total, el cual lleva comprendido: filtro horizontal, tablillas, conductor inclinado, transportadores helicoidales, motores eléctricos y motorreductores, como se aprecia en las figuras 19, 20, 21. Así también se aprecia en las figuras 22, 23, 24, 25 y 26 la distribución actual en el tándem A.

Figura 18. Isométrico del filtro horizontal instalado en el tándem A



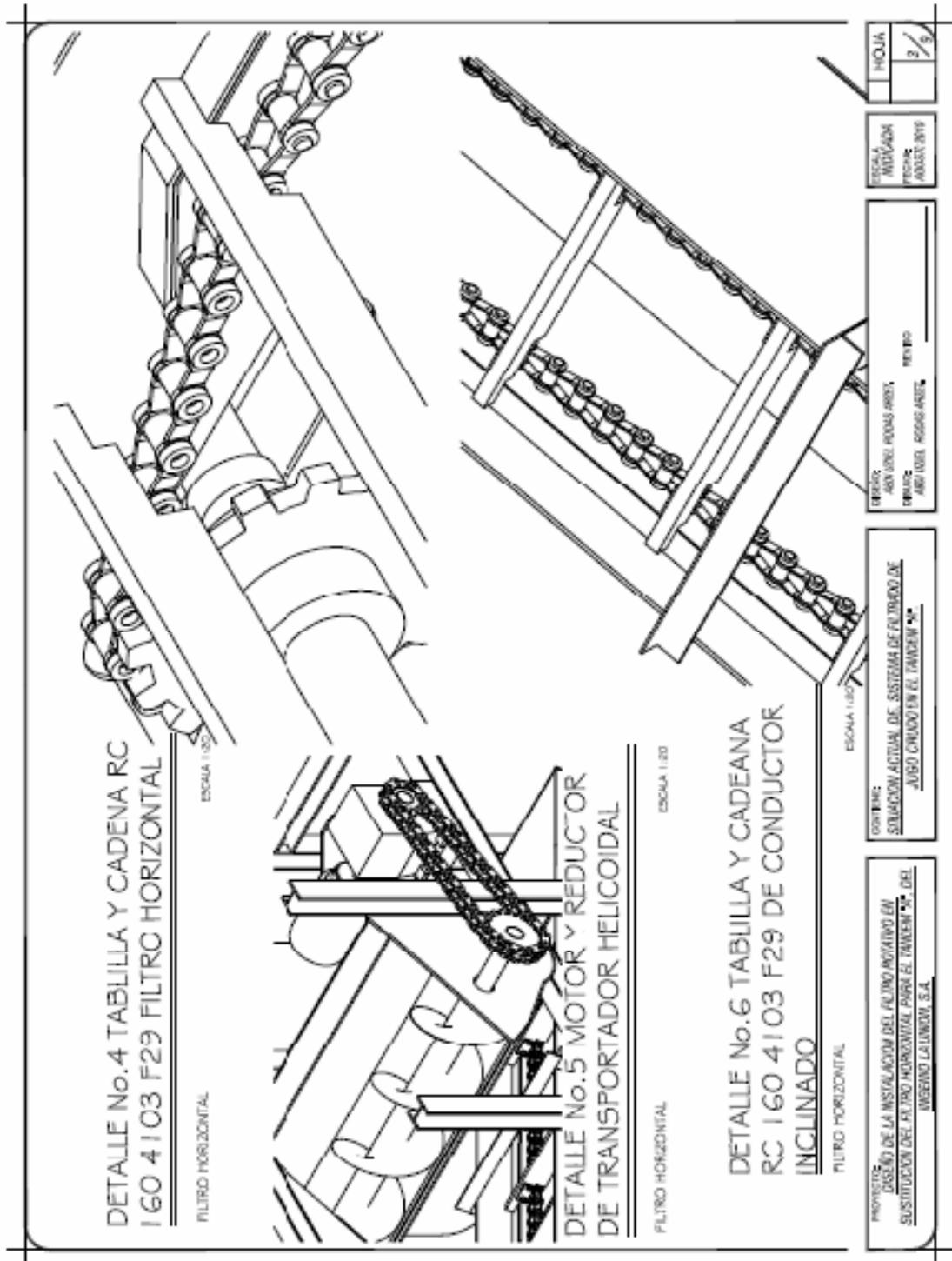
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Detalles de equipos a



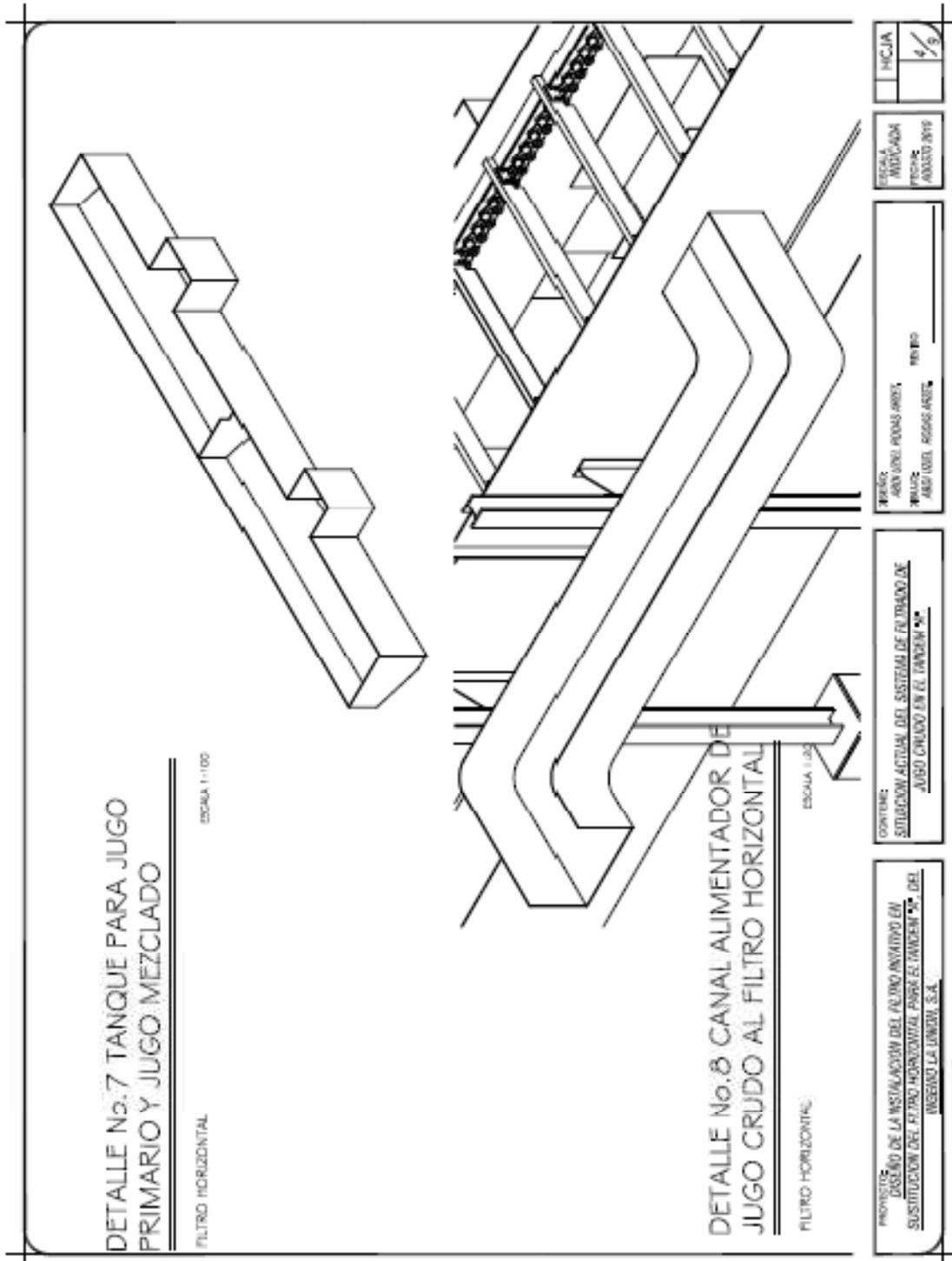
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Detalles de equipos b



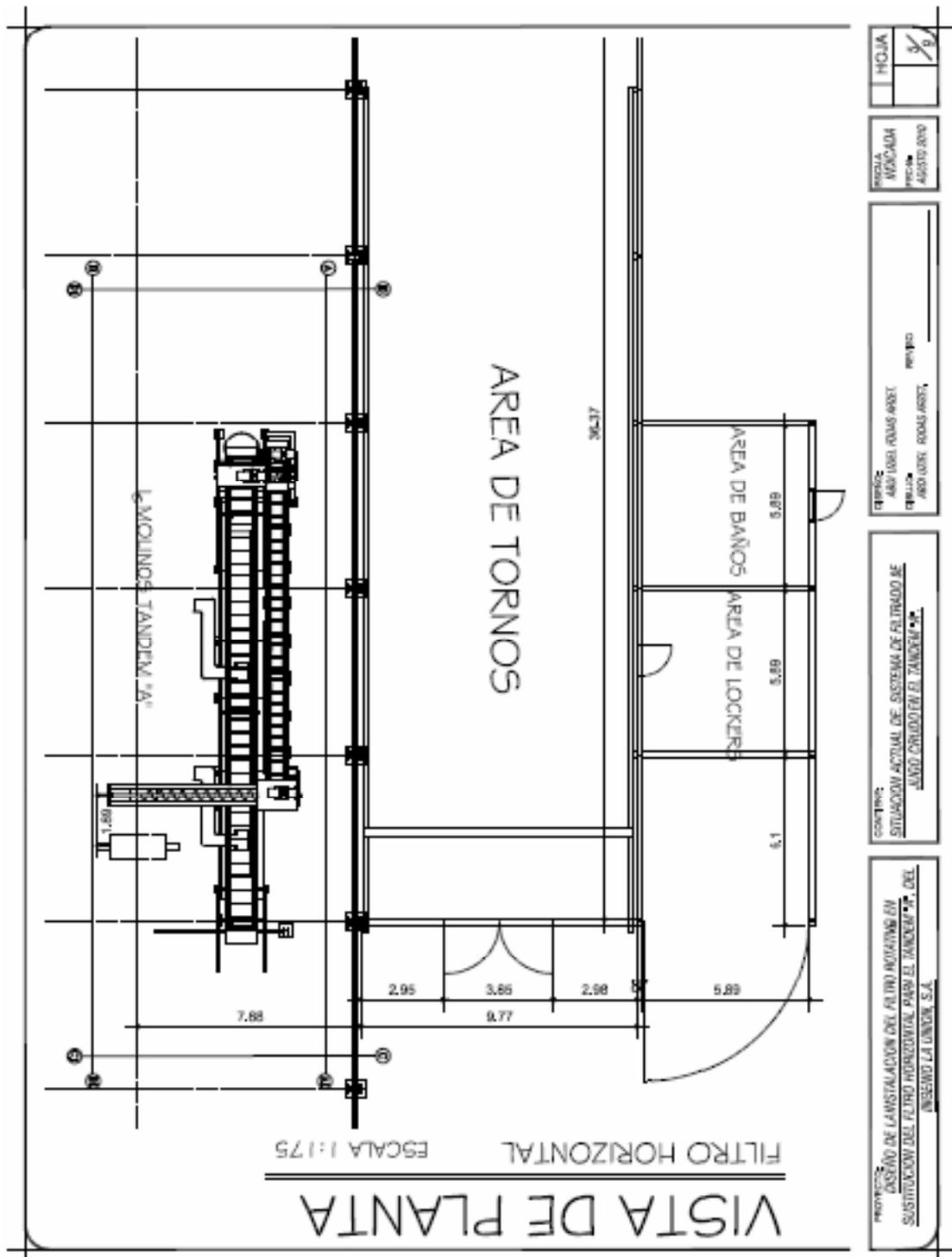
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Detalles de equipos c



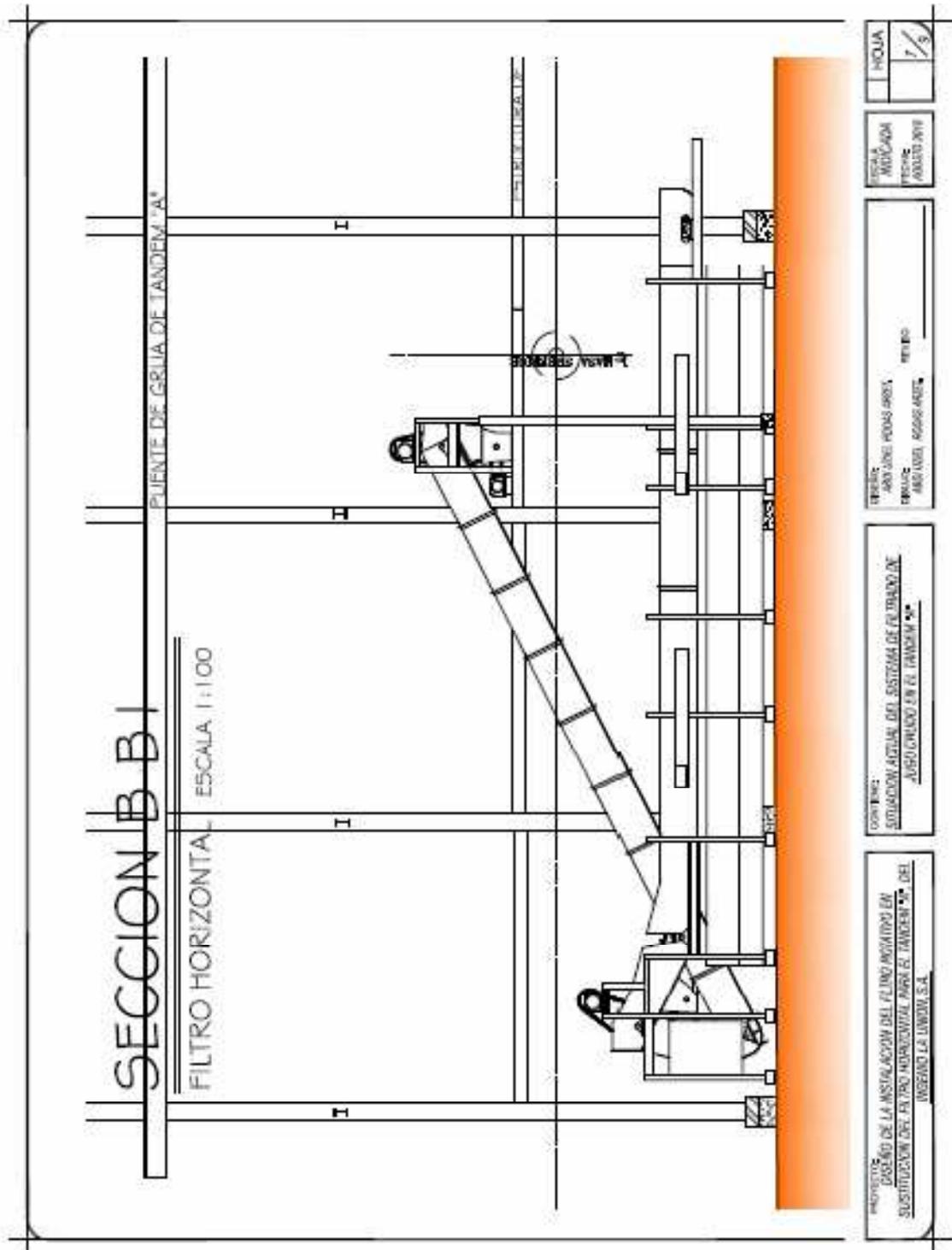
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Planta de distribución actual del filtro horizontal en tándem A



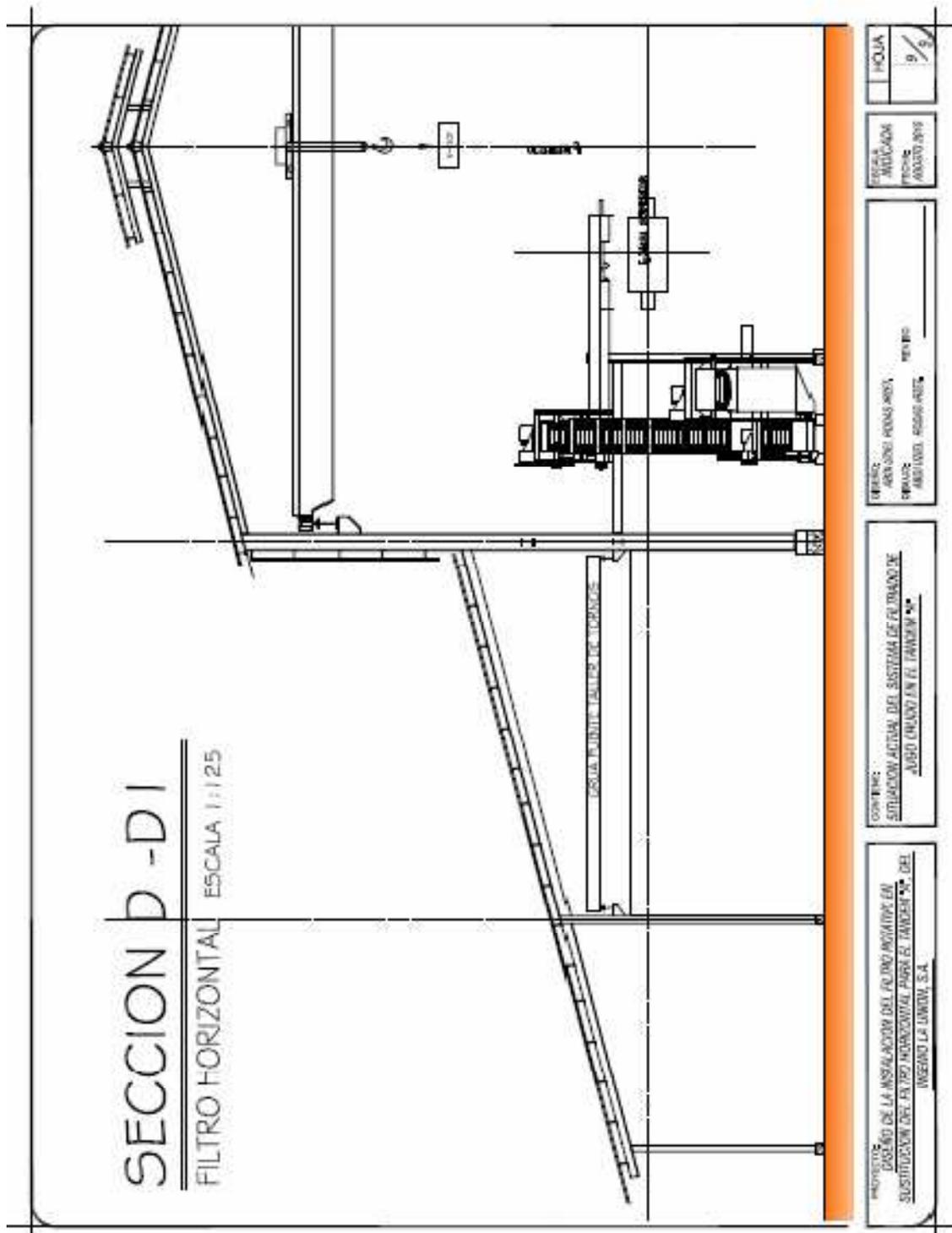
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Sección de corte B-B1 de la distribución en planta



Fuente: elaboración propia

Figura 26. Sección de corte de D-D1 de la planta de distribución actual



Fuente: elaboración propia.

2.5. Análisis de la situación actual del filtro rotativo en el tándem B

En el tándem B del ingenio se encuentra instalado el filtro rotativo, el cual se encarga de separar los sólidos que se hayan suspendidos en el jugo crudo que proviene de los molinos número uno y dos.

Este sistema posee muchas ventajas. En base a conversaciones sostenidas con los supervisores de turno y al análisis del funcionamiento del filtro, se determinó que este sistema no sufre de atascamientos por saturación de fibras. Esto se debe a que el sistema funciona por medio de la inclinación y la acción de la gravedad y el sentido de la rotación del filtro. Debido a lo anterior se van desechando las fibras que se quedan atoradas en las telas de filtración. Por su diseño de funcionamiento no hay necesidad de utilizar otros equipos para remover las acumulaciones de bagazo o grumos que se adhieran a las telas.

Después de separar el bagacillo suspendido en el jugo crudo éste es enviado al molino número dos por medio de un transportador helicoidal para volver a ser exprimido y ser enviado posteriormente hacia la bagacera (patio de bagazo), para ser utilizado más adelante por las calderas como combustible.

Al momento de realizar la limpieza, los operarios se colocan el equipo de protección personal para evitar quemaduras con el agua caliente. Ellos comienzan con el molino número uno hasta llegar al filtro rotativo. Conforme se desarrolla la limpieza en el filtro rotativo no se observaron mayores complicaciones. Esto se debe a que las telas se encuentran enrolladas formando un cilindro, por lo cual posee una mayor visibilidad y acceso a los equipos primarios y los equipos secundarios, como se observa en la figura 27.

En base a lo anterior es más fácil para los operarios detectar los lugares donde no se ha limpiado correctamente. Evitando así tiempo excesivo en la limpieza y aumentando de igual forma el consumo del agua empleada en la asepsia del filtro.

Figura 27. Limpieza interna del filtro rotativo realizada por operario del tándem B



Fuente: Ingenio La Unión.

2.5.1. Análisis de muestras de bagazo del filtro rotativo

Los estudios fueron desarrollados por el laboratorio de control de calidad, en los cuales se analizaron las fibras de bagazo que provenían del filtro rotativo, siendo los siguientes: porcentaje de humedad y análisis microbiológico.

2.5.1.1. Comprobar porcentaje de humedad en bagazo

Este examen se desarrolló a las fibras de bagazo separadas del jugo que proviene de los molinos uno y dos, indicando el porcentaje de humedad con que las fibras abandonan el filtro y señalando el estado de trabajo del filtro rotativo.

Instructivo de elaboración de porcentaje de humedad

- Pesarse el recipiente donde se colocará la muestra de bagazo. Este peso se llama TARA.
- Pesarse 100 gramos de bagazo en el recipiente.
- Colocar en horno a temperatura constante de 105°C . durante 6 horas.
- Al cabo de este tiempo se pesa de nuevo la bandeja que contiene el bagazo. Anotar este peso.
- Se suma cien al peso inicial menos el peso final dando así la relación del porcentaje de humedad en las fibras de bagazo.

Cálculo del porcentaje de humedad:

$$\% \text{humedad} = (100 + P_o) - P_f$$

Donde:

P_o = peso inicial (bandeja + bagazo mojado)

P_f = peso final (bandeja + bagazo seco)

100 = constante de la fórmula

$$\% \text{humedad No.1} = (100 + 688,20) - 717,00 = 71,2$$

Los cálculos obtenidos en las pruebas hechas a las fibras de bagazo que provenían del filtro rotativo se tabularon en la tabla III.

Los porcentajes obtenidos dan información de cuánto es la cantidad de jugo que se encuentra en las fibras de bagazo que son expulsadas del filtro rotativo. Al llevar una menor cantidad de agua se le resta carga de trabajo al molino número dos, lo cual mejora la extracción de jugo proveniente del molino número uno.

Tabla III. Porcentaje de humedad en fibras de bagazo en filtro rotativo del tándem B

Peso Total Muestra (gr)	Peso Inicial Bandeja (gr)	Peso Final Bandeja + Bagazo (gr)	% Humedad
1 415,80	688,20	717,00	71,20
3 836,50	657,90	689,70	68,20
2 061,80	656,10	680,30	75,80
2 031,10	656,00	681,40	74,60
2 267,00	656,10	687,00	69,10
1 749,40	662,10	687,00	75,10
1 882,90	657,90	689,70	68,20
1 919,20	656,10	684,30	71,80
2 373,90	656,00	683,70	72,30
2 972,20	656,00	683,70	72,30
2 540,60	656,10	680,20	75,90
4 009,70	656,10	679,90	76,20
2 231,10	656,00	677,70	78,30

Fuente: elaboración propia.

2.5.1.2. Análisis de microbiología para el sistema de filtrado

El estudio que se desarrolló al jugo proveniente de los molinos número uno y dos, filtro rotativo y tanques de jugo. Se llevó a cabo para obtener el lugar donde se observa un crecimiento alto de colinas de bacterias comprendidas en el sistema de extracción y filtrado de jugo crudo.

Instructivo para desarrollar el análisis de microbiología

- Esterilización de los frascos que contendrán el jugo.
- Recolectar muestras en: molino uno, molino dos, filtro horizontal, tanque de jugo primario, tanque de jugo mezclado (molino dos) como se muestra en las figuras: 28, 29, 30, 31.
- Un mililitro de muestra se mezcla con una solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Del frasco anterior se saca un mililitro y se mezcla con otra solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Del frasco anterior se saca un mililitro y se mezcla con una tercera solución de noventa y nueve mililitros de sacarosa al uno por ciento.
- Se procede a incubar la muestra de veinticuatro a cuarenta y ocho horas, a una temperatura de treinta y seis grados centígrados.
- Se procede a verificar número de colonias que se desarrollaron.

Figura 28. Recolección de muestras de jugo en los molinos uno y dos del tándem B



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 29. Recolección de muestras de jugo del tanque de jugo primario del tándem B



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 30. Recolección de muestra de jugo del tanque de jugo mezclado del tándem B



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 31. Muestras de jugos tomadas de molino uno, molino 2, tanque de jugo primario, tanque de jugo mezclado y filtro rotativo



Fuente: Ingenio La Unión.

Los resultados de los análisis realizados al jugo de molino uno y dos, tanque de jugo primario, tanque de jugo mezclado y filtro rotativo, se tabuló en la tabla IV.

Tabla IV. Análisis de microbiología al jugo crudo en el tandem B

Muestra de jugo	Dilución	Conteo aeróbico	Brix
Jugo Molino No. 1	10 ⁶	33	13,3
Jugo primario	10 ⁶	53	12,1
Jugo molino 2	10 ⁶	27	8,4
Jugo mezclado	10 ⁶	24	8,5
Jugo filtro rotativo	10 ⁶	62	9,5

Fuente: elaboración propia.

2.6. Análisis de resultados

Debido a los problemas observados en el sistema de separación de sólidos del jugo crudo en el tándem A de molinos del Ingenio La Unión, se propone la sustitución del filtro horizontal por el filtro rotativo. Este filtro ha sido instalado en el tándem B de molinos, demostrando que tiene bajo costo de mantenimiento, bajo nivel de contaminación de jugo y menor porcentaje de humedad en sus fibras.

