



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

**DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL
DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA
CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE
UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**

Francisco José Cardona Valencia

Asesorado por el Ing. José Francisco Gómez Rivera

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE
UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL
DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE
DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FRANCISCO JOSÉ CARDONA VALENCIA
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Roberto Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADORA	Inga. Mayra Sadeth Arriaza Martínez
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Jerez Juárez
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:

DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 23 de julio de 2019.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Francisco José Cardona Valencia'.

Francisco José Cardona Valencia

Guatemala, 13 de abril de 2020

Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial.

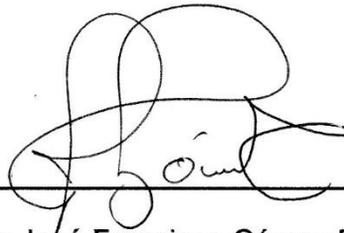
Por este medio, me dirijo a usted para informarle, que yo, el Ingeniero Industrial José Francisco Gómez Rivera, con colegiado número mil seiscientos sesenta y cinco (1665), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno Francisco José Cardona Valencia, identificada con CUI 2211718940101, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la empresa donde se desarrolló la misma.

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: **DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN.**

Trabajo que cumple con los objetivos planteados, se ajusta al contenido indicado y autorizado según protocolo, lo que permite proseguir los trámites correspondientes..

Atentamente.



Ingeniero José Francisco Gómez Rivera.

Colegiado 1665

José Francisco Gómez Rivera
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 1665



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.062.020

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Francisco José Cardona Valencia**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

María Martha Wolford Estrada
Ingeniera Industrial
Colegiada 2659

Inga. María Martha Wolford de Hernández
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2020.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.003.021

Guatemala, febrero de 2021.

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 **DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Francisco José Cardona Valencia**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas Motivo: Ingeniero Industrial Ubicación Colegio de Ingenieros de Guatemala Colegiado 4,272
--

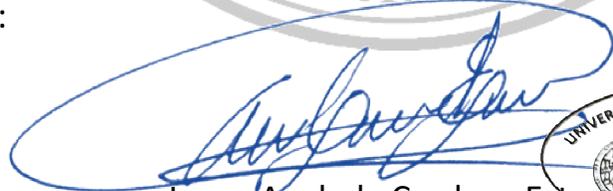
Ing. César Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

/mgp

DTG. 039.2021.

La Decana 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: **DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL, PARA EL DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD (MCC), EN EL DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN, DE UNA PLANTA DE ENSAMBLAJE DE UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Francisco José Cardona Valencia**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi guía a lo largo de todo este camino.
Por brindarme la sabiduría y el entendimiento necesarios para alcanzar este logro.

Mi madre

Esperanza Valencia Ramírez, que con singular amor me ha acompañado siempre en cada etapa de mi vida, regalándome una sonrisa cuando más la he necesitado.

Mi padre

Manuel Heriberto Cardona Nardelí, que ya descansa en los brazos de nuestro Dios; por ser mi ejemplo de superación y la piedra angular de mi educación.

Mis hermanos

Carlos Alberto y Hery Manuel Cardona Valencia, por apoyarme en cada etapa de mi vida e incentivar me siempre y en todo momento, a culminar con éxito esta etapa de mi vida académica.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma máter del conocimiento, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de crecer en sus aulas.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme todas las herramientas y las competencias necesarias para desempeñarme como un exitoso profesional de la Ingeniería.

**Fogel de Centroamérica
S.A.**

Por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar el presente trabajo de investigación en sus instalaciones.

**Ing. José Francisco
Gómez**

Por brindarme su apoyo, amistad y asesoría durante la elaboración del presente trabajo de graduación.

Ing. Elder Josué Fuentes

Por compartir conmigo la pasión por la ingeniería y por motivarme siempre a realizar un trabajo de excelencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Historia.....	1
1.1.2. Descripción	2
1.2. Información general	2
1.2.1. Ubicación	3
1.2.2. Misión	3
1.2.3. Visión.....	4
1.2.4. Política de calidad.....	5
1.2.5. Perfil industrial	5
1.3. Tipo de organización	6
1.3.1. Organigrama.....	7
1.4. Principios fundamentales de calidad	8
1.4.1. Calidad	8
1.4.2. Punto crítico de control (PCC)	9
1.4.3. Indicador de desempeño	9
1.4.4. Variación.....	10
1.4.5. Siete herramientas de la calidad.....	12

1.4.5.1.	Diagrama causa – efecto.....	12
1.4.5.2.	Hojas de verificación y recopilación de datos.....	14
1.4.5.3.	Histograma	15
1.4.5.4.	Diagrama de Pareto	16
1.4.5.5.	Estratificación	18
1.4.5.6.	Diagrama de dispersión.....	19
1.4.5.7.	Gráfico de control	19
1.4.6.	Mejora continua de la calidad.....	20
1.4.7.	Pasos para la mejora continua	21
1.4.7.1.	Primer paso: identificación de problemas u oportunidades de mejora	22
1.4.7.2.	Segundo paso: seleccionar las situaciones mejorables más relevantes.....	24
1.4.7.3.	Tercer paso: análisis de las causas raíces.....	27
1.4.7.4.	Cuarto paso: medición de la situación actual.....	30
1.4.7.5.	Quinto paso: análisis de resultados y propuesta de acciones de mejora.....	32
1.4.7.6.	Sexto paso: reevaluación de las soluciones	33
2.	SITUACIÓN ACTUAL	35
2.1.	Descripción del producto.....	35
2.1.1.	Generalidades	35
2.1.2.	Componentes	35

2.2.	Descripción del proceso de ensamblaje	38
2.2.1.	Ensamble 1.....	38
2.2.2.	Espuma.....	39
2.2.3.	Ensamble 2.....	39
	2.2.3.1. Subensamble baffles	40
2.2.4.	Ensamble 3.....	40
	2.2.4.1. Subensamble unidades	40
	2.2.4.2. Subensamble puertas	40
2.2.5.	Refrigeración	41
2.3.	Descripción de los procesos de prueba de Instrumentación ...	42
2.3.1.	Prueba de fugas	42
	2.3.1.1. Objeto de la prueba	43
	2.3.1.2. Parámetros de prueba	43
	2.3.1.3. Etapas de la prueba.....	43
2.3.2.	Prueba de bombas de vacío	45
	2.3.2.1. Objeto de la prueba	46
	2.3.2.2. Parámetros de prueba	47
	2.3.2.3. Etapas de la prueba.....	48
2.3.3.	Carga de refrigerante.....	48
	2.3.3.1. Objeto de la prueba	49
	2.3.3.2. Parámetros de prueba	49
	2.3.3.3. Etapas de la prueba.....	49
2.3.4.	Prueba eléctrica.....	49
	2.3.4.1. Objeto de la prueba	50
	2.3.4.2. Parámetros de prueba	50
	2.3.4.3. Etapas de la prueba.....	51
2.4.	Descripción del equipo de pruebas.....	52
2.4.1.	Maquinaria	52
2.4.2.	Herramientas auxiliares	53

2.5.	Análisis de los procesos de prueba de Instrumentación	54
2.5.1.	Diagrama de flujo de la prueba de fugas.....	55
2.5.2.	Diagrama de flujo de la prueba de bombas de vacío.....	56
2.5.3.	Diagrama de flujo de la carga de refrigerante	57
2.5.4.	Diagrama de flujo de la prueba eléctrica	58
3.	PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL	59
3.1.	Identificación de problemas u oportunidades de mejora	59
3.1.1.	Delimitación del problema	59
3.1.1.1.	Técnica de los 5 porqué	60
3.1.2.	Definir objetivos.....	61
3.2.	Selección de las situaciones mejorables más relevantes.....	61
3.2.1.	Selección previa	62
3.2.2.	Evaluación – Priorización	62
3.2.2.1.	Matriz de priorización	62
3.2.3.	Selección definitiva.....	64
3.3.	Análisis de las causas raíces del problema.....	64
3.3.1.	Estratificación del proceso.....	64
3.3.2.	Exploración de causas	65
3.3.2.1.	Diagrama Ishikawa	65
3.3.2.2.	Análisis del diagrama	66
3.3.3.	Generación de hipótesis causales.....	67
3.3.4.	Plan de recolección de datos	67
3.3.4.1.	Recolección de datos históricos	68
3.3.4.2.	Análisis de datos recolectados	68
3.3.4.3.	Diagrama de Pareto	69
3.3.4.4.	Histograma	69

3.3.5.	Validación de la hipótesis causal	70
3.4.	Medición de la situación actual	70
3.4.1.	Identificación de las mediciones a realizar.....	71
3.4.2.	Definición operacional de las variables.....	71
3.4.3.	Planificación del estudio	73
3.5.	Análisis de resultados y propuesta de acciones de mejora	73
3.6.	Implantación de las acciones de mejora	73
3.6.1.	Necesidad del cambio	74
3.6.2.	Participación del personal.....	74
3.7.	Reevaluación y ajuste.....	74
4.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	77
4.1.	Acciones para determinar los puntos críticos de control (PCC).....	77
4.1.1.	Estudio de las no conformidades.....	77
4.1.1.1.	Segmentación.....	78
4.1.2.	Estudio del proceso de producción.....	78
4.2.	Priorización de las acciones planteadas.....	82
4.2.1.	Matriz de priorización.....	83
4.3.	Plan de acción para la reducción de las no conformidades.....	84
4.3.1.	Determinación de procedencia	84
4.3.1.1.	Eléctrica	84
4.3.1.1.1.	Diagrama Ishikawa	90
4.3.1.1.2.	Causas raíz	91
4.3.1.2.	Refrigeración	91
4.3.1.2.1.	Diagrama Ishikawa	96
4.3.1.2.2.	Causas raíz	97
4.3.1.3.	Factores externos	97
4.3.1.3.1.	Diagrama Ishikawa	100

	4.3.1.3.2.	Causa raíz.....	101
	4.3.1.4.	Problema de maquinaria	101
	4.3.1.4.1.	Causa raíz.....	101
	4.3.1.5.	Errores operativos	101
	4.3.1.5.1.	Diagrama Ishikawa.....	104
	4.3.1.5.2.	Causas raíz.....	105
4.3.2.		Desarrollo de indicadores (KPI's)	105
	4.3.2.1.	Matriz de indicadores (KPI's).....	124
	4.3.2.2.	Balance scorecard (BSC)	125
4.3.3.		Estudio de la variabilidad.....	128
	4.3.3.1.	Gráficos de control	128
	4.3.3.1.1.	Desempeño actual vs. Desempeño estándar ..	129
	4.3.3.2.	BoxPlots	130
	4.3.3.2.1.	Desempeño actual vs. desempeño estándar...	139
4.4.		Implementación del plan de acción	140
	4.4.1.	Definición de objetivos.....	140
	4.4.2.	Detalle de la estrategia.....	140
	4.4.3.	Planteamiento de tareas.....	141
4.5.		Efectividad de la solución	141
	4.5.1.	Porcentaje de reducción de no conformidades	141
	4.5.1.1.	Eléctricas.....	141
	4.5.1.2.	Refrigeración	142
	4.5.1.3.	Factores externos.....	142
	4.5.1.4.	Problemas de maquinaria.....	142
	4.5.1.5.	Errores operativos	142
4.6.		Responsabilidades por departamento	143
	4.6.1.	Departamento de instrumentación	143

4.6.2.	Departamento de producción.....	144
4.6.3.	Departamento de mantenimiento.....	144
4.6.4.	Departamento de diseño.....	145
4.6.5.	Laboratorio de materiales	145
4.7.	Retroalimentación del proceso	146
4.7.1.	Actualización de bases de datos	146
4.7.2.	Análisis FODA	146
4.7.3.	Análisis modal de fallos y efectos (AMFE).....	147
CONCLUSIONES		171
RECOMENDACIONES		175
BIBLIOGRAFÍA.....		177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación	3
2.	Organigrama general	7
3.	Ciclo de la mejora continua	21
4.	Secuencia de estaciones de trabajo en las líneas de ensamblaje	41
5.	Distribución de la maquinaria en las líneas de producción.....	53
6.	Diagrama de flujo de la prueba de fugas.....	55
7.	Diagrama de flujo de la prueba de bombas de vacío	56
8.	Diagrama de flujo de la carga de refrigerante	57
9.	Diagrama de flujo de la prueba eléctrica	58
10.	Diagrama Ishikawa (Deficiencia en la identificación de puntos críticos de control (PCC))	65
11.	No conformidades en la prueba de potencia absorbida	79
12.	No conformidades en la prueba de voltaje residual.....	79
13.	No conformidades en la prueba de continuidad de tierra	80
14.	No conformidades en la prueba de corto circuito	80
15.	No conformidades en la prueba de aislamiento	81
16.	No conformidades en la prueba de fuga de corriente.....	81
17.	No conformidades en la prueba de rigidez dieléctrica.....	82
18.	Gráfico de Pareto para el hallazgo de no conformidades por pruebas eléctricas	87
19.	Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por problemas eléctricos	90
20.	Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por fugas	96

21.	Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por factores externos	100
22.	Diagrama de Ishikawa para las no conformidades por errores operativos	104
23.	Gráfico de control por atributos “P” para las no conformidades eléctricas mensuales del año 2019.....	110
24.	Gráfico de control por atributos “P” para las no conformidades por fugas mensuales del año 2019	113
25.	Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por carga de refrigerante mensuales del año 2019.....	116
26.	Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por factores externos, mensuales del año 2019.....	119
27.	Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por errores operativos, mensuales del año 2019	122
28.	Tendencia del desempeño estándar o esperado; en las gráficas de control por atributos “p” para el periodo de evaluación 2020	130
29.	Diagrama de caja y bigote para las no conformidades eléctricas registradas durante el año 2019	131
30.	Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por fugas registradas durante el año 2019	132
31.	Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por refrigeración, registradas durante el año 2019.....	134
32.	Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por factores externos, registradas durante el año 2019.....	135
33.	Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por errores operativos registradas durante el año 2019	137
34.	Modelo del desempeño estándar o esperado en los gráficos de caja y bigote para el periodo de evaluación 2020.....	139
35.	Matriz FODA en base al modelo de mejoramiento continuo de la calidad planteado.....	147

36.	Cronograma de actividades – programa de capacitación puntos críticos de control (PCC)	161
37.	Encuesta de satisfacción del cliente interno.....	164
38.	Histograma patrón para evaluar las no conformidades por fugas del periodo 2020	167
39.	Histograma patrón para evaluar las no conformidades por fugas del periodo 2020	167
40.	Histograma patrón para evaluar las no conformidades por problemas de refrigeración del periodo 2020.....	168
41.	Histograma patrón para evaluar las no conformidades por factores externos del periodo 2020.....	168
42.	Histograma patrón para evaluar las no conformidades por errores operativos del periodo 2020	169

TABLAS

I.	Matriz de los 5 porqué.....	60
II.	Matriz de priorización de problemas.....	63
III.	Matriz de hipótesis causales para el fenómeno de debilidad en la identificación de punto críticos de control.....	66
IV.	Cuadro de operacionalización de variables.....	72
V.	Matriz de priorización para establecer la metodología adecuada para la determinación de los puntos críticos de control (PCC).....	83
VI.	Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades eléctricas para el año 2019.....	85
VII.	Porcentaje de participación de las no conformidades eléctricas, por prueba fallida, para el año 2019.....	86

VIII.	Porcentaje de ocurrencia de las causas de no conformidad eléctrica en la prueba de potencia para el año 2019.....	88
IX.	Porcentaje de ocurrencia de las causas de no conformidad eléctrica en la prueba de rigidez dieléctrica para el año 2019.....	89
X.	Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por fugas para el año 2019.....	92
XI.	Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por fugas para el año 2019	93
XII.	Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades en la carga de refrigerante para el año 2019.....	94
XIII.	Porcentaje de participación de las causas de no conformidad en las cargadoras de refrigerante para el año 2019	95
XIV.	Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por factores externos para el año 2019	98
XV.	Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por factores externos para el año 2019.....	99
XVI.	Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por errores operativos para el año 2019.....	102
XVII.	Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por errores operativos para el año 2019	103
XVIII.	Desarrollo de indicadores claves de desempeño (KPI's).....	105
XIX.	Frecuencia mensual de no conformidades eléctricas con respecto a la producción total del año 2019.....	108
XX.	Límites de control del grafico p para no conformidades eléctricas.....	109
XXI.	Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades eléctricas	110
XXII.	Frecuencia mensual de no conformidades por fugas con respecto a la producción total del año 2019	111

XXIII.	Límites de control del grafico p para no conformidades en la prueba de fugas	112
XXIV.	Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por fugas.....	113
XXV.	Frecuencia mensual de no conformidades por carga de refrigerante con respecto a la producción total del año 2019	114
XXVI.	Límites de control del grafico p para no conformidades por carga de refrigerante.....	115
XXVII.	Consolidado de límites de control del grafico P para no conformidades por carga de refrigerante	116
XXVIII.	Frecuencia mensual de no conformidades por factores externos con respecto a la producción total del año 2019.....	117
XXIX.	Límites de control del grafico p para no conformidades por factores externos	118
XXX.	Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por factores externos	119
XXXI.	Frecuencia mensual de no conformidades por errores operativos con respecto a la producción total del año 2019.....	120
XXXII.	Límites de control del grafico p para no conformidades por errores operativos.....	121
XXXIII.	Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por errores operativos.....	122
XXXIV.	Criterios de calificación para el KPI de proporción de unidades rechazadas.....	123
XXXV.	Matriz de indicadores claves de desempeño para el departamento de Instrumentación.....	124
XXXVI.	Cuadro de mando integral para el departamento de instrumentación	126
XXXVII.	Estadísticos descriptivos para las no conformidades eléctricas, registradas durante el año 2019.....	131

XXXVIII.	Estadísticos descriptivos para las no conformidades por fugas registradas durante el año 2019	133
XXXIX.	Estadísticos descriptivos para las no conformidades por refrigeración, registradas durante el año 2019.....	134
XL.	Estadísticos descriptivos para las no conformidades por factores externos registradas durante el año 2019.....	136
XLI.	Estadísticos descriptivos para las no conformidades por errores operativos registradas durante el año 2019	137
XLII.	Matriz AMFE de las actividades operativas del departamento de Instrumentación	148
XLIII.	Matriz AMFE de las actividades de supervisión del departamento de Instrumentación	149
XLIV.	Frecuencia de calibración de cargadoras de refrigerante	151
XLV.	Rangos admisibles para la calibración de las cargadoras de refrigerante.....	152
XLVI.	Frecuencia de calibración de las probadoras de fugas.....	152
XLVII.	Rangos admisibles para la calibración de las probadoras de fugas ...	153
XLVIII.	Frecuencia de calibración de las probadoras eléctricas	154
XLIX.	Rangos admisibles para la calibración de las probadoras eléctricas ..	155
L.	Presupuesto de programa de capacitación sobre puntos críticos de control (PCC)	159

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
L	Litro
L/min.	Litros por minuto
m	Metro
mA	Miliamperio
N	Newton
Pa	Pascal
V	Voltio
Vac	Voltios de corriente alterna
W	Watt

GLOSARIO

Abatimiento	Etapa de una prueba de vacío en donde un sistema de refrigeración alcanza 200 micrones de presión.
Aislamiento	Cualidad de los materiales de impedir el paso de la corriente eléctrica.
Baffle	Parrilla metálica en donde descansa la unidad evaporadora de un sistema de refrigeración comercial.
Ciclopentano	Componente expansivo utilizado en la espuma de inyección para las unidades de refrigeración.
Continuidad de tierra	Estado eléctrico de una unidad de refrigeración en la que todas sus conexiones se encuentran aterrizadas.
Evacuación	Remoción de refrigerante de un sistema frigorífico.
Fuga de corriente	Prueba eléctrica que verifica que no existan fugas de corriente mínimas en el circuito eléctrico del equipo.
Gas trazador	Gas encargado de trazar la ruta de la fuga en el ambiente para que esta sea fácilmente detectable.
Hipot	Prueba que verifica la efectividad de aislamiento de un producto eléctrico; garantiza la seguridad en la conexión de sus accesorios.

Micrón	Unidad de presión que equivale a 10^{-6} o 10^{-3} metros de mercurio.
Refrigerante	Fluido encargado del enfriamiento de las unidades de refrigeración.
Rigidez dieléctrica	Prueba eléctrica que chequea la seguridad y rigidez de las conexiones eléctricas, para garantizar que estas no sean débiles.
<i>Sniffer</i>	Dispositivo olfateador utilizado para detectar posibles fugas en las tuberías de una unidad de refrigeración.
Sostenimiento	Etapa de una prueba de vacío en la cual se mide la presión que pierde un sistema de refrigeración (diferencia real) en un tiempo determinado.
Termostato	Componente eléctrico que permite regular la temperatura de manera automática.
<i>Tyco</i>	Alojamiento de cables crimpados de un arnés eléctrico.
Vacío profundo	Etapa de una prueba de vacío en donde se practica una limpieza profunda a los sistemas de refrigeración por medio de una bomba de vacío.

RESUMEN

La organización que es objeto de estudio cuenta con más de 35 años en el mercado y ofrece a nivel mundial soluciones de refrigeración comercial confiables, duraderas y adaptables a las especificaciones del cliente.

La organización no contaba con una metodología efectiva que permitiera determinar los puntos críticos de control presentes en el proceso de ensamblaje; debido a ello, existía una frecuencia muy alta en la reincidencia de las no conformidades y, por ende, en el número de reprocesos.

Se utiliza la metodología del modelo de mejoramiento continuo de la calidad para desarrollar las directrices necesarias para que el sistema pudiese obtener una retroalimentación adecuada sobre las posibles deficiencias en la calidad del proceso y abordar la problemática de una manera más eficiente. Con la aplicación del método se logró segmentar las no conformidades, se abre la posibilidad de evaluarlas desde un punto de vista más específico. De esta manera, fue posible llegar a la causa raíz de las no conformidades, se determina la procedencia de las mismas.

Se propone un método innovador para evaluar el desempeño general de las pruebas de calidad a través de un conjunto de indicadores desarrollados por medio de los principios de control estadístico de procesos. Adicionalmente, se establecen los criterios necesarios para realizar una serie de estudios de variabilidad que permitirán encontrar posibles inconsistencias en los datos y, por ende, potenciales causas de no conformidad.

OBJETIVOS

General

Determinar los puntos críticos de control, para el diseño de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) en el departamento de Instrumentación, de una planta de ensamblaje de unidades de refrigeración.

Específicos

1. Definir estrategias que permitan identificar los puntos críticos de control del departamento; a través de la observación, análisis y estudio de la tendencia de las no conformidades.
2. Diseñar un mecanismo de segmentación para las no conformidades registradas; a fin de obtener un panorama más amplio que permita abordar la problemática desde una perspectiva más controlable.
3. Desarrollar un conjunto de indicadores (KPI's) que permitan comparar la información obtenida en distintos periodos de tiempo contra el histórico de datos acumulados hasta el momento, promoviendo de esta manera la toma oportuna de decisiones.
4. Cuantificar la variabilidad de los registros generados a fin de evaluar el comportamiento de los mismo en diversas condiciones de trabajo.

5. Coordinar satisfactoriamente la ejecución de planes de acción que permitan abordar el estudio y seguimiento de cada uno de los puntos críticos de control que forman parte del proceso.
6. Plantear un conjunto de estrategias que aporten valor agregado al desempeño de las actividades realizadas por el departamento de Instrumentación.
7. Proponer un plan de seguimiento que dé retroalimentación al modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) a través de un programa de capacitación hacia los colaboradores del departamento.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una gran parte de las empresas del sector productivo posee sistemas de mejoramiento continuo de la calidad; han mejorado sus controles a través de la implementación de nuevas metodologías de análisis de procesos. Surge la necesidad de desarrollar sistemas efectivos que permitan controlar y mitigar las no conformidades potenciales que puedan presentarse en una organización.

La organización se dedica al ensamblaje de unidades de refrigeración industrial y sus operaciones comerciales se extienden alrededor de todo el mundo. Es de vital importancia asegurar que los equipos que se están distribuyendo a cada cliente cuenten con las regulaciones y estándares necesarios para garantizar su buen funcionamiento y durabilidad. Debido a la gran cantidad de equipos ensamblados y a la diversidad de modelos comerciales que la organización ofrece al mercado, las probabilidades de incurrir en una no conformidad aumentan. Por falta de herramientas técnicas de análisis no se les da el seguimiento, por lo que, periódicamente, se provocan obstaculizaciones en las líneas de ensamblaje.

Como una respuesta favorable que permite abordar dicha problemática, se presenta el desarrollo del siguiente trabajo de investigación. En el primer capítulo, se detallan los antecedentes generales de la organización y se describen una serie de conceptos relacionados con el mejoramiento continuo de la calidad. Dichos conceptos son de importancia teórica, facilitan la comprensión y análisis de la problemática estudiada.

El segundo capítulo, se describe a detalle el proceso de ensamblaje de las unidades de refrigeración y se enumeran las pruebas de calidad desarrolladas por el departamento de Instrumentación.

El tercer capítulo, se propone la metodología que permitirá determinar los puntos críticos de control de las líneas de ensamblaje, los cuales sustentarán las bases para la elaboración de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) que permitirá dar un seguimiento apropiado a las no conformidades que se originan para detectar el origen del rechazo.

El cuarto capítulo, se desarrolla la propuesta del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) que se ha planteado. Partiendo del conteo y análisis de las no conformidades registradas en el departamento de Instrumentación y por medio de la aplicación de herramientas como el diagrama de Ishikawa y el diagrama de Pareto. Se han conseguido establecer los puntos críticos de control del proceso de ensamblaje. Se estudia estadísticamente el proceso por medio de la elaboración de gráficos de control por atributos "p", ha sido posible obtener los respectivos límites de control que describen el proceso; como resultado de ello, se ha conseguido desarrollar una serie de criterios de calificación que constituyen las bases para el desarrollo de un KPI denominado proporción de unidades rechazadas; cuya implementación, será de suma importancia para la evaluación del desempeño general anual de las pruebas de calidad realizadas por el departamento de instrumentación. En este capítulo también podrán encontrarse una serie de estudios de variabilidad, que parten de la correcta interpretación del desarrollo de los diagramas de caja y bigote.

Como una oportunidad de retroalimentación para el sistema, en el capítulo cinco se proponen dos métodos viables para la evaluación del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC), el conteo de la reincidencia de las no conformidades anuales y la encuesta interna de desempeño operativo.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes de la empresa

Para comprender el ámbito bajo el cual se desarrolla una organización; es importante conocer sus precedentes tanto operativos como organizacionales. A continuación, se enlistan los más importantes.

1.1.1. Historia

Originalmente, la compañía fue fundada por William Fogel en Pensilvania, Estados Unidos. En el año de 1967, decide expandir sus operaciones hacia Nicaragua; y es fundada FOGELSA, la primera planta de producción del Grupo Fogel de Centroamérica. En 1981, FOGELSA traslada sus operaciones a Guatemala y se constituye legalmente bajo el nombre de Refrigeradores de Guatemala (REFRIGUA). En 2007, atendiendo a la creciente demanda de refrigeradores comerciales en la región andina; Grupo Fogel decide abrir una segunda fábrica en Cali, Colombia, llamada Fogel Andina, S.A.

En su misión de ofrecer el mejor servicio con la mejor calidad; Fogel de Centroamérica alcanza la certificación ISO 9001:2015 en el año 2019 y adicionalmente se hace acreedor a la certificación internacional *Underwriters Laboratories INC* que le permite evidenciar el cumplimiento de las normas eléctricas y de sanidad para el comercio de unidades de refrigeración en los Estados Unidos.

Siendo fiel a su filosofía de ser una compañía comprometida con el medio ambiente, en el año 2014, Grupo Fogel fue certificado por *Green Development* como una organización que se ha comprometido a ser carbono neutral antes del año 2020.

1.1.2. Descripción

A manera de tener un concepto general sobre la organización; se describe a Grupo Fogel como un conjunto de empresas manufactureras dedicadas al ensamblaje, diseño, venta y servicio de refrigeradores comerciales. Sus productos y servicios se extienden a lo largo de todo el mundo; incluyendo países de Norteamérica, Sudamérica, Centro América, El Caribe, Europa y África. Por la extensión de sus operaciones, se ha convertido en un proveedor clave para las más grandes empresas de bebidas a nivel mundial además de ser un importante proveedor de otras industrias alimenticias.

Con poco más de 50 años de experiencia operando en el mercado de Latinoamérica, Grupo Fogel es una de las compañías pioneras en el mundo del diseño y manufactura de equipos de refrigeración comercial; lugar que se ha ganado a pulso por su capacidad para innovar y para convertir simples unidades de refrigeración, en obras maestras de la ingeniería que entregan un valor agregado de mercadeo a sus clientes.

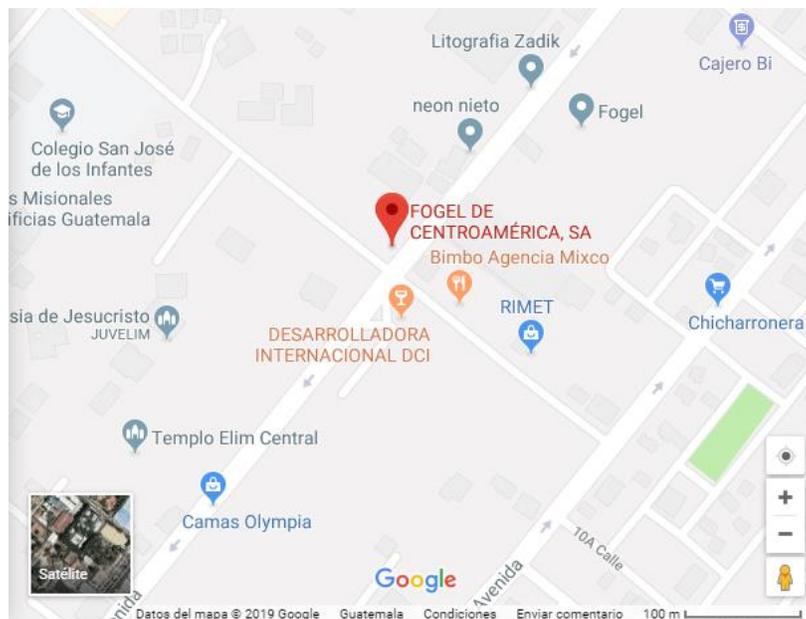
1.2. Información general

A continuación, se describe la ubicación, misión, visión, política de calidad y perfil industrial de la organización.

1.2.1. Ubicación

La empresa de refrigeración comercial se encuentra ubicada actualmente en la 3ª Av. 8-92 zona 3, Lotificación El Rosario, Mixco, Guatemala. El área no es netamente industrial, pero en sus alrededores pueden encontrarse algunas otras industrias manufactureras. Sus instalaciones colindan con empresas como Bimbo, Camas Olimpia, Neón Nieto, Litografía Zadik y con condominios residenciales.

Figura 1. Ubicación



Fuente: Google Maps. Ubicación. <https://www.google.com/maps/place/>. Consulta: mayo de 2019.

1.2.2. Misión

La misión empresarial es un postulado que hace referencia al motivo por el que la organización existe, o, dicho de otra manera, su razón de ser. En este

sentido, Grupo Fogel afirma: “Somos una empresa que provee equipos de refrigeración comercial, confiables, duraderos y adaptados a los requerimientos del cliente; para la exhibición, almacenamiento y venta de productos fríos en el continente americano. Utilizamos tecnología de punta y materiales de calidad mundial y capacitamos a nuestro recurso humano para desempeñarnos profesional y éticamente con permanente sentido de urgencia. Brindamos a nuestros clientes entregas a tiempo, asistencia y capacitación técnica mediante un servicio personalizado. Siempre buscamos la satisfacción de nuestros clientes, la rentabilidad de los accionistas y el bienestar de nuestros colaboradores y de la comunidad”.¹

Claramente, la misión de Grupo Fogel está enfocada en su capacidad para dar un servicio de clase mundial a sus clientes; tomando en consideración sus fortalezas y oportunidades.

1.2.3. Visión

La visión empresarial es una declaración que indica hacia donde se dirige la organización en el largo plazo; es decir, su capacidad para proyectarse hacia el futuro. Grupo Fogel afirma: “Ser el mejor proveedor de equipos de refrigeración comercial adaptados a los requerimientos del cliente, para puntos de ventas al detalle de productos fríos en América Latina. Lograremos esto por medio de innovación permanente, calidad, bajo consumo energético de nuestros productos, servicio personalizado, soporte técnico y precio competitivo”.²

La capacidad para innovar y la calidad con que se entregan los servicios, forman parte de los cimientos de esta organización que año tras año crece sus

¹ Fogel Group. *Sitio oficial*. <https://www.fogel-group.com>.

² *Ibíd.*

ventas a pasos agigantados. Dejando a su paso, clientes satisfechos que disfrutan ver como sus marcas destacan en sobremanera dentro de los puntos de venta.

1.2.4. Política de calidad

La política de calidad es un compromiso que la organización declara para sus partes interesadas; y fija el marco de referencia al momento de definir los objetivos de la calidad. Grupo Fogel afirma: “Fabricamos y comercializamos equipos innovadores de refrigeración comercial adaptados a los requerimientos del cliente, utilizando tecnología moderna, materiales de calidad mundial y personal competente. Mantenemos un proceso permanente de mejora continua. Nos comprometemos a lograr: La satisfacción del cliente, el bienestar de nuestros colaboradores, la rentabilidad de la organización, y la protección del medio ambiente, en todos los procesos que ejecuta la empresa”.³

Por medio de esta declaración, Grupo Fogel busca despertar en sus colaboradores un sentido de pertenencia dentro de la organización; al mismo tiempo que se compromete a garantizar la calidad de todos los procesos y servicios que en esta industria se ejecutan.

1.2.5. Perfil industrial

La empresa Fogel de Centroamérica S.A. es una industria de segunda categoría; cuya producción es ser considerada intermitente debido a que las ordenes de producción se realizan contra pedidos generados por el departamento de ventas. Posee una estructura con techo de dos aguas y tanto su iluminación como su ventilación; son de carácter natural y artificial. La fábrica

³ Fogel Group. *Sitio oficial*. <https://www.fogel-group.com>.

de ensamblaje consta de tres bodegas que se encuentran constituidas de la siguiente manera:

- Bodega 1: alberga 4 líneas de producción (A, B, C y D), el área de corte, troquel y dobléz, el área de maderas, el departamento de mantenimiento y un área para la carga y descarga de materiales.
- Bodega 2: alberga una línea de producción (E), el área de corte, troquel y dobléz, y un área para la carga y descarga de materiales.
- Bodega 3: alberga el área administrativa, el departamento de diseño, el departamento de vinilos y etiquetas, los laboratorios de prueba y metrología, y un área para la carga y descarga.

En conjunto, la planta de ensamblaje posee una capacidad instalada para producir hasta 120 000 equipos al año; en un área de más de 27 500 metros cuadrados, y una fuerza laboral de más de 900 colaboradores. Esta planta provee de refrigeración comercial a 50 países en Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica, El Caribe, África, Europa e India.

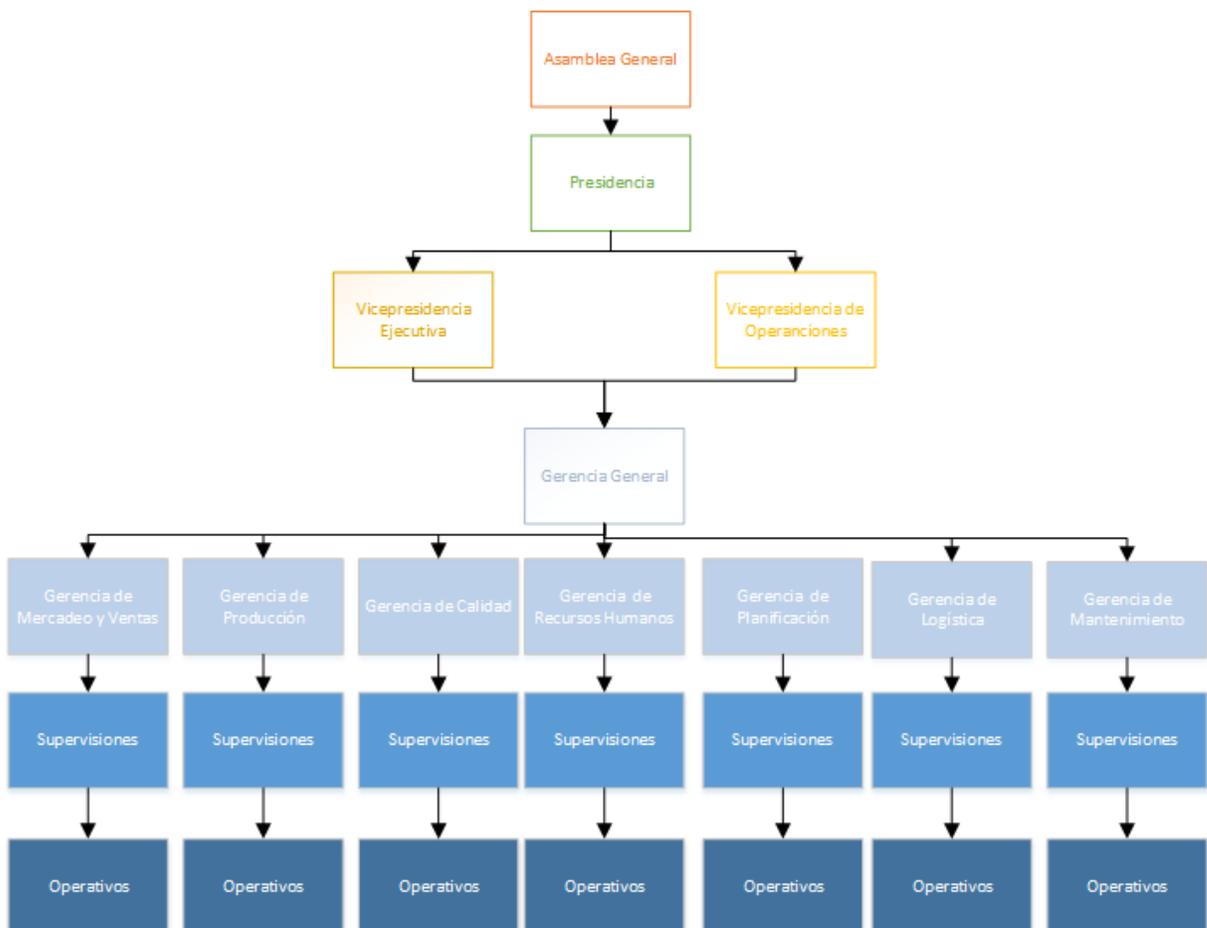
1.3. Tipo de organización

En el marco legal, Refrigeradores de Guatemala se encuentra constituida como una sociedad anónima. En el marco administrativo, puede ser considerada como una organización con estructura de tipo funcional, puesto que los trabajadores son agrupados según sus especialidades y cada departamento tiene un supervisor responsable de las actividades que se realicen.

1.3.1. Organigrama

Los organigramas son representaciones gráficas que permiten comprender la estructura interna de una organización o empresa; debido a que, a través de ellos, se desglosan cada uno de los puestos y cargos de la compañía. Su función principal es la de mejorar la toma de decisiones dentro de la organización a través de la correcta asignación de actividades en relación con los distintos tipos de operaciones que en ella se realizan.

Figura 2. Organigrama general



Fuente: elaboración propia.

1.4. Principios fundamentales de calidad

El enfoque principal de la gestión de la calidad es cumplir a plenitud con todos los requisitos del cliente mientras se trata de exceder de manera auténtica con las expectativas del mismo. “Contemplada desde el ángulo de la gestión, la calidad requiere un marco teórico general donde desarrollar sus objetivos a través de la unidad de acción proporcionada por los conceptos comunes, estrategias, procesos, formación y motivación”.⁴ Para comprender la filosofía detrás del concepto de calidad, es necesario formar las bases del conocimiento teórico de tan interesante disciplina por medio del estudio de los elementos que se detallan a continuación.

1.4.1. Calidad

La calidad se refiere a la capacidad que posee un objeto para satisfacer necesidades; es una propiedad inherente de cualquier cosa que permite que la misma sea valorada con respecto a otra que presente rasgos en común. “Centrándose en el producto, el término calidad se entiende como un concepto relativo no ligado solamente a aquél, sino más bien el binomio producto/cliente. Reúne un conjunto de cualidades relacionadas entre sí que todos los bienes y servicios poseen en mayor o menor medida. Constituye un modo de ser del bien o servicio: en consecuencia, es subjetivo y distinto según el punto de vista de quien la ofrece y de quien la consume”.⁵

En los estudios especializados sobre este tema pueden encontrarse numerosas definiciones sobre el término “calidad”, pero todas ellas guardan

⁴ VARO, Jaime. *Gestión estratégica de la calidad en los servicios sanitarios*. p.3.

⁵ Universidad Autónoma de México. *Sitio oficial*. <http://www.facmed.unam.mx/>.

siempre un mismo enfoque; la capacidad que tiene un bien o servicio para lograr la satisfacción de las necesidades y exigencias del consumidor.

1.4.2. Punto crítico de control (PCC)

Un punto crítico de control es cualquier punto, etapa u operación del proceso, en el cual se aplican medidas para mantener un peligro significativo bajo control; con el objetivo de reducir, eliminar o controlar a un nivel aceptable los riesgos. En este sentido, el propósito será identificar si algún peligro está fuera de control y modificar el proceso para poder controlarlo e intentar mitigarlo.

Los puntos críticos de control son el origen de los indicadores de desempeño; debido a que permiten identificar cuáles son las etapas del proceso que requieren un control específico; y, por ende; un nivel de desempeño establecido.

1.4.3. Indicador de desempeño

Un indicador es una métrica que proporciona información detallada sobre la efectividad en el desenvolvimiento de las actividades de un programa, tarea o proyecto; esto permite a las organizaciones visualizar su progreso en virtud del grado de evolución o avance de las metas. Son herramientas fundamentales de medición que muestran información cualitativa y cuantitativa respecto al cumplimiento de los objetivos en una organización. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) concluye que: “Un indicador es una unidad de medida que permite el seguimiento y evaluación periódica de las variables clave de una organización u operación, mediante su comparación en el tiempo con los correspondientes referentes externos o internos. Los indicadores de desempeño son instrumentos de medición de las principales variables asociadas

al cumplimiento de los objetivos, que a su vez constituyen una expresión cualitativa o cuantitativa concreta de lo que se pretende alcanzar con un objetivo específico establecido”.⁶

Entre los beneficios que pueden obtenerse al implementar un programa de evaluación a través de indicadores de desempeño se encuentran:

- Mayor precisión en la toma de decisiones.
- Agiliza la detección de procesos o áreas de la organización en las cuales existen problemas de gestión.
- Medición precisa y constante para actuar de manera rápida y flexible en torno a la optimización del proceso a efectuar o la estrategia indicada.
- Permite realizar ajustes en los procesos internos y readecuar cursos de acción eliminando inconsistencias.

1.4.4. Variación

La variabilidad es un indicador clave de la capacidad que tiene un proceso para cumplir con la calidad requerida (asegurando que el valor real del resultado del proceso se encuentre dentro del rango de tolerancia permitida). Según la Universidad EAFIT: “La variación es un fenómeno propio de todos los procesos productivos que se observa en el momento de comparar lo real con lo deseado o esperado de las características de calidad. La comparación lleva a concluir que una materia prima, proceso o producto es aceptado o rechazado, o que se debe tomar alguna acción correctiva en el tiempo. La calidad de un producto determinado se mide por su variación con respecto a lo deseado y depende de la variación existente en las características de calidad de la materia prima, los

⁶ Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Sitio oficial*. <https://www.cepal.org>.

materiales, los procesos y la mano de obra. El concepto de variación indica que no hay dos artículos iguales por más cuidados que se tengan en la obtención de sus características. En otras palabras, la característica de calidad que no sea variable no es de interés en el control de los procesos”.⁷

En todo proceso productivo o de servicios, existen dos posibles causas de variación; y estas se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

- Las causas de variación no aleatorias se denominan también asignables y son las que generan el conjunto de efectos indeseables que son objeto de estudio y control dentro del proceso. Por lo general son de gran magnitud y en consecuencia fácilmente identificables. Si se desean mejorar los niveles de calidad en la organización, estas causas deben ser detectadas, reducidas y eliminadas.
- Las causas de variación aleatorias se denominan también no asignables, casuales o fortuitas; y de la misma manera que las anteriores, también pueden ser reducidas o eliminadas; pero para ello, se requieren estrategias muy bien definidas y con un alto grado de complejidad; como, por ejemplo: el cambio de tecnología, motivación al personal, rediseño de procesos, cambio de materias primas, rediseño de productos, capacitación, entre otros. Este tipo de fuentes de variación fluctúan de una manera natural o esperada; produciendo un patrón estable. Se consideran como inherentes al proceso o producto.