Además no han habido paros por desperfectos mecánicos en dicho filtro, y se logra un fácil sistema de limpieza y fácil detección de crecimiento de bacterias. De esa manera se obtienen beneficios en la extracción de los cristales de azúcar que se encuentran en el jugo crudo, como se demuestra en base a los siguientes incisos.

2.6.1. Cantidad de bagazo separado del jugo crudo por filtro horizontal y filtro rotativo

Para obtener el cálculo de bagazo retenido, se detuvo el filtro horizontal y se extrajo el bagazo de tres tablillas. El bagazo se colocó en un pie cúbico de madera obteniendo las siguientes medidas: 1' x 1' x 9" y en base a ellas se calculó el volumen siendo de 0,75 p³. Posteriormente las fibras fueron pesadas dando la cantidad de 11,2124 kg. En un minuto circulan ochenta y nueve tablillas y si en tres paletas hay 11,2124 kg se realiza la siguiente relación:

$$\frac{11,2124 \text{ kg}}{3 \text{ tablillas}} = \frac{x \text{ kg}}{89 \text{ tablillas}}$$

Despejando el valor x se obtiene:

$$x = \frac{(89 \text{ tablillas})(11,2124 \text{ kg})}{3 \text{ tablillas}}$$

Al realizar el cálculo matemático se obtiene el valor de 332,6339 kg/minuto para convertir el valor anterior a ton/h se realizará la siguiente conversión:

$$332,6339 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ ton corta}}{907,18486 \text{ kg}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h.}} = 21,999966 \approx 22 \text{ ton/h}$$

De igual forma se procederá a hacer la relación para determinar el número de pies cúbicos:

$$\frac{0,75 \text{ p}^3}{3 \text{ tablillas}} = \frac{x \text{ p}^3}{89 \text{ tablillas}}$$

Despejando el valor x se obtiene lo siguiente:

$$x = \frac{(89 \text{ tablillas})(0,75 \text{ p}^3)}{3 \text{ tablillas}}$$

Obteniendo el valor de 22,25059 p³/min, se multiplica por sesenta que es la cantidad de minutos comprendidos en una hora, se obtiene lo siguiente 1 353,0534 p³/h.

En base a los cálculos anteriores se resume que el bagazo retenido del jugo crudo por el filtro horizontal es de 22 ton/h, el volumen de bagazo enviado hacia el molino número dos es de 1 353,0534 p³/h, definiendo que el tándem A está capacitado para moler 458 ton/h.

Se utilizó el pie cúbico para realizar la toma de la muestra, se procedió a detener el filtro rotativo y se extrajo el bagazo de tres hélices del transportador helicoidal. El bagazo se colocó en el pie cúbico obteniendo las siguientes medidas: 1' x 1' x 8,5". En base a las medias se calculó el volumen siendo éste de 0,708345 p³. Posteriormente las fibras fueron pesadas dando la cifra de 12,075 kg. En un minuto da 82 vueltas la hélice, y en tres hélices hay 12,075 kg se realiza la siguiente relación:

$$\frac{12,075 \text{ kg}}{3 \text{ hélices}} = \frac{x \text{ kg}}{82 \text{ hélices}}$$

Despejando el valor x se obtiene:

$$x = \frac{(82 \text{ hélices})(12,075 \text{ kg})}{3 \text{ hélices}}$$

Al realizar el cálculo matemático se obtendrá el valor de 330,05 kg/minutos Para convertir el valor anterior a ton/h se realizará la siguiente conversión:

$$330,05 \text{ kg/min} \times \frac{1 \text{ ton. corta}}{907,18486 \text{ kg}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h.}} = 21,8291$$

Se procederá a determinar el número de pies cúbicos con la relación:

$$\frac{0,708345 \text{ p}^3}{3 \text{ tablillas}} = \frac{x \text{ p}^3}{82 \text{ tablillas}}$$

Despejando el valor x se obtiene lo siguiente:

$$x = \frac{(82 \text{ tablillas})(0,75 \text{ p}^3)}{3 \text{ tablillas}}$$

Obteniendo el valor de 19,36143 p³/min, se multiplica por sesenta que es la cantidad de minutos comprendidos en una hora se obtiene 1 161,6858 p³/h.

Resumiendo los cálculos realizados se puede decir que el bagazo separado del jugo crudo por el filtro rotativo es de 21,829 ton/h. El volumen de bagazo enviado en dirección del molino número dos es de 1 161,6858 p³/h, tomando en cuenta que el tándem B esta capacitado para moler 291,66 ton/h.

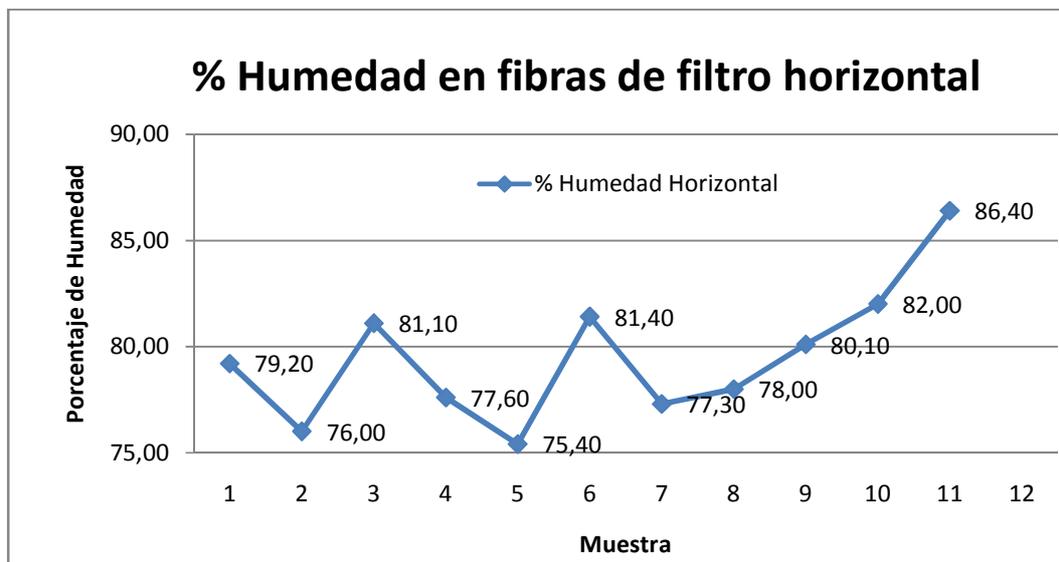
La diferencia de toneladas/hora que maneja el filtro horizontal y rotativo es de 0,171 ton/h. La resta de volumen/hora del filtro horizontal y rotativo da un resultado de 191,3676 p³/h.

2.6.2. Comparación de graficas del porcentaje de humedad en fibras del filtro horizontal y rotativo

Los filtros horizontales trabajan en un rango de humedad en sus fibras del 80%. Como se puede apreciar en la figura 32, se emplearon los datos tabulados de la tabla I, en la cual se utilizaron las doce muestras y se plotearon los

puntos. En la muestra número dos y cinco se observa que los valores están bajos, ésto se debe a que antes de tomar la muestra se había parado el tándem, por lo cual las fibras escurrieron por más tiempo de lo normal. En la muestra doce se observa un valor elevado debido a que al tomar la muestra se estaba realizando la limpieza con agua caliente por lo cual se registró ese valor.

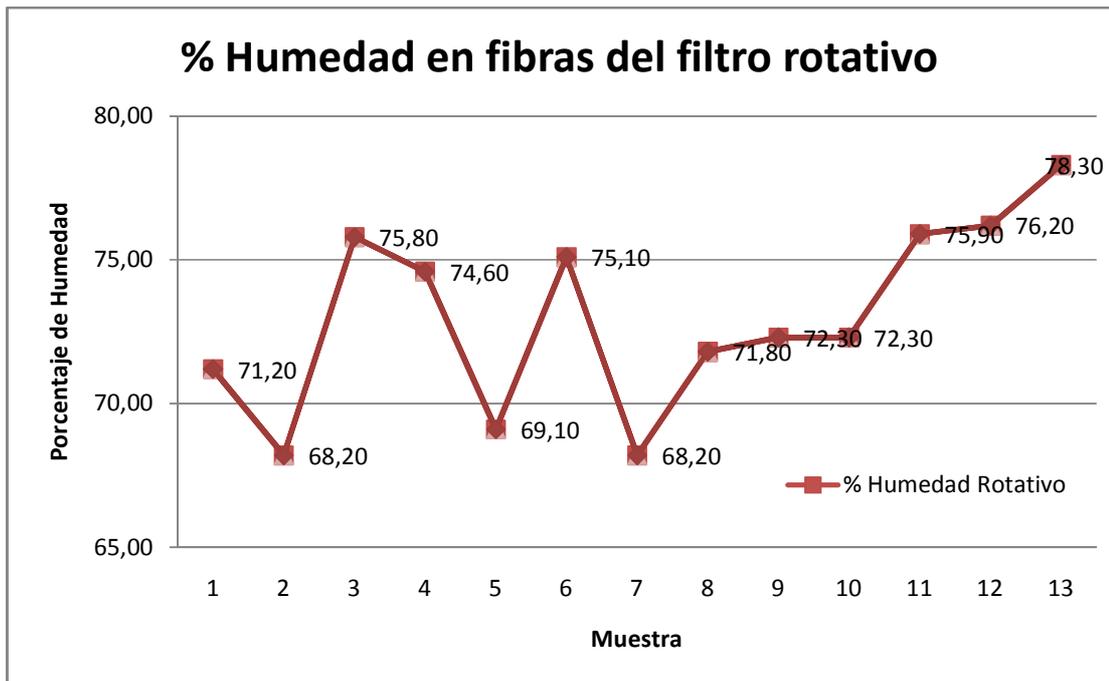
Figura 32. Gráfica de porcentaje de humedad en fibras del filtro horizontal



Fuente: elaboración propia.

Las fibras evacuadas por el filtro rotativo debe de comprenderse en un rango de 70%. En la figura 33 se puede observar la tabulación de los datos obtenidos de la tabla III, los puntos tabulados son representación de las trece muestras tomadas al filtro rotativo. En el caso de las muestras que pasan el 75% de humedad, se debe a la limpieza que es aplicada al filtro para disminuir la contaminación, como se aprecia en las muestras; 3, 11, 12, 13.

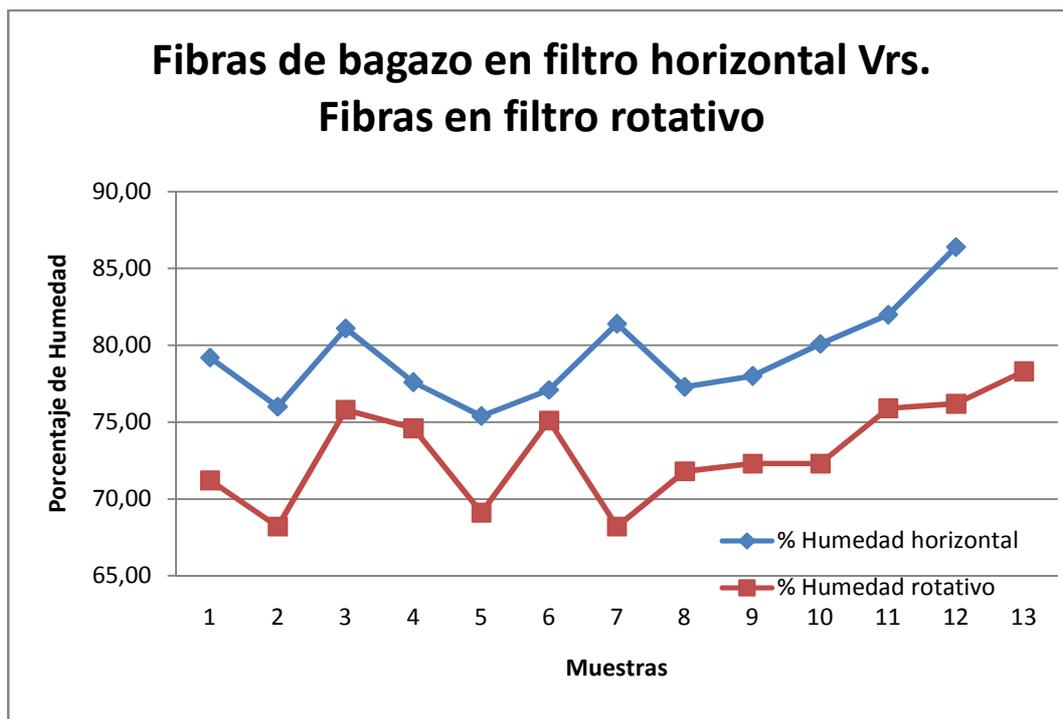
Figura 33. Gráfica de porcentaje de humedad en fibras del filtro rotativo



Fuente: elaboración propia.

Al sobreponer la gráfica de humedad del filtro horizontal versus el filtro rotativo, se observa que las fibras descargadas del filtro rotativo contienen porcentajes de humedad menor al filtro horizontal, como se aprecia en la figura 34. Esto se debe al diseño del filtro rotativo que utiliza el tiempo de retención mientras este gira y va sacando el bagazo de su interior.

Figura 34. Gráfica de la comparación de porcentajes de humedad en fibras de bagazo del filtro horizontal contra fibras de bagazo del filtro rotativo



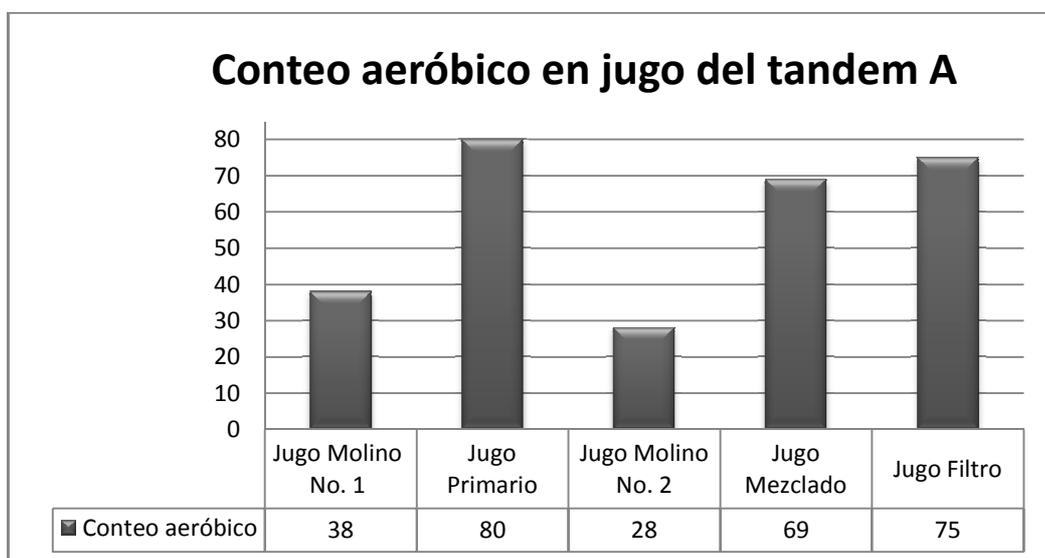
Fuente: elaboración propia.

2.6.3. Análisis de gráficas del crecimiento bacteriano en filtro rotativo y horizontal

Se puede analizar el aumento de la contaminación del jugo en tándem A por el filtro horizontal. Como se ve en la figura 35, el aumento de las colonias de bacterias en el jugo que fue extraído en el molino uno al inicio del análisis es de 38. Al final del análisis se obtuvo un conteo de 80 colonias o poblaciones de bacterias en el tanque de jugo primario. De igual forma para el jugo proveniente del molino dos se tiene un conteo de 28 y 69 poblaciones de bacterias en el

tanque de jugo mezclado. El conteo aeróbico hecho al jugo del filtro horizontal tiene una población bacteriana de 75.

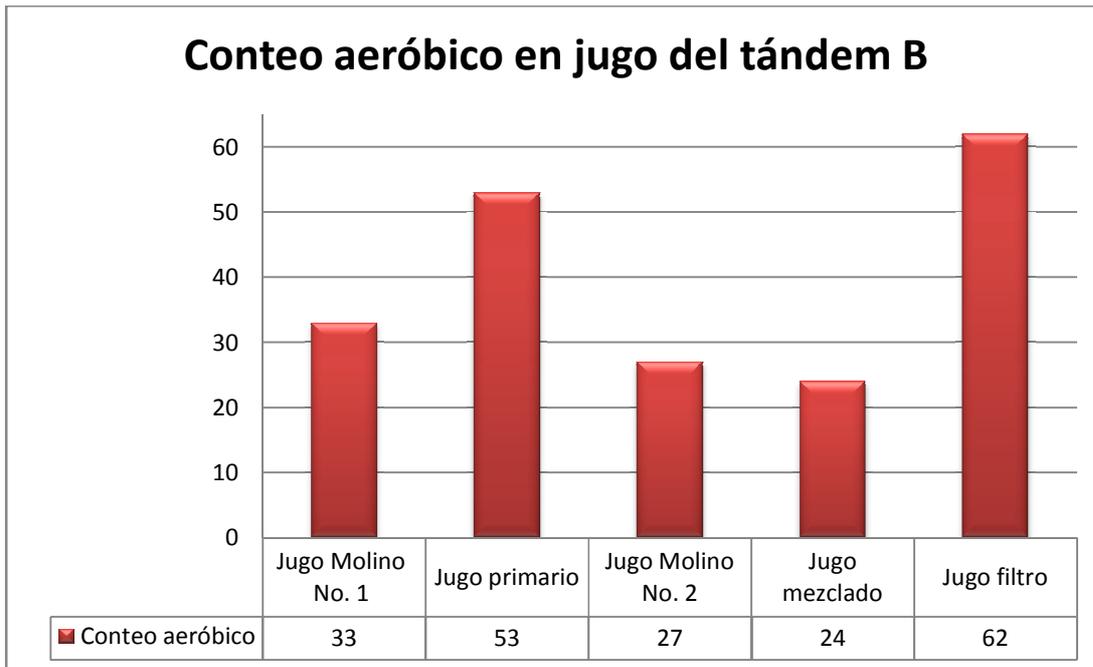
Figura 35. Gráfica de conteo aeróbico del crecimiento bacteriano en el jugo crudo del tandem A



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en la figura 36, cómo es el aumento de las poblaciones de las bacterias en el tándem B comenzando por el jugo del molino uno que contiene una población de 33 colonias y en el tanque de molino primario se tuvo un conteo de 53 colonias de bacterias. El jugo del molino dos posee una población de 27 y en el tanque de jugo mezclado se obtuvo un conteo de 24. El jugo del filtro rotativo contaba con 62 poblaciones de bacterias.

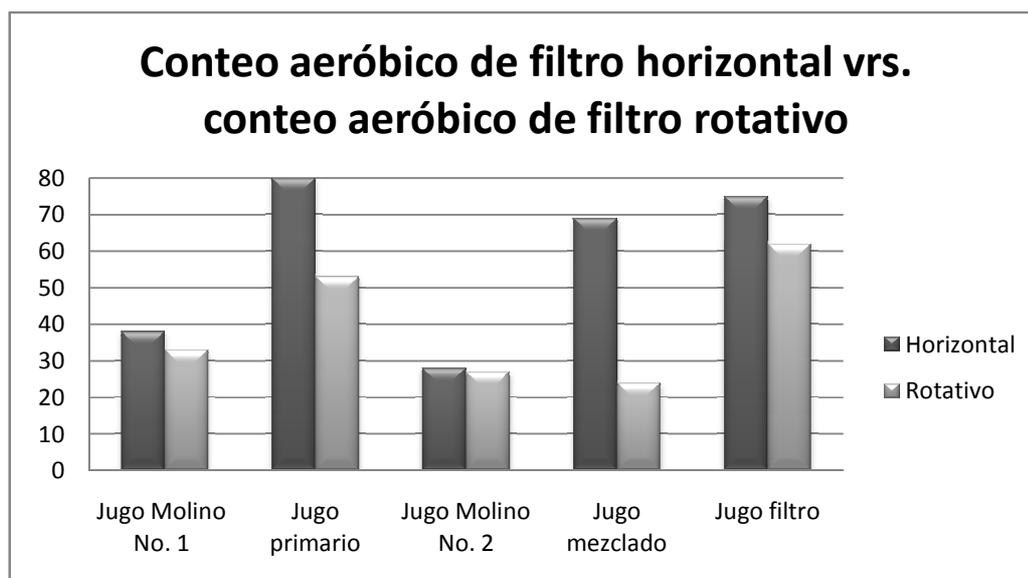
Figura 36. Gráfica Conteo aeróbico del crecimiento bacteriano en el jugo crudo del tándem B



Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 37, las poblaciones de bacterias en el jugo primario son mayores en el filtro horizontal que en el filtro rotativo dando una diferencia de 27. En el jugo mezclado se observa una diferencia de 45. La diferencia de contaminación del jugo en el filtro es de 13 colonias.

Figura 37. Gráfica del conteo aeróbico de las poblaciones de bacterias del filtro horizontal contra el conteo aeróbico de las poblaciones de bacterias en el filtro rotativo



Fuente: elaboración propia.

2.6.4. Comparación de limpieza en filtro horizontal y filtro rotativo

La limpieza en los filtros de jugo crudo instalados en los tandemes A y B se realiza cuatro veces por turno, habiendo tres turnos en tiempo de zafra.

- El tiempo requerido por los operarios para llevar a cabo la limpieza del filtro horizontal se encuentra en un rango de 20 a 30 minutos. El tiempo de limpieza de tanque es de 30 a 40 minutos, en el cual emplean agua del proceso de maceración a una temperatura de 70 a 90 grados centígrados, utilizando un caudal de 8 gpm. Al realizar la operación de multiplicar el

caudal por el tiempo de limpieza, se obtendrá la cantidad de galones que se utilizan para la limpieza del filtro horizontal y tanques de jugo crudo:

$$\text{galones/limpieza} = t \times Q$$

Donde:

t: tiempo empleado en la limpieza

Q: caudal de agua en gpm

$$\frac{\text{galones}}{\text{limpieza}} = 50 \text{ min} \times 8 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 400 \text{ gal}$$

$$\frac{\text{galones}}{\text{limpieza}} = 70 \text{ min} \times 8 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 560 \text{ gal}$$

El agua empleada en la limpieza del filtro horizontal es aproximadamente de 400 a 560 galones.

- El tiempo utilizado por los operarios para desarrollar la asepsia del filtro horizontal varía de 10 a 15 minutos y el tiempo de limpieza de tanques de jugo crudo es de 20 a 30 minutos, utilizando agua del proceso de maceración con una temperatura de 70 a 90 grados centígrados, consumiendo un caudal de 8 gpm. Al multiplicar el tiempo de limpieza por el caudal de consumo se tendrá la cantidad de galones de agua utilizados en la limpieza del filtro y tanques de jugo crudo.

$$\text{galones/limpieza} = t \times Q$$

Donde:

t: tiempo empleado en la limpieza

Q: caudal de agua en gpm

$$\frac{\text{galones}}{\text{limpieza}} = 30 \text{ min} \times 8 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 240 \text{ gal}$$

$$\frac{\text{galones}}{\text{limpieza}} = 45 \text{ min} \times 8 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 360 \text{ gal}$$

Obteniendo un consumo aproximado en la limpieza de 240 a 360 galones por limpieza del filtro de jugo crudo y equipos secundarios al funcionamiento.

El consumo mayor de agua al efectuar la limpieza en el filtro horizontal se debe a que los operarios encuentran muchos obstáculos para limpiar ciertas áreas, por lo que deben calcular un tiempo según su experiencia, esperando con eso limpiar las partes que no se pueden observar. La limpieza en el filtro rotativo refleja un menor consumo. Esto se debe a que no hay mayor interferencia de otros equipos, que obstruyan la visibilidad al momento de efectuar la limpieza.

2.6.5. Consumo energético de ambos sistemas

Para hacer funcionar el filtro horizontal se utilizan cuatro motores con las siguientes capacidades:

Tabla V. Motores utilizados en el sistema del filtro horizontal

Motor	Hp	Amperios nominal	Consumo actual
Filtro horizontal	25	32	15,1
Transportador helicoidal pequeño	10	14,2	7,3
Conductor inclinado	25	32	15,4
Transportador helicoidal grande	10	14,2	7,8

Fuente: elaboración propia.

El consumo total para hacer funcionar el sistema de filtrado es de 45,6 amperios, para determinar el consumo en *kilowatts* por día se usará la siguiente fórmula:

$$kwdia = \frac{I * V * E * \sqrt[2]{3} * H}{1\ 000}$$

Donde:

I= corriente en amperios

V= voltaje

E= factor de potencia constante

$\sqrt[2]{3}$ = factor del sistema trifásico

H= horas de trabajo

$$kwdia = \frac{45,6 * 480 * 0,85 * \sqrt[2]{3} * 24}{1\ 000} = 773,364$$

El consumo diario para poner en funcionamiento el filtro horizontal es de 773,3643 kw/día.

Para lograr que el filtro rotativo y sus demás equipos se pongan en funcionamiento se utilizan tres motores eléctricos con las siguientes especificaciones:

Tabla VI. **Motores utilizados para el funcionamiento del filtro rotativo**

Motor	Hp	Amperios nominal	Consumo actual
Filtro rotativo	20	26,3	12,2
Transportador helicoidal 1	10	12,8	6,4
Transportador helicoidal 2	10	12,8	7,7

Fuente: elaboración propia.

El consumo obtenido para hacer funcionar el filtro es de 26,3 amperios. Para obtener los *kilowatts* por hora se procederá hacer el siguiente cálculo

$$kw\text{dia} = \frac{I \cdot V \cdot E \cdot \sqrt[2]{3} \cdot H}{1\ 000}$$

Donde:

I= corriente en amperios

V= voltaje

E= factor de potencia

$\sqrt[2]{3}$ = factor del sistema trifásico

H= horas de trabajo

$$kw\text{dia} = \frac{26,3 \cdot 480 \cdot 0,85 \cdot \sqrt[2]{3} \cdot 24}{1\ 000} = 447,73$$

El consumo total para el funcionamiento del filtro rotativo es de 447,73 kw/día.