Para tomar decisiones y hacer aseveraciones acertadas acerca de la estabilidad de un proceso productivo; se debe de trazar un límite entre la variabilidad aleatoria y la variabilidad no aleatoria; este análisis puede realizarse

⁷ Universidad EAFIT. *Sitio oficial*. <https://publicaciones.eafit.edu.co>.

por medio de la construcción de un gráfico de control, y la interpretación de sus respectivos límites de control. Cuando solo hay causas aleatorias en un proceso, se considera que el proceso está en (o bajo) control estadístico; es decir, en un estado estable y predecible. Sin embargo, cuando también esté presente una causa de variación asignable, se dice que el proceso está fuera de control, o que sale de la variación natural esperada.

1.4.5. Siete herramientas de la calidad

Son un conjunto de herramientas gráficas utilizadas para analizar y dar soluciones a todo tipo de problemas relacionados con la calidad. Son realmente básicos y elementales; por lo que pueden ser comprendidos por personas con escasa formación en matemáticas y estadística.

1.4.5.1. Diagrama causa – efecto

El diagrama causa – efecto es una herramienta de gestión ampliamente utilizada, dado que orienta a la toma de decisiones al abordar las bases que determinan un desempeño eficiente. “El diagrama causa-efecto también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa, permite identificar las posibles causas asociadas a un problema (efecto) estructurado según una serie de factores genéricos. Es decir, detectada una no conformidad (efecto), es necesario investigar las causas que la provocan, y, por consiguiente, encontrar una solución viable”.⁸

El principio detrás de la efectividad de este diagrama consiste en determinar primeramente el origen de un problema, para posteriormente darle una solución

⁸ CAÑEDO FERNÁNDEZ, Miguel. *Gestión de la calidad y medioambiental en industrias*. p. 490.

determinada. Por lo general, los problemas suelen ser abordados desde una perspectiva muy general, y ello impide ver ciertos factores que por sencillos que parezcan, influyen de manera significativa. Para elaborar un diagrama causa-efecto se puede aplicar la siguiente metodología: “En primera instancia, se debe definir claramente la no conformidad o efecto; debido a que ella constituye la meta del sistema. Seguidamente se deben identificar los factores o causas generales que originan el mencionado efecto mediante la técnica de tormenta de ideas. Para clasificar las causas de un problema se utilizan a menudo las categorías definidas por el Dr. Ishikawa, que son: a) las personas, b) las máquinas, c) los materiales y d) los métodos. De esta manera, de las causas que surgen en el grupo hay que seleccionar aquellas que se consideren más importantes. Así, para cada uno de estos factores generales o causas primarias se establece un número determinado de causas secundarias. A medida que se detectan causas, se deben de buscar posibles sub-causas o causas secundarias para generar de esta manera el diagrama completo. Una vez definidas estas causas, se formula una serie de medidas que permitan reducir o eliminar las causas que originan el problema a resolver, determinando el grado de influencia de cada una. Para ello, generalmente se debe evaluar y determinar las causas más significativas que han podido contribuir al efecto analizado; llegando incluso, a jerarquizar las mismas por orden de importancia”.⁹

Al aplicar esta herramienta, es importante tener en consideración; que, como parte del análisis, deben de reunirse los datos necesarios para confirmar que en realidad existen las relaciones causa-efecto que fueron determinadas. Esto le da al diagrama causa – efecto un dinamismo singular dentro del cual, tanto causas como efectos se van renovando a través del tiempo; lo cual permite

⁹ CAÑEDO FERNÁNDEZ, Miguel. *Gestión de la calidad y medioambiental en industrias*. p. 491-492.

detectar posibles anomalías a tiempo, evitando que estas puedan producir alguna no conformidad a futuro.

1.4.5.2. Hojas de verificación y recopilación de datos

Una hoja de control u hoja de verificación en su concepto más elemental es básicamente un formato o arreglo que consta de una serie de filas y columnas que permiten recolectar los datos en torno a un suceso; adicionalmente, permite desarrollar un ordenamiento previo para facilitar la aplicación de otras herramientas. “La hoja de verificación es un documento en el que se recoge y sintetiza de una manera ordenada los datos que los operarios consideran importantes para posteriormente procesarlos. Esta hoja no tiene un diseño prefijado, sino que hay que ajustarla a los objetivos y necesidades propias de cada momento debiendo tener un formato que facilite la recogida y posterior análisis y procesamiento de los datos existentes en ella. Estos documentos deben cumplir los objetivos de facilitar las tareas de recogida de información, evitar posibles errores o malos entendidos y permitir el análisis rápido de los datos”.¹⁰

Esta hoja de recogida de datos permite:

- Evitar la pérdida de datos.
- Asegurar la identificación de los datos.
- Almacenar los datos de manera uniforme, ya que, en muchos casos, estos son recogidos por diferentes personas y analizados por terceros no intervinientes en el proceso de captación.

¹⁰ TARÍ GUILLÓ, Juan José. *Calidad total: fuente de ventaja competitiva*. p. 177.

- Facilitar el posterior análisis e interpretación de los mismos.

Para elaborar este impreso deben quedar claramente definidos los aspectos que se pretenden recoger, qué datos son necesarios para ello y cuál es la mejor manera de almacenarlos para ser posteriormente utilizados. Asimismo, es importante tener en cuenta aquella información adicional que es necesario captar como fecha, hora, persona, sumas totales, entre otros. De esta manera, el siguiente paso es una vez elaborada la hoja con toda la información es el análisis de los resultados que de ella se desprenden, tales como tendencias, distribución de los datos, entre otras, con la finalidad de investigar las causas de los problemas e implantar las correspondientes acciones de mejora.

Las hojas de verificación pueden ser de tres tipos: hojas de verificación con escala de medición, de verificación de frecuencia y de verificación de chequeo.

1.4.5.3. Histograma

Un histograma es un gráfico que representa las distribuciones de frecuencias a través de rectángulos dentro de ciertas coordenadas; este tipo de gráfica estadística se utiliza para comunicar información sobre dichas distribuciones de la frecuencia cuando se trata de datos continuos como tiempo, peso, temperatura, etc. El histograma está formado por dos ejes, en uno se mide la frecuencia absoluta o relativa de los datos y en el otro se colocan los intervalos o clases en los que se agrupan. Una vez recogidos los datos para la toma de decisiones, por ejemplo, mediante la hoja de verificación, es posible encontrarse con que estos sean numerosos y, por lo tanto, de escaso significado. Con la intención de que tengan sentido y poder obtener de ellos conclusiones, es necesario estructurarlos siguiendo algún tipo de criterio, por ejemplo, a través de un histograma. "El histograma o diagrama de distribución de frecuencias, es un

gráfico donde se muestra la distribución de una variable a partir de los datos recogidos en una tabla de frecuencias. Adopta la forma de diagrama de barras en cuyo eje vertical se representa la frecuencia (número de veces) con la que aparece cada uno de los valores de una variable y en cuyo eje horizontal aparece el rango de valores que ha tomado la variable analizada o los diferentes atributos que definen el sistema analizado”.¹¹

Los histogramas son herramientas de calidad muy versátiles debido a que pueden construirse a partir de una gran diversidad de variables y en virtud de las relaciones que deseen formarse; permiten obtener resultados de interés para el estudio que se haya propuesto. Existen diferentes tipos de histogramas, pero por lo regular los histogramas de barras simples son los más comúnmente utilizados. Trabajar con histogramas es relativamente sencillo y por lo regular, proveen una gran cantidad de información que puede ser de vital importancia.

1.4.5.4. Diagrama de Pareto

El gráfico de Pareto es una técnica de representación gráfica que clasifica las causas de un problema por su importancia. Establece una jerarquía según la variable a estudiar siguiendo la regla de Pareto que dice que el 80 % de los problemas tienen su origen en un 20 % de las causas y viceversa. De esta manera, cuando un problema se descompone en sus causas, unas pocas son las responsables de la mayor parte del mismo. “El análisis de Pareto puede ser útil para identificar los factores clave de una determinada situación o aquellos que mayor influencia tienen y señalar la importancia relativa de las diferentes causas de los problemas. De esta manera, se pueden determinar las causas más frecuentes que originan el problema estudiado y darle una mayor o menor importancia a la hora de decidir sobre qué aspectos trabajar. Es decir, puesto que

¹¹ TARÍ GUILLÓ, Juan José. *Calidad total: fuente de ventaja competitiva*. p.179.

no es posible atacar todos los problemas al mismo tiempo, se organizan estos en orden de importancia para resolver en primer lugar los más importantes”.¹²

Para construir un diagrama de Pareto se debe de seguir la metodología descrita a continuación:

- Elegir las causas a analizar, es decir, definir claramente el objetivo del estudio y determinar de manera concreta las condiciones bajo las cuales se realizará. Se debe tomar en cuenta que las causas que se analizarán deben de formar parte del mismo fenómeno que se desea estudiar.
- Elegir la unidad de medida para el análisis; se debe garantizar que exista uniformidad en las dimensionales y criterios a utilizar.
- Determinar el intervalo de tiempo en el que los datos van a analizarse.
- Colocar en el eje horizontal las causas en orden decreciente de la unidad de medida. Las menos importantes pueden agruparse en una o varias categorías.
- Reflejar en el eje vertical la escala de frecuencias.
- Diseñar el diagrama construyendo una barra para cada causa de altura proporcional a la frecuencia que se presenta la misma. Un buen trazado de la gráfica es tan importante como el cálculo de los datos, debido a que con ello se garantiza una correcta interpretación de la información
- Construir una línea de frecuencia acumulada.

¹² TARÍ GUILLÓ, Juan José. *Calidad total: fuente de ventaja competitiva*. p. 181.

1.4.5.5. Estratificación

Esta técnica permite separar los datos de manera sistemática con el objetivo de encontrar patrones que, sin un previo análisis, serían imposibles de visualizar. Los grupos reciben el nombre de estratos y deberán contener datos con características coincidentes. La estratificación es de especial utilidad cuando se trabaja con altos volúmenes de datos o cuando los datos provienen de diferentes fuentes o condiciones. Para estratificar correctamente un conjunto de datos se debe de aplicar la metodología descrita a continuación:

- Previo a la recopilación de los datos se debe considerar que información sobre la fuente de los datos, puede tener un efecto significativo en los resultados que se esperan.
- Recopilar todos los datos que deseen considerarse en el estudio.
- Establecer los factores de estratificación que se desean emplear en conformidad con las necesidades del estudio y la experiencia del investigador.
- Realizar todos los cálculos que se consideren necesarios para realizar una efectiva división de los estratos.
- Realizar una gráfica de los datos recopilados haciendo uso de las herramientas de análisis de la calidad (diagramas de dispersión, diagramas de Pareto, histogramas). Es de suma importancia identificar los grupos de datos provenientes de diversas fuentes por lo que se recomienda hacer uso de marcas o colores.
- Analizar los resultados obtenidos y realizar ajustes en la clasificación de los estratos en caso de ser necesario.

1.4.5.6. Diagrama de dispersión

Un diagrama de dispersión o nube de puntos muestra de forma gráfica la relación que existe entre dos variables que son de tipo cuantitativo. La construcción del diagrama requiere recoger en pares los datos de ambas variables cuya relación se desea investigar para representarlos posteriormente mediante puntos en los ejes de coordenadas. Una vez elaborado se analiza el ploteo de los puntos para determinar las relaciones entre las dos variables, existiendo distintas situaciones posibles en cuanto al grado de correlación entre ambas variables. Se debe tener plena conciencia de que un diagrama de dispersión únicamente identifica la existencia de dicha relación, pero no las causas ni el carácter de las variables. Por consiguiente, su aplicación se limita única y exclusivamente para determinar si existe o no relación entre dos variables que influyen en un proceso.

1.4.5.7. Gráfico de control

Un gráfico de control o carta de control es una herramienta que permite definir cuantitativamente el rango de variación aceptable para un proceso con respecto a un valor de promedio. Sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable y prevé posibles fallos de producción mediante métodos estadísticos. “El gráfico de control se utiliza para medir la estabilidad de un proceso en el tiempo, a partir de la evolución del valor que toma una o varias variables del mismo. Por consiguiente, es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico calculados”.¹³

De esta manera, primero habría que identificar las variables claves del proceso para calcular el valor medio y las tolerancias o límites de control de las

¹³ TARÍ GUILLÓ, Juan José. *Calidad total: fuente de ventaja competitiva*. p. 184.

variables a estudiar a partir de técnicas estadísticas. Estos límites superior e inferior de la especificación de un producto son una orientación de cara al operario que le sirven como guía para ayudarle a controlar el estado del proceso.

El operario toma datos sobre la evolución de la variable objeto de estudio y la representa sobre un gráfico de control con la intención de detectar, principalmente, las causas especiales de variación de un proceso mediante el análisis de los datos. Es posible visualizar que puntos representan variabilidades asignables o aleatorias tomando en consideración los respectivos límites de control y la media estándar del proceso.

Si los resultados están fuera de los límites de control el operario emprenderá acciones correctivas tal como se hayan previsto y descrito en el manual de producción para corregir el defecto del proceso. “En caso contrario, el proceso es estable o está bajo control porque ningún punto queda fuera de los límites, ni la distribución de los puntos es anómala”.¹⁴ En este último caso, solo estarían presentes las causas comunes puesto que el proceso estaría bajo control y, por consiguiente, la aplicación del gráfico no persigue alcanzar un estado de control estadístico, sino reducir la variación del proceso.

1.4.6. Mejora continua de la calidad

La mejora continua de la calidad es una ideología enfocada hacia el cambio organizacional que pretende mejorar los productos, servicios y procesos por medio del refuerzo de las relaciones departamentales y la continua detección de errores o áreas de mejora.

¹⁴ CAÑEDO FERNÁNDEZ, Miguel. *Gestión de la calidad y medioambiental en industrias*. p. 301.

1.4.7. Pasos para la mejora continua

Para implantar ya sea a un nivel organizacional o a un nivel departamental un sistema de mejoramiento continuo de la calidad. Es necesario atender de manera secuencial y estricta a la siguiente metodología:

Figura 3. Ciclo de la mejora continua



Fuente: elaboración propia.

1.4.7.1. Primer paso: identificación de problemas u oportunidades de mejora

Es la fase inicial del ciclo y consiste en la detección de los principales problemas existentes en un determinado ámbito de la organización. Durante esta fase es necesario atender diferentes fuentes de información y diseñar una metodología que permita identificar estos problemas utilizando como herramienta principal el diagrama causa-efecto. La identificación de los problemas puede hacerse bajo la perspectiva de los siguientes dos enfoques:

“Enfoque por problemas: Consiste básicamente en elaborar una lista de problemas, utilizando cualquiera de las herramientas existentes para ello (por lo general se utiliza la lluvia de ideas), establecer una jerarquía de prioridades, y, a partir de aquí, iniciar el ciclo de evaluación y mejora de la calidad (medición, análisis, identificación y aplicación de medidas correctoras y reevaluación de la situación). Este sistema de abordaje de la calidad es fácil de aplicar y requiere una formación metodológica básica, aunque tiene el inconveniente de que no aporta una imagen global del funcionamiento o de la calidad del servicio o institución. Enfoque mediante sistemas de monitorización: Consiste en recoger y analizar de forma continuada y sistemática una serie de datos (indicadores) de las principales áreas de actividad de un determinado servicio u organización (es decir, de sus procesos clave o puntos críticos), poner en marcha los cambios o las mejoras que se consideren necesarias cuando se identifiquen situaciones problemáticas o susceptibles de mejora y comprobar de forma continuada la efectividad de dichos cambios”.¹⁵

Ambos enfoques son complementarios y suelen utilizarse de manera simultánea en la mayoría de las ocasiones. Algunas consideraciones que deben

¹⁵ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 52.

de tomarse en cuenta a la hora de definir los problemas en esta etapa son los siguientes:

- Procurar definirlos por los efectos que producen sobre la calidad del proceso y las personas a las que afecta, ya sean clientes internos o externos.
- Describirlos de forma clara y específica evitando a toda costa mezclarlos o relacionarlos con otros problemas.
- Dar evidencia cuantitativa de la existencia del problema con el objetivo de tener un parámetro de soporte que permita poner en evidencia la efectividad de la solución.
- Formularlo de forma aséptica, es decir, sin mencionar causas ni posibles soluciones ni culpabilizar a nadie. Esto con el objetivo de llegar a la raíz de la no conformidad.

Posteriormente, conviene elaborar una matriz con todos los problemas que han sido detectados tomando en consideración el detalle de los siguientes elementos; “la descripción de cada uno de estos elementos sirve para tener una visión general del impacto real de cada problema, de la importancia de cada mejora y de sus posibilidades de medición (todas las mejoras deben poder medirse) por lo que va a jugar un papel muy importante como herramienta de comunicación para transmitir de forma concisa y ordenada el mensaje de lo que se pretende cambiar con un determinado proyecto”.¹⁶

- Consecuencias: inconvenientes o no conformidades que el citado problema está ocasionando; sobre todo en cuanto al impacto que este

¹⁶ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 53.

tiene en los resultados de un procedimiento o en alcance de los objetivos del departamento u organización.

- **Objetivo de mejora:** en este campo de debe escribirse de manera clara y concisa cuál sería el objetivo que se perseguiría si se iniciara un proyecto para perseguir el problema.
- **Justificación:** detalle de argumentos claros sobre el por qué sería conveniente corregir el problema en cuestión, sobre todo, comparándolo con los otros problemas de la matriz.
- **Indicadores:** determinación de los parámetros que se van a emplear para describir el problema y evidenciar las mejoras conseguidas.

1.4.7.2. Segundo paso: seleccionar las situaciones mejorables más relevantes

Bajo la premisa de que no todos los problemas de calidad detectados tienen igual relevancia ni requieren igual dedicación o esfuerzo; el establecimiento de una jerarquía de prioridades entre ellos es una etapa muy importante que va a determinar el sentido de todas las actuaciones posteriores. Una inadecuada selección de problemas es una de las causas del fracaso de las iniciativas de mejora de calidad que se tratan de poner en marcha. “Los dos errores más frecuentes en este sentido suelen ser la apuesta por proyectos muy complejos; que ciertamente son muy atractivos por sus dimensiones, pero inabordables para la mayoría de los equipos de mejora y, en el otro extremo, la selección y puesta en marcha de muchos proyectos pequeños a la vez, que acaban vagando a la

deriva y terminan por encallarse por falta de dirección, de guía y de apoyo suficiente”.¹⁷

En la fase de selección de situaciones mejorables más relevantes podemos distinguir tres subetapas:

- Selección previa: La selección previa es considerada una fase ex ante a la selección definitiva; y es tan importante como esta última. Luego de haber definido claramente los problemas con alguna posibilidad de ser abordados; esta etapa es considerada un primer filtro para descartar algunos de los proyectos que no se ajustan al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por el departamento, así como aquellos que no tengan un objetivo claro de mejora o que carezcan de una medida concreta para poder evidenciar los cambios. “También deberían eliminarse en primera instancia todos aquellos problemas cuya causa o solución son muy evidentes o demasiado obvias. En estos casos no es preciso perder el tiempo siguiendo todos los pasos del ciclo de mejora, basta simplemente con implantar la corrección ya conocida”.¹⁸
- Evaluación-Priorización: En base a los criterios de factibilidad y viabilidad establecidos por la organización, se desarrolla un mecanismo de evaluación-priorización para los diferentes problemas que se han identificado durante el estudio previo. Esto, con el objetivo de determinar cuál de ellos es el más conveniente para iniciar un proyecto de mejora que arroje resultados satisfactorios. “Para evaluar y priorizar problemas de calidad pueden emplearse varios métodos como los de clasificación ordenada (comparación por pares, ponderación, asignación directa, entre

¹⁷ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 61.

¹⁸ *Ibíd.* p. 62.

otros.) o de consenso (a través de reuniones en grupo o asambleas) aunque sin duda el método más empleado es el de la parrilla de análisis, de priorización o matriz multicriterio”.¹⁹

La técnica de la matriz multicriterio o parrilla de priorización consiste en ponderar cada problema sobre la base de los siguientes criterios o parámetros:

- Magnitud del problema: Permite dimensionar el problema a través de la comparativa de los procesos críticos afectados o de la cantidad de clientes internos que presentan inconformidades.
- Gravedad o riesgo (severidad): Daño potencial que el problema puede aportar al proceso.
- Factibilidad de la solución: Disponibilidad de medios y recursos necesarios para llevar a cabo las actividades.

En la práctica, no existe un método específico que estipule el modelo más adecuado a emplear en cada caso; y por lo regular, el investigador opta por elegir el método que proporcione una mayor agilidad para obtener los resultados matemáticos y facilite o garantice la tarea de decidir. “El método de selección de prioridades debe elegirse por su mayor o menor capacidad para traducir con fidelidad el proceso de reflexión subyacente sobre los problemas de calidad que se están analizando. Tomando en consideración que no todos los casos a investigar presentan las mismas condiciones y características de entorno”.²⁰

¹⁹ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 61.

²⁰ *Ibíd.* p. 62.

Bajo esta premisa, y en dependencia de los temas que se estén tratando, pueden incluirse algunos otros criterios que permitan matizar más ese proceso de selección.

- Selección definitiva: Luego de haber concluido con la elaboración de la matriz de priorización, aún quedan ciertas dudas sobre si los criterios utilizados están bien definidos o si la valoración parcial de los problemas incurre en ciertos sesgos; es por ello que una vez terminada la matriz de priorización, es necesario que el equipo repase la congruencia de la selección y de la posición de las diferentes opciones y que aplique el sentido común y cambie éstas de orden si el consenso de grupo así lo decide.