2.6.6. Control de mantenimiento en filtro horizontal y rotativo

Después de finalizada la temporada de zafra comienza el mantenimiento preventivo y correctivo al filtro horizontal, los mecánicos y soldadores verifican:

- Grosor de láminas
- Telas
- Cadenas transportadoras de tablillas
- Tablillas desgastadas o lastimadas
- Chumaceras
- Motores eléctricos
- Motorreductores
- Cadenas simple de transmisión
- *Sprockes*
- Revisión de tanques de jugo crudo
- Grosor de láminas de transportador inclinado
- *Sprocket* de motor eléctrico
- Cadena transportadora de tablillas
- Tablillas o rastrillos lastimadas, desgastadas.

El mantenimiento preventivo realizado al filtro rotativo por soldadores y mecánicos una vez concluida la época de zafra es:

- Revisión de telas
- Control de tornillos que unen telas
- Verificar soldaduras en tensores de telas

- Comprobar estado de chumacera
- Engrasado de chumaceras
- *Sprocket*
- Inspeccionar el grosor en ejes de soportes giratorios
- Mantenimiento en motores eléctricos.

En los controles previamente mostrados se aprecia que en el filtro horizontal el mantenimiento es extenso, esto se debe a que en el mismo hay una mayor cantidad de fricción en sus piezas fijas y móviles. Al momento de llevar a cabo el mantenimiento, la reparación ocupa una gran cantidad de tiempo y materiales. En el filtro rotativo el mantenimiento es menos dificultoso y requiere de menor tiempo para ser realizado, así como el uso más limitado de materiales.

2.6.7. Confrontación de los costos de mantenimiento de filtro horizontal y rotativo

Los costos de materiales que se utilizaron para el mantenimiento correctivo del filtro horizontal se demuestran en la tabla VII. El mantenimiento desarrollado al filtro fue: revisión del grosor en láminas laterales del filtro horizontal observándose desgaste por fricción, cambio por desgaste de angular de $\frac{1}{4} \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ " que sirve de riel para las tablillas del filtro. Al conductor inclinado se le detectó que su lámina de fondo se encontraba delgada respecto a su grosor original. A láminas laterales del conductor inclinado se les realizaron los exámenes de grosor, detectándose un desgaste grande y se procedió al cambio.

En la tabla VII se muestran los materiales empleados en la reparación del filtro horizontal de jugo crudo, indicando los precios que se manejan en el Ingenio La Unión.

Tabla VII. Listado de materiales utilizados en filtro horizontal

FILTRO HORIZONTAL			
Material	cantidad	Precio (Q)	Total (Q)
Electrodo 1/8" E7018	60 lbs	8,65/lb	519,00
Electrodo 1/8" E6011	30 lbs	8,8/lbs	264,00
Tela filtrante inoxidable	6	3 624,80	21 748,80
Electrodo inoxidable	6,75 lbs	39,24/lbs	264,87
Angular 1/4" 2 1/2X 2 1/2	107 p	15,15/pie	1 621,05
Lamina 1/2"hierro negro	99 p	71,15/pie	7 043,85
Lamina 3/8"hierro negro	138 p	52,50/pie	7 245,00
Tablilla 1 ¹ / ₄ " 4" 43"	50	175,00	8 750,00
Tablilla 1 ¹ / ₄ " 4" 29"	45	105,00	4 725,00
Cadena azucarera modelo 4103 aditamento F29, de 5 eslabones marca ALLIED-LOCKE	450	568,00	255 600,00
Total			307 781,57

Fuente: elaboración propia.

Los costo de la mano de obra empleada para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo al filtro horizontal, que se desglosan en la tabla VIII, fueron proporcionados por el supervisor del área. Se muestra la lista de colaboradores encargados de realizar los mantenimientos al filtro horizontal y al conductor inclinado.

Tabla VIII. Mano de obra en mantenimiento de filtro horizontal

FILTRO HORIZONTAL			
Puesto	salario/día (Q)	Días laborados	Sueldo/reparación (Q)
Mecánico	97,00	10	970,00
Ayudante	56,00	10	560,00
soldador	150,00	20	3 000,00
Ayudante	56,00	20	1 120,00
Total			5 650,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total del mantenimiento preventivo del filtro horizontal y conductor inclinado, será la suma de los materiales utilizados y la mano de obra encargada de realizar los trabajos. Este asciende a la cantidad de trescientos trece mil cuatrocientos treinta y un quetzales con cincuenta y siete centavos.

Los materiales utilizados para desarrollar el mantenimiento preventivo al filtro rotativo se mostraran en la tabla IX. Dicho mantenimiento comprende:

- Revisión de chumaceras; grosor de ejes, estado de cojinetes, revisión de manguito de sujeción de eje
- Revisión de cordones de soldaduras en filtro rotativo
- Chequeo de telas filtrantes en busca de fisuras o rupturas
- Chequeo de aceite motorreductor
- Revisión de cadena de transmisión.

Figura 39. Revisión de chumaceras y eje en filtro rotativo



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 40. Chumacera *pillow block* modelo SNL 616 marca SKF, de filtro rotativo



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 41. Revisión de soldadura en estructura del filtro rotativo



Fuente: Ingenio La Unión.

Tabla IX. Materiales utilizados en el mantenimiento de filtro rotativo

FILTRO ROTATIVO			
Material	Cantidad	Precio (Q)	Total (Q)
Electrodo $3/32$ " E308 inoxidable	4,5 libras	39,24/lbs	176,58
		total	176,58

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X. Se muestran los colaboradores que realizaron mantenimiento preventivo al filtro rotativo, con datos proporcionados por el supervisor del área.

Tabla X. Mano de obra para mantenimiento de filtro rotativo

FILTRO ROTATIVO			
Puesto	Salario/día (Q)	Días laborados	Sueldo/reparación (Q)
Mecánico	97,00	5	485,00
Ayudante	56,00	5	280,00
Soldador	150,00	10	1 500,00
Ayudante	56,00	10	560,00
Total			2 825,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total de la reparación del filtro rotativo comprende la mano de obra más los costos de materiales, ascendiendo a la cantidad de tres mil un quetzales con cincuenta y ocho centavos.

2.6.8. Elección del sistema de filtrado a implementar en el tándem A

Para seleccionar el sistema más adecuado para el proceso de filtración de jugo crudo de los molinos uno y dos en el tándem A, se hará la comparación del funcionamiento de ambos filtros de jugo crudo instalados y se analizarán los beneficios que proporcionará al ingenio. Estos se desglosan a continuación:

- El volumen de bagazo separado del jugo crudo por filtro horizontal es de 22 ton/h y del filtro rotativo se obtuvo la cantidad de 21,83 ton/h. La diferencia de toneladas/hora en los filtros es de 0,171 ton/h, tomando en cuenta que el tándem A maneja mayor capacidad de molienda al tándem B.

- Los porcentajes de humedad en fibras que provenían del filtro horizontal y rotativo, revelaron que el filtro horizontal trabaja con un alto porcentaje de humedad en comparación del filtro rotativo, dando una carga extra al molino número dos, como se apreció en la figura 34.
- Los análisis hechos al jugo crudo en el tándem A demostraron que existe una cantidad alta de contaminación de bacterias en el filtro horizontal, el cual contamina al jugo que es almacenado en los tanques de jugo primario y mezclado. De igual forma existe contaminación en el filtro rotativo, pero la cantidad de bacterias que se encuentran en él es mucho menor a la del filtro horizontal como se apreció en la figura 37, habiendo una diferencia de 13 colonias. Tomando en cuenta que el aumento es lo que contamina al jugo enviado hacia la fábrica.
- En la limpieza del filtro horizontal se tiene un consumo de 400 a 560 galones por limpieza, mientras que para el filtro rotativo se tiene un consumo de 240 a 360 galones por limpieza. Al utilizar el filtro rotativo se tiene un ahorro de 160 a 200 galones en la limpieza. Dado que los filtros se limpian 12 veces por día, se obtiene un ahorro en el consumo de 1 920 a 2 400 gal/día.
- El consumo energético por día para el filtro horizontal es de 773,3643 kw/día, mientras en el filtro rotativo es de 447,73 kw/día. La diferencia de consumo en los filtros es de 325,6347 kw/día. Esto es el ahorro que obtendría el ingenio con la implementación del filtro rotativo.
- El control de mantenimiento es aún más extenso en el filtro horizontal, esto se debe a que hay que revisar el grosor de las láminas del filtro, conductor inclinado, para detectar un posible desgaste. Una vez que se han detectado

las láminas gastadas se procede a la sustitución de las mismas. Pero se tiene el inconveniente de trabajar en posiciones poco normales, haciendo que el rendimiento de los trabajadores disminuya. Para el filtro horizontal se tiene un mayor espacio para realizar los trabajos y el control del mantenimiento preventivo.

- El costo total del mantenimiento preventivo y correctivo del filtro horizontal asciende a Q. 313 431,57, mientras que el costo de total del mantenimiento preventivo del filtro rotativo es de Q. 3 001,58. Al instalar un filtro rotativo en tándem A sustituyendo al filtro horizontal, se obtendrá un ahorro en mantenimiento de Q. 310 429,99 por zafra.

En base a lo expuesto anteriormente se propone la instalación de un filtro rotativo en sustitución del filtro horizontal. Queda demostrado que el filtro horizontal es un sistema que ya no es apto para la separación de sólidos en el tándem A debido a la contaminación que genera al jugo provenientes de molinos. Tiene un alto costo de mantenimiento, con un más alto consumo de agua utilizada en la limpieza. El consumo de energía para su funcionamiento es también más elevado.

2.7. Propuesta de instalación de filtro rotativo

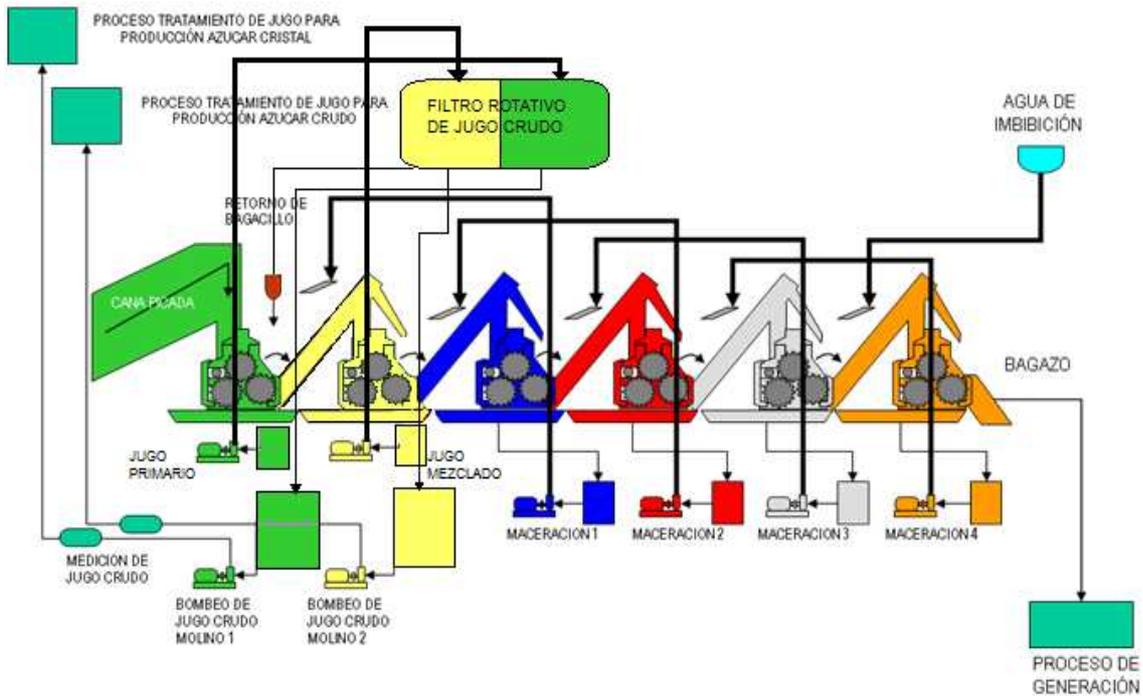
Para aumentar la extracción de cristales de azúcar del jugo que es enviado a fábrica, es necesaria la reducción de bacterias que se localizan en el sistema de filtrado.

La forma en la cual se puede disminuir las poblaciones de bacterias es sustituir el sistema de filtrado que está generando el problema, con el remplazo

completo del filtro horizontal por un filtro rotativo. Con este se obtendrá: aumento en la extracción de cristales de azúcar, menor número de piezas en movimiento, eliminación de piezas fijas en contacto directo con el jugo crudo y los beneficios estudiados en el inciso 2.6.

Como se aprecia en la figura 42, la mejora en el sistema de filtrado será al jugo que es exprimido de los molinos número uno y dos. Como se aprecia el jugo es enviado por medio de bombas hacia el filtro donde es retirado el bagacillo suspendido en el mismo. Una vez que fue filtrado éste llega al tanque de jugo primario o en su defecto al tanque de jugo mezclado, donde después es enviado hacia el proceso del tratamiento del jugo para la producción de azúcar. Si se compara la figura 4 con la figura 42, se puede apreciar la variación en el proceso de filtrado de jugo crudo en el tándem A.

Figura 42. Propuesta para el proceso de filtrado de jugo crudo con el filtro rotativo en el tándem A



Fuente: elaboración propia.

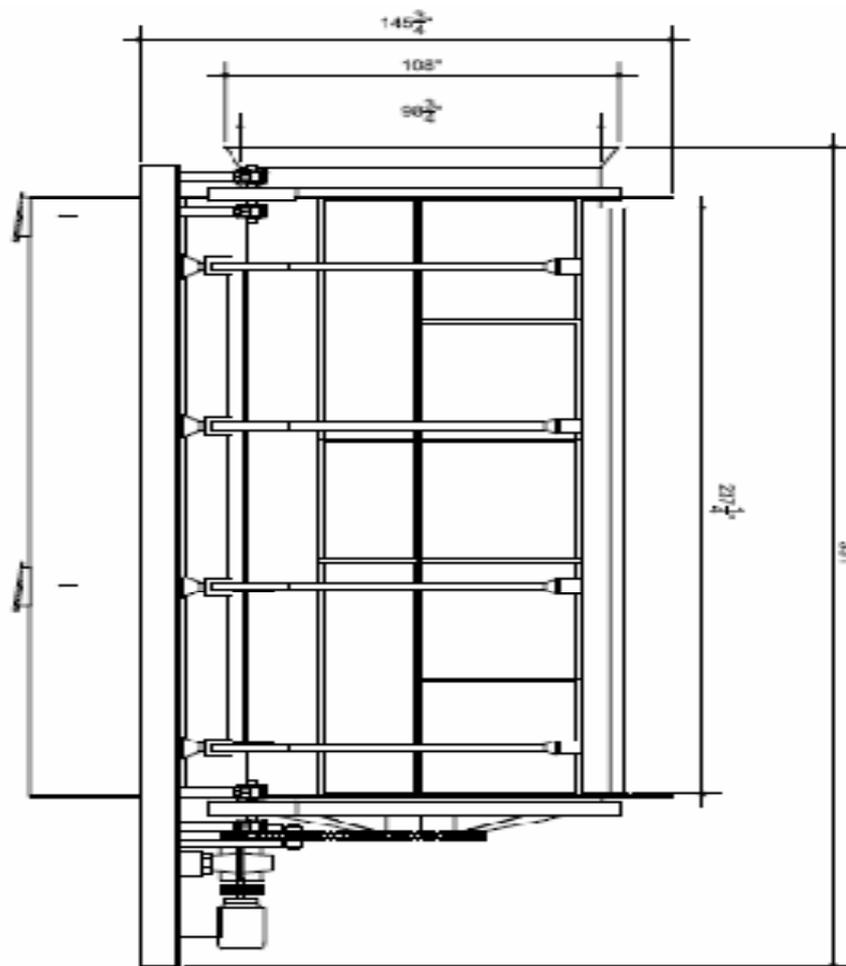
2.7.1. Recolección de información para medidas de equipo

Para determinar el espacio donde se debe instalar el filtro rotativo en el tándem A, se observó la distribución y funcionamiento del filtro rotativo en el tándem B. Al cual se le procedió a obtener las medidas técnicas de funcionamiento entendiéndose inclinación, velocidad de funcionamiento, capacidad del motor eléctrico, tipos de bombas utilizadas.

2.7.1.1. Medidas generales de filtro rotativo

Las medidas generales comprendidas en el filtro rotativo hacen referencia a la altura, ancho, largo total del filtro. Definiendo también las medidas del cuerpo filtrante; diámetro y longitud del cuerpo filtrante.

Figura 43. Filtro rotativo para jugo crudo de caña



Fuente: elaboración propia.

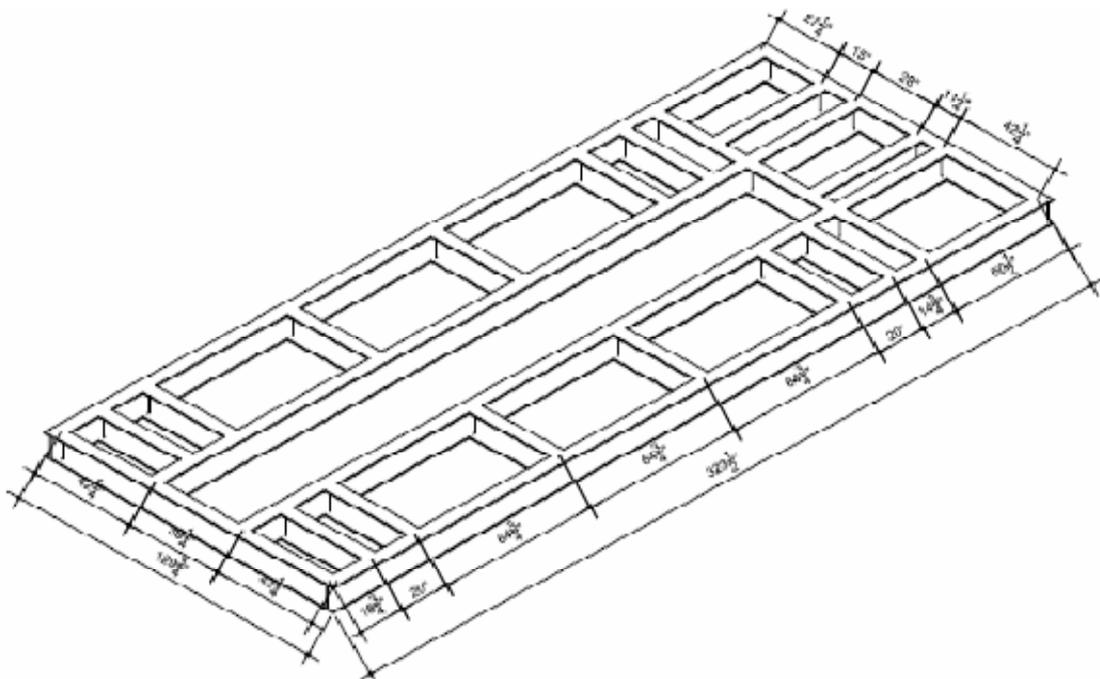
2.7.2. Estructura para la implementación del nuevo sistema de filtrado

Aquí se ampliará la información relacionada con las partes del filtro rotativo, las cuales se describirán en los siguientes incisos.

2.7.2.1. Diseño de estructura que soporta filtro

La estructura que lo soportará se calculará con la siguiente fórmula de flexión $S = \frac{M}{f}$, sf: esfuerzo unitario 24 000, M es el momento máximo de flexión: $(1,4186 \times 2\,396,47) \cdot 1,4186^2 + ((5,40 \times 2\,396,47) - 3,9814 \times 2\,396,47) \cdot 5,40^2 = 634\,985,0$ entonces $S = \frac{634\,985}{24\,000} = 12,76$, con esto se buscara la deflexión y se determinó la viga W8 x 18, pero el ingenio necesita implementar la viga W10 X 22 para resistir mayores cargas.

Figura 44. Estructura de hierro W10 x 22 en la cual se fijan el resto de piezas

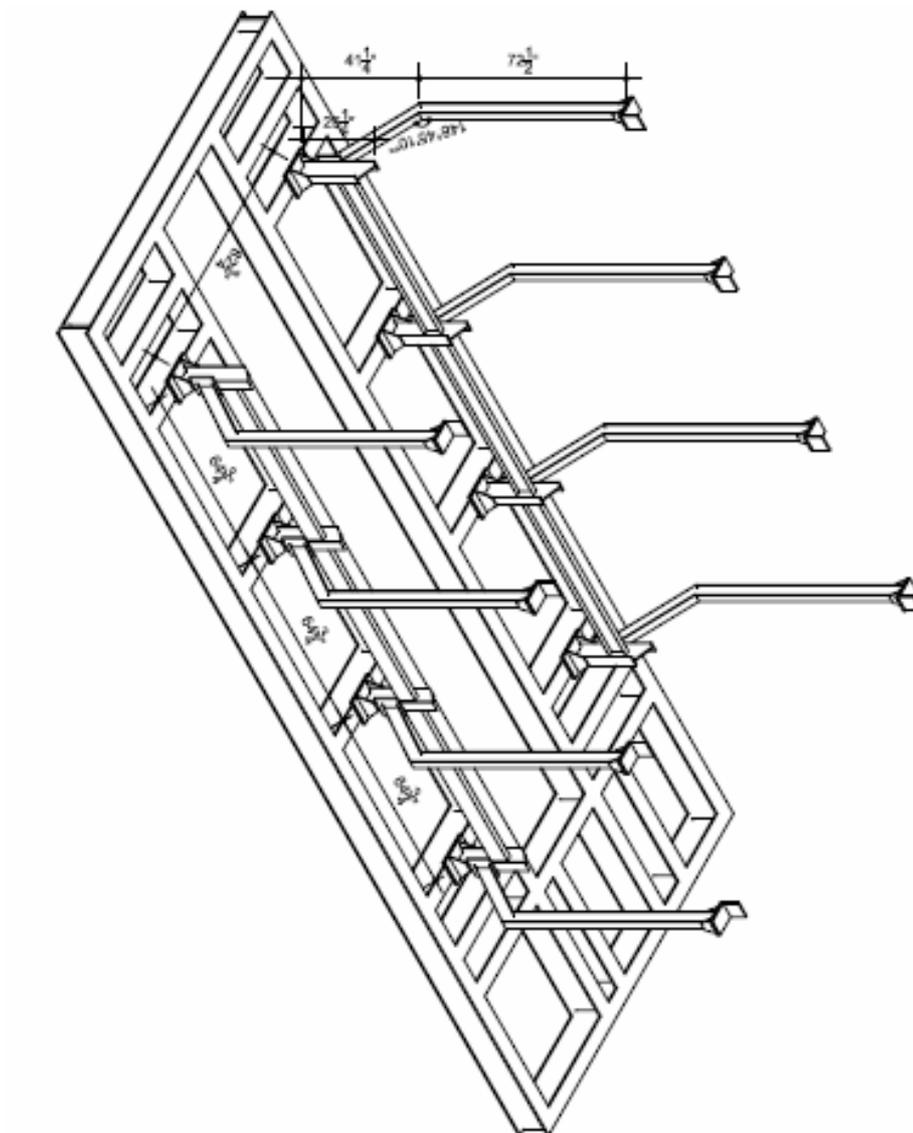


Fuente: elaboración propia.

2.7.2.2. Soportes de estructura para armazón de filtro

Para calcular los soportes de la armazón del filtro se empleará la relación de esbeltez $\frac{kl}{r}$, donde l es la altura de 21 pulg, r se utiliza respecto de giro menor por factor de seguridad siendo de 0,9, carga axial de deformación será $F_a = \frac{149\ 000}{\frac{kl}{r}}$ sustituyendo datos $F_a = \frac{149\ 000}{\frac{1 \times 21}{0,9}} = 273\ 673,4694$ con base a la relación de esbeltez se encontrará la deformación permisible en la viga siendo ésta de 71 976,7 lb, el peso total del armazón es de 5 776,20 lb, como se tiene cuatro soportes se divide en cuatro dando el valor de 722 lb, demostrando que la viga W6 X 12 esta capacitada para resistir más peso del armazón.

Figura 45. Vigas de fierros perfil W6 x12 y W4x13 que soportan el peso de la armazón del filtro

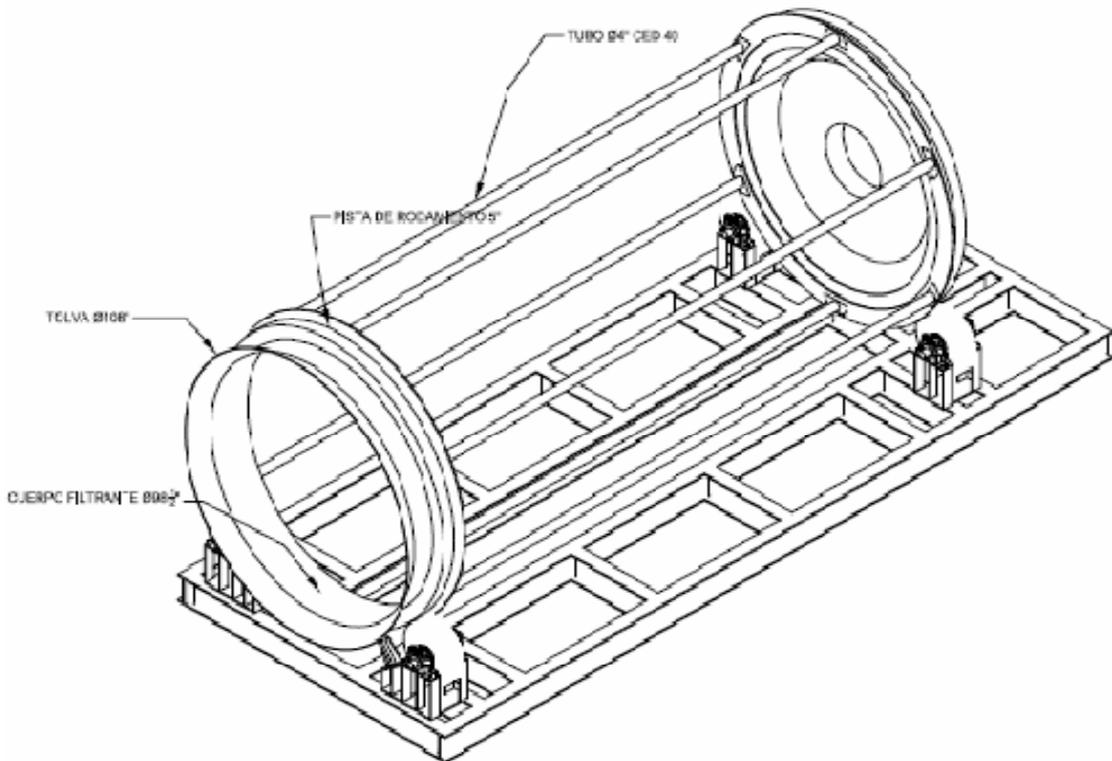


Fuente: elaboración propia.

2.7.2.3. Estructura del cuerpo filtrante

El cuerpo filtrante esta conformado por láminas de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " de espesor y telas de acero inoxidable enrolladas en forma cilíndrica. El cual posee seis tubos de acero inoxidable de $3\frac{1}{2}$ " de cédula 40, los cuales les dan una mayor rigidez al cuerpo filtrante. Esto fue tomado en base al filtro que se encuentra instalado en el tándem B del Ingenio La Unión.

Figura 46. Estructura de tubos que dan la rigidez necesaria a las telas del filtro



Fuente: elaboración propia.

2.7.2.5. Tubería transportadora de jugo caña hacia filtro

El jugo que es impulsado por la bombas a través de las tuberías hacia el filtro rotativo es transportado por tuberías de diferentes diámetros entre los cuales se encuentra 6" & 8" de diámetro, ambos de cédula 10 y S.S.304

Figura 48. Tubería de 8" por la cual circula el jugo proveniente de los molinos hacia el filtro rotativo



Fuente: Ingenio La Unión.

2.7.2.6. Tubería transportadora de jugo filtrado hacia depósito

Una vez que el jugo ha pasado por las telas es recolectado por la armazón y es enviado a los tanques de jugos, en este recorrido se pueden observar tubos de 10" de diámetro, S.S. 304, cédula 10

Figura 49. Tubería de 10" en la cual circula el jugo de que es pasado por las telas filtrantes hacia los tanques de almacenamiento



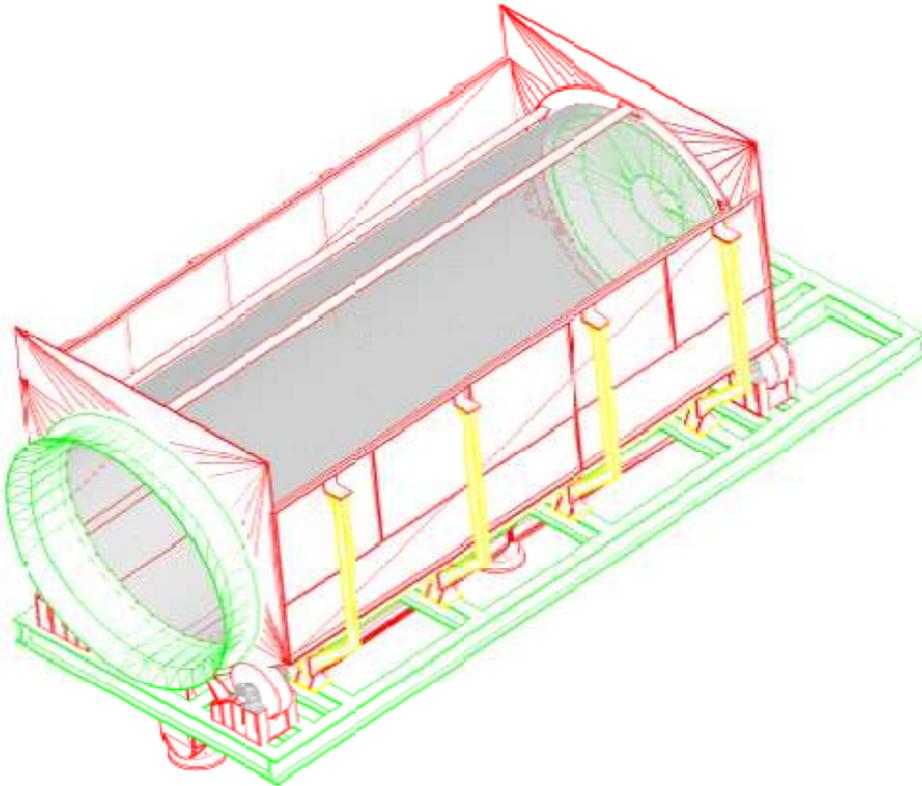
Fuente: Ingenio La Unión.

2.7.2.7. Inclinación requerida para correcta evacuación de sólidos.

La inclinación es de gran importancia en el filtro rotativo. Esto se debe a que al tener menor inclinación el tiempo de retención de las fibras dentro del filtro es mayor, lo cual podría generar una sobrecarga al sistema. Si el ángulo es muy alto éste evacuaría con mucha rapidez las fibras y por consecuencia se incrementaría el nivel de humedad en las fibras.

Esto se desarrolló en base al filtro instalado en el tándem B, de igual forma se tomó información del filtro rotativo instalado en el Ingenio Santa Ana el cual tenía una inclinación de 7 grados. De igual forma se tomaron los datos del Ingenio Magdalena, por lo cual el rango se encuentra entre 6 a 7 grados. Debido a lo anterior se utilizará una inclinación de $6,2^{\circ}$

Figura 50. Inclinación de 6,2° en filtro rotativo para realizar una correcta evacuación de sólidos.

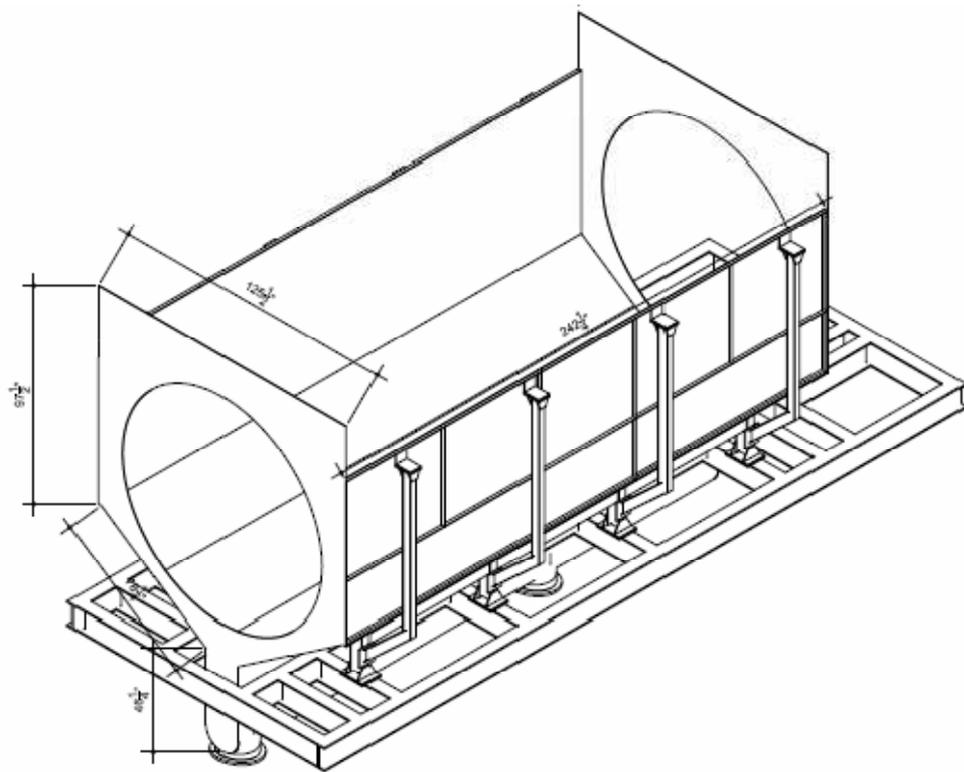


Fuente: elaboración propia.

2.7.2.8. Armazón de filtro

El armazón del filtro es de gran importancia. Esto se debe a que al no contar con el armazón, el jugo que es pasado a través de las telas filtrantes se derramarían. También protege al jugo del polvo y otros agentes que se encuentran en el ambiente. El armazón está fabricado en lámina según especificación de norma ASTM para acero inoxidable de un 1/8", angulares de 2"x2"x1/4"

Figura 51. Armazon del filtro rotativo



Fuente: elaboracion propia.

2.7.3. Selección de motor eléctrico

El motor eléctrico es el que moverá el sistema de filtrado de jugo. Este debe ser acorde a la carga que recibe por parte del jugo enviado de molinos. Si éste no tiene la capacidad suficiente, al hacer girar el filtro hará un mayor consumo de energía, lo que se observará en los amperios consumidos.

Para calcular la potencia del motor se partirá de la velocidad de funcionamiento del filtro rotativo siendo ésta de 7,5 rpm. En base a lo anterior será calculada la velocidad de salida del motorreductor, con la siguiente fórmula:

$$N_1 D_1 = N_2 D_2$$

Donde:

- N₁: es la velocidad del *sprocket* de filtro rotativo
- D₁: dientes del *sprocket* de filtro rotativo
- N₂: es la velocidad del *sprocket* de motorreductor
- D₂: dientes de *sprocket* de motorreductor

Despejando N₂ queda la siguiente fórmula:

$$\frac{N_1 D_1}{D_2} = N_2$$

$$\frac{7,5 \text{ rpm (54)}}{14} = 28,9285 \text{ rpm}$$

El peso del cuerpo filtrante es de 8 852,5421 lb, en el cual lleva comprendido el peso de las telas filtrantes, tubos de rigidez de S.S. inoxidable 4", hembras 1/8" x 2" x 20', hembra 1/4" x 4" x 20', láminas de acero inoxidable 1/4", lamina inoxidable 3/4", lámina de hierro negro 4", lámina de hierro negro de 1/2", lámina hierro negro 3/4", soldaduras, cadena de transmisión de velocidad simple RC 160, *sprocket* 140A 42H. La capacidad de retención de bagazo retenido en el filtro será mayor o igual a 733,33 lb.

Para la determinación del torque necesario para poner en movimiento el filtro se empleará la siguiente fórmula:

$$T=Pr$$

Donde:

T: torque

P: peso del filtro + bagazo desechado de filtro

r: radio o brazo de aplicación de la fuerza

$$T=(8\ 852,5421\ \text{lb}+733,33\ \text{lb})(3,28')= 31\ 441,66\ \text{lbs.pie}$$

Para calcular la capacidad del motor eléctrico se utilizará la siguiente fórmula:

$$T=\frac{Hp(63\ 025)}{\text{rpm}}$$

Donde:

T= torque necesario para poner en marcha el sistema.

Hp= potencia del motor eléctrico.

63 025= constante de fórmula.

Rpm= a la salida del reductor.

Despejando la formula, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{T(\text{rpm})}{63\ 025} = \text{Hp}$$

Sustituyendo los datos obtenidos en la fórmula se llega a lo que se muestra a continuación:

$$\text{hp} = \frac{31\ 441,66 \text{ lb.pie}(28,9285)}{63\ 025} = 14,4317 \text{ Hp}$$

El motor recomendado para el funcionamiento del filtro horizontal será de 15 Hp. El ingenio utilizará un motor de 20 Hp debido a que la Unión busca la estandarización comercial de sus equipos, en razón de los repuestos que se adquieren, por ello se utilizará un motor con una capacidad de 20 Hp.

2.7.3.1. Especificación de motor

El motor a utilizar en filtro rotativo será:

- 20 Hp
- 60 hz
- 1 760 Rpm

- 440 voltios
- 23,6 amperios

2.7.3.2. Caja reductora

La caja reductora de velocidad o motorreductor, es un equipo mecánico que reduce la velocidad de un motor eléctrico por medio de una serie de engranajes, los que reducen de acuerdo a una relación o tasa fija (ratio: que es la relación de la velocidad de entrada sobre la velocidad de salida), transfiriendo la potencia y amplificando el torque.

2.7.3.2.1. Especificación de caja reductora

El motorreductor necesario para mover el filtro rotativo debe reducir la velocidad de entrada y aumentar el torque que ingresa en el mismo, Para determinar el motorreductor empleado para poner en marcha al filtro rotativo se emplearán los siguientes datos:

- Torque: 31 441,66 lb-pie
- Velocidad de entrada: 1 750 rpm
- Velocidad de salida: 28,9285 rpm
- Ratio: 60,49
- Factor de servicio: 1,5 esto se debe a velocidad de salida y el torque empleado

Utilizando los datos mencionados antes se procede a la selección del equipo por medio de la tabla de *folk*, mostrada en la figura 52. Al ubicar la velocidad de entrada y salida se busca el torque igual o más cercano al valor obtenido. Obteniendo el modelo de reductor siendo 2 060Y3

Donde:

- 2 060: es el número de la unidad.
- Y: es el tipo de reductor el cual es de eje paralelos.
- 3: es la reducción aplicada, siendo una reducción triple.

Figura 52. Tabla de selección de motor reductor del catalogo *folk*

Type Y3/Torque Ratings		Ratios 52.11 through 291.9 Triple Reduction 1750 through 1170 rpm																			(POUND-INCHES AT LOW SPEED SHAFT ... MULTIPLY VALUES LISTED BELOW BY 1000)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
High Speed Shaft rpm	Nominal Ratios ±4%	Approx. L.S. Shaft rpm	UNIT SIZE*																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120	2125	2130	2135	2140	2145	2150	2155	2160	2165	2170	2175	2180	2185	2190	2195																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1750	52.11	34	26.2	28.5	30.8	33.1	35.4	37.7	40.0	42.3	44.6	46.9	49.2	51.5	53.8	56.1	58.4	60.7	63.0	65.3	67.6	70.0	72.3	74.7	77.0	79.4	81.7	84.1	86.4	88.8	91.1	93.5	95.8	98.2	100.5	102.9	105.2	107.6	110.0	112.3	114.7	117.0	119.4	121.8	124.1	126.5	128.8	131.2	133.5	135.9	138.2	140.6	142.9	145.3	147.6	150.0	152.3	154.7	157.0	159.4	161.7	164.1	166.4	168.8	171.1	173.5	175.8	178.2	180.5	182.9	185.2	187.6	190.0	192.3	194.7	197.0	199.4	201.7	204.1	206.4	208.8	211.1	213.5	215.8	218.2	220.5	222.9	225.2	227.6	230.0	232.3	234.7	237.0	239.4	241.7	244.1	246.4	248.8	251.1	253.5	255.8	258.2	260.5	262.9	265.2	267.6	270.0	272.3	274.7	277.0	279.4	281.7	284.1	286.4	288.8	291.1	293.5	295.8	298.2	300.5	302.9	305.2	307.6	310.0	312.3	314.7	317.0	319.4	321.7	324.1	326.4	328.8	331.1	333.5	335.8	338.2	340.5	342.9	345.2	347.6	350.0	352.3	354.7	357.0	359.4	361.7	364.1	366.4	368.8	371.1	373.5	375.8	378.2	380.5	382.9	385.2	387.6	390.0	392.3	394.7	397.0	399.4	401.7	404.1	406.4	408.8	411.1	413.5	415.8	418.2	420.5	422.9	425.2	427.6	430.0	432.3	434.7	437.0	439.4	441.7	444.1	446.4	448.8	451.1	453.5	455.8	458.2	460.5	462.9	465.2	467.6	470.0	472.3	474.7	477.0	479.4	481.7	484.1	486.4	488.8	491.1	493.5	495.8	498.2	500.5	502.9	505.2	507.6	510.0	512.3	514.7	517.0	519.4	521.7	524.1	526.4	528.8	531.1	533.5	535.8	538.2	540.5	542.9	545.2	547.6	550.0	552.3	554.7	557.0	559.4	561.7	564.1	566.4	568.8	571.1	573.5	575.8	578.2	580.5	582.9	585.2	587.6	590.0	592.3	594.7	597.0	599.4	601.7	604.1	606.4	608.8	611.1	613.5	615.8	618.2	620.5	622.9	625.2	627.6	630.0	632.3	634.7	637.0	639.4	641.7	644.1	646.4	648.8	651.1	653.5	655.8	658.2	660.5	662.9	665.2	667.6	670.0	672.3	674.7	677.0	679.4	681.7	684.1	686.4	688.8	691.1	693.5	695.8	698.2	700.5	702.9	705.2	707.6	710.0	712.3	714.7	717.0	719.4	721.7	724.1	726.4	728.8	731.1	733.5	735.8	738.2	740.5	742.9	745.2	747.6	750.0	752.3	754.7	757.0	759.4	761.7	764.1	766.4	768.8	771.1	773.5	775.8	778.2	780.5	782.9	785.2	787.6	790.0	792.3	794.7	797.0	799.4	801.7	804.1	806.4	808.8	811.1	813.5	815.8	818.2	820.5	822.9	825.2	827.6	830.0	832.3	834.7	837.0	839.4	841.7	844.1	846.4	848.8	851.1	853.5	855.8	858.2	860.5	862.9	865.2	867.6	870.0	872.3	874.7	877.0	879.4	881.7	884.1	886.4	888.8	891.1	893.5	895.8	898.2	900.5	902.9	905.2	907.6	910.0	912.3	914.7	917.0	919.4	921.7	924.1	926.4	928.8	931.1	933.5	935.8	938.2	940.5	942.9	945.2	947.6	950.0	952.3	954.7	957.0	959.4	961.7	964.1	966.4	968.8	971.1	973.5	975.8	978.2	980.5	982.9	985.2	987.6	990.0	992.3	994.7	997.0	999.4	1001.7	1004.1	1006.4	1008.8	1011.1	1013.5	1015.8	1018.2	1020.5	1022.9	1025.2	1027.6	1030.0	1032.3	1034.7	1037.0	1039.4	1041.7	1044.1	1046.4	1048.8	1051.1	1053.5	1055.8	1058.2	1060.5	1062.9	1065.2	1067.6	1070.0	1072.3	1074.7	1077.0	1079.4	1081.7	1084.1	1086.4	1088.8	1091.1	1093.5	1095.8	1098.2	1100.5	1102.9	1105.2	1107.6	1110.0	1112.3	1114.7	1117.0	1119.4	1121.7	1124.1	1126.4	1128.8	1131.1	1133.5	1135.8	1138.2	1140.5	1142.9	1145.2	1147.6	1150.0	1152.3	1154.7	1157.0	1159.4	1161.7	1164.1	1166.4	1168.8	1171.1	1173.5	1175.8	1178.2	1180.5	1182.9	1185.2	1187.6	1190.0	1192.3	1194.7	1197.0	1199.4	1201.7	1204.1	1206.4	1208.8	1211.1	1213.5	1215.8	1218.2	1220.5	1222.9	1225.2	1227.6	1230.0	1232.3	1234.7	1237.0	1239.4	1241.7	1244.1	1246.4	1248.8	1251.1	1253.5	1255.8	1258.2	1260.5	1262.9	1265.2	1267.6	1270.0	1272.3	1274.7	1277.0	1279.4	1281.7	1284.1	1286.4	1288.8	1291.1	1293.5	1295.8	1298.2	1300.5	1302.9	1305.2	1307.6	1310.0	1312.3	1314.7	1317.0	1319.4	1321.7	1324.1	1326.4	1328.8	1331.1	1333.5	1335.8	1338.2	1340.5	1342.9	1345.2	1347.6	1350.0	1352.3	1354.7	1357.0	1359.4	1361.7	1364.1	1366.4	1368.8	1371.1	1373.5	1375.8	1378.2	1380.5	1382.9	1385.2	1387.6	1390.0	1392.3	1394.7	1397.0	1399.4	1401.7	1404.1	1406.4	1408.8	1411.1	1413.5	1415.8	1418.2	1420.5	1422.9	1425.2	1427.6	1430.0	1432.3	1434.7	1437.0	1439.4	1441.7	1444.1	1446.4	1448.8	1451.1	1453.5	1455.8	1458.2	1460.5	1462.9	1465.2	1467.6	1470.0	1472.3	1474.7	1477.0	1479.4	1481.7	1484.1	1486.4	1488.8	1491.1	1493.5	1495.8	1498.2	1500.5	1502.9	1505.2	1507.6	1510.0	1512.3	1514.7	1517.0	1519.4	1521.7	1524.1	1526.4	1528.8	1531.1	1533.5	1535.8	1538.2	1540.5	1542.9	1545.2	1547.6	1550.0	1552.3	1554.7	1557.0	1559.4	1561.7	1564.1	1566.4	1568.8	1571.1	1573.5	1575.8	1578.2	1580.5	1582.9	1585.2	1587.6	1590.0	1592.3	1594.7	1597.0	1599.4	1601.7	1604.1	1606.4	1608.8	1611.1	1613.5	1615.8	1618.2	1620.5	1622.9	1625.2	1627.6	1630.0	1632.3	1634.7	1637.0	1639.4	1641.7	1644.1	1646.4	1648.8	1651.1	1653.5	1655.8	1658.2	1660.5	1662.9	1665.2	1667.6	1670.0	1672.3	1674.7	1677.0	1679.4	1681.7	1684.1	1686.4	1688.8	1691.1	1693.5	1695.8	1698.2	1700.5	1702.9	1705.2	1707.6	1710.0	1712.3	1714.7	1717.0	1719.4	1721.7	1724.1	1726.4	1728.8	1731.1	1733.5	1735.8	1738.2	1740.5	1742.9	1745.2	1747.6	1750.0	1752.3	1754.7	1757.0	1759.4	1761.7	1764.1	1766.4	1768.8	1771.1	1773.5	1775.8	1778.2	1780.5	1782.9	1785.2	1787.6	1790.0	1792.3	1794.7	1797.0	1799.4	1801.7	1804.1	1806.4	1808.8	1811.1	1813.5	1815.8	1818.2	1820.5	1822.9	1825.2	1827.6	1830.0	1832.3	1834.7	1837.0	1839.4	1841.7	1844.1	1846.4	1848.8	1851.1	1853.5	1855.8	1858.2	1860.5	1862.9	1865.2	1867.6	1870.0	1872.3	1874.7	1877.0	1879.4	1881.7	1884.1	1886.4	1888.8	1891.1	1893.5	1895.8	1898.2	1900.5	1902.9	1905.2	1907.6	1910.0	1912.3	1914.7	1917.0	1919.4	1921.7	1924.1	1926.4	1928.8	1931.1	1933.5	1935.8	1938.2	1940.5	1942.9	1945.2	1947.6	1950.0	1952.3	1954.7	1957.0	1959.4	1961.7	1964.1	1966.4	1968.8	1971.1	1973.5	1975.8	1978.2	1980.5	1982.9	1985.2	1987.6	1990.0	1992.3	1994.7	1997.0	1999.4	2001.7	2004.1	2006.4	2008.8	2011.1	2013.5	2015.8	2018.2	2020.5	2022.9	2025.2	2027.6	2030.0	2032.3	2034.7	2037.0	2039.4	2041.7	2044.1	2046.4	2048.8	2051.1	2053.5	2055.8	2058.2	2060.5	2062.9	2065.2	2067.6	2070.0	2072.3	2074.7	2077.0	2079.4	2081.7	2084.1	2086.4	2088.8	2091.1	2093.5	2095.8	2098.2	2100.5	2102.9	2105.2	2107.6	2110.0	2112.3	2114.7	2117.0	2119.4	2121.7	2124.1	2126.4	2128.8	2131.1	2133.5	2135.8	2138.2	2140.5	2142.9	2145.2	2147.6	2150.0	2152.3	2154.7	2157.0	2159.4	2161.7	2164.1	2166.4	2168.8	2171.1	2173.5	2175.8	2178.2	2180.5	2182.9	2185.2	2187.6	2190.0	2192.3	2194.7	2197.0	2199.4	2201.7	2204.1	2206.4	2208.8	2211.1	2213.5	2215.8	2218.2	2220.5	2222.9	2225.2	2227.6	2230.0	2232.3	2234.7	2237.0	2239.4	2241.7	2244.1	2246.4	2248.8	2251.1	2253.5	2255.8	2258.2	2260.5	2262.9	2265.2	2267.6	2270.0	2272.3	2274.7	2277.0	2279.4	2281.7	2284.1	2286.4	2288.8	2291.1	2293.5	2295.8	2298.2	2300.5	2302.9	2305.2	2307.6	2310.0	2312.3	2314.7	2317.0	2319.4	2321.7	2324.1	2326.4	2328.8	2331.1	2333.5	2335.8	2338.2	2340.5	2342.9	2345.2	2347.6	2350.0	2352.3	2354.7	2357.0	2359.4	2361.7	2364.1	2366.4	2368.8	2371.1	2373.5	2375.8	2378.2	2380.5	2382.9	2385.2	2387.6	2390.0	2392.3	2394.7	2397.0	2399.4	2401.7	2404.1	2406.4	2408.8	2411.1	2413.5	2415.8	2418.2	2420.5	2422.9	2425.2	2427.6	2430.0	2432.3	2434.7	2437.0	2439.4	2441.7	2444.1	2446.4	2448.8	2451.1	2453.5	2455.8	2458.2	2460.5	2462.9	2465.2	2467.6	2470.0	2472.3	2474.7	2477.0	2479.4	2481.7	2484.1	2486.4	2488.8	2491.1	2493.5	2495.8	2498.2	2500.5	2502.9	2505.2	2507.6	2510.0	2512.3	2514.7	2517.0	2519.4	2521.7	2524.1	2526.4	2528.8	2531.1	2533.5	2535.8	2538.2	2540.5	2542.9	2545.2	2547.6	2550.0	2552.3	2554.7	2557.0	2559.4	2561.7	2564.1	2566.4	2568.8	2571.1	2573.5	2575.8	2578.2	2580.5	2582.9	2585.2	2587.6	2590.0	2592.3	2594.7	2597.0	2599.4	2601.7	2604.1	2606.4	2608.8	2611.1	2613.5	2615.8	2618.2	2620.5	2622.9	2625.2	2627.6	2630.0	2632.3	2634.7	2637.0	2639.4	2641.7	2644.1	2646.4	2648.8	2651.1	2653.5	2655.8	2658.2

Para obtener el acoplamiento que unirá el motor con el motorreductor y se utilizará la siguiente fórmula:

$$T_{\text{equi}} = \left(\frac{63\,000 \times \text{HP} \times \text{s.f.}}{\text{rpm}} \right)$$

Donde:

T_{equi} = torque equivalente en el acoplamiento

H_p = de motor

s.f. = factor de servicio del motorreductor

Rpm = velocidad de entrada en motorreductor

Sustituyendo datos en el formula obtendremos:

$$T_{\text{equi}} = \left(\frac{63\,000 \times 20 \times 1,5}{1750} \right) = 43\,572,947 \text{ lb.pie}$$

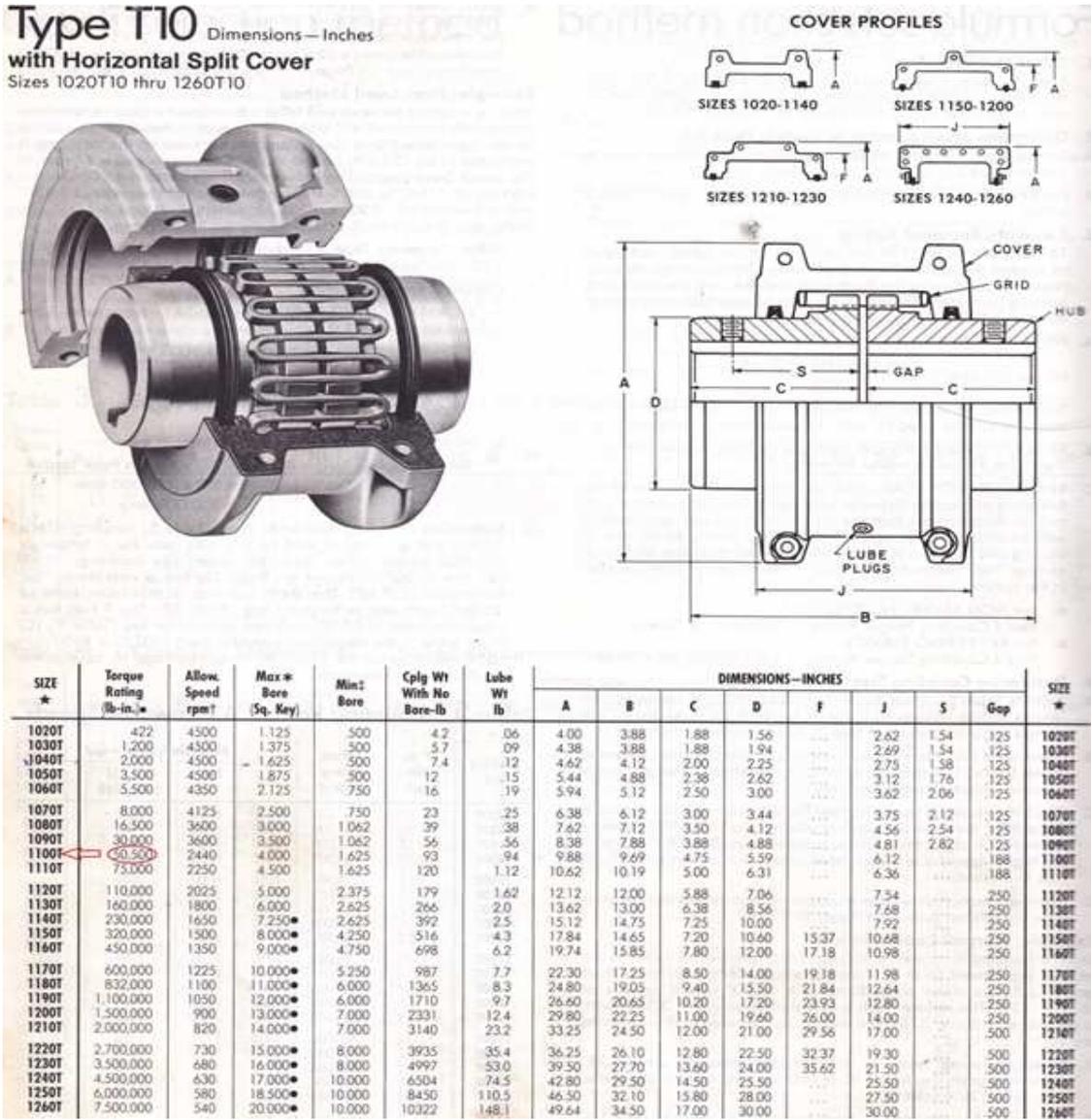
El torque mínimo que se requiere para mover el filtro rotativo será de 43 572,947 lb.pie con un funcionamiento a temperatura ambiente.