1.4.7.3. Tercer paso: análisis de las causas raíces

Una vez seleccionado y definido el problema a tratar, el siguiente paso del ciclo es la realización de un análisis primario del mismo. Se trata en definitiva de saber cuál es la situación de partida, descubrir cuáles son los motivos más probables que están originando el problema y de determinar su peso específico (su contribución particular al problema). “Determinar la situación de partida implica medir; es decir, recoger datos y calcular indicadores que nos sirvan para comprobar la evolución de las mejoras. El trabajo de medición es uno de los más arduos y costosos por lo que conviene planificarlo de forma adecuada para no tener que repetirlo. En este sentido, la elaboración de hipótesis con las posibles causas que están originando el problema puede ayudar a identificar las diferentes variables o tipos de datos que tenemos que recoger y tener en cuenta a la hora de realizar esa primera medición”.²¹

²¹ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p.61.

Por lo general los grupos de trabajo identifican un problema y deciden sobre la marcha, sin pararse en más reflexiones, que ya saben todo al respecto, incluso la causa, y sacan una conclusión que ya tenían pensada, perdiendo la oportunidad de indagar más sobre la situación. Esto suele desembocar en que las soluciones que se adoptan fallan y no se consigue solucionar el problema a plenitud. La resolución correcta de un problema implica no limitar la creatividad con prejuicios o conclusiones previas y hacer un análisis más profundo. Este paso es crucial para que todo el proceso de mejora continua se desarrolle de manera eficiente. De forma esquemática, la etapa de análisis de causas se desarrolla en tres etapas:

- **Exploración de causas:** El objetivo primordial de esta etapa es comprender la raíz del problema y determinar los factores que forman parte integral del mismo. Una adecuada exploración de las causas consiste en estudiar y analizar todos los datos iniciales que se puedan tener sobre el problema para tratar de descubrir pistas sobre las posibles causas ocultas que están actuando sobre el mismo. Las herramientas más útiles en esta fase son el diagrama de Pareto, los histogramas, los gráficos de tendencias o los diagramas de flujo.
- **Generación de hipótesis:** Una hipótesis es una suposición o premisa que se admite de forma provisoria para sacar conclusiones verídicas. A dicha hipótesis, se le otorga cierto grado de posibilidad para extraer de ello un efecto o una consecuencia. Para analizar la etapa correspondiente a la formulación de una hipótesis, es necesario considerar como punto inicial al proceso de percepción del entorno, que, en términos sencillos, involucra el uso los sentidos. “La etapa de generación de hipótesis trata de profundizar bajo los síntomas superficiales del problema y generar ideas sobre las verdaderas causas ocultas que están actuando sobre el mismo

y que son responsables de que algunos problemas por más que son parcialmente solucionados una y otra vez sigan manteniéndose como si nunca hubiesen sido abordados”.²²

Las herramientas que pueden ser utilizadas en esta fase son: la tormenta de ideas o *Brainstorming*, el diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa y el diagrama de flujo o flujograma.

- Comprobación de hipótesis: Una vez generada la hipótesis, el proceso de verificación de esta hipótesis se vuelve crucial; ya que esto permite evaluar la validez de la conjetura informada. Normalmente, la hipótesis es elaborada en base a la evidencia que se ha reunido y esta a su vez, es comprobada por medio de corridas de experimentos de prueba y error. A medida que se reúne más información podrá identificarse de manera certera si la hipótesis original era correcta. Si hay errores en la primera conjetura, es posible reformular la hipótesis para que haya mejor correspondencia entre lo que sucede actualmente y lo que se ha aprendido de los nuevos datos. “Con las dos fases previas del análisis causal, el problema puede quedar perfectamente determinado si su origen es obvio y podremos estar ya en disposición de buscar las soluciones más apropiadas para corregir las causas que se han descubierto. Sin embargo, la mayoría de las veces se necesitará precisar y comprobar si los factores que se han apuntado como responsables del problema son verdaderamente los causantes del mismo y, si es así, en qué medida está contribuyendo cada uno de ellos. Esta comprobación debe hacerse a partir de datos”.²³

²² GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 63.

²³ *Ibíd.*

En la mayoría de ocasiones se necesita iterar varias rondas de la fase de exploración hipótesis- verificación antes de precisar con exactitud la causa raíz de un problema, por lo que va a ser inevitable tener que recoger o reorganizar los datos en varias ocasiones. Este proceso continuo de actualización y verificación de datos es lo que sustenta las bases del mecanismo de retroalimentación del modelo de mejoramiento continuo de la calidad.

Desde el punto de vista operativo, esta tercer fase es la que necesariamente implica medición y agrupación específica de datos y es la que en la práctica va a marcar las condiciones para la recogida de esa información, por lo que si hay creatividad en la fase de generación de hipótesis y se logra identificar todas aquellas que se verán obligadas a contrastar, se podría aprovechar una recogida de datos tanto para conocer la situación de partida del problema como para comprobar la contribución de los diferentes factores causales identificados.

1.4.7.4. Cuarto paso: medición de la situación actual

La medición es otra de las etapas claves del ciclo de la mejora continua y se ejecuta de manera previa a la elaboración de información para la toma de decisiones. Permite situar el nivel de desempeño de un proceso con respecto al estándar marcado por la organización y conocer los niveles de servicio que se ofrecen dentro de la empresa y a los clientes; y así, saber si la compañía evoluciona hacia un estado de mayor eficiencia operativa. “Con la medición se pretende objetivar cuantitativamente la situación de partida y disponer de una variable principal, para orientarnos sobre la evolución de los cambios logrados cuando se introduzcan las mejoras oportunas”.²⁴ La medición suele desarrollarse en las siguientes fases:

²⁴ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 68.

- Identificación de las mediciones a realizar: Ya en la fase de definición y de análisis de problemas se habrá identificado de manera general, cuáles son las mediciones más adecuadas para conocer y estudiar el problema. “En esta etapa es preciso ahora tomar una decisión definitiva al respecto y seleccionar aquellas mediciones que útiles tomando como base dos elementos de juicio: el valor intrínseco que tienen para analizar el problema y su viabilidad a la hora de recoger los datos”.²⁵
- Elaboración de definiciones operativas: Una definición operativa constituye el conjunto de procedimientos que describe las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales (sonidos, impresiones visuales, táctiles), que indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado; en otras palabras, especifica que actividades u operaciones deben realizarse para medir una variable. Su objetivo es traducir lo que se quiere saber en algo concreto que se pueda observar o medir de forma consistente; obteniendo de esta manera la garantía de trazabilidad en el método.
- Planificación del estudio de medición: La recogida de datos es, probablemente, la fase más costosa y extenuante de todo el ciclo de mejora continua. “Se debe dedicar tiempo a la planificación correcta de esta fase (definición del tipo de estudio, variables a recoger, plan de muestreo, fuente de datos, entre otros), para asegurar que toda la información que se va a necesitar es recogida de una buena manera y tener ciertas garantías de que ni será necesario repetir ninguno de los pasos porque los datos son incompletos o poco apropiados”.²⁶

²⁵ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 68.

²⁶ *Ibíd.* p. 69.

- Recogida de datos: Seguido a la planificación viene la fase de trabajo de campo en la que se debe de recoger los datos. Esta fase es sumamente importante y de ella dependerá en gran medida el éxito del modelo de mejoramiento continuo de la calidad; ya que consiste en levantar de manera íntegra todo tipo de información que sea de interés para el tratamiento estadístico posterior.

La recogida de datos puede realizarse por medio del llenado de los registros mencionados anteriormente o con asistencia tecnológica, a través de la utilización de datos generados por programas computacionales.

1.4.7.5. Quinto paso: análisis de resultados y propuesta de acciones de mejora

Una vez que se han recogido los datos del estudio hay que organizar los resultados, comprobar las hipótesis causales que se habían generado en la fase de análisis inicial de problemas e identificar nuevas causas que podrían ponerse de manifiesto en este momento. En realidad, esta etapa se corresponde con la de verificación de hipótesis señalada en la fase de análisis de problemas y a partir de aquí es cuando seguramente se hará necesario iniciar varias rondas de “exploración hipótesis- verificación” hasta llegar a descubrir las causas raíz de un determinado problema. “La verificación de causas puede hacerse de tres maneras: Verificación lógica: cuando una determinada hipótesis es capaz de explicar todo lo que podemos ver en los datos recogidos, así como todo lo que podríamos esperar que se viese en ellos. Verificación estadística: Consiste en comprobar y confirmar patrones de comportamiento de los diferentes factores causales al estratificar los datos o al correlacionar unos datos con otros, utilizando para ello el análisis estratificado, el gráfico de Pareto, los gráficos de correlación y, en casos muy complejos, los test estadísticos. Verificación experimental: Se

trata de poner en marcha una pequeña prueba piloto suprimiendo el factor que creemos que es la causa de un determinado problema y comprobar si de esa manera desaparece”.²⁷

En la práctica; se recomienda utilizar los tres diferentes tipos de verificación debido a que los resultados que de estos se obtienen, se complementan el uno con el otro. En virtud de la experiencia y el conocimiento del investigador, este puede determinar cuál de los tres tipos de verificación tiene mayor ponderación para su estudio; y de esta manera, lograr distribuir con audacia los recursos para que estos sean utilizados de manera más eficiente.

1.4.7.6. Sexto paso: reevaluación de las soluciones

Una vez implantadas las estrategias o acciones de mejora que se hayan considerado necesarias y pasado algún tiempo para que surtan el efecto deseado se debe realizar un segundo estudio de evaluación para comparar los resultados con la medición inicial. La comparación de resultado permitirá tener una estimación de la efectividad de las intervenciones realizadas. Si estas han tenido algún resultado o no. Esta reevaluación constituye el punto final y la entrada de nuevo al ciclo de evaluación. Puede ser el momento de corregir algún aspecto que no ha funcionado como se había planeado o de seleccionar un nuevo problema y dar una nueva vuelta al ciclo.

²⁷ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 68.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Descripción del producto

La descripción del producto integra todas y cada una de las características tangibles y no tangibles que lo hacen funcional para los clientes. A continuación, se analizan con más detalle.

2.1.1. Generalidades

La organización ensambla todo tipo de congeladores y refrigeradores para uso comercial. Atiende las necesidades y exigencias del mercado, utilizando la materia prima de la más alta calidad y otorgando un servicio personalizado a cada uno de sus clientes. La división de ingeniería de Grupo Fogel, está continuamente desarrollando nuevos diseños que usan refrigerantes naturales, consumen menos energía y utilizan motores electrónicamente conmutados. El compromiso de la organización está en brindar unidades de refrigeración libres de contaminantes para el medio ambiente; por ello, de manera gradual se ha ido cambiando los tradicionales refrigerantes HFC (R-134a y R-404), considerados como gases del efecto invernadero; a refrigerantes naturales que ayudan a preservar el medio ambiente, como, por ejemplo, el R-290, hidrocarburo que cuenta con un inocuo potencial de calentamiento global.

2.1.2. Componentes

Básicamente, un sistema de refrigeración se encuentra compuesto por las siguientes partes:

- Compresor: dispositivo responsable de crear una diferencia de presión en el circuito de refrigeración haciendo circular el fluido refrigerante por la tubería de cobre.
- Condensador: dispositivo de intercambio térmico responsable de expulsar el calor extraído del interior del refrigerador hacia el ambiente externo del refrigerador.
- Tubo capilar o válvula de expansión: componente encargado de mantener diferencial de presión entre el condensador y el evaporador del sistema.
- Evaporador: dispositivo de intercambio térmico responsable de absorber el calor interno del refrigerador y transferirlo hacia el fluido refrigerante que fluye a lo largo de la tubería de cobre.
- Filtro secador: medio filtrante encargado de retener las partículas de impurezas y suciedad que puede ser transportada por el fluido refrigerante.

La función general de un sistema de refrigeración es extraer el calor del interior del refrigerador a través del cambio de fase del fluido refrigerante, que alternando su estado de líquido a gaseoso funciona de la siguiente manera.

Cuando el refrigerador se enciende por vez primera, el fluido refrigerante dentro de la tubería de cobre del sistema de refrigeración es succionado y comprimido por el compresor. Cuando el fluido refrigerante sale de este componente se encuentra en estado de vapor con una presión y temperatura elevadas. Se observa de manera simultánea un aumento en la presión de descarga y una disminución de la presión de succión. El fluido refrigerante, en forma de vapor, pasa por el tubo de descarga hasta llegar al condensador; donde comienza la transferencia de calor del fluido refrigerante hacia el aire del ambiente externo, de esta manera, el gas caliente que está en el condensador, enfría gradualmente hasta llegar a su temperatura de condensación, pasando del

estado gaseoso a una mezcla de líquido y vapor. Al finalizar este proceso, el refrigerante se satura; y este se transforma totalmente a su fase líquida.

El fluido refrigerante, ya en estado de líquido subenfriado, pasa por un filtro secador que detiene la humedad residual y después por un dispositivo de expansión (tubo capilar o válvula de expansión). La función de este dispositivo es crear una resistencia a la circulación del líquido en alta presión. Durante este proceso conocido como expansión, la temperatura del líquido disminuye de forma abrupta. El líquido en baja presión y temperatura, entra en el evaporador para absorber el calor proveniente del espacio refrigerado en el interior del refrigerador. Durante este proceso de absorción de calor, el fluido refrigerante en fase líquida, evapora y es succionado nuevamente por el compresor; reiniciando de esta manera el ciclo de refrigeración.

Además de todos los componentes que forman parte del sistema de refrigeración. Los refrigeradores comerciales también se encuentran constituidos por algunos otros componentes como:

- Lamina: plancha metálica con la cual se fabrica el esqueleto del refrigerador. Es donde se colocan los vinilos decorativos y demás publicidad solicitada por el cliente.
- Espuma: líquido viscoso que se inyecta dentro del gabinete del refrigerador y que al solidificar le confiere características aislantes al equipo. Con un buen aislamiento, se garantiza que el equipo mantendrá su temperatura interna en todo momento, sin un mayor desgaste del compresor.

- Puertas: es el último componente ensamblado en las líneas de producción. Su función es dar acceso al interior de la unidad de refrigeración cuando se encuentran abiertas y constituir un sello hermético que garantice que no existirá ningún tipo de intercambio de calor cuando estén cerradas.
- Componentes eléctricos: constituyen un conjunto de cables, *tycos* y arneses que forman parte del circuito eléctrico del sistema de refrigeración. Son los encargados de la iluminación, la ventilación, el funcionamiento del termostato, el arranque del compresor, entre otros.
- Termostatos: dispositivo electrónico cuya función es la de regular la temperatura del sistema de refrigeración de manera automática; permite establecer un retardo en el arranque del compresor y, por ende, en el funcionamiento del sistema.
- Ventiladores: pueden ubicarse tanto en el evaporador como en el condensador. Su función es extraer el calor para que este sea absorbido y en el condensador es el responsable de enfriar el gas refrigerante.

2.2. Descripción del proceso de ensamblaje

La planta de ensamblaje de unidades de refrigeración está constituida por 5 líneas de producción. Cada una de ellas contiene las siguientes estaciones y subestaciones.

2.2.1. Ensamble 1

En la estación de ensamble 1 se construye el esqueleto completo del equipo. Esta estructura se compone por el gabinete o estructura exterior y tina o

estructura interior. Las uniones de las láminas se realizan utilizando grapas y tonillos y las piezas necesarias de lámina son despachadas por el departamento de corte, troquel y dobléz.

2.2.2. Espuma

En la estación de espuma se inyecta espuma aislante entre el gabinete y la tina; se deja reposar la inyección por un tiempo (dependiendo de las dimensiones de la lámina a inyectar y del tipo de equipo que se desea ensamblar) y se trasladada el equipo a la siguiente estación.

Durante la inyección, la espuma se encuentra en estado líquido, pero luego de dejarla reposar, esta comienza a solidificar y a crecer en volumen; reacción que genera una liberación de calor y el aumento de la presión sobre las paredes de lámina del equipo. Esta acción es debido a la naturaleza química de la espuma que se encuentra compuesta por lo siguiente:

- Polioli que actúa como agente polimerizante.
- Ciclo pentano que actúa como agente expansivo.
- Isocianato que brinda la resistencia térmica y consistencia a la espuma.

2.2.3. Ensamble 2

En la estación de ensamble 2, se instalan todos los componentes eléctricos del equipo y la tubería de cobre necesaria para instalar posteriormente las unidades de refrigeración. En esta estación es en donde se ensamblan tanto el ventilador como los evaporadores.

2.2.3.1. Subensamble baffles

En la estación de subensamble baffles se construye la parrilla donde se ubicará la unidad evaporadora; esta es instalada en el esqueleto del equipo.

2.2.4. Ensamble 3

En la estación de ensamble 3 se finalizan las conexiones eléctricas, se suelda la tubería del sistema de refrigeración y se instalan las puertas. Esta estación se subdivide en dos estaciones más.

2.2.4.1. Subensamble unidades

En la estación subensamble unidades es en donde se instala la unidad condensadora, el compresor, el filtro deshidratador y demás tubería de cobre. En esta estación es en donde se suelda toda la tubería que forma parte del sistema de refrigeración, es decir, la tubería de alta presión del compresor y la tubería de baja presión del compresor.

2.2.4.2. Subensamble puertas

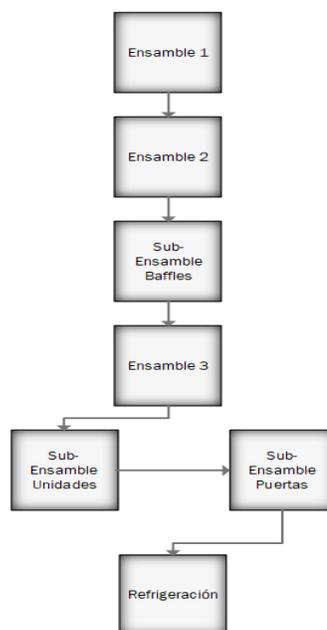
En la estación subensamble puertas es en donde se coloca el vidrio y sus respectivos marcos y se instalan algunos otros componentes eléctricos como el termostato o las luces led. El ensamble de las puertas es de suma importancia para el posterior funcionamiento del equipo, debido a que si los marcos no se encuentran bien ajustados al equipo. Estos pueden ocasionar que el aire frío generado por el sistema de refrigeración escape al exterior.

2.2.5. Refrigeración

Refrigeración es la última estación de la línea de ensamblaje y es en donde se le realiza un vacío profundo al compresor del sistema. Dicha actividad se ejecuta para garantizar que el sistema de refrigeración se encuentre libre de contaminantes. El refrigerante es inyectado en la tubería del sistema y el equipo es puesto a prueba evaluando los siguientes aspectos:

- Comportamiento de las gráficas de vacío del compresor.
- Calidad del pre vacío y velocidad de inyección de refrigerante.
- Ausencia de fugas e imperfecciones en la soldadura.
- Cumplimiento del equipo con los parámetros establecidos en las normas internacionales UL 471 y NOM-022-ENER-2014.

Figura 4. **Secuencia de estaciones de trabajo en las líneas de ensamblaje**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Descripción de los procesos de prueba de Instrumentación

El departamento de instrumentación de la calidad es el encargado de supervisar, monitorear y regular cada una de las pruebas de refrigeración realizadas dentro de la planta de ensamblaje. La importancia en la correcta supervisión de dichas actividades es crítica, debido a que es en esta etapa en donde pueden detectarse no conformidades o anomalías que afecten el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración. Si estos inconvenientes no son detectados a tiempo, la vida útil del equipo podría disminuir considerablemente generando inconformidades futuras en los clientes.

Las pruebas de refrigeración realizadas a los equipos, previo a ser empacados y preparados para su posterior distribución, son las siguientes:

- Prueba de fugas
- Prueba de bombas de vacío
- Prueba de carga de gas refrigerante
- Prueba eléctrica.

2.3.1. Prueba de fugas

Realizar una prueba de fugas a la tubería del sistema de refrigeración es de vital importancia. Previo a cargar el compresor con la cantidad programada de gas refrigerante se debe garantizar que todo el sistema de circulación se encuentra debidamente soldado y asegurado; debido a que una fuga en el sistema de tuberías podría causar que el gas refrigerante se escape al ambiente generando un factor de riesgo.

Las pruebas de fugas son realizadas con maquinaria de última generación; programadas de manera remota y monitoreadas en tiempo real para garantizar su correcto funcionamiento y asegurar la trazabilidad del proceso. Adicionalmente, si existiese una fuga se utilizan olfateadores de gas refrigerante (R290, R134a y R404) para localizar con precisión la ubicación de dicha fuga. Estos olfateadores se encuentran programados con el parámetro de detección recomendado por el fabricante y deben ser calibrados diariamente para garantizar su correcto funcionamiento en todo momento.

2.3.1.1. Objeto de la prueba

Detectar inconformidades en el sistema de refrigeración, debido a la existencia de fugas en la tubería o en los acoples de las unidades; garantiza el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

2.3.1.2. Parámetros de prueba

Los parámetros de prueba se establecen a través de análisis estadísticos y estudios internos realizados por el departamento de instrumentación.

2.3.1.3. Etapas de la prueba

Dentro de las fosas de refrigeración existen dos tipos de máquinas probadoras de fugas, se establecen estructuras diferentes de prueba:

- Estructura de prueba para la máquina ProbHe: E35813FAB81
- Estructura de prueba para la máquina Astra III: 735813FAB81.

Las estructuras mencionadas constan de las siguientes etapas:

- Prueba de relación de flujo (7): fase durante la cual se mide el flujo en L/min de la capilaridad del sistema de refrigeración. El fluido de trabajo utilizado es nitrógeno.
- Prueba de medida de flujo (E): fase durante la cual se mide el flujo en L/min de la capilaridad del sistema de refrigeración. El fluido de trabajo utilizado es nitrógeno.
- Fase de presurización (3): fase durante la cual se presuriza el sistema de refrigeración. Los fluidos de trabajo utilizados son nitrógeno y helio.
- Prueba de pérdida de presión (5): fase durante la cual se verifica la pérdida de presión del nitrógeno en un tiempo determinado. El fluido de trabajo utilizado es nitrógeno.
- Fase de descarga (8): fase durante la cual se descarga el fluido de trabajo dentro del sistema de refrigeración. El fluido de trabajo utilizado es refrigerante R134a, R404 o R290.
- Fase de evacuación (1): fase durante la cual la máquina practica un vacío profundo dentro del sistema de refrigeración.
- Prueba de fugas con gas trazador (F): fase durante la cual se efectúa un olfateo con sniffer, cerca de los puntos de soldadura colocados.
- Fase de recuperación (A): fase durante la cual, la máquina recuperadora de helio se encarga de retornar a sus tanques de almacenamiento; el helio utilizado durante la prueba de fugas con helio.