En base a los requerimientos establecidos por el ingenio se utilizará el modelo T10 en el acoplamiento del motor con el reductor. Para la selección del acoplamiento se utilizará el valor obtenido del torque y la figura 53, buscando y comparando el valor cercano del torque de la tabla. Una vez ubicado se procede a la selección determinando el acoplamiento el cual es 1 100T10

Donde:

- 1 100T: tamaño del acoplamiento requerido por el fabricante
- T10: tipo de acoplamiento, división horizontal de cubierta.

Figura 53. Tabla para la determinación del acoplamiento



Fuente: catalogo de falk.

Los datos obtenidos previamente se agruparán para obtener las especificaciones del motorreductor que son:

- Motorreductor 2 060Y3
- Velocidad de entrada 1 750 Rpm
- Velocidad de salida 30 Rpm
- Ratio; relación de velocidad de entrada dividido velocidad de salida 57,66
- Par o torque de salida 45 500 lb-pie
- Acoplamiento 1 100T10

Figura 54. **Motor reductor de ejes paralelos**



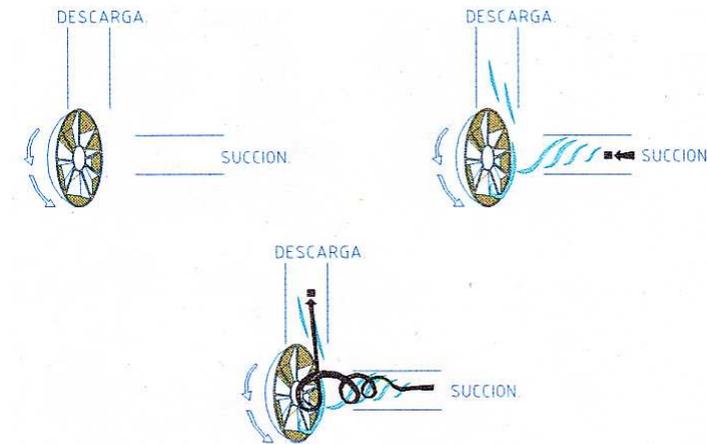
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/reductores-de-velocidad-o-motorreductores.html>.

2.7.4. Bombas de jugo crudo

Son equipos que transforman la energía mecánica en energía cinética generando presión y velocidad a los líquidos que circulan por ella. Para transportar el jugo crudo proveniente de los molinos uno y dos hacia el filtro rotativo se requieren bombas que manejen grandes cantidades de sólidos suspendidos, entiéndase arenas y bagacillo en el jugo. Los problemas que se observan en los equipos de bombeo al estar en contacto con sólidos son: atascamiento y desgaste de piezas.

Este tipo de bomba es empleada en los tándemes de molinos obteniendo buenos resultados. La bomba centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica, como se observa en la figura 55. De manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas, produciendo un vórtice que impulsa el jugo, evitando el contacto con las paletas y reduciendo así el desgaste de las piezas internas por el contacto de los sólidos.

Figura 55. Diagrama de funcionamiento de la bomba centrífuga



Fuente: elaboración propia.

2.7.4.1. Especificaciones de bomba

Para determinar la bomba centrífuga que se empleará para transportar el jugo crudo de molinos hacia el filtro horizontal, se deberá determinar la cabeza de trabajo o altura dinámica de la bomba (H_B). Sabiendo que se deben enviar 1 200 gpm en una tubería de 8" de diámetro, se realizará el siguiente cálculo.

$$H_B = h_{ftotal} + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Donde:

H_B = cabeza de trabajo

h_{ftotal} = pérdida de carga total

P = presión de salida

ρ = densidad del agua 1 000 kg/m³

g = coeficiente de gravedad 9,8 m/s²

- v= velocidad de salida del liquido
- z= altura de tubería respecto de la bomba 9,69 m

Primero se calcula la velocidad de salida en la tubería del líquido utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = vA$$

Donde:

$$Q = 1\,200 \text{ gpm} = 0,075707 \text{ m}^3/\text{s}$$

A= sección interna de la tubería

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (8/39,37008)^2}{4} = 0,03243 \text{ m}^2$$

Despejando la velocidad de la fórmula del caudal se obtendrá lo siguiente

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,075706 \text{ m}^3/\text{s}}{0,03242 \text{ m}^2} = 2,3345 \text{ m/s}$$

Para determinar la presión a la altura de trabajo se utiliza la fórmula de presión:

$$p = \rho h = 9,689 \text{ m} \times 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 9,689 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Después de calcular las pérdidas totales en la tubería con la fórmula:

$$h_{\text{ftotal}} = \frac{f \times l_{\text{eq}} \times v^2}{2Dg}$$

Donde:

f= coeficiente de fricción, 0,04 en tubería de acero limpia

L_{eq} = longitud equivalente

v= velocidad del liquido $2,3345\text{m/s}^2$

D= diámetro de la tubería 0,2032 m

g= coeficiente de gravedad $9,8\text{m/s}^2$

Longitud equivalente es la longitud lineal de la tubería y la longitud equivalente de los accesorios.

$$L_{eq}=l+l_{eq,acc}$$

Longitud lineal de la tubería es de 22,1 metros

La longitud equivalente se toma en base a los accesorios, encontrándose 8 codos de 45° . La longitud equivalente de un accesorio será la siguiente

$$l_{acc}=l \times D = 22,1(0,20312) 4,49 \text{ m/ accesorio}$$

En base a la cantidad obtenida anteriormente de la longitud equivalente de accesorios, esta será multiplicada por el número de accesorios comprendido en tubería $4,49 \text{ m/ accesorio} \times 8 \text{ accesorio} = 35,926 \text{ m}$

$$L_{eq}=l+l_{eq,acc} = 22,1 + 35,926 = 58,026 \text{ m}$$

Sustituyendo datos en la fórmula de la pérdida en tubería se obtendrá lo siguiente:

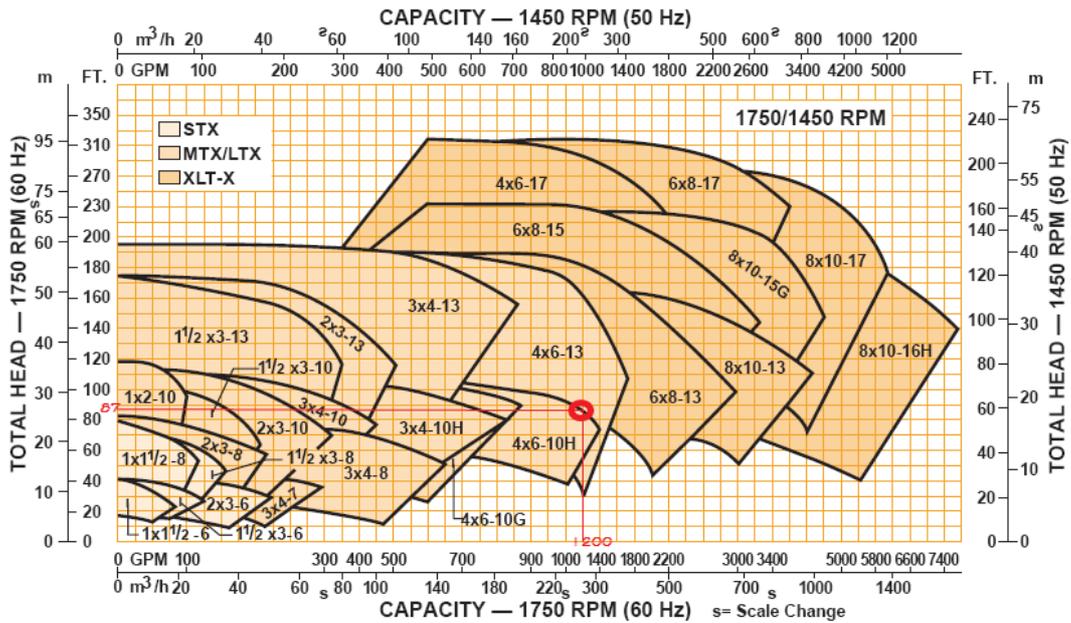
$$h_{\text{ftotal}} = \frac{0,04 \times 58,026 \times 2,3345^2}{2(0,2032)(98)} = 3,1760 \text{ m}$$

Regresando a la fórmula H_B e ingresando los valores numéricos obtenidos en las distintas fórmulas se tendrá lo siguiente:

$$H_B = 3,1760 + \frac{9\,689,0}{1\,000(9,8)} + \frac{2,3345^2}{2(9,8)} + 22,1 = 26,54 \text{ m} = 87 \text{ pies}$$

En base a la cabeza de trabajo y al caudal se procederá a encontrar la bomba necesaria para transportar el líquido. En la figura 56 se muestran las áreas de trabajo de bombas centrífugas de diferente capacidades, se posicionará la cabeza de trabajo que es de 87 pies y caudal siendo este de 1 200 gpm, quedando la intersección en el área de la bomba 4 X 6-10H y cercana al área de la bomba 4 X 6-13

Figura 56. Áreas de trabajo para bombas centrífugas, del catalogo de *Goulds Pumps*

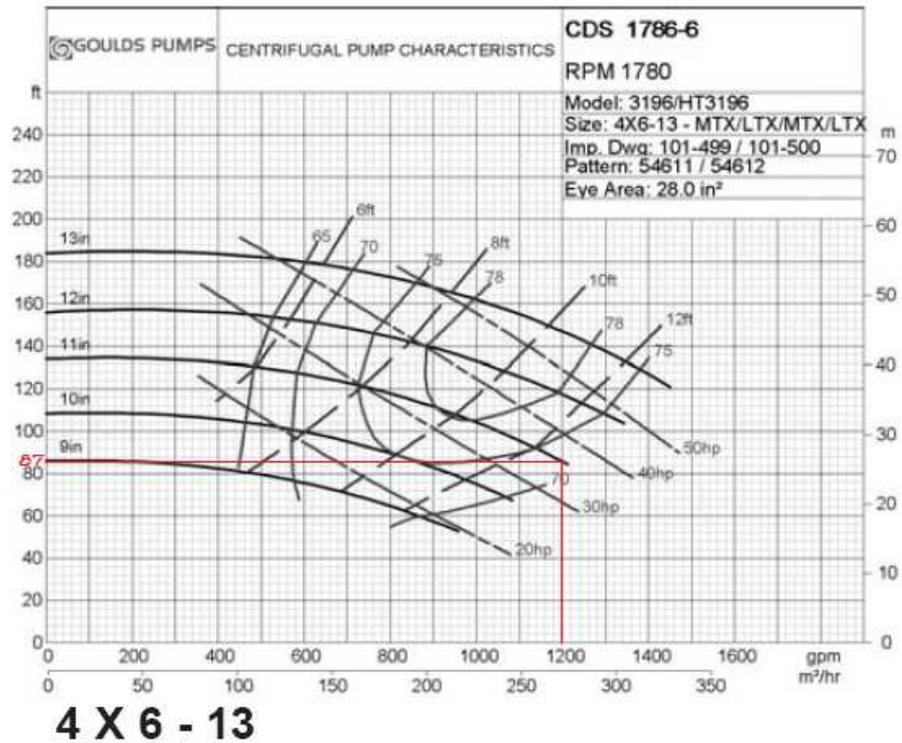


Fuente: catálogo de bombas *Goulds Pumps*.

Debido a que la bomba esta sobre el límite de la región bomba 4x6-10H el funcionamiento será muy ajustado el cual provocará un consumo eléctrico alto por lo que se seleccionará la bomba 4 x 6-13. Procediendo a ver las curvas de funcionamiento en base a la cabeza de trabajo y el caudal, en esta curva se obtendrá el diámetro del impulsor necesario de la bomba para transportar el jugo, como se aprecia en la figura 57.

Se determinó en base a las curvas; el tamaño necesario del impulsor de la bomba que es de 11 pulgadas, potencia del motor eléctrico 40 Hp.

**Figura 57. Curvas de funcionamiento para bomba con tamaño 4x6-13
MTX/LTX/MTX/LTX**



Fuente: catálogo de bombas *Goulds pumps*

Con la información obtenida previamente se describirán las especificaciones básicas de la bomba *goulds pumps* utilizada para enviar el jugo crudo de los molinos hacia en filtro rotativo:

- Bomba centrífuga MTX/LTX
- Tamaño 4 x 6
- 1 200 gpm
- Impulsor de 11"

Motor necesario para hacer funcionar la bomba centrífuga:

- 40 hp
- 1,780 rpm
- 440 V
- 60 Am

2.7.5. Tanquería

El tanque de almacenamiento es donde se recibe el jugo crudo una vez que ha sido filtrado, el cual es enviado posteriormente hacia el proceso de tratamiento de jugo para la producción de azúcar. En estos se debe evitar la acumulación de bacterias y el crecimiento de hongos en sus paredes. El jugo crudo antes de ser tratado tiene un pH entre 5 a 6, este es un indicador de lo ácido que se encuentra el jugo crudo.

Al tener un metal en soluciones acídicas este comienza a corroerse u oxidarse. Debido a esto se debe utilizar láminas de acero inoxidable, las cuales no producen óxido a causa de la acidez que presenta el jugo y se tendrá un mayor tiempo de duración.

Las láminas empleadas en la fabricación de los tanques serán empleadas laminas de acero inoxidable ¼" de grosor. Para la unión de las láminas serán necesarios los electrodos AWS E-308 L-16 de 3/32"; éstos son utilizados para unir metales de acero inoxidable entre si. Para soldar acero inoxidable con acero al carbono se utilizan los electrodos AWS E-309 Mo-16 de 3/32".

2.7.5.1. Tanque para jugo primario

Para determinar las medidas que poseerá el nuevo tanque de almacenamiento de jugo crudo en el tándem A, es necesario determinar el volumen máximo que puede contener el tanque instalado actualmente y determinar el nivel máximo de funcionamiento que le es dado a dicho depósito.

El volumen total del depósito de jugo primario es de 2 802,60 galones de jugo filtrado, pero del mismo solo se utiliza un volumen de 2 166 galones. Esto se debe a que posee un nivel de rebalse para evitar que se sobresature el tanque. De la capacidad de 2 166 galones solo se utiliza hasta el 77% de su capacidad, teniendo un nuevo volumen de 1 667,80 galones. En base a 2 166 galones será utilizada la fórmula del volumen del cilindro, se calculará el volumen que debe poseer el tanque.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

$$V = 2166 \text{ galones} = 8,1989 \text{ m}^3$$

π = constante de la fórmula

h = altura antes del nivel de rebalse 3,67 m

Despejando el radio de la fórmula nos queda lo siguiente:

$$\sqrt{\frac{V}{\pi h}} = r$$

Sustituyendo:

$$r = \sqrt{\frac{8,1989}{3,6729 \pi}} = 0,842943 \text{ m}$$

Las medidas propuestas para el filtro serán: diámetro de tanque 1,6858 m (diámetro es 2 veces r), la altura será de 3,667 m, con una capacidad de 8,1989 m³. En base a lineamientos de trabajo dentro del ingenio, se convertirán las medidas a pulgadas obteniendo lo siguiente; diámetro de tanque 131 ³/₄", alto total 145 ³/₄", volumen de almacenamiento 2 166 galones.

2.7.5.2. Tanque para jugo mezclado

La capacidad del tanque de jugo mezclado estará regida por la capacidad del jugo primario. Esto se debe a que la extracción de jugo crudo que ocurre en el primer molino es la que lleva la mayor cantidad de agua con sólidos solubles (azúcares) e insolubles (tierra, bagacillo), sobrepasando en ocasiones el nivel normal de funcionamiento. Al llegar al máximo de su capacidad el tanque de jugo primario derramará el exceso de jugo crudo hacia el siguiente depósito siendo este el tanque de jugo mezclado. La cantidad de jugo que es recolectado por el mismo es de 974,7 galones de jugo mezclado, debido a esto la capacidad de funcionamiento del tanque es del 60%.

2.7.6. Propuesta para localización de filtro rotativo

La ubicación propuesta del filtro rotativo en el tándem A, se realizó en base a los equipos y áreas de trabajo, analizando la distribución existente en la planta, tomando como punto de referencia el centro de la masa superior del molino número uno.

En base a distribución y ubicación actual de los equipos de filtrado y taller de tornos, como se muestran en las figuras 23, 24, 25, 26, se desarrollaron tres posibles ubicaciones con la ayuda del superintendente de molienda y extracción, analizando los factores: tuberías, bombas, transporte de bagazo de filtro hacia molino número dos, construcciones, factores externos, en las cuales se desarrollaron las siguientes opciones:

Opción número uno, instalar filtro rotativo para jugo crudo del tándem A después del taller de tornos. Tomando como referencia la figura 26 se realizó el siguiente análisis:

- Al instalar el filtro a un costado del taller de tornos analizando la ubicación por medio de la figura 26, se observa que se tendría que instalar cuatro transportadores helicoidales para trasladar las fibras de bagazo del filtro rotativo hacia el molino número dos.
- La capacidad de las bombas será mayor a la calculada, enfrentado el problema del paso de la tubería de alimentación del filtro rotativo por el taller de tornos, como la tubería de retorno que lleva el jugo crudo hacia el proceso de clarificación de jugo.

- Para realizar la limpieza se debería de aumentar la capacidad de la bomba instalada del agua caliente en el tándem A, así como las tuberías de la misma y conexiones del equipo para limpieza.
- El costo de la instalación sería mayor debido a la longitud lineal de las tuberías de alimentación y retorno de jugo crudo. La instalación eléctrica será mayor por la longitud del cable eléctrico

Opción dos es instalar el filtro en la parte superior del taller de tornos. Tomando nuevamente como referencia la figura 26, se realiza el siguiente análisis:

- Al posicionar el filtro en el techo de tornos es necesario cambiar la estructura del techo, aumentar la capacidad de soportes de las vigas. La estructura del filtro pasaría la altura de la nave industrial no teniendo una buena estética.
- La altura que deberá tener la tubería de alimentación será muy elevada aumentando la cabeza de trabajo. Pérdidas por fricción dentro de la tubería serán elevadas, aumentando la capacidad de la bomba y por ende la capacidad de HP del motor eléctrico.
- Se debe de aumentar la capacidad de la bomba que transporta el agua caliente. Debido a la limpieza que se practicará al filtro, se deben instalar colectores de agua caliente para evitar quemaduras a las personas que se encuentren en el taller de tornos.
- Los tanques de almacenamiento de jugo crudo se deben colocar en frente del taller de tornos, aumentando la cantidad de tubo y accesorios que

conectarán el filtro con los tanques, estorbando el paso de los camiones que ingresan al tándem para retirar las masas de los molinos y restringiendo el área de paso de trabajadores.

Opción tres de instalación: trasladar el taller de tornos e instalar en ese lugar el filtro rotativo de jugo crudo:

- Al instalar el filtro a un costado de tándem A, se tiene que solo se necesitarán dos transportadores helicoidales para trasladar los sólidos evacuados por el filtro rotativo.
- No se encuentra mayor dificultad para la ubicación de la tubería que llegará al filtro rotativo, ni la tubería de retorno que llevará el jugo hacia el proceso de tratamiento de jugo
- Las ubicaciones de los tanques de almacenamiento de jugo primario y mezclado se ubicarán debajo del filtro, ahorrando el espacio utilizado y la tubería que conecta el filtro con tanques de almacenamiento.
- Las tuberías de agua caliente no sufrirán mayores cambios
- La altura de la estructura donde se instalará el filtro tendrá la misma inclinación del techo, con lo cual se tendrá estética en ambas estructuras.

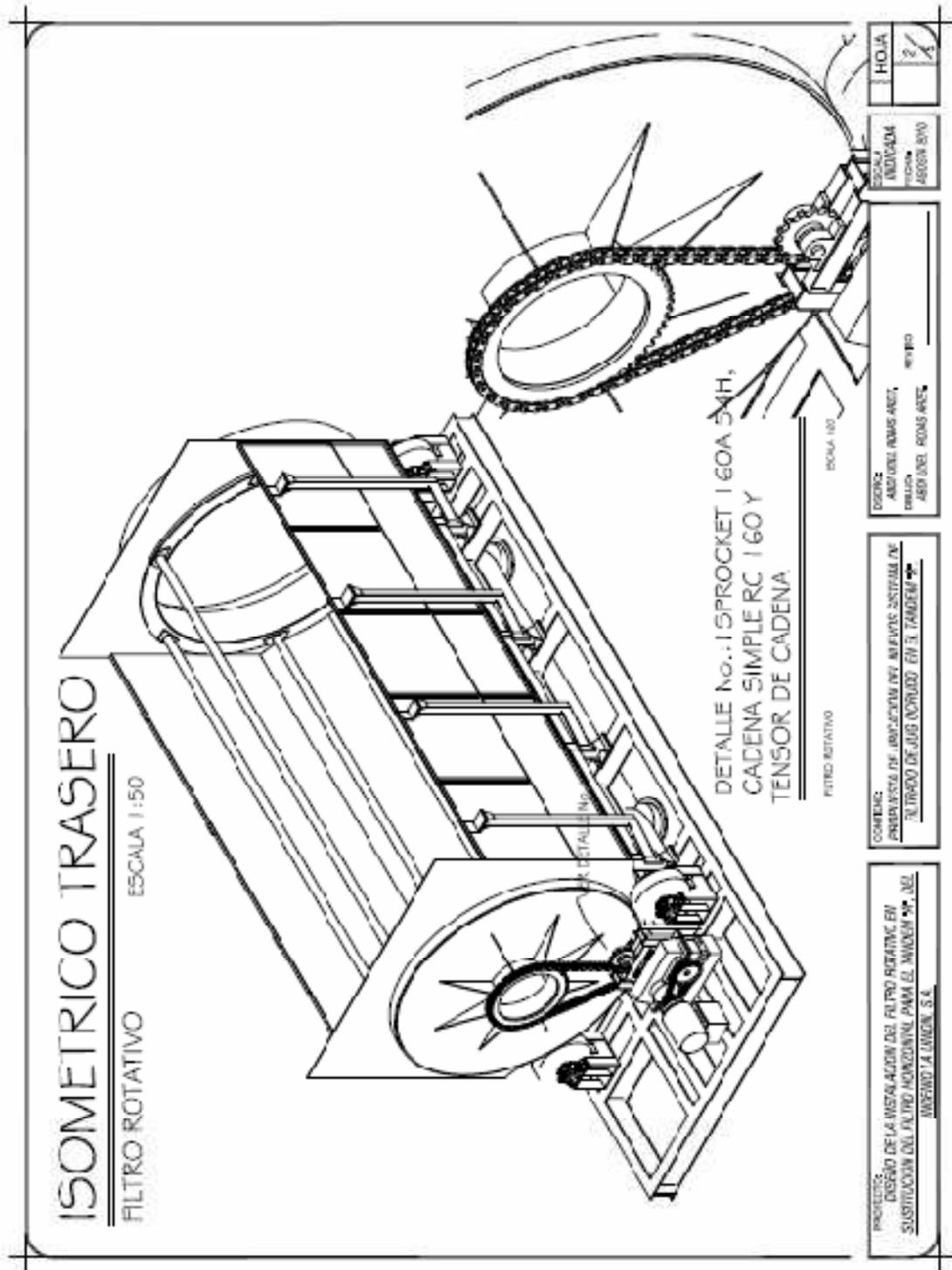
En base a las tres opciones propuestas, se determinó emplear la opción tres en base a lo siguiente, con esta se tendrá la menor cantidad de equipos para transportar las fibras expulsadas por el filtro rotativo hacia el molino número dos, teniendo un menor consumo eléctrico de los motores que moverán los transportadores.

La cantidad de tubería que se empleará en la conexión de los recolectores de jugo de los molinos número uno y dos con el filtro rotativo será la menor cantidad de tubos de las tres opciones. La bomba empleada para mover el líquido hacia el filtro será de menor tamaño a las bombas de las opciones uno y dos, tomando en cuenta que una bomba más grande necesitará un motor eléctrico de mayor potencia o HP, por lo cual el consumo eléctrico de la bomba de la opción tres será el más bajo de las tres opciones.

2.7.6.1. Propuesta de ubicación

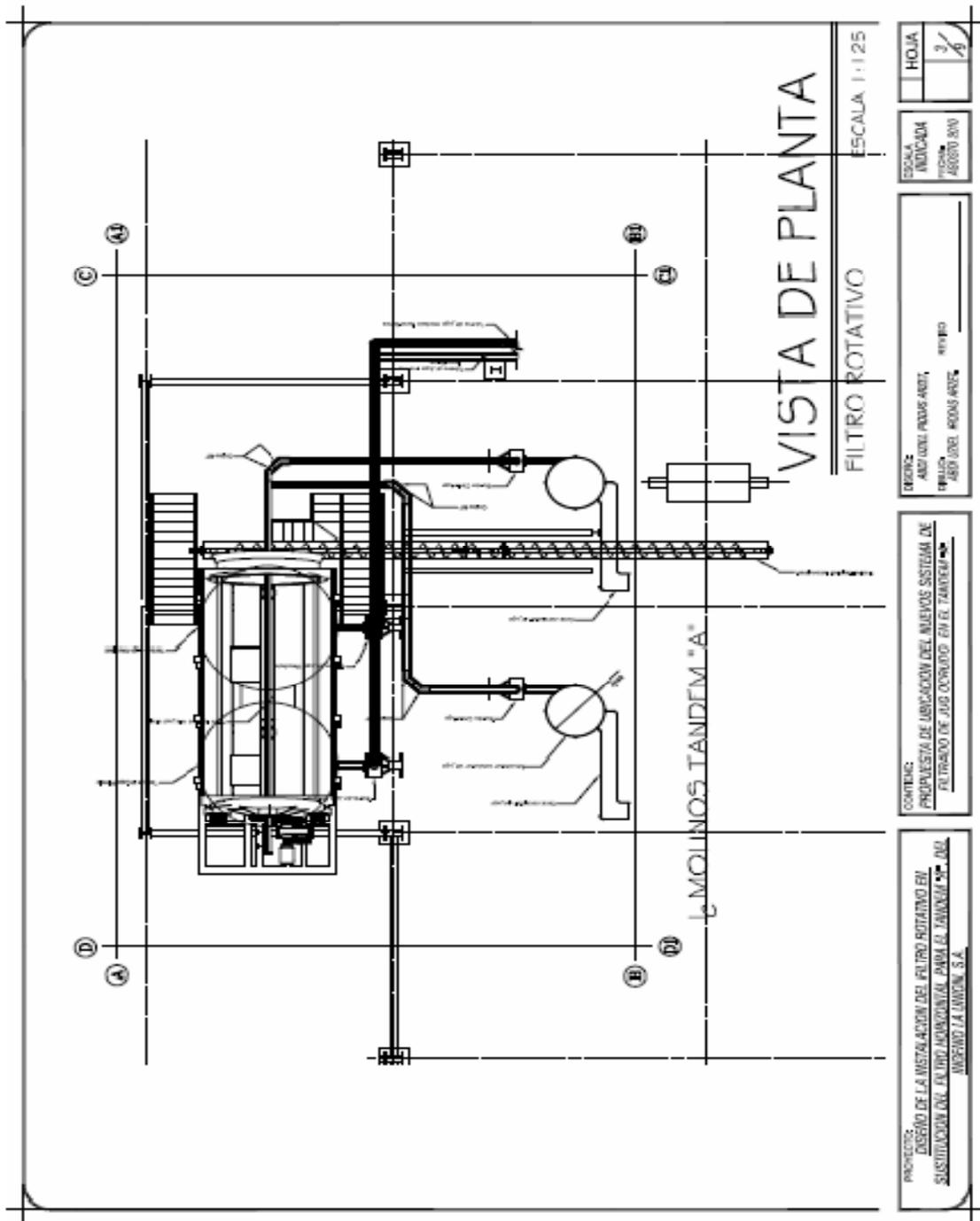
Para el desarrollo de la ubicación del filtro rotativo que sustituirá al filtro horizontal en el tándem A, se partirá de la opción tres analizada en el apartado anterior. Esta será mejor apreciada en las figuras 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, observando cual es la ruta propuesta de tubería de jugo crudo que alimenta al filtro y la ubicación de los tanques de jugo crudo con sus respectivas bombas.

Figura 58. Vista isométrica trasera del filtro rotativo



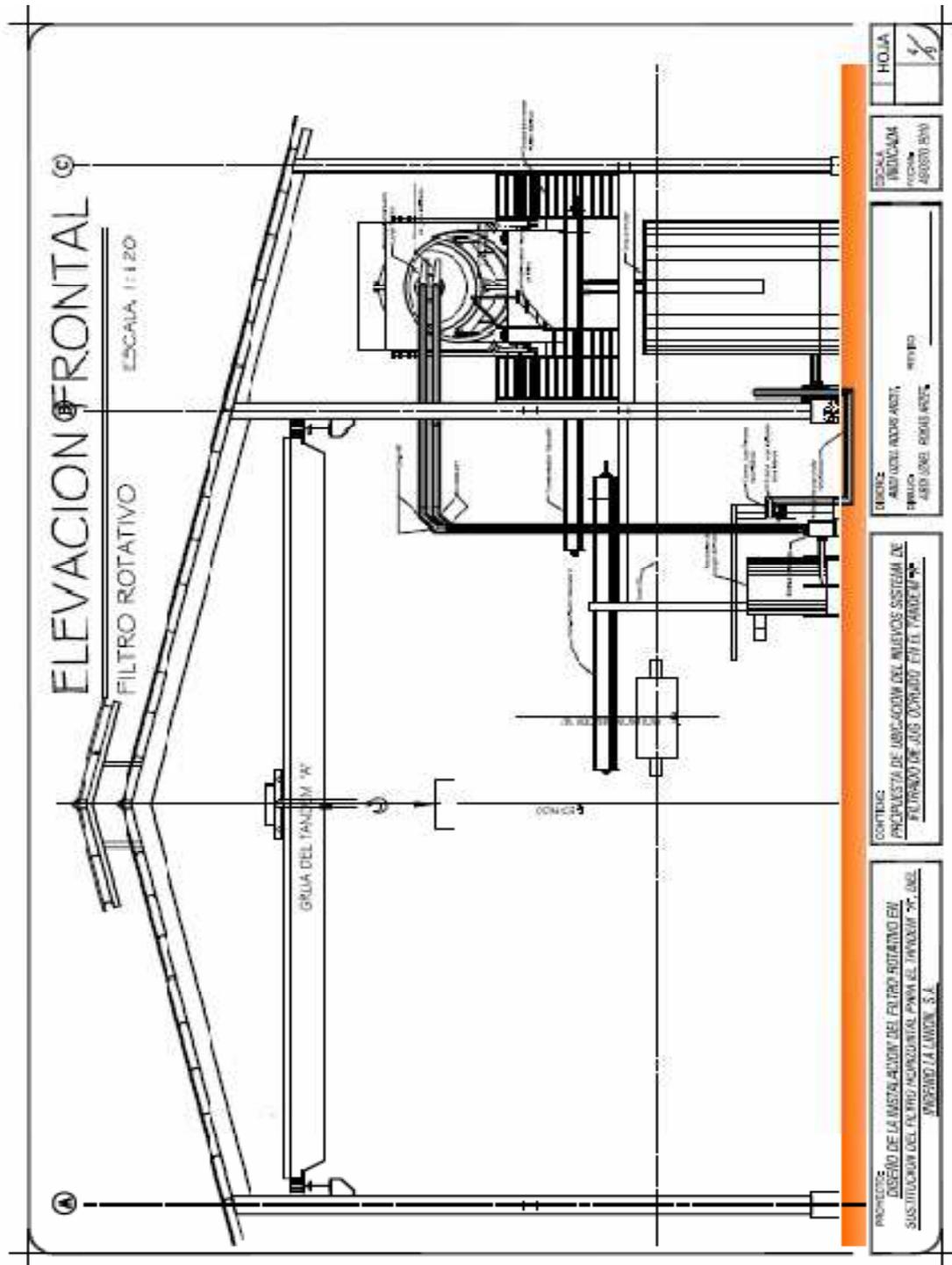
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Vista en planta de la ubicación propuesta del filtro rotativo en tándem A



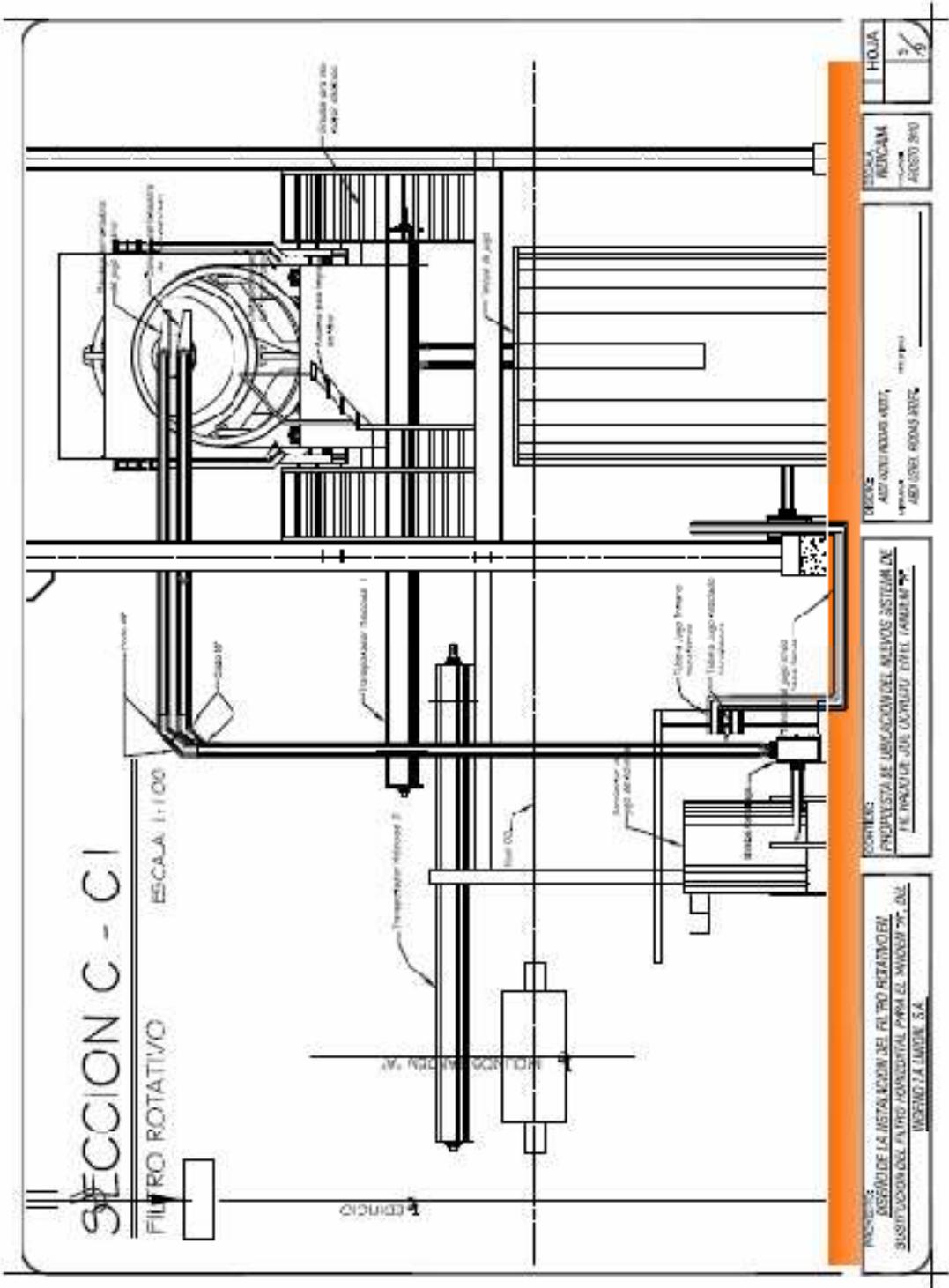
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Elevación frontal de la vista en planta



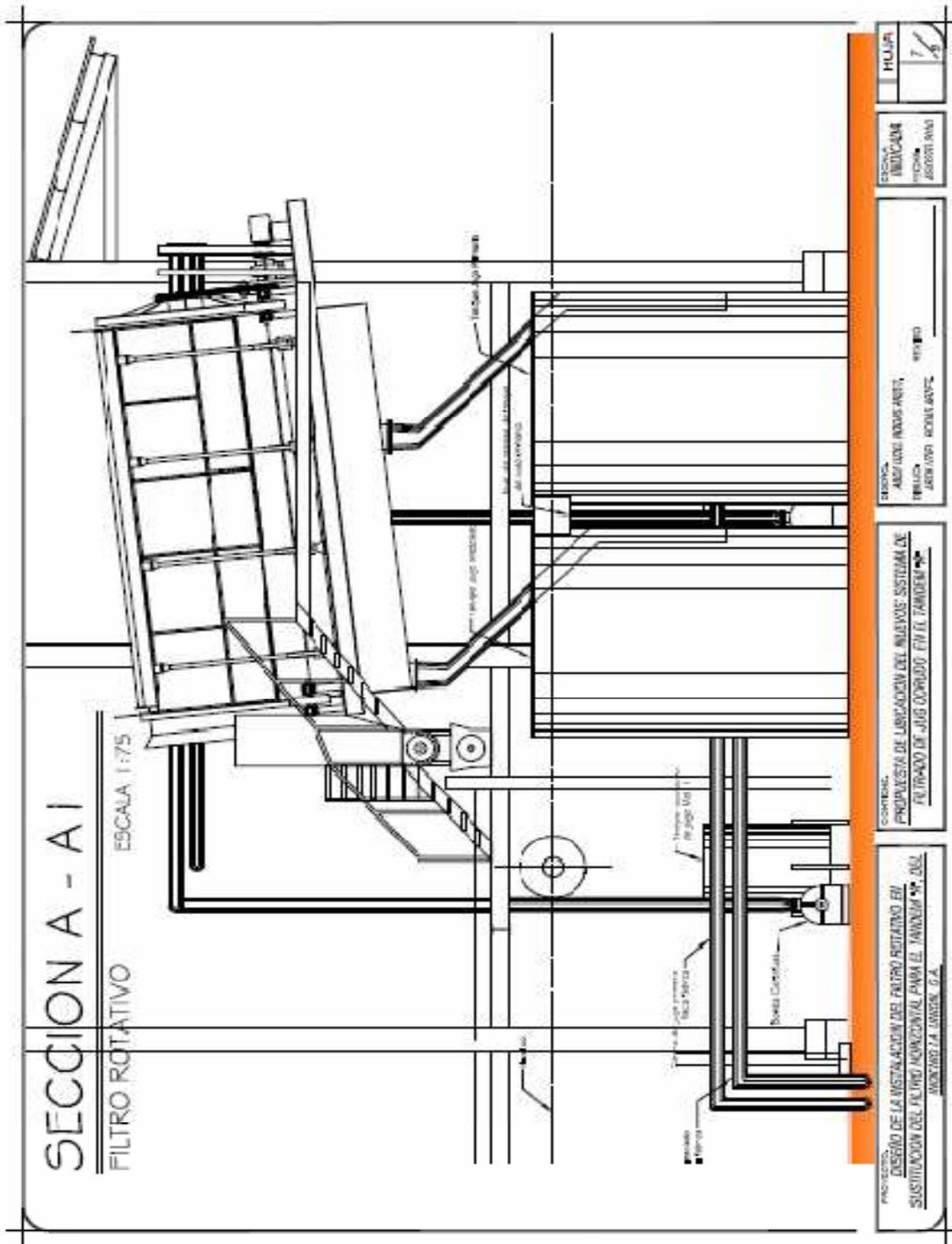
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Sección de corte de de los puntos C-C1 de la vista en planta



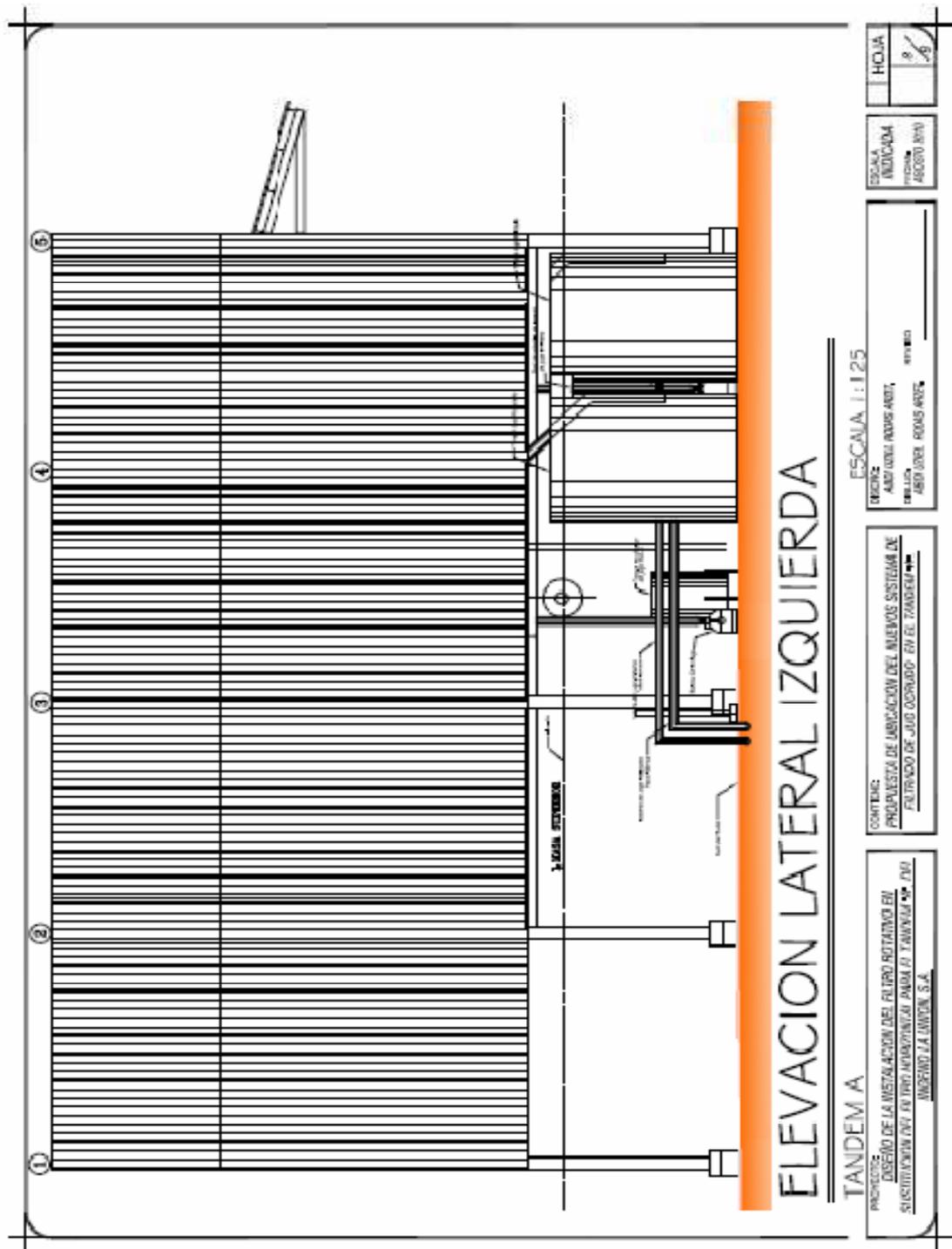
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. Sección de corte de los puntos A-A1 de la vista en planta



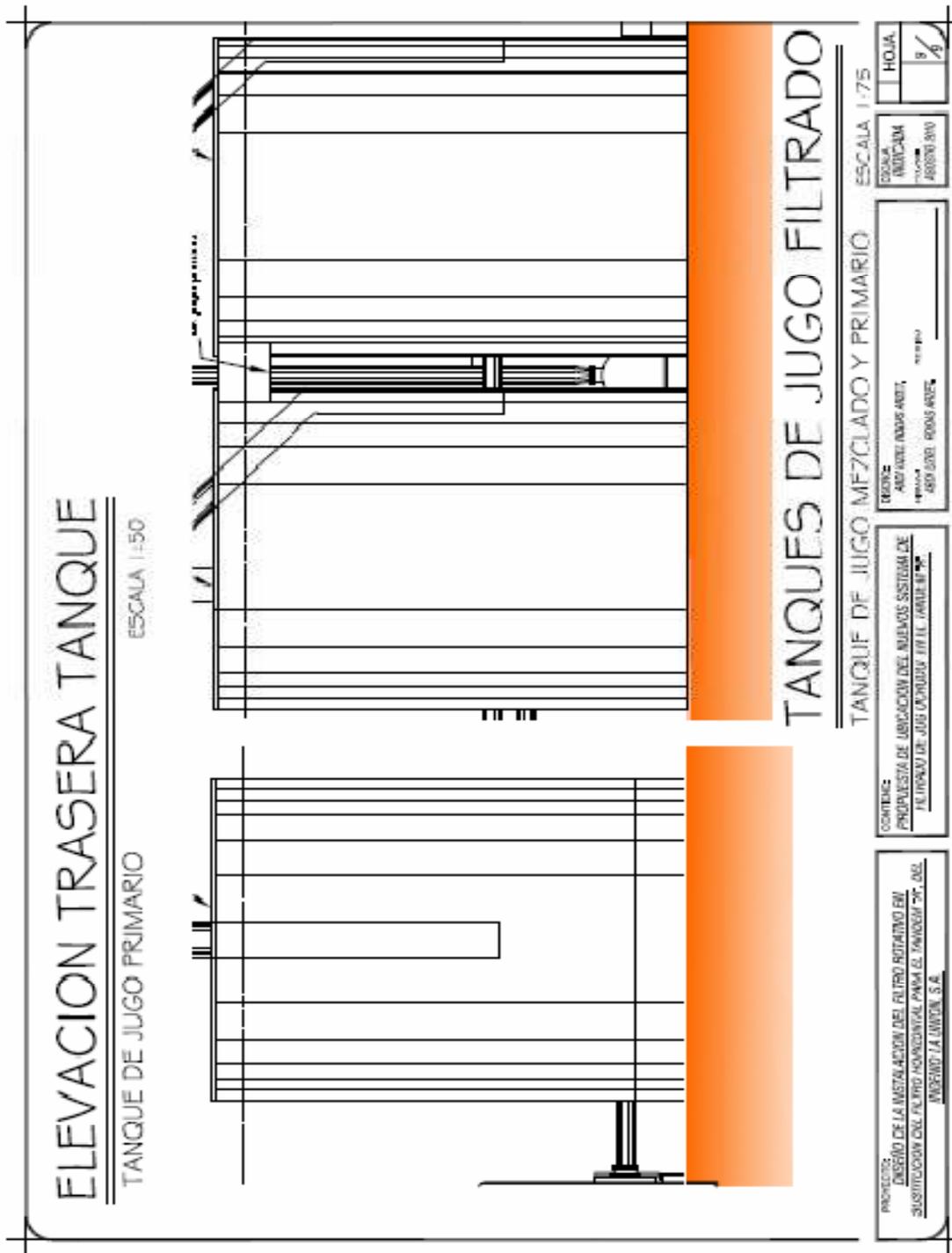
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. Elevación lateral izquierda



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Elevación del tanque de jugo primario y mezclado



Fuente: elaboración propia.