- Fase de limpieza de nitrógeno (B): fase durante la cual se realiza un lavado para eliminar los restos de nitrógeno contenidos en la tubería.

En caso de detectarse no conformidades en los equipos deben ser evaluados por el operario de la estación de prefosas. En caso de ser necesario (si el inconveniente no puede solucionarse) deben ser enviados al área de reparaciones. Ahí se les identificará con una etiqueta en la cual se debe colocar el motivo de la falla.

El colaborador del área de instrumentación de la calidad es el encargado de darle seguimiento a los rechazos que surgen en las pruebas eléctricas, en las máquinas probadoras de fugas y en las pruebas de vacío. Su responsabilidad es avocarse con el encargado de cada área y llevar una bitácora de los acontecimientos sucedidos, detalle de la prueba en que el equipo incurrió en rechazo, modelo y serie del equipo rechazado; así como también la causa del rechazo, y posibles motivos del rechazo.

Bajo ninguna circunstancia un equipo puede pasar al área de pruebas de refrigeración si antes no se ha registrado su aprobación en todas las etapas de la prueba de fugas.

2.3.2. Prueba de bombas de vacío

Crear vacío profundo en el sistema del compresor garantiza que el equipo está deshidratado y libre de cualquier contaminante que pudiera ocasionar posteriores daños al sistema; por ejemplo:

- Alta temperatura de la descarga
- Calentamiento excesivo de la válvula de descarga

- Formación probable de hielo en el evaporador
- Degradación del lubricante
- Taponamiento en sistemas que contenga tubos capilares

La organización dispone de un sistema automatizado para la ejecución y monitorización de dicho procedimiento. HAVAC 2.0 es un sistema informático de evacuación que trabaja de manera simultánea con un conjunto de bombas de vacío que, al ser conectadas a los sistemas de refrigeración, permiten preparar los mismos para una posterior carga de refrigerante.

El interés en la operación de este sistema informático se centra principalmente en la obtención de los siguientes datos:

- Tiempo que demora un equipo en alcanzar 200 micrones de presión en su etapa de abatimiento.
- Tiempo que demora un equipo en generar una cierta cantidad de presión (objeto de estudio) durante su etapa de sostenimiento.

2.3.2.1. Objeto de la prueba

Garantizar un eficiente funcionamiento del compresor a través de la extracción de posible humedad que se encuentre en su interior. Este proceso es monitoreado en tiempo real y utilizando tecnología de última generación. Es posible determinar posibles fallas en el sistema de refrigeración y evitar la formación de tapones de hielo en la tubería.

2.3.2.2. Parámetros de prueba

Los tiempos de ciclo que son utilizados como referencia para realizar la programación de los sistemas de vacío, han sido establecidos bajo estrictas instrucciones de la vicepresidencia de operaciones y atienden a los siguientes criterios.

- Para equipos de 1 puerta se programan 15 minutos de tiempo de vacío.
- Para equipos de 2 puertas se programan 20 minutos de tiempo de vacío.
- Para equipos de 3 puertas se programan 25 minutos de tiempo de vacío.
- Para equipos que dispongan de características diferentes a las enunciadas con anterioridad. Se deberán solicitar parámetros especiales a la vicepresidencia de operaciones.

Los parámetros de programación del sistema de vacío se basan en las necesidades actuales de producción y han sido establecidos sin afectar el flujo de ensamblaje de las líneas y en las condiciones iniciales expresadas en los instructivos operacionales del departamento de instrumentación de la calidad.

La programación de los tiempos en el sistema de vacío se realiza por medio de la página web interna de la organización. El control de cambios en los parámetros programados en el sistema se encuentra en un registro resguardado por el supervisor del departamento.

El seguimiento de hallazgos o inconformidades que se originan por fallas en el sistema del equipo (fuga, tapones, parámetros incorrectos, entre otros), que surgen durante las pruebas que realiza el operario de producción que opera el sistema de bombas de vacío. Se dejan evidenciadas en un registro electrónico, de acuerdo a la máquina y el área que corresponda. Este registro es validado por

el supervisor o colaborador de instrumentación de calidad, quienes interpretan la información que se obtiene de los registros.

2.3.2.3. Etapas de la prueba

La prueba de bombas de vacío consta de las siguientes etapas:

- Abatimiento: etapa de la prueba de vacío en donde un sistema de refrigeración alcanza 200 micrones de presión.
- Vacío profundo: etapa en donde se le practica una limpieza profunda al sistema de refrigeración por medio de una bomba de vacío.
- Sostenimiento: etapa de la prueba de vacío en la cual se mide la presión que pierde un sistema de refrigeración (diferencia real) en un tiempo determinado.

2.3.3. Carga de refrigerante

El gas refrigerante es un fluido frigorífico que, al ser utilizado en un sistema de refrigeración, absorbe calor a baja temperatura y presión; cediéndolo a temperaturas y presión más elevadas. La inyección de gas refrigerante es fundamental para el buen funcionamiento del sistema de refrigeración, debido a que es de este procedimiento que depende la capacidad de enfriamiento del equipo.

2.3.3.1. Objeto de la prueba

Garantizar que se realiza una correcta inyección de gas refrigerante a través de un previo procedimiento de pre vacío.

2.3.3.2. Parámetros de prueba

Los parámetros para esta prueba se establecen a través de análisis estadísticos y estudios internos realizados por el departamento de Instrumentación.

2.3.3.3. Etapas de la prueba

La prueba de carga de gas refrigerante consta de las siguientes etapas:

- Evacuación: durante esta fase se realiza un prechequeo de vacío para garantizar que al equipo se está inyectando solamente con gas refrigerante. Existe plena seguridad que no existirá humedad u otros componentes contaminantes circulando dentro del sistema de refrigeración.
- Pérdida de presión: durante esta fase se verifica que el sistema de refrigeración no presente indicios de fugas. Se garantiza el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

2.3.4. Prueba eléctrica

El testeo eléctrico previo al primer arranque del equipo es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del compresor y sus componentes; también

permite garantizar la seguridad del usuario final a través del análisis de ciertos factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes o daños a la salud.

2.3.4.1. Objeto de la prueba

- Garantizar el correcto funcionamiento eléctrico de la unidad de refrigeración, a través de su conformidad con el cumplimiento de los parámetros descritos en las normas internacionales NOM – 022 – ENER – 2014 y UL471.

2.3.4.2. Parámetros de prueba

- Prueba de aislamiento (1): los valores resultantes deben de ser superiores a 2 MOmhs; se toma como referencia la norma mexicana NOM – 022 – ENER – 2014.
- Prueba de rigidez dieléctrica (2): la prueba de rigidez dieléctrica se realiza a 1 500 Vac y permite un máximo de fuga de corriente en los equipos de 7mA durante 1 segundo; se toma como referencia la norma UL471.
- Prueba de corto circuito (3): se toma como referencia el valor de la resistencia de la bobina de arranque del compresor (sugerido por el departamento de diseño). Esta prueba se realiza a voltaje constante (5 – 10 Vac) durante 5 segundos.
- Prueba de fuga de corriente (4): como resultado de esta prueba los valores deben de ser inferiores a 0,75 mA; tomando como referencia la norma internacional UL471. Esta prueba se realiza a voltaje constante (dependiendo del voltaje de funcionamiento del modelo, 115 o 220 V) y se ejecuta durante 5 segundos.
- Prueba de potencia absorbida (5): la prueba se realiza a voltaje contante (dependiendo del voltaje de funcionamiento de modelo, 115 o 220 V) en

5 segundos; tomando como referencia el punto 6.3.4.1 de la norma mexicana NOM – 022 – ENER – 2014.

- Prueba de voltaje residual (6): como resultado de esta prueba los valores deben ser inferiores a 34 V; tomando como referencia la norma mexicana NOM – 022 – ENER – 2014. Esta prueba se realiza a voltaje constante (dependiendo del voltaje de funcionamiento del modelo, 115 o 220 V) en 5 segundos.

2.3.4.3. Etapas de la prueba

La prueba de funcionamiento eléctrico consta de las siguientes etapas:

- Prueba de continuidad de tierra (1): verifica que el equipo se encuentre aterrizado a tierra; y que exista un 100 % de continuidad en el mismo.
- Prueba de aislamiento (2): verifica la seguridad de aislamiento del equipo (oposición al flujo de electrones en caso de que existiese alguna fuga de corriente).
- Prueba de rigidez dieléctrica (3): llamada también prueba de *Hi-Pot*, verifica que no existan fugas de corriente en picos de alto voltaje. Se chequea la seguridad y rigidez de las conexiones eléctricas para garantizar que estas no sean débiles.
- Prueba de corto circuito (4): verifica que no existan cortos circuitos en los arneses instalados dentro de los equipos.
- Prueba de fuga de corriente (5): verifica que no existan fugas de corriente mínimas en el circuito eléctrico del equipo.
- Prueba de potencia absorbida (6): verifica el consumo en watts de la unidad de refrigeración.

- Prueba de voltaje o tensión residual (7): realiza una medición del voltaje remanente en el equipo, luego de haberle aplicado una alta cantidad de voltaje.

2.4. Descripción del equipo de pruebas

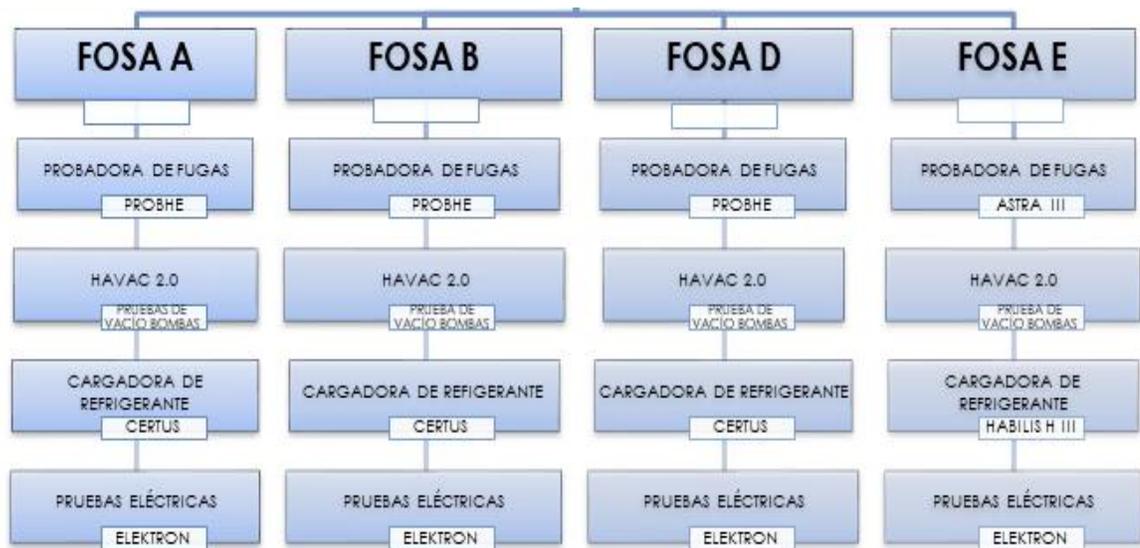
La organización dispone de un conjunto de máquinas electrónicas de última generación que permiten monitorear con exactitud y en tiempo real, el comportamiento de los equipos. Es posible determinar de manera casi inmediata la existencia de una no conformidad en el proceso.

2.4.1. Maquinaria

- Astra III: unidad automática para la evacuación, presurización y búsqueda de pérdidas de presión; utilizada para realizar prueba de fugas de gas refrigerante en la tubería de cobre de las unidades ensambladas. Su programación es manual. Se encuentra ubicada en la estación de refrigeración de la línea E.
- ProbHe HP: unidad automática para la evacuación, presurización y búsqueda de pérdidas de presión; utilizada para realizar prueba de fugas de gas refrigerante en la tubería de cobre de las unidades ensambladas. Su programación puede ser remota o manual. Se encuentra ubicada en la estación de refrigeración de la línea A, B-C, y D.
- Certus: unidad automática de evacuación y descarga, encargada de inyectar gas refrigerante en la tubería de las unidades de refrigeración. Su programación puede ser remota o manual. Se encuentra ubicada en la estación de refrigeración de la línea A, B-C, y D.

- Elektron: unidad electrónica encargada de realizar pruebas eléctricas y de seguridad en los equipos ensamblados. Su programación puede ser remota o manual. Se encuentra ubicada en la estación de refrigeración de la línea A, B-C, D y E.
- Habilis H: unidad automática de evacuación y descarga, encargada de inyectar gas refrigerante en la tubería de las unidades de refrigeración. Su programación es manual. Se encuentra ubicada en la estación de refrigeración de la línea E.

Figura 5. Distribución de la maquinaria en las líneas de producción



Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Herramientas auxiliares

- Cortadora de tubos ultrasónica: es una herramienta de corte diseñada para aplicar soldadura ultrasónica a los materiales. “La soldadura ultrasónica es un proceso de soldadura en estado sólido que suelda por la aplicación de

vibraciones de energía de alta frecuencia mientras las piezas están siendo sujetadas a presión”.²⁸ El proceso es usado para soldar materiales que requieren de un sello hermético.

- Inficon HLD 5000: el inficon HLD 5000 es adecuado para ejecutar pruebas de detección de fugas en sistemas de refrigeración. Su área de aplicación es dentro de la industria del aire acondicionado y la refrigeración comercial. Dispone de un olfateador que permite rastrear las fuentes de posibles fugas y permite apreciar el nivel de la fuga.
- Box de calibración MS: dispositivo eléctrico diseñado para calibrar los parámetros de prueba de la máquina Elektron.

2.5. Análisis de los procesos de prueba de Instrumentación

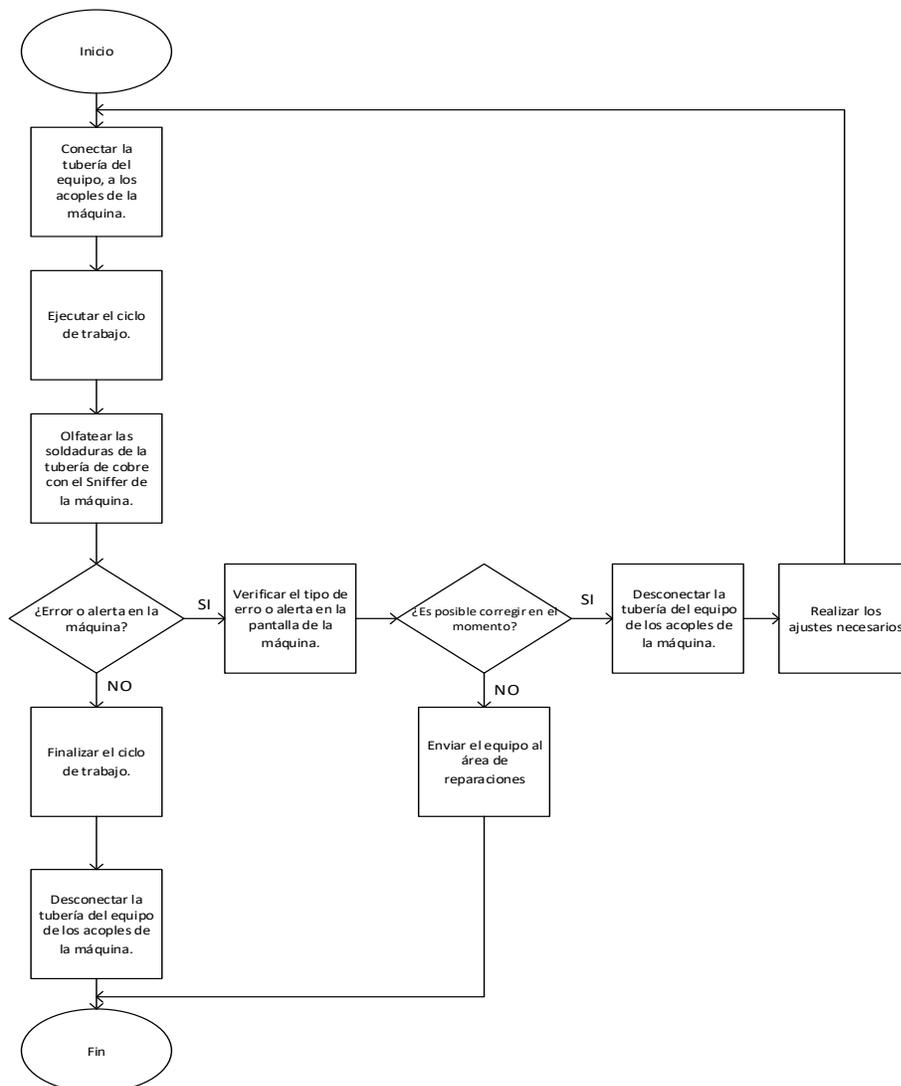
Con base en las necesidades y exigencias de los clientes, la organización ha desarrollado una serie de pruebas que garantizan el correcto funcionamiento de los equipos de refrigeración comercial que ofrecen al mercado. Estas pruebas han sido incorporadas al proceso de producción como parte del sistema de gestión de la calidad y son realizadas a todos y cada uno de los equipos que pasan por las líneas de ensamblaje. Los parámetros y condiciones de las pruebas han sido obtenidos por medio de estudios internos de la organización; y utilizando como referencia la norma mexicana NOM – 022 – ENER – 2014 y la norma americana UL 471.

²⁸ MEDINA MONTENEGRO, Octavio. *Determinación de los parámetros para minimizar el tiempo de soldadura por ultrasonido de la terminal MAC*. p. 90.

2.5.1. Diagrama de flujo de la prueba de fugas

La prueba de fugas es indispensable para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración. Este procedimiento se detalla a en la siguiente figura.

Figura 6. Diagrama de flujo de la prueba de fugas

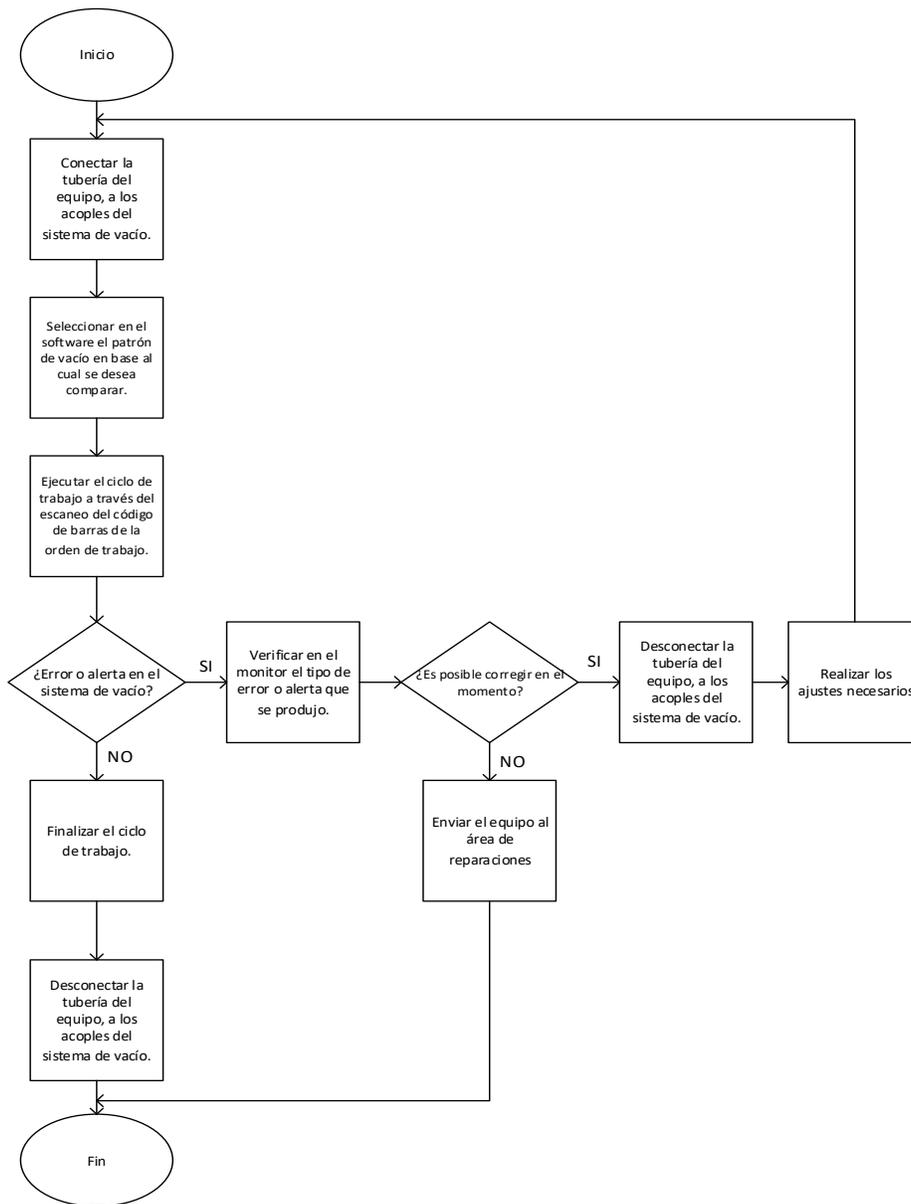


Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

2.5.2. Diagrama de flujo de la prueba de bombas de vacío

El procedimiento para la prueba de bombas de vacío se describe a continuación.