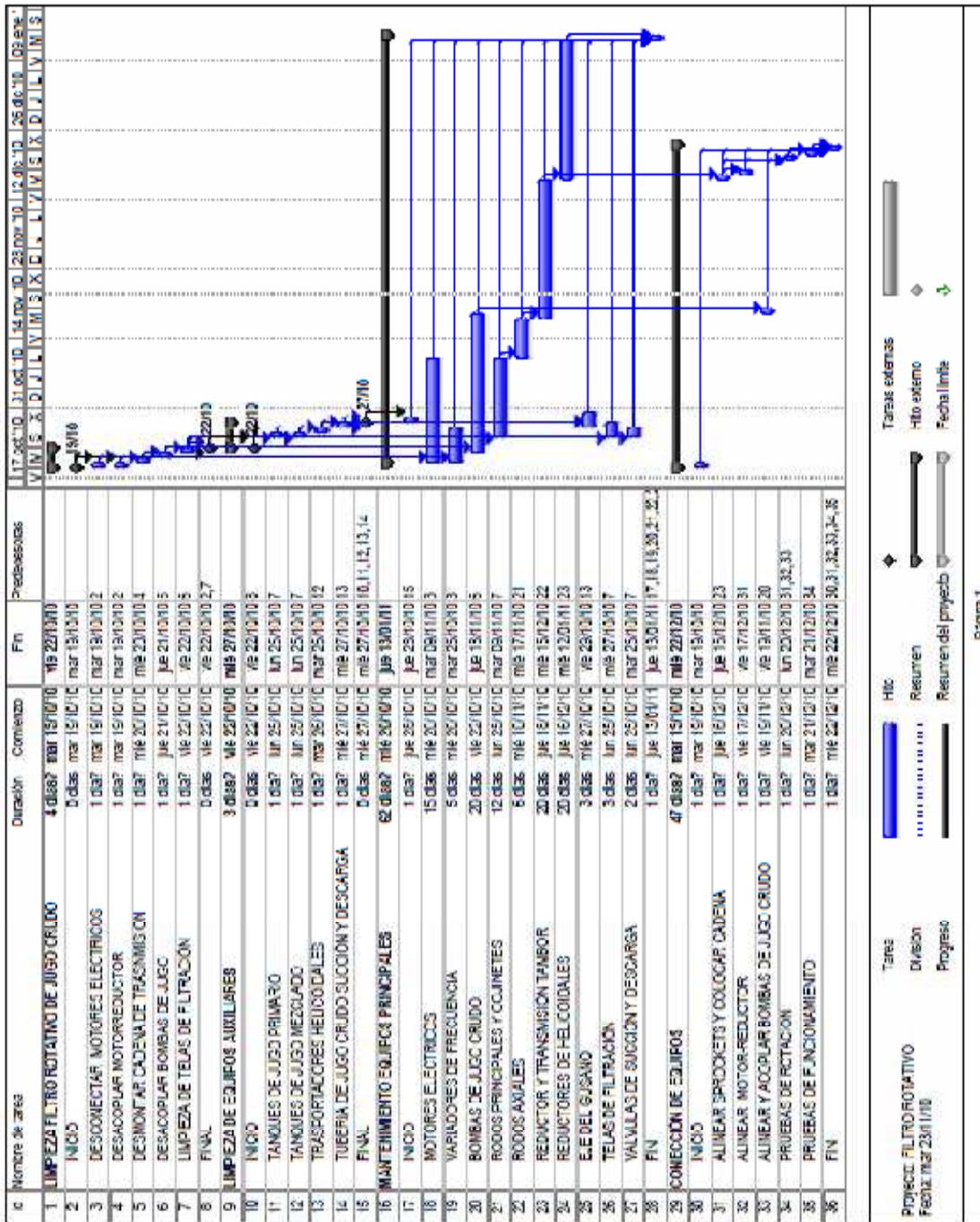
2.7.6.2. Programa de mantenimiento

La programación del mantenimiento propuesto que se desarrollará una vez concluida la época de zafra, se utilizará el diagrama de *Gantt*. Esta herramienta proporcionará una visualización correcta del avance y tiempo aproximado de cómo se debe realizar el mantenimiento al filtro rotativo. Con esto se tendrá un mejor orden y control del mantenimiento para alargar la vida útil de los equipos.

El mantenimiento se dividirá en dos grupos, siendo: equipos principales de funcionamiento y equipos auxiliares de funcionamiento. Debe realizarse una revisión profunda a equipos instalados en el filtro rotativo una vez instalado en el tándem A. Así mismo debe efectuarse a estos equipos una limpieza externa, para remover las acumulaciones de suciedad o bagacillo depositados por limpieza anteriores y dirección del viento. Al ser finalizada la limpieza se procede al desacoplamiento de los distintos equipos que se tienen comprendidos en el sistema de filtrado.

Una vez revisados y detectados los componentes en mal estado se procederá al remplazo de los mismos. Cuando sea completado el mantenimiento se volverá a armar las piezas en sus ubicaciones iniciales, buscando la alineación de piezas, tensado de fajas etc. Para evitar averías por mal funcionamiento.

Figura 66. Programación del mantenimiento realizado al filtro rotativo en reparación



Fuente: elaboración propia.

Para el mantenimiento en época de zafra o preventivo se propone utilizar el análisis VOSO. Es sin duda el tipo de mantenimiento económico y fácil de realizar, debido a que el personal operativo del lugar lo hace como parte de sus rutinas diarias. El VOSO no es más que: Ver, Oír, Sentir y Oler.

Dicho mantenimiento se realizará con frecuencia diaria, seis veces por turno, para uno de los miembros del grupo de mantenimiento, con el fin de reportar cualquier cambio en el funcionamiento de los equipos a los encargados de turno.

- Ver: observar los equipos del filtro rotativo detenidamente, verificando su correcto funcionamiento y detectar cualquier problema, como por ejemplo, si hay fajas flojas o desalineamiento. Esto se puede observar sin necesidad de parar el motor. El personal de mantenimiento que realiza dicha inspección puede reportar el estado de equipos y así programar la rectificación de los mismos, para evitar una parada no programada.
- Oír: significa que se debe escuchar cualquier ruido extraño que se presente en el funcionamiento normal de la máquina. Dichos sonidos pueden ser: chillidos, golpes, etc., que delaten algún problema en la máquina.
- Sentir: significa que el técnico que se encarga de dicha revisión de los equipos pueda percibir sobre algunas superficies problemas como calentamiento, movimientos relativos de estructura, grietas en las soldaduras o juntas de la máquina. Por ejemplo, un motor eléctrico con carcasa recalentada que indique calentamiento en las bobinas o cojinetes; chumaceras que tenga falta de lubricación o desalineamiento.

- Oler: es percibir cualquier olor diferente que se presente dentro del equipo que va a revisar. Dichos olores son provocados, por ejemplo, por el rozamiento de los ejes con los sellos de los cojinetes o por la falta de lubricación de los mismos, o también por la falla del aislamiento de los mismos.

Figura 67. Hoja de registro del filtro rotativo en tandem A, en funcionamiento normal época de zafra

 INGENIO LA UNIÓN <small>Responsabilidad & Desarrollo</small>		REGISTRO: INSPECCION DE TEMPERATURAS DE												PAG. 1 DE 2	
		CHUMACERAS, MOTORES ELECTRICOS, CADENAS, MOTORREDUCTORES, BOMBAS DE JUGO CRUDO													
	FILTRO TANDEM A	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.	HORA	TEMP.
	CHUMACERA FILTRO														
1	Izquierda frontal														
2	Izquierda trasera														
3	Derecha frontal														
4	Derecha trasera														
	MOTOR ELECTRICO														
5	Motor electrico reductor filtro														
6	Motor elec. reductor trans. 1														
7	Motor elc. Reductor trans.2														
8	Motor elec. Bomba 1														
9	Motor elec. Bomba 2														
10	Motor elec. Bomba 3														
11	Motor elec. Bomba 4														
	MOTORREDUCTOR														
12	Motorreductor filtro														
13	Motorreductos trans. Heli. 1														
14	Motorreductor trans. Heli. 2														
	CADENA														
15	Filtro rotativo														
16	transportador helicoidal 1														
17	transportador helicoidal 2														
	BOMBAS DE JUGO CRUDO														
18	Bomba jugo primario 1														
19	Bomba jugo mezclado 2														
20	Bomba jugo pri. Filtrado 3														
21	Bomba jugo mezclado 4														

2.7.6.3. Programa de limpieza de filtro

El programa de limpieza del filtro rotativo será utilizado como un conjunto de acciones necesarias para reducir la contaminación. Tomando en cuenta que se debe dar a conocer la forma correcta de cómo realizar la limpieza en el tándem A al nivel del operario encargado de la misma, enfocándose específicamente al filtro rotativo de jugo crudo una vez instalado en el tándem A del Ingenio La Unión.

Deberán especificarse las piezas a las cuales se les efectuará la limpieza. También la frecuencia de limpieza, el tiempo necesario para desarrollar una correcta esterilización o asepsia del filtro al aplicar el agua caliente, e indicarle al operario los pasos necesarios para la instalación del equipo para limpieza y equipos de protección personal necesarios para ejecutar una correcta limpieza en el filtro rotativo.

	<p>DOCUMENTO: INSTRUCTIVO DE ASEPSIA EN FILTRO ROTATIVO TANDEM A</p>	<p>Fecha: 19 de agosto de 2010 Página: 1 / 2</p>
---	--	--

Objetivo: indicar la forma más adecuada de limpiar con agua caliente el filtro rotativo de jugo crudo, para evitar la contaminación por dextrana

Alcance: la limpieza será practicada desde las bandejas del jugo crudo hacia el cuerpo filtrante del filtro rotativo, transportadores helicoidales, tanques de jugo crudo.

Metodología: en cada turno de limpieza se realizarán cuatro limpiezas con una duración de 30 a 45 minutos, utilizando aproximadamente 240 a 360 galones de agua con una temperatura que oscila entre 70 a 90 grados centígrados, por cada vez que se haga la limpieza. Esta limpieza se hace por medio de una hidrolavadora de alta presión.

La frecuencia de limpieza por turnos será la siguiente:

Turno diurno: primera limpieza a las 07 hrs.
segunda limpieza a las 09 hrs.
tercera limpieza a las 11 hrs.
cuarta limpieza a las 13 hrs.

Turno mixto: primera limpieza a las 15 hrs.
segunda limpieza a las 17 hrs.
tercera limpieza a las 19 hrs.
cuarta limpieza a las 21 hrs.

	<p>DOCUMENTO: INSTRUCTIVO DE ASEPSIA EN FILTRO ROTATIVO TANDEM A</p>	<p>Fecha: 19 de agosto de 2010 Página: 2 / 2</p>
---	--	--

Turno nocturno: primera limpieza a las 23 hrs.
 segunda limpieza a las 1 hrs.
 tercera limpieza a las 3 hrs.
 cuarta limpieza a las 5 hrs.

Desarrollo: la limpieza se llevará a cabo de acuerdo a la siguiente secuencia de operaciones o cubrir los lugares especificados.

- Conectar los equipos para limpieza y colocarse equipos de protección personal
- Arrancar la hidrolavadora para limpiar con presión los equipos establecidos
- En las bandejas de jugo, se debe realizar la limpieza removiendo el bagacillo acumulado.
- Se continúa con la limpieza de las telas filtrantes y láminas que conforman el armazón del filtro colocando las boquillas para presión de agua.
- Seguir con los transportadores helicoidales lavándoles desde el inicio hasta el final de las hélices.
- Lavar los tanques de jugo primario y mezclado, limpiando desde el borde superior hasta el borde inferior, retirando las manchas en las paredes.
- Apagar hidrolavadora.
- Retirar los equipos de limpieza de las conexiones de agua, enrollar mangueras y colocarlas en sus respectivos lugares de almacenamiento.

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.1. Análisis económico en la implementación del proyecto

A continuación se realizará el análisis respecto de los materiales necesarios, equipos personales de seguridad, herramientas empleadas para la construcción de piezas, personal encargado de armar las piezas del filtro, así como también de las piezas que se deben realizar. Esto para efectuar la correcta instalación del filtro rotativo de jugo crudo en el tándem A.

3.1.1. Materiales a utilizar

En este inciso se mostrará la lista de materiales que se utilizarán aproximadamente en la instalación del filtro rotativo y la estructura donde se posicionará el filtro rotativo.

De igual forma la fabricación de las partes del filtro: cuerpo filtrante, chasis de soporte, soportes laterales, armazón del filtro etc.

Así también de los equipos auxiliares del funcionamiento: transportadores helicoidales, tanques de recepción de jugo crudo filtrado, tuberías de transportación de jugos.

Tabla XI. Listado de materiales necesarios a utilizar en la instalación del filtro rotativo en el tándem A del Ingenio La Unión S.A.

Material	unidades
Lámina ASTM 304L 1/8" 6X20'	11
Lámina ASTM 304L 1/4" 6X20'	1
Angular 1/4" 2½ X2½	3
Lámina hierro negro 1/2" 4X8'	1
Lámina hierro negro 1/4" 4X8'	2
Viga W10X22	5
Viga W10x22	4
Viga W4x13	4
Viga W6x12	1
Viga C6x8	2
Ejes <i>cold rolled</i> Ø 2-3/4" pie	8
Tornillo inoxidable Ø 5/16"X1 1/4"	130
Tornillo inoxidable Ø 1/2 "X1½"	60
Tornillo inoxidable Ø 3/8"X1 1/2"	260
Tornillo Ø 7/16"x1 1/2 " grado 2	48
Tornillo Ø 7/16"X2 1/2 " grado 2	32
Tornillo Ø 7/16"X2 1/4 " grado 2	10
Tuerca inoxidable Ø 5/16 "	130
Tuerca inoxidable Ø 1/2 "	60
Tuerca inoxidable Ø 3/8"	260
Tuerca Ø 1/2 "	90
Roldana plana inoxidable Ø 5/16"	130
Roldana de presión inoxidable Ø 5/16"	130
Roldana plana inoxidable Ø 1/2"	60

Continuación de tabla XI...

Roldana de presión inoxidable Ø ½"	60
Roldana plana inoxidable Ø 3/8"	260
Roldana de presión inoxidable Ø 3/8"	260
Roldana plana Ø 7/16"	90
Roldana de presión Ø 7/16"	90
Tubo inoxidable Ø 3 ½ "cédula 40	7
Electrodo AWS E-309 Mo-16 de 3/32" (libras)	20
Electrodo AWS E-308 L-16 de 3/32"(libras)	10
Electrodo E-7018 Ø 1/8" (libras)	40
Electrodo E-6011 Ø 1/8" (libras)	30
Motorreductor 2060Y3, ratio 55.66, factor de servicio 1.5	1
Motor eléctrico 20 Hp, 1760 Rpm	1
Sprocket 160A 54H	1
Cadena simple RC 160 (pie)	10
Tela filtrante	6
Chumacera <i>pillow block</i> modelo Snl 616	4
Cojinete 22316EK skf	4
Cable tsj 3x10 (metro)	110
Arrancador nema II	1
Tubo conduit de 1"	10
Bomba centrífuga 4x6" impulsor Ø 11", 1 200 gpm, motor 40 hp	2
Viga W 16x40	3
Viga W 12x 30	2
Viga W 12x 53	3
Viga W 6x12	1
Hierro C 8"x18 3/4x2 ½	3

Continuación de tabla XI...

Tubo Ø 2" negro cédula 40	4.
Tubo Ø 8" inoxidable cédula 40	16
Tubo Ø 10" inoxidable cédula 40	2
Costanera 8"x2"x1/16"	3
Lámina canalada 6'	30

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Piezas de filtro rotativo

Las piezas que conforman al filtro rotativo de jugo crudo son:

- Cuerpo filtrante
- Armazón
- Soportes axiales
- Soportes tangenciales
- Chumaceras
- Ejes de chumaceras
- Chásis de estructura
- Motorreductor
- Motor eléctrico de 20HP
- Cadena de transmisión de velocidad
- Tensor de cadena
- Tanque de jugo crudo
- Transportador helicoidal.

3.1.3. Mano de obra

El personal que se tendrá a cargo para desarrollar las piezas que conforman el filtro rotativo será:

- Tres soldadores con mano de obra especializada en el corte por medio de oxicorte, soldadura de arco eléctrico.
- Ayudante para cada soldador.
- Dos rematadores, que se encargarán de terminar de soldar las estructuras que dejan armadas los soldadores.

3.1.4. Equipo y maquinaria

A continuación se detallará el equipo de seguridad personal que tendrán los colaboradores. Así también las maquinarias que serán necesarias al momento de estar trabajando la construcción del filtro rotativo:

- Careta de soldar
- Lentes
- Capucha
- Guantes para soldar
- Gabacha
- Mangas
- Mascarilla
- Soldadura
- Electrodo
- Cepillos de alambres
- Cinta métrica
- Pulidora

- Escuadras
- Compases
- Polipastos
- Sierras de arco
- Niveles
- Dobladora de tubos
- Cortadores de oxicorte
- Taladro

3.2. Beneficios esperados con la implementación del nuevo filtro

Aquí se contemplará los beneficios que se obtendrán para el ingenio y el medio ambiente, mediante la implementación del filtro rotativo en el tándem A, tomando como base el agua empleada en la limpieza del filtro horizontal y filtro rotativo. De igual forma el consumo energético por zafra, mediante el uso del filtro horizontal contra el filtro rotativo.

3.2.1. Uso racional del recurso hídrico

Para determinar el ahorro que se tendrá al instalar el filtro rotativo para jugo crudo en el tándem A, se utilizará los datos obtenidos del punto 2.6.5 siendo estos el consumo de agua por limpieza: filtro horizontal consumo de 400 a 560 galones, filtro rotativo consumo de 240 a 360 galones.

Hay tres turnos que trabajan en época de zafra y cada turno limpia cuatro veces el filtro. Bajo la siguiente relación se obtendrá el consumo de agua por día en el filtro horizontal, el cual asciende a la cantidad de 4 800 a 6 720 gal/d. Desarrollando el análisis del consumo del filtro rotativo se determinó la cantidad

de agua empleada siendo esta de 2 880 a 4 320 gal/d. La época de zafra consta de 150 días aproximados de trabajo continuo, multiplicando los días de zafra por el consumo diario se tendrá el consumo total por limpieza en los filtros:

Filtro horizontal

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{zafra}}_{\text{horizontal}} = 4\,800 \frac{\text{gal}}{\text{d}} \times 160 \text{ d} = 768\,000 \text{ gal/zafra}$$

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{zafra}}_{\text{horizontal}} = 6\,720 \frac{\text{gal}}{\text{d}} \times 160 \text{ d} = 1\,075,200 \text{ gal/zafra}$$

Filtro rotativo

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{zafra}}_{\text{rotativo}} = 2\,880 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 460\,800 \text{ gal/zafra}$$

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{zafra}}_{\text{rotativo}} = 4\,320 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 691\,200 \text{ gal/zafra}$$

La conservación esperada del agua utilizada en época de zafra para limpieza del filtro rotativo instalado en el tándem A será de:

$$\text{Ahorro agua} = 768\,000 \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} - 460\,800 \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} = 307\,200 \text{ gal/zafra}$$

$$\text{Ahorro agua} = 1\,075\,200 \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} - 691\,200 \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} = 384\,000 \text{ gal/zafra}$$

Se tendrá un promedio de 345 600 gal/zafra ahorrados, los cuales se podrán ocupar en otro punto o almacenar el vital líquido para su posterior reutilización en los procesos.

3.2.2. Consumo energético

Para determinar el consumo energético que se tendrá una vez instalado el filtro rotativo en el tándem A, se emplearán los datos obtenidos del punto 2.6.5 donde se muestra el consumo de energía por día del filtro horizontal que es de 773,3643 kw/día, y el consumo diario del filtro rotativo que es de 447,73 kw/día. La temporada de zafra tiene una duración de 150 días de producción, entonces si se multiplica el consumo diario de los motores por el tiempo de zafra, se obtendrá el consumo total en zafra para los filtros que es de:

$$\text{filtro horizontal} \frac{\text{consumo}}{\text{zafra}} = \frac{773,3643 \text{kw}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 123\ 738,288 \text{ kw/zafra}$$

$$\text{filtro rotativo} \frac{\text{consumo}}{\text{zafra}} = \frac{447,73 \text{ kw}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 71\ 636,8 \text{ kw/zafra}$$

El ahorro esperado por el cambio del filtro horizontal por el filtro rotativo en el consumo de energía en el tándem A sería de 52 101,488 kw/zafra trabajada

3.3. Análisis económico del proyecto

A continuación se ordenará la información de carácter monetaria, necesaria para la implementación del filtro rotativo en sustitución del filtro horizontal (pachaquil) en tándem A de molinos del Ingenio La Unión.

3.3.1. Costos de operación

Para determinar el costo de operación de ambos filtros se utilizará el valor del consumo de los sistemas de filtrado desarrollado en el punto 2.6.5, el cual comprende el consumo por día, para obtener el consumo aproximado en temporada de zafra

$$\text{filtro horizontal} \frac{\text{consumo}}{\text{zafra}} = \frac{773,3643 \text{ kw}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 123\,738,288 \text{ kw/zafra}$$

$$\text{filtro rotativo} \frac{\text{consumo}}{\text{zafra}} = \frac{447,73 \text{ kw}}{\text{día}} \times 160 \text{ días} = 71\,636,8 \text{ kw/zafra}$$

Se utilizará el precio de venta de energía eléctrica que maneja el ingenio a las comercializadoras, siendo este de 0,10 centavos de dólar americano por *kilowatt*, empleando una tasa de cambio de 8,0235. Para determinar el costo de operación del filtro horizontal y rotativo se desarrollará el siguiente cálculo.

$$\text{Cop.} = \frac{\text{consumo}}{\text{zafra}} \times \text{valor kw}$$

$$\text{Cop.} = \frac{123\,738,288 \text{ kw}}{\text{zafra}} \times (\$0,10/\text{kw} \times 8,0235/\$) = \text{Q.}99\,281,4154/\text{zafra}$$

$$\text{Cop.} = \frac{71\,636,8 \text{ kw}}{\text{zafra}} \times (\$0,10/\text{kw} \times 8,0235/\$) = \text{Q.}57\,477,7865/\text{zafra}$$

De igual forma se determinará el costo del agua empleada en el proceso de limpieza del filtro horizontal y tanques de jugo crudo. Partiendo de que esta agua es ganada en el sistema (evaporadores de jugo clarificado), esta agua caliente es empleada para el proceso de la imbibición en el último molino y

limpieza para controlar el crecimiento de bacterias en el tándem. Esta es bombeada del tanque de agua caliente hacia el tándem por medio de una bomba de 1 500 gpm, con un motor de 75 hp, que gira 1 775 rpm, con una corriente de 172 amperios.

Empleando el costo de funcionamiento del motor que hace funcionar la bomba que impulsa el agua hacia los tándem A & B

$$Kw = \frac{I * V * E * \sqrt[2]{3} * H}{1\ 000}$$

Donde:

I= corriente en amperios

V= voltaje

E= factor de potencia

$\sqrt[2]{3}$ = factor del sistema trifásico

H= horas de trabajo

$$Kw = \frac{172 * 480 * 0,85 * \sqrt[2]{3} * 1}{1\ 000} = 121,5484\ kw$$

Al momento de multiplicar el precio del kilowatt, se tendrá el costo de enviar el agua caliente del tanque de almacenamiento hacia a los molinos. Colocando el precio de cero dólares con diez centavos y con una tasa de cambio de 8,0235 quetzales

$$Cop. = 121,5484\ kw * (\$0,10/kw * Q8,0235/\$) = Q.97,52436$$

La capacidad de la bomba es de 1 500 gpm, lo que significa que en una hora ésta enviará 90 000 galones hacia los tándem A & B

$$\frac{90,000 \text{ gal}}{Q.97,52436} = \frac{1 \text{ gal}}{\text{costo/gal}}$$

Despejando el costo unitario de un galón de agua se llegará al siguiente resultado:

$$\text{costo/gal} = \frac{1 \text{ gal} \times Q.97,52436}{90\,000 \text{ gal}} = Q. 0,001084$$

El precio por galón enviado hacia el tándem es de cero quetzales con cero cero mil ochenta y cuatro centavos.

Utilizando los datos obtenidos del inciso 3.2.1. se procederá a determinar el costo actual de ambos sistemas al practicar limpieza con agua caliente:

Filtro horizontal

$$\text{costo} = Q. 0,001084/\text{gal} \times 768\,000 \text{ gal/zafra} = Q. 832,512$$

$$\text{costo} = Q. 0,001084/\text{gal} \times 1\,075\,200 \text{ gal/zafra} = Q. 1\,165,5168$$

El promedio del costo por el agua empleada en la limpieza es de Q. 999,0144

Filtro rotativo

$$\text{costo} = Q. 0,001084/\text{gal} \times 460\,800 \text{ gal/zafra} = Q. 499,5072$$

$$\text{costo} = Q. 0,001084/\text{gal} \times 691\,200 \text{ gal/zafra} = Q. 749,2608$$

Obteniendo un promedio por el costo del agua empleada en la limpieza se tendrá la cantidad de Q. 624,384

El costo por la operación del filtro horizontal será la suma de consumo energético normal del filtro + el costo del galón de agua empleada en la limpieza

$$\text{costo op} = \text{Q. } 99\,281,4154 + \text{Q. } 999,0144 = \text{Q. } 100\,280,4298$$

El costo de operación del filtro rotativo en el Ingenio La Unión se calculará en base al consumo energético + el costo de los galones utilizados en la limpieza

$$\text{costo op} = \text{Q. } 57\,477,7865 + \text{Q. } 624,384 = \text{Q. } 58\,102,1705$$

3.3.2. Costos de mantenimiento

El costo del mantenimiento realizado al filtro horizontal es de Q. 313 431,57, en el cual ya se encuentran los rubros de los materiales empleados en la reparación siendo de Q. 307 781,57. El valor de la mano de obra empleada para desarrollar los trabajos en el filtro horizontal es de Q. 5 560,00. El costo total del mantenimiento hecho al filtro rotativo es de Q. 3 001,58. Este dato lleva los valores de los materiales utilizados Q. 176,58 y costo de la mano de obra necesaria para realizar dichos trabajos en el filtro de Q. 2 825,00

3.3.3. Costo de instalación

Se entiende por costo de instalación a los gastos que se realizarán en la instalación del filtro rotativo en el tándem A. En la tabla XII, se enumera el personal necesario para realizar la instalación, la cual comprenderá: estructura

de edificio, estructura que sostendrá el filtro, tuberías de alimentación de jugo crudo, tuberías de retorno de jugo hacia el tratamiento de jugo crudo, tanques de almacenamiento de jugo crudo.

Tabla XII. Mano de obra encargada de la instalación de filtro rotativo

Puesto	No. trabajadores	salario/día (Q)	días laborados	Total (Q)
soldador	2	150,00	25	7 500,00
Ayudante	2	56,00	25	2 800,00
rematador	2	65,00	25	3 250,00
Total				13 550,00

Fuente: elaboración propia.

Los materiales utilizados y la cantidad necesaria en la construcción de la estructura donde se prevé la instalación del filtro rotativo de jugo crudo se detallará en la tabla XIII, mostrando el material a emplear y el costo del mismo. Las vigas W y tubos serán de veinte pies.

Tabla XIII. Materiales a utilizar en la instalación del filtro rotativo en el tándem A

Material	cantidad	Valor unitario (Q)	Total (Q)
Cable tsj 3x10'	110 m	13,24	1 456,40
Arrancador nema II	1 unidad	3 097,16	3 097,16
Tubo conduit 1"	10 unidad	83,81	838,10
Viga w 16"x40'	3 unidad	4 034,20	12 102,60
Viga w 12"x 30'	2 unidad	2 458,60	4 917,20
Viga w 12"x 53'	3 unidad	14 701,14	44 103,42
Viga w 6"x12'	1 unidad	638,40	638,40
Hierro C 8"x18 3/4x2 1/2	3 unidad	2 101,60	6 304,80
Tubo 2" negro cedula 40	4 unidad	370,80	1 483,20
Tubo 8" inoxidable cedula 40	16 unidad	16 580,00	265 280,00
Tubo 10" inoxidable cedula 40	2 unidad	23 757,00	47 514,00
Costanera 8x2x1/16	3 unidad	189,00	567,00
Lamina canalada	30 unidad	11,40	3 342,00
Lamina inoxidable 1/4" 6x20'	13 unidad	27 133,20	352 731,60
		Total	744 375,88

Fuente: elaboración propia.

El costo total para la instalación del filtro rotativo en el tándem A ascenderá a la suma total de mano de obra y materiales, siendo la cantidad de Q. 757 925,88.

3.3.4. Costo de fabricación de filtro

El costo de fabricación del filtro rotativo en el Ingenio La Unión contendrá los rubros de mano de obra tal como se mostrará en la tabla XIV. Se trabajará en una jornada de tiempo de reparación; con horario de siete de la mañana a cinco de la tarde de lunes a viernes.

Tabla XIV. Mano de obra encargada de la fabricación de filtro rotativo

CONSTRUCCIÓN DE FILTRO ROTATIVO DE JUGO CRUDO				
Puesto	No. trabajadores	salario/día	días laborados	
soldador	3	Q150,00	25	Q 11 250,00
Ayudante	3	Q56,00	25	Q 4 200,00
rematador	2	Q65,00	25	Q 3 250,00
			Total	Q 18 700,00

Fuente: elaboración propia.

Los materiales que se utilizarán para la construcción de los equipos esenciales para el funcionamiento del filtro rotativo se contemplan en la tabla XV, dando la cantidad de material a utilizar y el costo del mismo, como también el total de materiales a comprar

Tabla XV. Listado de materiales y equipos utilizados en la fabricación del filtro rotativo, en el Ingenio La Unión

Material	Cantidad	Valor unitario (Q)	Total (Q)
Lámina inoxidable 1/8" 6X20'	11	11 170,80	122 878,80
Lámina inoxidable 1/4" 6X20'	1	27 133,20	27 133,20
Angular 1/4" 2-1/2X2-1/2	3	303,00	909,00
Lámina 1/2" 4X8'	1	2 472,00	2 472,00
Lámina 1/4" 4X8 '	2	1 208,96	2 417,92
Viga W 10"X 22'	5	2 537,50	12 687,50
Viga W 10"X 22'	4	2 030,00	8 120,00
Viga W 4"X 13'	4	1 430,00	5 720,00
Viga W 6"X12'	1	912,00	912,00
Viga C 6"X8 '	2	753,00	1 506,00
Eje cold rolled Ø 2-3/4"	8	198,48	1 587,84
Tornillo inoxidable Ø 5/16"X1-1/4"	130	7,20	936,00
Tornillo inoxidable Ø 1/2"X1 1/2"	60	8,46	507,60
Tornillo inoxidable Ø 3/8"X1 ½	260	6,00	1 560,00
Tornillo Ø 7/16"X1½ grado 2	48	0,78	37,44
Tornillo Ø 7/16"X2 ½ grado 2	32	0,91	29,12
Tornillo Ø 7/16"X2 ¼ grado 2	10	0,70	7,00
Tuerca inoxidable Ø 5/16 "	130	1,10	143,00
Tuerca inoxidable Ø ½ "	60	2,50	150,00
Tuerca inoxidable Ø 3/8"	260	0,82	213,20
Tuerca Ø ½ "	90	0,23	20,70
Roldana plana inoxidable Ø 5/16"	130	0,51	66,30
Roldana presión inoxidable Ø 5/16"	130	0,50	65,00

Continuación de tabla XV.

Roldana plana inoxidable Ø ½"	60	1,50	90,00
Roldana presión inoxidable Ø ½"	60	1,20	72,00
Roldana plana inoxidable Ø 3/8"	260	1,68	436,80
Roldana presión inoxidable Ø 3/8"	260	1,68	436,80
Roldana plana Ø 7/16"	90	0,15	13,50
Roldana de presión Ø 7/16"	90	0,80	72,00
Tubo Ø 3½ "cédula 40 inoxidable	7	209,80	1 468,60
Electrodo E-309 Mo-16 Ø 3/32"	20	76,00	1 520,00
Electrodo E-308 L-16 3/32"	10	36,00	360,00
Electrodo E-7018 Ø 1/8"	40	8,65	346,00
Electrodo E-6011 Ø 1/8"	30	8,80	264,00
Reductor 2060Y3, ratio 57,66, factor de servicio 1,5	1	120 000,00	120 000,00
motor eléctrico 20 Hp, 1760 Rpm	1	9 444,40	9 444,40
<i>Sprocket</i> 160A 54H	1	8 000,00	8 000,00
Cadena simple RC 160	10	242,62	2 426,20
Tela filtrante <i>vee wire</i>	6	75 000,00	450 000,00
Chumacera <i>pillow block</i> mod. Snl 616	4	5 141,70	20 566,80
Cojinete 22316EK skf	4	2 670,98	10 683,92
Bomba 4x6", impulsor Ø 11", capacidad 1,200 gpm, motor 40 hp y 1770rpm	2	25 370,00	250 740,00
		Total	1 067 020,64

Fuente: elaboración propia.

El costo por la fabricación del filtro rotativo asciende a Q. 1 085 720,64. En este va comprendida la mano de obra que realizará la transformación de los materiales.

3.4. Costo total de inversión

El costo total para realizar la fabricación e instalación del nuevo sistema de filtrado de jugo crudo en el tándem A, asciende a un millón ochocientos cuarenta y tres mil seiscientos cuarenta y seis quetzales con cincuenta y dos centavos (Q. 1 843 646,52). Este valor lleva comprendido los costos de fabricación del filtro, costo de instalación de equipos, como se muestra en la tabla resumen XVI.

Tabla XVI. Resumen del costo total de la inversión del filtro rotativo para jugo crudo, en el tándem A

Costos	Cantidad (Q)
Materiales utilizados en fabricación de filtro rotativo	1 067 020,64
Mano de obra de la fabricación de filtro rotativo	18 700,00
Materiales a utilizar en instalación de filtro rotativo	744 375,88
Mano de obra para instalar filtro rotativo	13 550,00
TOTAL DE INVERSION	1 843 646,52

Fuente: elaboración propia.

3.5. Evaluación de la inversión

3.5.1. Evaluación para medir la rentabilidad del proyecto por medio de los métodos Beneficio/Costo y VPN

Relación beneficio-costos

Este método se establece con el fin de evaluar la eficiencia con que se utilizan los recursos de un proyecto determinado. Si los ingresos superan a los costos el proyecto es aceptable, en caso contrario el proyecto debe ser rechazado.

El criterio formal de decisión cuando se utiliza la relación Beneficio/Costo para evaluar alternativas, consiste en aceptar todos aquellos cuya relación beneficio/costo sea 1 o superior a 1. Si el resultado es menor que 1, ello indica que el valor actual de los ingresos sería menor que el valor actual a los costos y no se estaría recuperando la inversión.

La relación Beneficio/Costo esta representada por:

$$\text{Beneficio/Costo} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}}$$

Los ingresos estarán representados por los ahorros esperados en la sustitución del filtro horizontal de jugo crudo por el filtro rotativo de jugo, tomando en cuenta ahorros por mantenimiento preventivo + costo de operación.

$$\text{Ingresos} = (\text{Q. } 313\,431,57 - \text{Q. } 3\,001,58) + (\text{Q. } 100\,280,4298 - \text{Q. } 58\,102,1705) = \text{Q. } 352\,608,2493$$

Los egresos serán representados por los costos que estén directamente relacionados con el funcionamiento normal del filtro rotativo, tomándose en cuenta costo por operación + costo de mantenimiento.

$$\text{Egresos} = \text{Q. } 58\,102,1705 + \text{Q. } 3\,001,58 = \text{Q. } 61\,103,7505$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Q. } 352\,608,2493}{\text{Q. } 61\,103,7505} = 5,77064$$

Como la relación Beneficio/Costo es mayor de 1, esto implica que los ingresos son mayores a los egresos, entonces el proyecto es recomendable para su ejecución teniendo un rendimiento de Q. 4,77064 por cada quetzal.

Evaluación por medio del método VPN (valor presente neto)

Este método se establece con el fin de evaluar la eficiencia con que se utilizan los recursos de un proyecto determinado. Si los ingresos superan a los costos, el proyecto es aceptable, en caso contrario el proyecto debe ser rechazado.

El valor presente neto puede desplegar tres posibles respuestas, las cuales pueden ser las siguientes:

VPN < 0

VPN = 0

VPN > 0

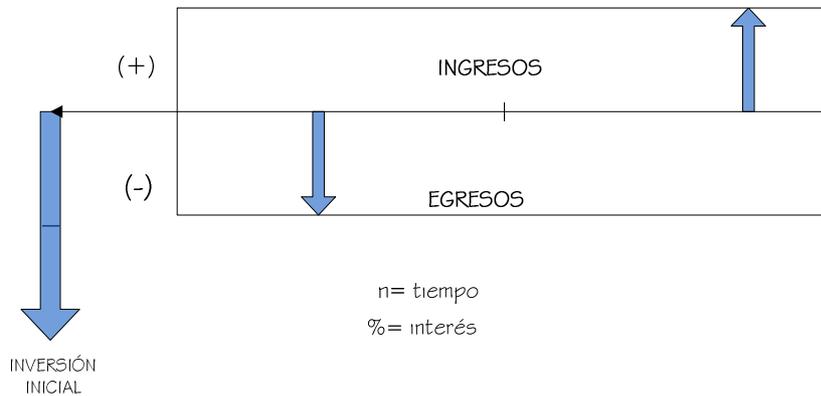
Si el VPN < 0 y el resultado es un valor negativo muy grande alejado de cero, está alertando o previniendo que el proyecto no es rentable, ya que se está estimando que habrán pocos ingresos y en el tiempo que se pretende recuperar la inversión no se logrará. Pero si el VPN < 0 cercano a cero está indicando, que la opción puede ser rentable.

Cuando el VPN = 0 esta indicando que exactamente se está generando el porcentaje de utilidad que se desea, y cuando el VPN > 0, está indicando que la opción es rentable y que inclusive podría incrementarse el porcentaje de utilidad.

A continuación se presentan los siguientes cálculos necesarios para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

- Utilidad de proyecto = Ingresos – Egresos
Utilidad = Q. 705 216,50 - Q. 122 207,50 = Q 583 009,00
- Tiempo de recuperación de la inversión del proyecto:
Tiempo de recuperación = Costo de la inversión/utilidad
Tiempo de recuperación = Q. 1 843 646,52 / Q. 583 009 = 3,1623 años
El tiempo de recuperación es aproximadamente de 4 años.
- En base al dato anterior se procede a calcular el valor presente neto.

Figura 68. Diagrama de flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia.

El valor presente neto se calculará en base a la siguiente fórmula:

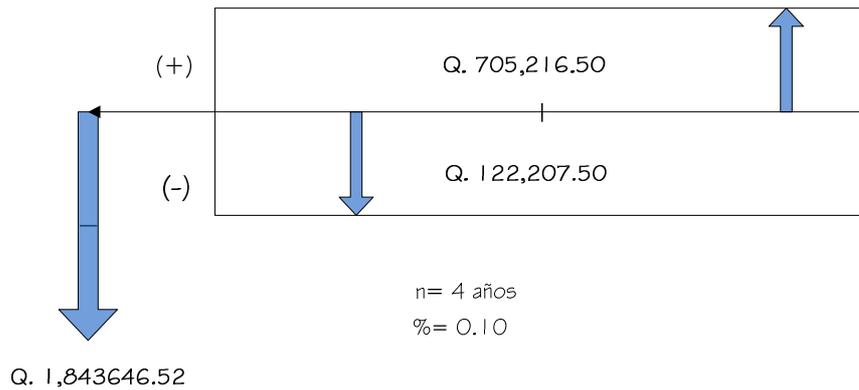
$$VPN = -Inversión + (Ingresos - Egresos) \left[\frac{(1 + \%)^n - 1}{\% \times (1 + \%)^n} \right]$$

Para la recuperación del proyecto se tomará un tiempo de recuperación de 7 años.

Entonces:

- Inversión Inicial = Q. 1 843 646,52
- Costo anual = Q. 122 207,50
- Ingresos/año = Q. 705 216,50
- Tasa del proveedor = 10%

Figura 69. Flujo de efectivo para la inversión de la sustitución del filtro rotativo



Fuente: elaboración propia.

Sustituyendo datos en la forma anterior se tendrá lo siguiente:

$$VPN = -1\,843\,646,52 + (705\,216,50 - 122\,207,50) \left[\frac{(1+0,1)^4 - 1}{0,10 (1+0,10)^4} \right]$$

$$VPN = Q.4\,413,56$$

El valor presente neto es mayor que cero por lo cual el proyecto es rentable y se tendrá una ganancia de cuatro mil cuatrocientos trece quetzales con cincuenta y seis centavos.

4. CAPACITAR AL PERSONAL SOBRE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO ROTATIVO EN SUSTITUCIÓN DEL FILTRO HORIZONTAL (PACHAQUIL), PARA EL TANDEM DE MOLINOS “A”

4.1. Planificar las capacitaciones

Para realizar la capacitación de los operarios se sostuvieron charlas con el supervisor del área. Esto se debe que, bajo su cargo se encuentra todo el personal en el tándem de molinos. Al supervisor se le dieron los temas relacionados en la capacitación los cuales son: funcionamiento de filtro rotativo, limpieza para control del crecimiento bacteriano en el filtro, ventajas del filtro rotativo, desventajas del filtro horizontal, mantenimiento del filtro rotativo.

Así también se solicitó el tiempo de 40 minutos para desarrollar la capacitación, en el cual se tocaron los temas antes mencionados a los operarios.

4.1.1. Reuniones para introducir a los operarios

En tiempo de reparación se platicó con los operarios en relación con las mejoras que se pretenden hacer en el tándem A, hablando específicamente de la futura sustitución del filtro horizontal (pachaquil) por el filtro rotativo, para que aportaran ideas acerca de la instalación del mismo.

Las reuniones se llevaron a cabo en el tándem A, con la ayuda del supervisor del área que reunía al personal en pequeños grupos para llevar un mejor control del personal y llevar mejor la información hacia ellos.

4.2. Programación para capacitación

La capacitación se llevó a cabo el día jueves 18 de agosto del año dos mil diez a las 10:00 horas en la sala de capacitaciones, desarrollando los temas mostrados en la tabla XVII. Estuvo prevista la asistencia de un grupo de treinta personas como se muestra en la figura 70.

Tabla XVII. Programación del contenido desarrollado al personal del tándem A

Tema	Impartió capacitación	Horario (a.m.)
Descripción del funcionamiento de filtro horizontal	Abdi Rodas	10:00 - 10:15
Desventajas de filtro horizontal	Abdi Rodas	10:15 - 10:30
Descripción del funcionamiento del filtro rotativo	Abdi Rodas	10:30 - 10:45
Ventajas del filtro rotativo	Abdi Rodas	10:45 - 11:00
Desarrollo de limpieza en filtro rotativo	Abdi Rodas	11:00 - 10:15
Mantenimiento de filtro rotativo	Abdi Rodas	11:15 - 11:30
Evaluación	Abdi Rodas	11:30 - 11:40

Fuente: elaboración propia.

Figura 70. Capacitación a operarios a



Fuente: Ingenio La Unión.

4.2.1. Descripción de desventajas del filtro horizontal

Al personal que opera en tiempo de zafra y en época de reparación del tándem A, se le dio a conocer las causas que influyen en el filtro horizontal en la contaminación de jugo crudo, siendo las siguientes:

- Difícil limpieza de telas de filtro horizontal
- Uso de accesorios; extensiones de boquillas para dirigir el agua caliente en lugares de difícil acceso y visibilidad nula

- No pueden observar las paredes laterales del filtro horizontal y canales de alimentación de jugo crudo si hay acumulamiento de bagacillo
- Mayor tiempo de limpieza en las tablillas
- Desgaste que es producido por el paso de tablillas en las telas del filtro y lámina de fondo del conductor inclinado, así también el desgaste de paredes del filtro horizontal y conductor inclinado
- Mayor dificultad de trabajo en revisión de láminas por inclinación del conductor y mallas de paso ubicadas encima del filtro horizontal
- Posturas incómodas al momento de realizar una reparación en filtro horizontal como en el conductor inclinado
- El costo elevado de materiales por mantenimiento correctivo.

Figura 71. Capacitación a operarios b



Fuente: Ingenio La Unión.

4.2.2. Ventajas de usar el filtro rotativo

Se dio a conocer a los operarios las ventajas que se tendrían al estar utilizando el filtro rotativo para jugo crudo del tándem A

- Sistema de fácil funcionamiento
- Fácil limpieza de telas (limpieza interna)
- Fácil acceso para realizar limpieza a equipos aledaños a las telas de filtro (limpieza externa)
- Tiempo en realización de limpieza menor al del filtro horizontal
- No se requiere de accesorio en mangueras para realizar limpieza
- El sistema no utiliza equipos que remuevan el bagacillo detenidos por las telas, evitando el desgaste y ruptura de las mismas
- El mantenimiento se realiza en postura normal o agachada, evitando así los trabajos en posiciones que causan cansancio y dolores musculares

Figura 72. Capacitación a operarios c



Fuente: Ingenio La Unión.

4.2.3. Integración del nuevo equipo para filtrado

Aquí se comprendieron los aspectos básicos que deben de conocer los operarios para que se familiaricen con el nuevo sistema de filtrado de jugo crudo en el tándem A.

4.2.3.1. Descripción del funcionamiento del filtro rotativo

Se les proporcionó a los operarios la información necesaria sobre el funcionamiento del filtro horizontal:

- Sentido de rotación
- Velocidad de rotación
- Inclinación de funcionamiento
- Tipo de telas de filtración

Figura 73. Capacitación a operarios d



Fuente: Ingenio La Unión.

4.2.3.2. Explicación para realizar la limpieza en el filtro

Se transmitió los lineamientos básicos a seguir para realizar una correcta limpieza del filtro rotativo cuando está en funcionamiento:

- Colocarse el equipo de seguridad personal
- Revisar las boquillas de mangueras
- Conectar las mangueras a las tomas de agua calientes
- Abrir la llave de paso para el agua
- Apuntar el chorro de agua hacia la parte interna
- Limpiar por secciones la parte interna del filtro
- Al momento de realizar la limpieza externa trabajar por secciones, para evitar así el paso de piezas que no han sido lavadas.

Figura 74. Capacitación a operarios e



Fuente: Ingenio La Unión.

4.2.3.3. Información sobre mantenimiento preventivo

En este punto se trató acerca del mantenimiento que se debe realizar al filtro para evitar los desperfectos en épocas de zafras:

- Revisión de telas
- Comprobación de tornillos que unen telas entre si
- Verificación de cordones de soldadura en cuerpo filtrante
- Revisión de soportes y chumaceras de filtro
- Reconocimiento del grosor de los ejes de los soportes.

Figura 75. Capacitación a operarios f



Fuente: Ingenio La Unión.

Para medir el impacto de la información se les proporcionó a los colaboradores se paso la prueba que contenía nueve preguntas, con una duración de diez minutos. En la cual todos los participantes obtuvieron resultados favorables y aceptación abierta al nuevo sistema de filtrado.



Subraye la respuesta que usted considere correcta. Seleccionar dos respuestas se tomará como respuesta incorrecta. Tiempo de duración 10 minutos.

1) ¿Cuál es una ventaja del filtro horizontal?

- a. Difícil limpieza de telas.
- b. Tiempo menor de limpieza.
- c. Revisión de telas
- d. Revisar mangueras.

2) Seleccione el lineamiento básico para realizar limpieza en el filtro rotativo

- a. conectar manguera, abrir llave de paso, apuntar chorro.
- b. abrir llave, conectar manguera, colócase equipo de seguridad.
- c. colocarse equipo de seguridad, revisar boquillas, conectar mangueras, abrir llaves de paso.
- d. Todas son correctas.

3) ¿Cuál es el sentido de rotación del filtro rotativo?

- a. A favor de las manecillas del reloj.
- b. En contra de las manecillas del reloj.
- c. No hay ninguna rotación.

4) Seleccione las desventajas del filtro horizontal.

- a. Fácil limpieza de telas.
- b. Mayor tiempo de limpieza.
- c. Fácil funcionamiento
- d. No requiere de equipos para remover bagazo.

5) ¿Cuánto tiempo deben de emplear para realizar una correcta limpieza?

- a. 30 - 45 min.
- b. 55- 70 min.
- c. 50 – 70 min.
- d. Ninguna de las anteriores.

6) ¿Cuáles son las partes del filtro rotativo?

- a. cuerpo filtrante, armazón de filtro, soportes axiales y radiales, soportes verticales, chásis filtro, bancazo con chumaceras, motor y reductor.
- b. conductor inclinado, transportador helicoidal pequeño, transportador helicoidal grande, tablillas filtro, tablillas transportador.

7) ¿Cuál es la necesidad básica para realizar la limpieza en los filtros de jugo crudo?

- a. Limpiar acumulación de bagazo en equipos .
- b. Reducir crecimiento de bacterias.
- c. Mejorar la presentación de los equipos.
- d. No agrega valor a la producción.

8) ¿A qué se debe la sustitución del filtro horizontal por el filtro rotativo?

- a. Disminuir costos.
- b. Remodelación.
- c. Disminuir consumo de agua.
- d. Reducir el crecimiento de bacterias en jugo crudo.

9) ¿Cuál es la velocidad del filtro en la salida de bagazo?

- a. 7,5 rpm
- b. 10 rpm
- c. 5 rpm
- d. 6 rpm

CONCLUSIONES

1. Los análisis que se efectuaron a los sistemas de filtrados de jugo crudo fueron: microbiología y porcentaje de humedad en fibras separadas para cada filtro. En el análisis de microbiología se observó que hay un mayor crecimiento en las poblaciones de bacterias en el filtro horizontal que en el filtro rotativo. Los resultados obtenidos de los análisis de la humedad comprendida en las fibras de bagazo de ambos filtros, reveló que el porcentaje de humedad del filtro rotativo es menor al del filtro horizontal.
2. El parámetro de humedad de las fibras que son desechadas del filtro horizontal se encuentra en un promedio de 80,02%, mientras que el porcentaje de humedad de las fibras evacuadas por el filtro rotativo se encuentran en promedio al 71,037%. Demostrando así que la humedad del filtro rotativo posee un mejor nivel respecto al filtro horizontal
3. El costo de funcionamiento por zafra del filtro horizontal (pachaquil) asciende a la cantidad de cien mil doscientos ochenta quetzales con cuarenta y tres centavos (Q. 100 280,43) y costo de manteniendo se registro la cantidad de trescientos trece mil cuatrocientos treinta y un quetzales con cincuenta y siete centavos (Q. 313 431,57). Los costos por la operación o funcionamiento del filtro rotativo es de cincuenta y ocho mil ciento dos quetzales con diecisiete centavos (Q. 58 102,17), el costo del mantenimiento del filtro rotativo le costo al ingenio la cantidad de tres mil un quetzales con cincuenta y ocho centavos (Q. 3 001,58). Como se observa los costos de funcionamiento y mantenimiento del filtro rotativo

son mayores a los del filtro rotativo, esto se debe a que el filtro horizontal es un sistema viejo y obsoleto.

4. La implementación del filtro rotativo en sustitución del filtro horizontal en el tándem A, necesitaría una inversión de un millón ochocientos cuarenta y tres mil seiscientos cuarenta y seis quetzales con cincuenta y dos centavos (Q. 1 843 646,52), cantidad que incluye el costo de instalación y el costo de fabricación del filtro rotativo.
5. Los análisis que se utilizaron para determinar la viabilidad del proyecto, demostraron que: en la relación beneficio-costos se determinó que los costos son menores a los ingresos obteniéndose una relación de 5,77064. En el análisis del valor presente neto se observó que es viable el proyecto al obtener un valor mayor que cero, siendo este de Q. 4 413,56. En base a lo anterior se recomienda su inversión.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que se observa que en la información de la misión de la empresa no aparece un concepto y dirección puntual, propone la siguiente: Somos una empresa Agroindustrial, encargada de producir caña, azúcar y generación de energía, de excelente calidad que satisfaga las necesidades de nuestros clientes, trabajando con responsabilidad y compromiso. La visión es la dirección hacia donde quiere llegar la empresa, por lo que se propone lo siguiente: Ser el ingenio líder en producción de: caña, azúcar refinada, cristal y crudo, y electricidad, distinguiéndonos por los altos estándares de calidad manejados en nuestros procesos productivos.
2. Al supervisor se le recomienda extender y sistematizar las capacitaciones al personal que labora en el tándem A en época de reparación, tocando los temas de equipos de protección personal en soldadores, ayudante de soldador, mecánicos y ayudante de mecánico, limpiezas en áreas de trabajo para evitar accidentes y uso correcto de las herramientas para evitar lesiones al personal.
3. Bajar la altura del nivel de suelo respecto a la masa superior del molino número uno, para evitar así la proximidad de tuberías con el casco de las personas que se movilizan por ese nivel, disminuyendo el riesgo de lesiones en el cabeza por golpes producidos por algún cargador o tubería.
4. Se recomienda al superintendente de extracción y molienda capacitar al personal operario en temas de higiene para crear una cultura de limpieza,

removiendo la acumulación de polvo y bagacillo en tuberías de agua, imbibición y otros equipos instalados. Mejorando la presentación del área de trabajo en época de zafra.

5. Realizar los estudios adecuados para mejorar la iluminación de los niveles y pasillos que se encuentran a los costados de los molinos del tándem A, para mejorar las condiciones de trabajo a los trabajadores de los turnos: 2:00 pm a 10:00 pm y 10:00 pm a 6:00 am. Para evitar futuras lesiones y accidentes a los operarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. GUERRERO SPINOLA DE LÓPEZ, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos: conceptos basicos*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, 2005. 81 p.
2. BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 1992. 110 p.
3. MEADE, Spencer. *Manual del azúcar de caña*. España: Montaner y Simón. 1967. 800 p.
4. PINTO VILLATORO, Roberto. *Planificación estratégica de capacitación*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2000. 50 p.
5. POPE J, Edward. *Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico*, México: Interamericana McGraw-Hill, 2000. 405 p.
6. VIEJO ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. 3a ed. México: Noriega, 2006. 175 p.
7. TYLER G, Hichs. *Manual para el cálculo de las ingenierías*. 3a ed. Mexico: McGraw-Hill, 1998. 301 p.