Figura 7. Diagrama de flujo de la prueba de bombas de vacío

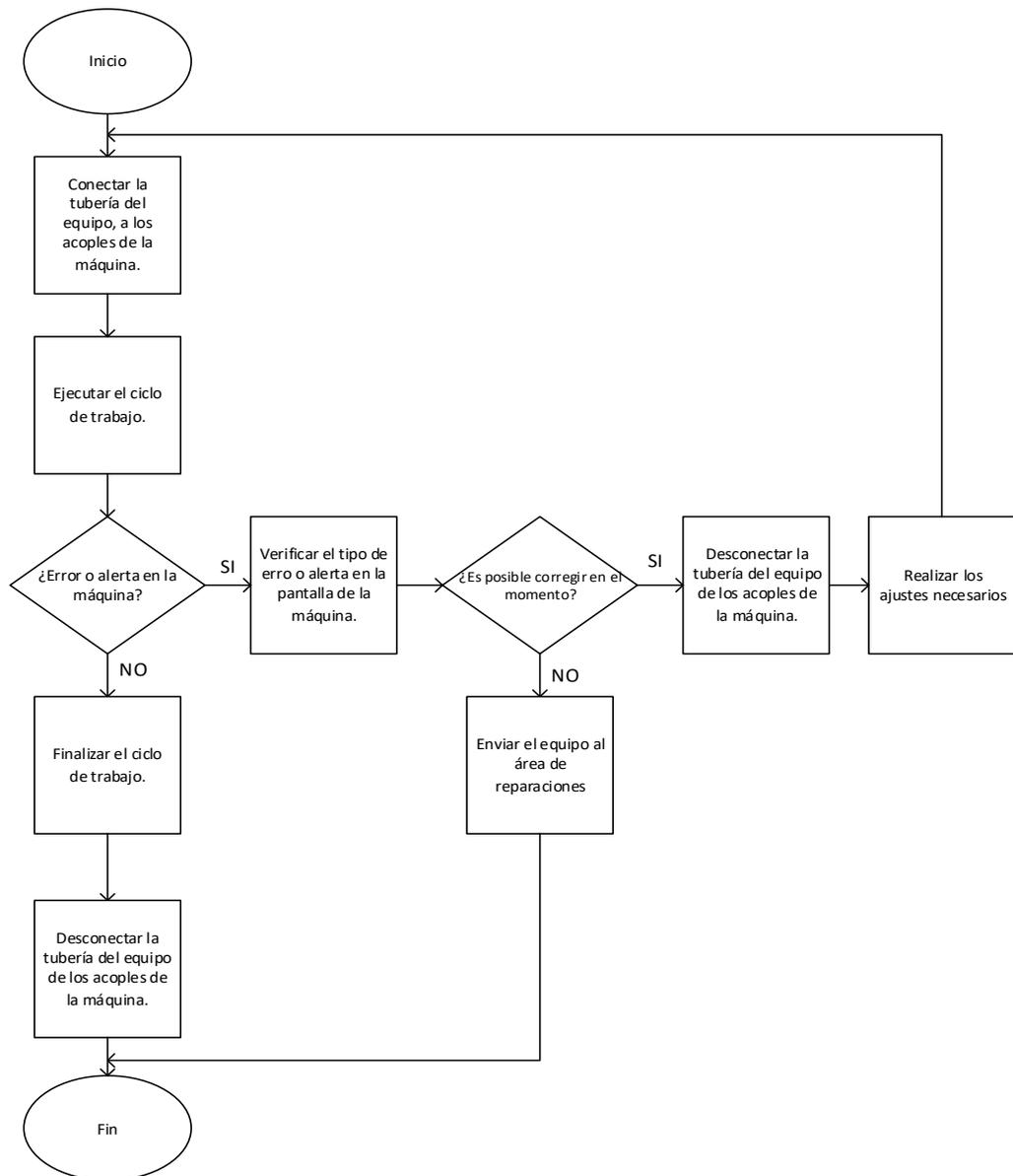


Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

2.5.3. Diagrama de flujo de la carga de refrigerante

El procedimiento para la prueba de carga de gas refrigerante se describe a continuación:

Figura 8. Diagrama de flujo de la carga de refrigerante

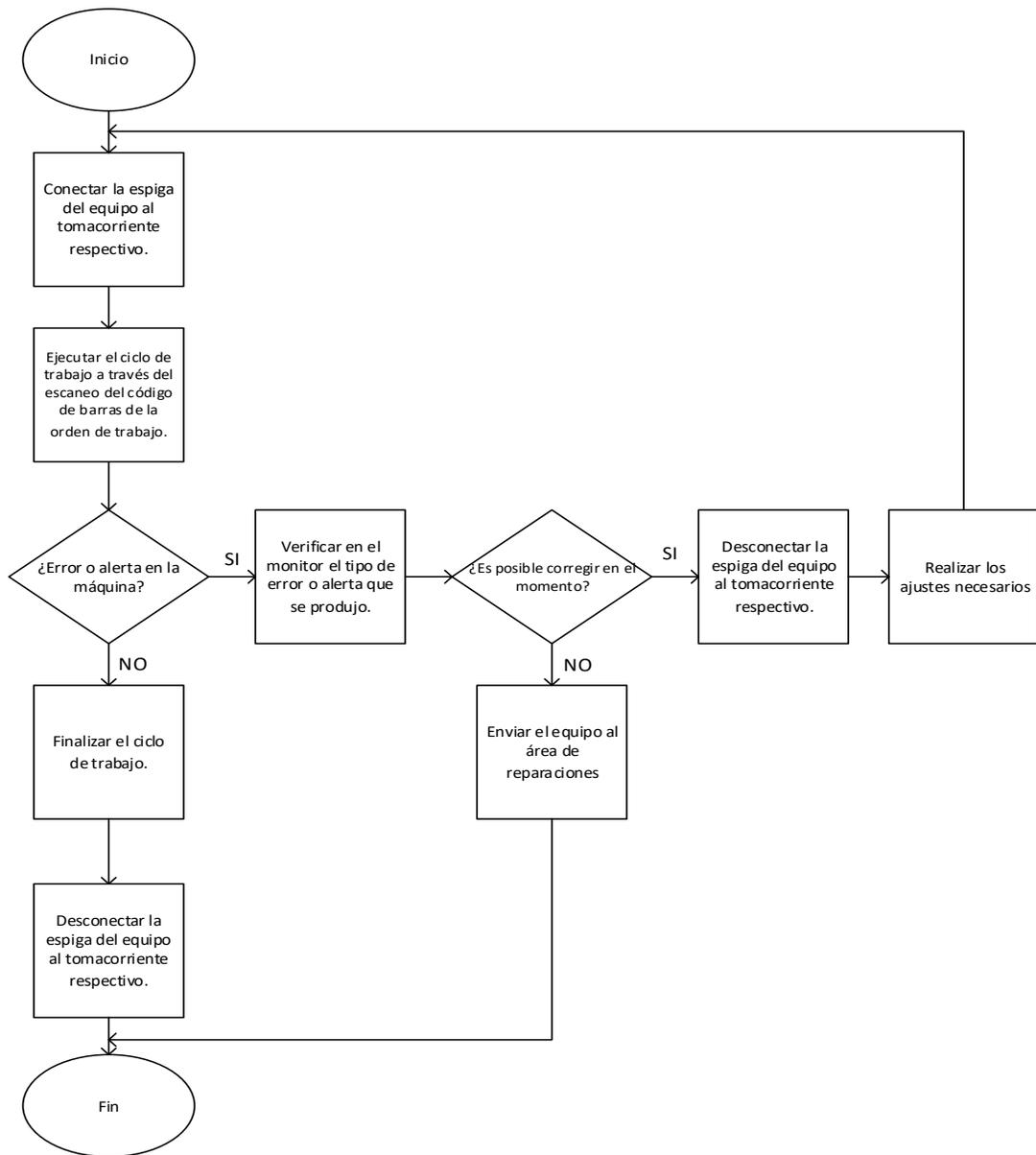


Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

2.5.4. Diagrama de flujo de la prueba eléctrica

El procedimiento para la prueba de funcionamiento eléctrico se describe a continuación:

Figura 9. Diagrama de flujo de la prueba eléctrica



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

3. PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL

A continuación, se propone la metodología planteada para determinar de manera satisfactoria cada uno de los diferentes puntos críticos de control (PCC) a considerar dentro del departamento de instrumentación. La identificación, evaluación, análisis y seguimiento de los mismos, constituirá las bases para el desarrollo de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC).

3.1. Identificación de problemas u oportunidades de mejora

Debido a que el departamento de instrumentación no cuenta con un mecanismo que permita identificar los puntos críticos de control. Las no conformidades se repiten con una frecuencia muy elevada y el factor que las origina no puede ser predicho, ni controlado con exactitud. Como resultado el ritmo de producción de las líneas de ensamblaje se ve mermado y aumentan considerablemente el número de reprocesos.

3.1.1. Delimitación del problema

A través de un constante monitoreo y seguimiento se tiene contemplado identificar los puntos críticos de control que tienen el riesgo más alto de incurrir en no conformidades durante el proceso de producción de las líneas de ensamblaje A, B-C, D y E.

3.1.1.1. Técnica de los 5 porqué

Por medio de la técnica de los 5 porqué se busca generar una secuencia de cuestionamientos explorativos que permitan determinar la raíz del problema cuya existencia es el motivo de estudio. En este caso, la elevada recurrencia de las no conformidades operativas dentro del departamento de instrumentación.

Tabla I. Matriz de los 5 porqué

Problema a estudiar	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	Conclusión
¿Porque existe una elevada recurrencia de las no conformidades operativas dentro del departamento de Instrumentación?	Por descuidos de los encargados del departamento.	¿Y porque hay descuidos? Porque los controles no se completan correctamente y a tiempo.	¿Y porque no se completan a tiempo? Porque el personal no es suficiente.	¿Por qué no es suficiente el personal? Porque el presupuesto destinado al departamento es muy limitado.		Calendarizar de mejor manera las actividades del departamento de Instrumentación
	Por falta de conocimiento de los encargados del departamento.	¿Y porque hay falta de conocimiento? Porque no existe un programa de capacitación adecuado para los operativos del departamento.	¿Y porque no existe un programa de capacitación adecuado? Porque no se ha trabajado en ello.	¿Y porque no se ha trabajado en ello? Porque no se ha visto como una prioridad.		Trabajar en un adecuado programa de capacitación que permita brindar al personal operativo, todas las competencias necesarias para desempeñarse en el departamento.
	Por las malas prácticas de manufactura por parte de los operativos del departamento de producción.	¿Y porque existen malas prácticas? Porque existe mucha rotación de puestos, en las estaciones de trabajo.	¿Y porque los existe mucha rotación de puestos? Porque los operativos cubren plazas temporales	¿Y porque cubren plazas temporales? Porque el personal titular se ausenta muy frecuentemente		Elevada rotación del personal y escasa capacitación para los suplentes
	Por la falta de un efectivo sistema de seguimiento para las mismas.	¿Y porque no existe un efectivo sistema de seguimiento? Porque los puntos críticos de control no están bien definidos.	¿Y porque no están bien definidos? Porque no se le ha dado seguimiento al historial de no conformidades.	¿Y porque no se le ha dado seguimiento? Porque no se conocen las razones por las cuales los equipos están siendo rechazados con tanta frecuencia.	¿Y porque no se conocen las razones? Porque no se han estudiado a profundidad los motivos de las fallas.	Identificar los puntos críticos de control de las líneas de ensamble; a través del seguimiento de las no conformidades recurrentes en el departamento de Instrumentación

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Definir objetivos

Con base a las conclusiones obtenidas de la matriz de los 5 porqué se definen los siguientes objetivos:

- Calendarizar las actividades del departamento de instrumentación.
- Trabajar en un adecuado programa de capacitación que permita brindar al personal operativo, todas las competencias necesarias para desempeñarse en el departamento de instrumentación.
- Evaluar el clima organizacional de modo que pueda determinarse la razón por la cual existe una elevada rotación del personal.
- Identificar los puntos críticos de control de las líneas de ensamblaje a través del seguimiento de las no conformidades recurrentes dentro del departamento de instrumentación.

3.2. Selección de las situaciones mejorables más relevantes

La selección de las situaciones mejorables más relevantes es de vital importancia en el desarrollo de todo ciclo de mejora continua; debido a que en esta etapa es donde se sustenta la existencia de futuras actividades de mejora. “No todos los problemas de calidad detectados tienen igual relevancia ni requieren igual dedicación o esfuerzo. El establecimiento de una jerarquía de prioridades entre ellos es una etapa muy importante que va a determinar el sentido de todas las actuaciones posteriores”.²⁹

Es necesario abordar el problema por medio de una metodología que aporte un resultado más específico. Obteniendo los siguientes resultados.

²⁹ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p.60.

3.2.1. Selección previa

En este primer descarte es necesario eliminar todos aquellos problemas cuya solución puede ser implementada sin mayor investigación o estudio, es decir, aquellos problemas para los que pueda existir una solución inmediata.

3.2.2. Evaluación – Priorización

Luego de realizada la selección previa es preciso evaluar los objetivos restantes a modo de identificar cuál de ellos es el más conveniente para iniciar un proceso de mejora continua. Es necesario recurrir a la elaboración de una matriz de priorización.

3.2.2.1. Matriz de priorización

La matriz de priorización es una herramienta que permite priorizar opciones como apoyo para la toma de decisiones; con ella, se evalúan las alternativas respecto a criterios ponderados acordados, los cuales asignan aspectos, tareas y otras opciones. Es utilizada por varios miembros de un equipo de trabajo para poder llegar a un consenso sobre un determinado aspecto y ayuda a ordenar los problemas con respecto a un criterio importante que es establecido por la organización. De esta manera, es más sencillo detectar los problemas que son más importantes de resolver primero. “En algún momento de la planificación o metodología de mejora, es necesario decidir qué es más necesario o más importante hacer para la organización y cuando realizarlo, es decir, establecer prioridades. Las matrices de priorización permiten realizar estas tomas de decisión de una forma objetiva. La matriz de priorización de problemas es una herramienta que permite seleccionar las distintas alternativas de soluciones, en

base a la ponderación de opciones y aplicación de criterios. Se trata de un instrumento clave para tomar decisiones y clasificar problemas”.³⁰

A modo de retroalimentación, la finalidad de una matriz de priorización es identificar y seleccionar causas potenciales de no conformidad; y con ello, prevenir problemas asegurando la eficiencia de los resultados de un proceso.

Tabla II. **Matriz de priorización de problemas**

	Magnitud ¿Cuántos miembros son afectados por el problema?	Beneficio Gravedad ¿Cuánto daño ocasiona?	Capacidad ¿Qué posibilidades de solución se tienen?	Alcance ¿Cuánto nos beneficia su solución?
Criterios	Tiene que ver con la cantidad de personas afectadas por el problema.	Registra la intensidad del daño que ocasiona el problema.	Capacidad de intervención. Indica la posibilidad de dar solución al problema.	Indica el nivel de provecho o utilidad que aporta la solución del problema.
Problema 1: Capacitación inadecuada para los operarios del departamento de Instrumentación de la Calidad.	Hasta el 25%	Medianamente Grave	Alta	Beneficio Alto
Problema 2: Ausencia de una metodología que permita conocer los puntos críticos de control en las líneas de ensamblaje.	Hasta el 100%	Grave	Muy alta	Beneficio Alto

Fuente: elaboración propia.

³⁰ VILAR BARRIO, José. *Las 7 nuevas herramientas para la mejora de la calidad*. p. 69.

3.2.3. Selección definitiva

De la matriz de priorización puede concluirse que el problema que genera un impacto más grave en la organización es la ausencia de una metodología que permita conocer los puntos críticos de control en las líneas de ensamblaje, puede llegar a afectar hasta al 100 % de las personas involucradas en el proceso. Al no identificar estas áreas, se puede incurrir en errores que lleven a detener las líneas de producción.

3.3. Análisis de las causas raíces del problema

Una vez seleccionado y definido el problema, el siguiente paso del ciclo es la realización de un análisis inicial del mismo. Es decir, “saber cuál es la situación de partida, descubrir cuáles son los motivos más probables que están originando el problema y determinar su peso específico, es decir, su contribución particular al problema”.³¹ Para identificar los puntos críticos de control existentes en las líneas de ensamblaje, es necesario realizar una recolección de los datos históricos generados por el departamento de instrumentación. Se busca también, identificar ciertos indicadores que permitan evaluar y retroalimentar el ciclo de mejora continua de la calidad para el departamento.

3.3.1. Estratificación del proceso

Para efectuar un análisis profundo de las causas raíces del problema el proceso se debe estratificar en las dimensiones de entorno, máquina, mano de obra, medida, método y materia prima.

³¹ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 60.

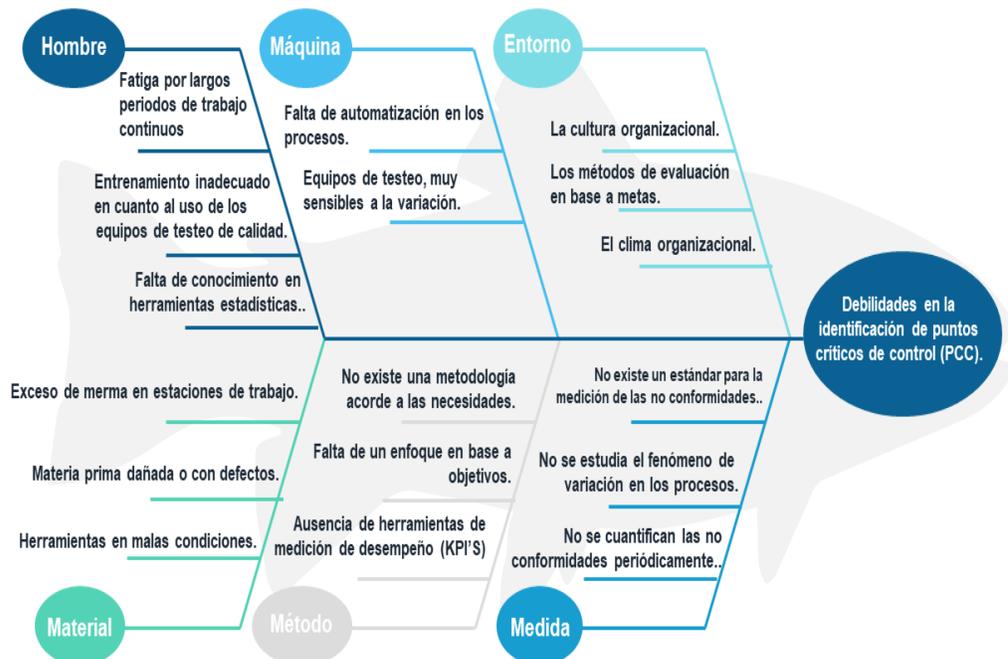
3.3.2. Exploración de causas

Al realizar un análisis exploratorio sobre las posibles causas que justifican la ausencia de una metodología para la determinación de los puntos críticos de control dentro de la planta de ensamblaje. Se obtiene el siguiente diagrama de causa y efecto.

3.3.2.1. Diagrama Ishikawa

Siendo hombre, máquina, entorno, material, método y medida los criterios de clasificación para la exploración de las posibles causas que ocasionan debilidades o deficiencias en la correcta identificación de los puntos críticos de control; se obtiene:

Figura 10. Diagrama Ishikawa (Deficiencia en la identificación de puntos críticos de control (PCC))



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Power Point.

3.3.2.2. Análisis del diagrama

Del análisis de la figura 10 pueden obtenerse una serie de causas debido a las cuales existe cierta debilidad para identificar los posibles puntos críticos de control que forman parte del proceso operativo.

Tabla III. **Matriz de hipótesis causales para el fenómeno de debilidad en la identificación de punto críticos de control.**

Entorno	Medida	Máquina	Método	Hombre	Material
Cultura organizacional	No existe un estándar para la medición de las no conformidades	Falta de automatización en los procesos.	No existe una metodología acorde a las necesidades.	Fatiga por largos periodos continuos de trabajo.	Exceso de merma en estaciones de trabajo.
Métodos de evaluación en base a metas.	No se estudia el fenómeno de variación en los procesos.	Equipos de testeo, muy sensibles a la variación.	Falta de un enfoque en base a objetivos.	Entrenamiento o inadecuado en cuanto al uso de los equipos de testeo.	Materia prima dañada o con defectos.
Clima organizacional	No se cuantifican las no conformidades periódicamente.		Ausencia de herramientas para la evaluación del desempeño (KPI).	Falta de conocimiento en herramientas de control estadístico de procesos.	Herramientas en malas condiciones.

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Generación de hipótesis causales

Se define hipótesis como una suposición que se admite de forma provisora, para sacar conclusiones verídicas. Una hipótesis causal explica y predice los hechos y fenómenos contemplando ciertos márgenes de error. Este tipo de hipótesis se da cuando el comportamiento o la alteración de una variable es el efecto de otra causa que no es extraña o aleatoria y que tiene lugar antes que la primera.

Las hipótesis causales que explican de mejor manera la debilidad que existe en la identificación de los puntos críticos de control (PCC) de las líneas de ensamblaje surgen al aplicar la metodología del diagrama de Ishikawa.

3.3.4. Plan de recolección de datos

Para formular un efectivo plan de recolección de datos es necesario responder a las siguientes interrogantes:

- ¿De qué fuentes serán obtenidos los datos? La información será recolectada de la base de datos del departamento de instrumentación, de los registros manuales de no conformidades y de las especificaciones técnicas que brinda el departamento de diseño.
- ¿En qué lugar se encuentran localizadas dichas fuentes? En los documentos operativos, tanto del departamento de instrumentación, como del departamento de diseño.
- ¿A través de que medio o método serán recolectados los datos? Los datos serán recolectados utilizando Microsoft Excel por medio del ingreso

manual de los históricos proporcionados por el departamento de Instrumentación.

- ¿De qué manera deben de ser preparados para que posteriormente puedan analizarse y responder a los planteamientos del problema? Luego de tabular las no conformidades de las unidades de refrigeración en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Estos datos serán segmentados y estudiados en categorías para identificar de forma más certera la procedencia exacta y el origen del rechazo.

3.3.4.1. Recolección de datos históricos

La recolección y consulta de datos históricos es de vital importancia para evidenciar la existencia de puntos críticos de control a lo largo de las líneas de ensamblaje; debido a que la frecuencia más alta de no conformidades, ocurre precisamente en estas estaciones de trabajo. La información a recolectar es la siguiente:

- Nombre comercial de la unidad de refrigeración.
- Especificaciones técnicas.
- Fecha de ensamblaje.
- Línea de ensamblaje.
- Prueba de calidad en que fue rechazada la unidad y los parámetros de dicha prueba.

3.3.4.2. Análisis de datos recolectados

Luego de recolectar los datos, deben ser inspeccionados, seleccionados y organizados con el objetivo de convertirlos en información útil que permita brindar

conclusiones oportunas al problema planteado. Durante el proceso de análisis será posible obtener la siguiente información:

- Causa raíz del rechazo de la prueba.
- Procedencia exacta del rechazo de la prueba.
- Indicadores clave de desempeño.

3.3.4.3. Diagrama de Pareto

Por medio de la elaboración del Diagrama de Pareto se busca identificar cuáles son las causas de no conformidad más recurrentes en los distintos rubros de clasificación. El objetivo de enfocar efectivamente los esfuerzos al decidir implementar planes de acción que permitan reducir ese 20 % de las causas, que generan el 80 % de las no conformidades ocurridas en las estaciones de trabajo.

El principio de Pareto permite conocer las principales causas de no conformidad en los equipos, a través de un estudio gráfico de frecuencias acumuladas.

3.3.4.4. Histograma

Por medio de la elaboración del histograma se busca expresar gráficamente la agrupación de frecuencias de no conformidad dentro de determinados intervalos de valores. El objetivo es comparar el desempeño actual de los procesos con futuros desempeños de trabajo.

3.3.5. Validación de la hipótesis causal

Se considera crítico el hecho de no contar con una metodología que permita evaluar el resultado de las pruebas de calidad; si no se dispone de indicadores clave que permitan cuantificar la variabilidad no es posible comparar el desempeño actual con el desempeño histórico de los procesos. Los esfuerzos por encontrar un estado de mejora continua no tendrán un enfoque adecuado con respecto a las necesidades. La retroalimentación que se brinda a las medidas de control es escasa y en ocasiones nula situación que impide el desarrollo de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC).

3.4. Medición de la situación actual

A través de la medición, se pretende obtener un panorama más amplio del problema y de las circunstancias relacionadas con el mismo. Esta etapa constituye el fin primordial del proceso de mejora continuo debido a que si algo no puede ser medido tampoco puede ser controlado. “Medir es otra de las etapas claves del ciclo de mejora. Con la medición se pretende objetivar cuantitativamente la situación de partida y disponer de una variable principal, para orientarnos sobre la evolución de los cambios logrados cuando se introduzcan las mejoras oportunas”.³²

La medición es el corazón de todo esfuerzo por alcanzar un estado permanente de mejora continua de la calidad.

³² GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 63.

3.4.1. Identificación de las mediciones a realizar

Previo a realizar las mediciones, es necesario identificar qué tipo de mediciones son las que se van a realizar; estas se determinan atendiendo al criterio de viabilidad de la recogida de datos y a la magnitud del aporte que estas mediciones tendrán para resolver el problema. “Ya en la fase de definición y de análisis de problemas se ha identificado, cuáles son las mediciones más adecuadas para conocer y estudiar el problema. Es preciso ahora tomar una decisión definitiva al respecto y seleccionar aquellas que sean más útiles tomando como base dos elementos de juicio: el valor intrínseco que tienen para analizar el problema y su viabilidad a la hora de recoger los datos”.³³

La característica del valor intrínseco que tiene una medición, determina su razón de existir dentro del proceso de mejora continua; y la viabilidad en el momento de recoger los datos, establece la facilidad con que estas mediciones serán obtenidas.

3.4.2. Definición operacional de las variables

Una definición operativa es una descripción clara y comprensible de lo que se pretende observar y medir para que diferentes personas puedan entenderlo de la misma manera. Su objetivo es traducir lo que se quiere saber en algo concreto que se pueda observar o medir de forma consistente.

³³ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 67.

Tabla IV. Cuadro de operacionalización de variables

Variable Nominal	Definición de la variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
No conformidades totales	<p>Conjunto de incumplimientos a cualquiera de los requisitos que, por norma, han sido establecidos en el departamento de Instrumentación, para que todos los equipos que sean testeados en las máquinas de prueba, cumplan con los mismos estándares de calidad; garantizando de esta manera, el buen funcionamiento de los mismos.</p>	Recolección	Tiempo Recursos	Observación directa Entrevistas
		Evaluación de la calidad del dato	Tiempo Recursos	Análisis estadísticos de variabilidad
		Procesamiento de los datos	Tiempo Recursos	Gráficos de Pareto Diagrama de Ishikawa
		Análisis e interpretación	Tiempo Recursos	Gráficos de control por atributos "p" Diagramas de caja y bigote
		Divulgación de los resultados	Tiempo Recursos	Observación directa Encuesta sobre PCC

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Planificación del estudio

La recolección de datos es, probablemente, la fase más costosa y engorrosa de todo el ciclo de mejora continua. Se debe dedicar tiempo a la planificación correcta de esta fase (definición del tipo de estudio, variables a recoger, plan de muestreo, fuente de datos, entre otros) para asegurar que se recoge toda la información necesaria y tener ciertas garantías de que no se va a precisar repetir ninguno de los pasos porque los datos son incompletos o poco apropiados.

3.5. Análisis de resultados y propuesta de acciones de mejora

Por medio del análisis de los resultados obtenidos, será posible proponer una serie de cambios, lineamientos y directrices que permitirán reducir considerablemente la recurrencia de no conformidades en las líneas de ensamblaje. Se desarrollará una metodología de análisis que permita optimizar los rendimientos generales de las líneas de ensamblaje; a través de la detección temprana de no conformidades potenciales.

3.6. Implantación de las acciones de mejora

La puesta en marcha de nuevas medidas de control preventivo permitirá detectar a tiempo todo indicio de no conformidad que pueda presentarse en las líneas de ensamblaje. Es posible que pueda experimentarse cierta oposición por parte del personal, ya sea a un nivel operativo o administrativo. Se hace necesario crear conciencia sobre una necesidad de cambio y un especial énfasis en la importancia de la participación de todo el personal involucrado.

3.6.1. Necesidad del cambio

Elevar los niveles de calidad en los procesos es uno de los objetivos claves de toda organización. La identificación de nuevas oportunidades de mejora y el desarrollo de un adecuado conjunto de indicadores de desempeño aportan a la organización un valor agregado en la búsqueda de la satisfacción de los clientes.

Se informará a todo el personal involucrado sobre los resultados de la investigación realizada. El objetivo es promover el sentimiento de una necesidad de cambio a nivel organizacional.

3.6.2. Participación del personal

Luego de informar al personal involucrado sobre los resultados obtenidos se dará a conocer a cada uno, cuál es su rol operativo y qué tipo de papel desempeñará para poner en marcha el proyecto. El ciclo de mejora continua encuentre una retroalimentación adecuada, en la que tanto el personal operativo, como el personal administrativo emitan una opinión concreta acerca de posibles cambios o mejoras que puedan aplicarse a la metodología.

3.7. Reevaluación y ajuste

Una vez implantadas las estrategias o acciones de mejora que se hayan considerado necesarias y pasado algún tiempo para que surtan el efecto deseado se debe realizar un segundo estudio de evaluación para comparar los resultados con la medición inicial. “La comparación de resultados permitirá tener una estimación de la efectividad de las intervenciones realizadas. Si estas han tenido algún resultado o no. Esta reevaluación constituye el punto final y la entrada de nuevo al ciclo de evaluación. Puede ser el momento de corregir algún aspecto

que no ha funcionado como se esperaba o de seleccionar un nuevo problema y dar una nueva vuelta al ciclo”.³⁴

Es importante tomar en consideración que la mejora continua es un proceso dinámico y constante; por ende, los procesos deben de ser flexibles y robustos a modo que las etapas de reevaluación y ajuste se lleven a cabo de la mejor forma.

³⁴ GARCÍA MATA, Juan Ramón. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. p. 93.

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Acciones para determinar los puntos críticos de control (PCC)

Luego de establecer el contexto mediante el cual se desarrollará la investigación, se propone la siguiente metodología para determinar los puntos críticos de control (PCC) de las líneas de ensamblaje.

4.1.1. Estudio de las no conformidades

Una no conformidad es un incumplimiento a cualquiera de los requisitos que por norma han sido establecidos en el departamento de instrumentación, para que todos los equipos que sean testeados en las máquinas de prueba cumplan con los mismos estándares de calidad. Garantizar el buen funcionamiento de los mismos. Los requisitos de calidad controlados por el departamento están basados en parámetros contenidos en normas internacionales de refrigeración y en investigaciones internas de la organización que garantizan, los mejores resultados de funcionamiento y calidad. Cada una de las unidades de refrigeración que son ensambladas en la organización deben cumplir con todos y cada uno de los parámetros de prueba que le sean asignados según los requisitos de funcionamiento y diseño. Si algún equipo no cumple con estos requisitos se lleva al área de reparaciones para su evaluación y posterior reproceso.

El estudio y análisis de la recurrencia de estas no conformidades permite identificar cuáles son las áreas que poseen una mayor vulnerabilidad a incurrir en reprocesos, es decir, aquellas etapas del proceso en las que se necesiten

implantar medidas de control especiales para reducir a niveles aceptables el riesgo de reproceso y mantener un peligro significativo bajo control.

4.1.1.1. Segmentación

Para realizar un estudio más asertivo y completo de las no conformidades, se propone una segmentación de las mismas en cinco grandes grupos:

- No conformidades por fugas
- No conformidades por problemas en el sistema de refrigeración
- No conformidades por problemas en el sistema eléctrico
- No conformidades por errores operativos
- No conformidades por factores externos al proceso.

4.1.2. Estudio del proceso de producción

En conjunto con el análisis de las no conformidades registradas por el departamento de instrumentación se ha realizado un estudio en sitio de las causas más recurrentes de no conformidad eléctrica. Se obtienen los orígenes de las fallas y las procedencias de las mismas.

Figura 11. No conformidades en la prueba de potencia absorbida

Prueba fallida	Causas comunes	Origen de la falla	Procedencia
Prueba de Potencia Absorbida	1. Líneas cruzadas.	1. Operarios que cruzan las líneas en el termostato o en las conexiones de compresor.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Arneses mal colocados en las unidades o en los complementos del termostato.	1. Operarios no ensamblan bien los arneses del termostato (Ensamble 3), o del compresor (Unidades).	1. Ensamble 3 o Área de Unidades.
	1. Material defectuoso (reguladores, termostatos).	1. Proveedor entrega material defectuoso, o este es dañado en el proceso.	1. Proveedor
	1. Corto circuito por cables cortados.	1. Mal procedimiento durante el proceso de ensamble.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Problemas de conexiones en los termostatos.	1. Operarios de "Ensamble 3" no colocan correctamente las conexiones del termostato; o existencia de arneses dañados provenientes en el área de "Arneses".	1. Ensamble 3.
	1. El equipo no arranca a tiempo.	1. Operador no acciona el botón del termostato que elimina el retardo o existencia de una mala programación de los equipos.	1. Operario de pruebas eléctricas.
	1. El equipo presenta un taponamiento.	1. Existe tapón en soldadura debido a una mala práctica en el área de prefosas; ausencia de calibración del capilar; o debido a la presencia de aceite en el compresor.	1. Área de Unidades, Área de Fosas o Proveedor

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. No conformidades en la prueba de voltaje residual

Prueba fallida	Origen de la falla	Causas comunes	Procedencia
Prueba de Voltaje Residual	1. Error operativo	1. Operario desconecta el cordón eléctrico del equipo antes de que finalice la prueba.	o Operario de Pruebas Eléctricas.
	1. Capacitor de componentes eléctricos o electrónicos.	1. Capacitores defectuosos instalados en los circuitos eléctricos del equipo de refrigeración.	1. Proveedor.

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. No conformidades en la prueba de continuidad de tierra

Prueba fallida	Causas comunes	Origen de la falla	Procedencia
Prueba de Continuidad de Tierra	1. Líneas cruzadas en el cordón eléctrico.	1. Operadores de Ensamble 3 no ensamblan correctamente el cordón eléctrico.	1. Ensamble 3.
	1. Pinza de tierra no colocada.	1. Operario del área de pruebas no coloca la pinza de tierra de la máquina ELEKTRON en su lugar.	1. Operario encargado de pruebas eléctricas.
	1. Terminal del cordón de tierra desconectada.	1. De las tres terminales que se conectan al compresor (línea viva, línea neutra, línea de tierra); la terminal de tierra se encuentra desconectada o cruzada.	1. Arneses o Ensamble 3.
	1. Cable de tierra sin aterrizar	1. Operarios de Ensamble 3 no aterrizan el cable de tierra al chasis del equipo, por lo que se pierde continuidad en las conexiones eléctricas del mismo.	1. Ensamble 3

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. No conformidades en la prueba de corto circuito

Prueba fallida	Causas comunes	Origen de la falla	Procedencia
Prueba de Corto Circuito	1. Cortos circuitos entre la fase viva y la fase neutra.	1. Operarios de Ensamble 1,2 o 3; confunden los cables de conexión al termostato.	1. Operarios de Ensamble 1,2 o 3;
	1. Cortos circuitos entre cualquier circuito eléctrico.	o Operarios de Ensamble 1, 2 o 3; dejan cables sueltos, uniones mal aseguradas u otra imperfección en el circuito eléctrico del equipo de refrigeración.	o Ensamble 1, 2 o 3.

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. No conformidades en la prueba de aislamiento

Prueba fallida	Causas comunes	Origen de la falla	Procedencia
Prueba de Aislamiento	1. Cables prensados.	1. Operarios de Ensamble 1, 2 y 3 ubican de manera incorrecta los arneses; y debido a ello, estos son prensados por otros componentes del sistema de refrigeración.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Material defectuoso.	1. Proveedor entrega material defectuoso, o este es dañado en el proceso.	1. Proveedor.
	1. Terminales en tyco que hacen contacto directo con el chasis del equipo.	1. Operarios de Ensamble 1, 2 o 3 dejan terminales sueltas dentro del circuito eléctrico.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Nivelación del gas refrigerante.	1. Sucede en equipos con una longitud de tubería mayor a la que se acostumbra tener en promedio. Cuando estos equipos pasan por las pruebas eléctricas; estos son rechazados en la prueba de aislamiento con valores de entre 1 y 2 Mohm. Solución: Arrancar el compresor por un minuto para que circule de mejor manera el gas refrigerante y luego realizar las pruebas eléctricas nuevamente.	1. N/A

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. No conformidades en la prueba de fuga de corriente

Prueba fallida	Origen de la falla	Causas Comunes	Procedencia
Prueba de Fuga de Corriente	1. Fuentes de poder.	1. La prueba de fuga de corriente se programa a 0.75 mA en 5 segundos pero debido a que algunas fuentes de poder consumen por su cuenta un poco más de 0.75 mA; este valor debe de reprogramarse.	1. Programación.
	1. Problemas de iluminación	1. Operarios realizan conexiones erróneas en ensamble 1, 2 o 3; y se producen falsos contactos en las luces LED.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Fuentes de poder defectuosas.	1. Proveedor entrega material defectuoso, o este es dañado en el proceso.	1. Proveedor.
	1. Cortos circuitos especiales.	1. Corto circuito en las luces LED debido a una mala conexión eléctrica o debido a defectos en el material.	1. Ensamble 1, 2 o 3.

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. No conformidades en la prueba de rigidez dieléctrica

Prueba fallida	Causas comunes	Origen de la falla	Procedencia
Prueba de Rigidez Dieléctrica	1. Cables prensados.	1. Operarios de Ensamble 1, 2 y 3 ubican de manera incorrecta los arneses; y debido a ello, estos son prensados por otros componentes del sistema de refrigeración	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Corto circuito por cables perforados.	1. Mal procedimiento durante el proceso de ensamble.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Material defectuoso.	1. Proveedor entrega material defectuoso, o este es dañado en el proceso.	1. Proveedor o Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Terminales en tyco que hagan contacto directo con el chasis del equipo.	1. Operarios de Ensamble 1,2 o 3 dejan terminales sueltas dentro del circuito eléctrico.	1. Ensamble 1, 2 o 3.
	1. Falsos contactos con saltos de voltaje en cualquier tipo de arnés.	1. No están bien colocados los Hausings en las terminales de los arneses.	1. Arneses.
	1. Equipos sin refrigerar.	1. Operario del área de fosas no carga con refrigerante la unidad de refrigeración.	1. Fosas de refrigeración.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Priorización de las acciones planteadas

El planteamiento de las dos modalidades de investigación, tanto a través del estudio de las no conformidades registradas en el departamento de instrumentación como a través de la propia observación del proceso de producción. Debe ser ponderado por su relevancia de aporte con el fin de determinar cuál de los dos escenarios ofrece una solución más apropiada y oportuna para el problema analizado.

4.2.1. Matriz de priorización

Una matriz de priorización es una herramienta de gestión clave en la toma de decisiones debido a que permite seleccionar entre un conjunto de alternativas de solución. A continuación, se desarrolla una matriz de priorización para establecer cuál es la metodología adecuada para la determinación de los puntos críticos de control (PCC).

Tabla V. **Matriz de priorización para establecer la metodología adecuada para la determinación de los puntos críticos de control (PCC)**

Alternativa de actividades para el estudio de las no conformidades	1	2	3	4	6	7	Total
	Cuenta con el apoyo operativo necesario	Viabilidad financiera	Efecto a corto plazo	Costo / Beneficio	Efecto a largo plazo	Viabilidad técnica	
	Hasta 10	Hasta 10	Hasta 10	Hasta 10	Hasta 20	Hasta 10	Hasta 70
Por medio de los registros generados por el departamento de Instrumentación.	10	8	10	10	18	10	66
Por medio de la observación y análisis del proceso productivo.	7	8	8	9	15	8	55

Fuente: elaboración propia.

Con una mayor ponderación en los aspectos de viabilidad técnica, efecto a largo plazo, beneficio/costo y efecto a corto plazo. La alternativa de estudio de no conformidades como una herramienta para determinar los puntos críticos de control se postula como una mejor opción para el desarrollo del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MMC).

4.3. Plan de acción para la reducción de las no conformidades

La metodología a seguir para identificar los puntos críticos de control (PCC) de las líneas de ensamblaje y reducir la recurrencia de las no conformidades en los mismos.

4.3.1. Determinación de procedencia

Determinar la procedencia de las no conformidades es de vital importancia para el desarrollo de la investigación debido a que esto brinda la oportunidad de conocer en cuál de las etapas del proceso de producción se está incurriendo en deficiencias de control o malas prácticas de manufactura.

4.3.1.1. Eléctrica

Las no conformidades eléctricas se dan cuando la máquina de testeo eléctrico detecta alguna unidad con incumplimiento en los parámetros de programación que le fueron asignados. Se consideran los requisitos técnicos de diseño, los estudios internos de la organización y los estándares de calidad según norma de refrigeración internacional. Durante el año 2019 se obtuvieron los siguientes datos en el rubro de no conformidades eléctricas para la totalidad de las líneas de ensamblaje.

Tabla VI. **Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades eléctricas para el año 2019**

Procedencia	Porcentaje de participación
Línea y/o arneses	27,16 %
Línea	4,75 %
Proveedor	33,91 %
Ensamble 1	1,77 %
Ensamble 2	5,20 %
Ensamble 3	17,32 %
Puertas	1,83 %
Ots	0,80 %
Unidades	4,52 %
Departamento de diseño	2,69 %
Baffles	0,06 %

Fuente: elaboración propia.

El área que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades presentes en el rubro eléctrico; son los proveedores con un 33,91 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Seguidamente, se encuentra el área de arneses que aporta una participación del 27,16 % de la totalidad de los datos de no conformidad analizados durante el año 2019. Luego del estudio de cada uno de los casos registrados; las causas de no conformidad por factores eléctricos quedan asignados de la siguiente manera:

Tabla VII. **Porcentaje de participación de las no conformidades eléctricas, por prueba fallida, para el año 2019**

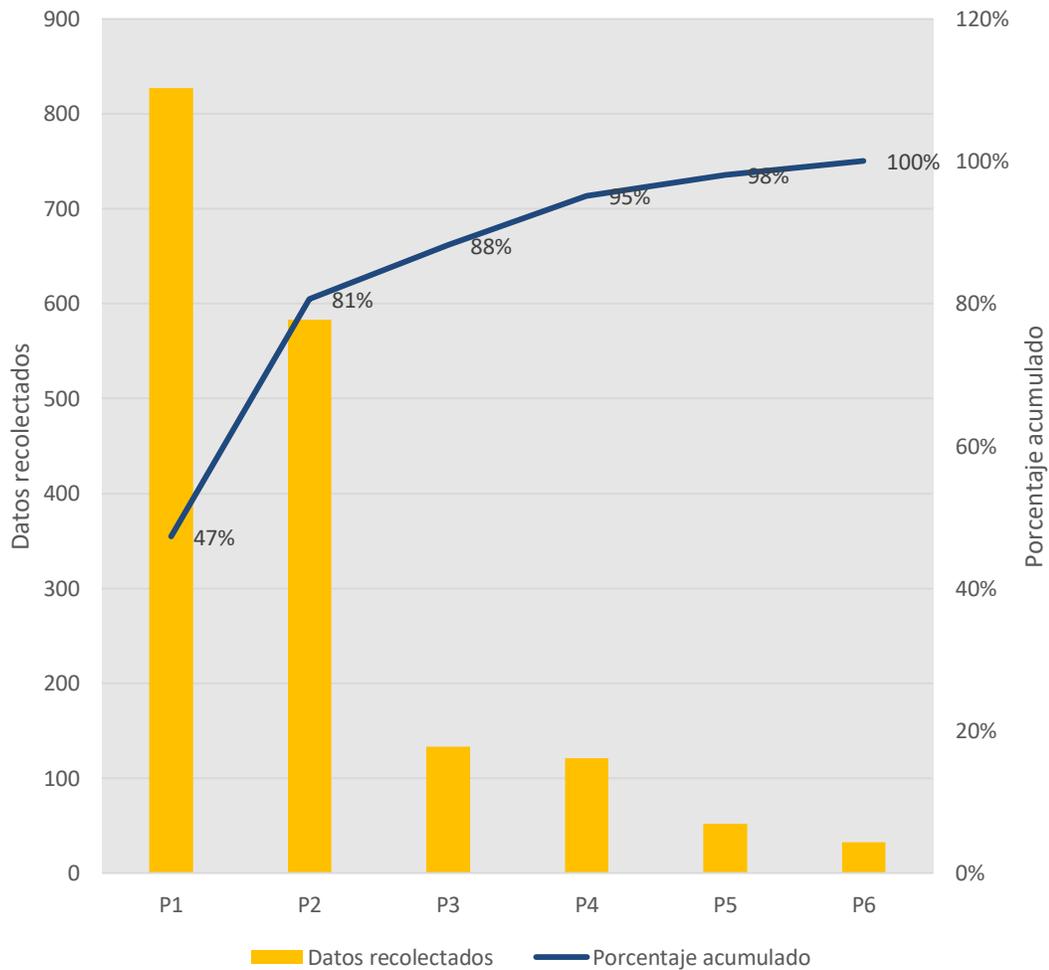
Prueba	Estado de prueba eléctrica	Porcentaje
P1	Prueba de rigidez dieléctrica fallida	33,33 %
P2	Prueba de potencia absorbida rechazada	47,28 %
P3	Prueba de aislamiento rechazada	7,60 %
P4	Prueba de continuidad de tierra fallida	6,92 %
P5	Prueba de corto circuito rechazada	2,97 %
P6	Prueba de fuga de corriente rechazada	1,89 %

Fuente: elaboración propia.

La prueba que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades presentes en el rubro eléctrico; es la prueba de potencia, con un 47,28 % de rechazo de la totalidad de las pruebas ejecutadas durante el año 2019. Seguidamente, se encuentra la prueba de rigidez dieléctrica que aporta una participación del 33,33 % de la totalidad de los rechazos registrados durante el año 2019.

Para determinar cuáles son los principales motivos de no conformidad, tanto en la prueba de rigidez dieléctrica como en la prueba de potencia absorbida, se procedió a elaborar un diagrama de Pareto que representará la preponderancia en el rechazo de estas dos pruebas. Se obtienen los resultados de la siguiente tabla:

Figura 18. **Gráfico de Pareto para el hallazgo de no conformidades por pruebas eléctricas**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Más del 80 % de las no conformidades asignadas al rubro eléctrico son debido a rechazos tanto en la prueba de potencia como en la prueba de rigidez dieléctrica. Es de vital importancia determinar la causa raíz de las no conformidades detectadas, a fin de abordar los temas desde una perspectiva más precisa y diseñar planes de acción que permitan reducir su recurrencia en el corto plazo.

Tabla VIII. **Porcentaje de ocurrencia de las causas de no conformidad eléctrica en la prueba de potencia para el año 2019**

Causa	Porcentaje de ocurrencia
Pin zafado en arnés de tina	18,14 %
Líneas cruzadas en complementos de termostato	12,94 %
Pin zafado de <i>tyco</i> de unidad	6,89 %
Pines hundidos en <i>housing</i> de cordón eléctrico	6,89 %
Falso contacto en terminal de termostato	6,89 %
Termostato con defecto	4,84 %
Pin de resistencia de la puerta abierto	4,72 %
Líneas cruzadas en arnés del módulo de potencia	4,59 %
Líneas cruzadas en caja de compresor	4,35 %
Falso contacto en arnés de tina	4,23 %
Vidrio modelo "Z" con defecto en resistencia	3,99 %
Pin zafado en <i>tyco</i> arnés termostato	3,87 %
Falso contacto en termostato	3,75 %
Líneas cruzadas en arnés de tina	2,54 %
Pin zafado del <i>tyco</i> del arnés hacia el termostato	3,63 %
Falso contacto en <i>switch</i> magnético	3,63 %
Otros	4,11 %

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la causa con mayor porcentaje de ocurrencia con respecto a las no conformidades presentes durante la prueba de potencia es la de los pines zafados en el arnés de las tinas con un 18,14 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de las líneas cruzadas en los complementos del termostato, el cual aporta una participación del 12,94 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019.

Tabla IX. **Porcentaje de ocurrencia de las causas de no conformidad eléctrica en la prueba de rigidez dieléctrica para el año 2019**

Causa	Porcentaje de ocurrencia
Resistencia de deshielo "Z" con defecto	18,87 %
Resistencia de deshielo "Z" con fuga de corriente	16,98 %
Resistencia de deshielo provoca <i>Hipot</i>	5,49 %
Laña topa lámina con base de lámpara	5,15 %
Cable interno perforado	5,15 %
Corto circuito en tiras de led por falta de aislante asignado	5,15 %
Regulador de voltaje defectuoso	4,97 %
Puerta con <i>Hipot</i>	4,80 %
Resistencia de deshielo "X" defectuosa	4,46 %
Resistencia "Y" defectuosa	4,46 %
Cable de <i>switch</i> magnético prensado en el soporte	4,46 %
Fuente de poder con fuga de corriente	4,46 %
Falso contacto en resistencia de deshielo	4,46 %
Líneas cruzadas en arnés de tina	4,29 %
Otros	6,86 %

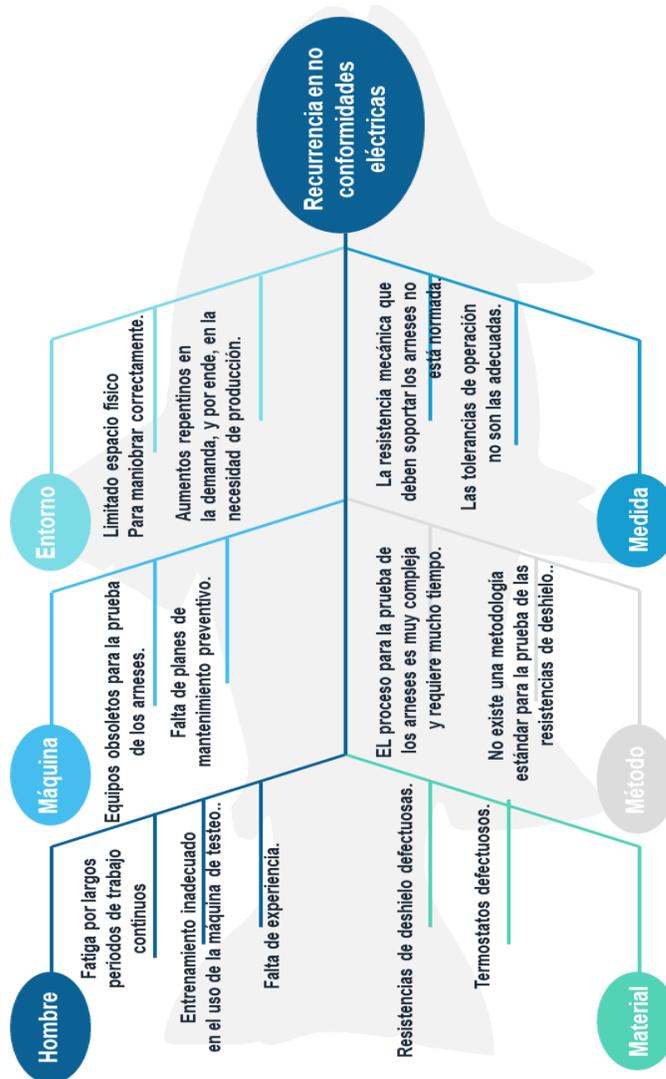
Fuente: elaboración propia.

Se observa que la causa con mayor porcentaje de ocurrencia con respecto a las no conformidades presentes durante la prueba de rigidez dieléctrica es la resistencia de deshielo "Z" con defecto de fábrica con un 18,87 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de fuga de corriente en la resistencia de deshielo "Z"; el cual aporta una participación del 16,98 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019.

4.3.1.1.1. Diagrama Ishikawa

Para determinar la causa raíz de la no conformidad durante las pruebas eléctricas, se procede a realizar el siguiente diagrama de causa y efecto.

Figura 19. Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por problemas eléctricos



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Power Point.

4.3.1.1.2. Causas raíz

Se toma como referencia los hallazgos concentrados en la figura 19. Es concluyente que los dos principales factores que influyen en la recurrencia de las no conformidades en el rubro eléctrico son las resistencias deshielo defectuosas y los pines zafados en el arnés de tina. También se evidencia la falta de capacitación de los operativos técnicos de la estación de ensamble 3 con respecto a la ejecución de la técnica correcta para realizar la conexión de los arneses.

4.3.1.2. Refrigeración

Las no conformidades de refrigeración se dan cuando la máquina cargadora de refrigerante detecta alguna unidad con incumplimiento en los parámetros de programación que le fueron asignados. Se consideran los requisitos técnicos de diseño, los estudios internos de la organización y los estándares de calidad según norma de refrigeración internacional UL471. Durante el año 2019 se obtuvieron los siguientes datos en el rubro de no conformidades por fugas para la totalidad de las líneas de ensamblaje.

Tabla X. **Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por fugas para el año 2019**

Procedencia	Porcentaje de participación
Prefosas	54,03 %
Cobre	11,49 %
Unidades	18,95 %
Ots	2,14 %
Proveedor	6,60 %
Ensamble 1	0,60 %
Ensamble 2	1,80 %
Ensamble 3	0,26 %
Línea	3,00 %
Mantenimiento	0,09 %
Evaporadores	1,03 %

Fuente: elaboración propia.

El área que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades presentes en el tema de fugas. El área de prefosas con un 54,03 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el área de unidades que aporta una participación del 18,95 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Luego del estudio de cada uno de los casos registrados; las causas de no conformidad por fugas quedan asignados en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por fugas para el año 2019**

Causa	Porcentaje de participación
Soldadura	68,10 %
Tubería rajada en expansión	9,35 %
Tubería rajada	4,03 %
Fuga por defecto de fábrica	3,17 %
Fuga originada por perforación en procesos	3,26 %
Tubería quebrada en <i>mullion</i>	0,26 %
Tubería de succión quebrada de fábrica	0,09 %
Boquillas de mezcladora con defecto	0,94 %
Tubo sin soldar	1,54 %
Fuga postcondensador	0,17 %
Operador reporta dificultad en soldadura	1,89 %
Operario nuevo soldando uniones	2,57 %
Calefactor no soldado	0,17 %
Fuga por debilitación del tubo	0,34 %
Fuga en evaporador	4,12 %

Fuente: elaboración propia

Se observa que la causa de participación más recurrente con respecto a las no conformidades presentes en el tema de fugas es la actividad de soldadura con un 69,10 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de tuberías rajadas en expansión, el cual aporta una participación del 9,35 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019. Se obtuvieron los siguientes datos en el rubro de no conformidades por carga de refrigerante para la totalidad de las líneas de ensamblaje.

Tabla XII. Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades en la carga de refrigerante para el año 2019

Procedencia	Porcentaje de participación
Prefosas	4,34 %
Línea	13,02 %
Proveedor	72,03 %
Ots	0,88 %
Unidades	2,25 %
Departamento de diseño	3,54 %
Evaporadores	1,29 %
Refrigeración	2,65 %

Fuente: elaboración propia

El área que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades presentes en el tema de carga de refrigerante; son los proveedores con un 72,03 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentran las malas prácticas de manufactura a lo largo de las líneas de ensamblaje que aportan una participación del 13,02 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Las causas de no conformidad en las cargadoras de refrigerante quedan asignadas en la siguiente tabla.

Tabla XIII. **Porcentaje de participación de las causas de no conformidad en las cargadoras de refrigerante para el año 2019**

Causa	Porcentaje de participación
Contaminación o humedad aparente	83,84 %
Modificación en sistema de refrigeración	2,97 %
Tubería contaminada	0,96 %
Compresor con tapón	1,37 %
Tapón en tubería	1,93 %
Tapón en evaporador	0,72 %
Tapón en capilar	1,13 %
Reproceso de unidades por problema de adhesión de acero	3,05 %
Pérdida de vacío en proceso	1,37 %
Tapón en postcondensador	0,72 %
Compresor reprocesado	1,21 %
Tapón en soldadura	0,72 %

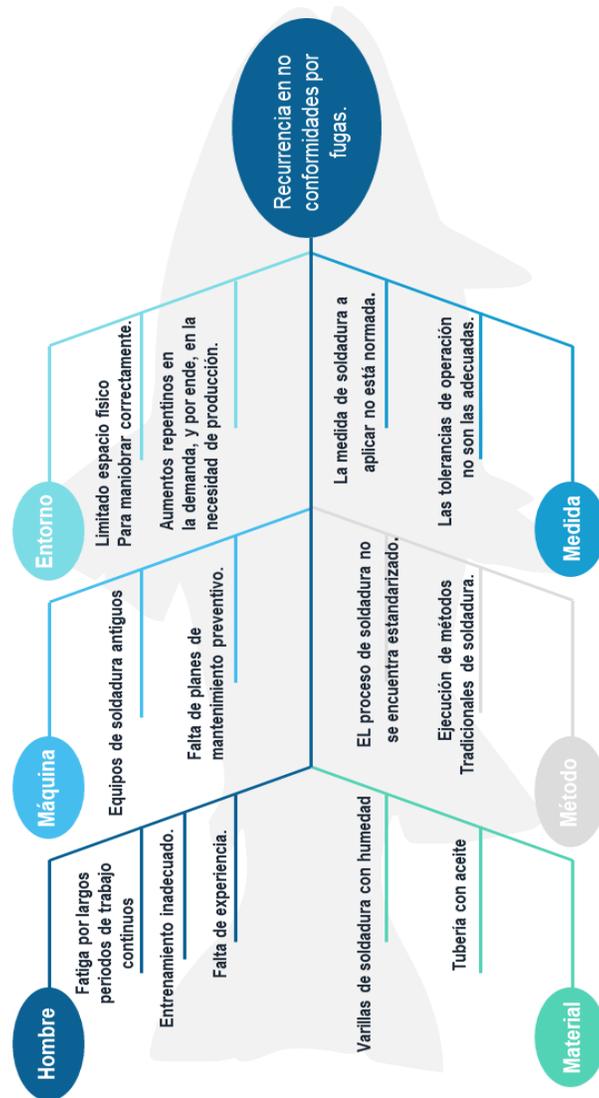
Fuente: elaboración propia.

Se observa que la causa de participación más recurrente con respecto a las no conformidades presentes en las cargadoras de refrigerante es la contaminación o humedad aparente dentro de los compresores, con un 83,84 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de reproceso de unidades por problema de adhesión de acero; el cual aporta una participación del 3,05 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019. Tan solo estos dos rubros, en conjunto, suman el 86,89% de las causas de no conformidad en las cargadoras de refrigerante, por lo que abordar dicha problemática es un factor crítico y determinante, para el diseño de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad.

4.3.1.2.1. Diagrama Ishikawa

Para determinar la causa raíz de la no conformidad por fugas se procede a realizar el siguiente diagrama de causa y efecto.

Figura 20. Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por fugas



Fuente: Elaboración propia, utilizando Microsoft Power Point.

4.3.1.2.2. Causas raíz

Se toma como referencia los hallazgos concentrados en la figura 20 es concluyente que uno de los principales factores que influyen en la recurrencia de las no conformidades en el rubro de fugas. Es el estado de los materiales con los que se trabaja el proceso de soldadura; también se evidencia la falta de capacitación de los operativos técnicos de soldadura en la correcta ejecución de la soldadura sobre cobre galvanizado.

4.3.1.3. Factores externos

Las no conformidades por factores externos al proceso se dan cuando alguna de las máquinas de testeo detecta algún incumplimiento en los parámetros de programación que le fueron asignados. Se consideran los requisitos técnicos de diseño, los estudios internos de la organización y los estándares de calidad según norma de refrigeración internacional. La diferencia entre las no conformidades ocasionadas por factores externos y las atribuidas a los otros factores, radica en la naturaleza de la no conformidad, la cual no se le atribuye a ningún proceso debido a que es ocasionada por otro tipo de factor ajeno a la operación normal de fabricación. Durante el año 2019 se obtuvieron los siguientes datos en el rubro de no conformidades por factores externos para la totalidad de las líneas de ensamblaje.

Tabla XIV. Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por factores externos para el año 2019

Procedencia	Porcentaje de participación
Línea	14,29 %
Proveedor	65,61 %
Ensamble 3	0,53 %
Departamento de diseño	1,59 %
Laboratorio de materiales	6,35 %
Instrumentación de calidad	11,64 %

Fuente: elaboración propia.

El área que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades por factores externos son los proveedores con un 65,61 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentran las malas prácticas de manufactura a lo largo de las líneas de ensamble que aportan una participación del 14,29 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. En un tercer lugar, el departamento de instrumentación de la calidad con un 11,64 % de participación. Luego del estudio de cada uno de los casos registrados; las causas de no conformidad por factores externos quedan asignadas en la siguiente tabla.

Tabla XV. **Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por factores externos para el año 2019**

Causas	Porcentaje de participación
Problemas de flujo de compresor	33,33 %
Programación de termostato	18,52 %
Retardo en espera de termostato	12,70 %
Programación de nuevo modelo	1,59 %
Defecto de placa evaporadora	2,65 %
Equipo testeado sin puerta	1,06 %
Regulador con retardo	1,06 %
Pérdida de vacío en el proceso	2,12 %
Fuente de poder conectada durante la prueba	0,53 %
Sin pre vacío previo en prueba de fugas	3,17 %
Error en parámetro de prueba	12,70 %
Otros	10,58 %

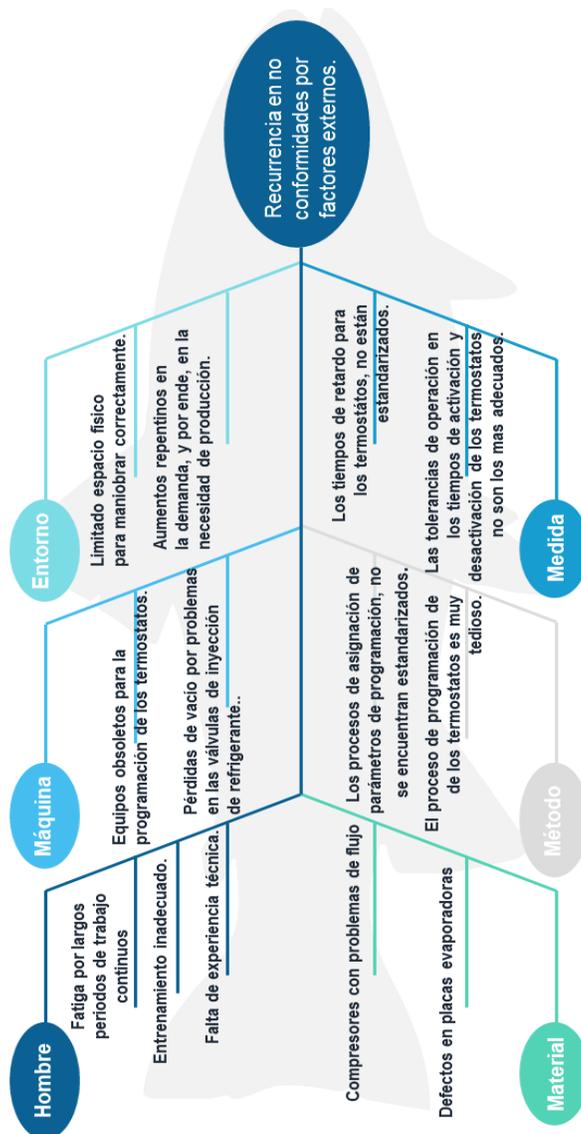
Fuente: elaboración propia.

Se observa que la causa de participación más recurrente con respecto a las no conformidades asignadas como un factor externo son los problemas de flujo de compresor con un 33,33 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de la programación incorrecta de los termostatos instalados en las unidades de refrigeración, el cual aporta una participación del 18,52 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019. Tan solo estos dos rubros suman el 51,85 % de las causas de no conformidad por factores externo, por lo que abordar dicha problemática es un factor crítico y determinante, para el diseño de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad.

4.3.1.3.1. Diagrama Ishikawa

Para determinar la causa raíz de la no conformidad por factores externos se procede a realizar el siguiente diagrama de causa y efecto.

Figura 21. Diagrama de Ishikawa para la no conformidad por factores externos



Fuente: Elaboración propia, utilizando Microsoft Power Point.

4.3.1.3.2. Causa raíz

Tomando como referencia los hallazgos concentrados en la figura 21 es concluyente que uno de los principales factores que influyen en la recurrencia de las no conformidades en el rubro de no conformidades por factores externos son los problemas de flujo en el compresor. También se hace evidente la deficiencia en la capacidad de programar, tanto los termostatos como los parámetros de prueba para las máquinas de testeo.

4.3.1.4. Problema de maquinaria

Las no conformidades por problemas de maquinaria se dan cuando por alguno u otro motivo, alguna de las máquinas de testeo queda inhabilitada de realizar de manera satisfactoria sus funciones de prueba.

4.3.1.4.1. Causa raíz

La principal causa de inhabilitación de los equipos de prueba es la falta de mantenimiento y de controles preventivos en el funcionamiento de los mismos. Estos equipos son provenientes del extranjero, algunas refacciones de reemplazo no pueden ser adquiridas en el país, por lo que una anomalía en el funcionamiento de estos equipos, puede extenderse por semanas o incluso meses.

4.3.1.5. Errores operativos

Las no conformidades por errores operativos se dan cuando en alguna etapa del proceso, los operadores de las líneas de ensamble realizan una acción

que va en contra de las buenas prácticas de manufactura establecidas para el proceso.

Tabla XVI. Porcentaje de participación por departamento, de las no conformidades por errores operativos para el año 2019

Procedencia	Porcentaje de participación
Refrigeración	9,38 %
Línea	12,47 %
Proveedor	2,29 %
Ensamble 1	1,14 %
Ensamble 2	8,92 %
Ensamble 3	51,49 %
Departamento de diseño	5,95 %
Unidades	5,72 %
Arneses	2,63 %

Fuente: elaboración propia.

El área que aporta el mayor porcentaje de participación con respecto a las no conformidades por errores operativos es el departamento de ensamble 3 con un 51,49 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentran las malas prácticas de manufactura a lo largo de las líneas de ensamblaje que aportan una participación del 12,47 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Luego del estudio de cada uno de los casos registrados; las causas de no conformidad por errores operativos quedan asignados de la siguiente manera.

Tabla XVII. **Porcentaje de participación de las causas de no conformidad por errores operativos para el año 2019**

Causa	Porcentaje de participación
Termostato desconectado	13,41 %
Error en el proceso	5,09 %
Carga de refrigerante errónea en equipo	4,07 %
Arnés de unidad desconectado	4,07 %
Tyco de unidad mal conectado	7,98 %
Tyco de unidad desconectado	4,24 %
Bornera de termostato mal conectada	18,17 %
Cable de tierra mal aterrizado	5,43 %
Cables mal conectados en caja de compresor	4,24 %
Equipo sin refrigerar	6,96 %
Instalación en housing incorrecto	4,75 %
Cable desconectado en terminal de tyco	4,24 %
Capacitor de arranque desconectado	4,07 %
Cables mal conectados en complemento de termostato	2,72 %
Terminal mal conectada en termostato	1,70 %
Otros	8,83 %

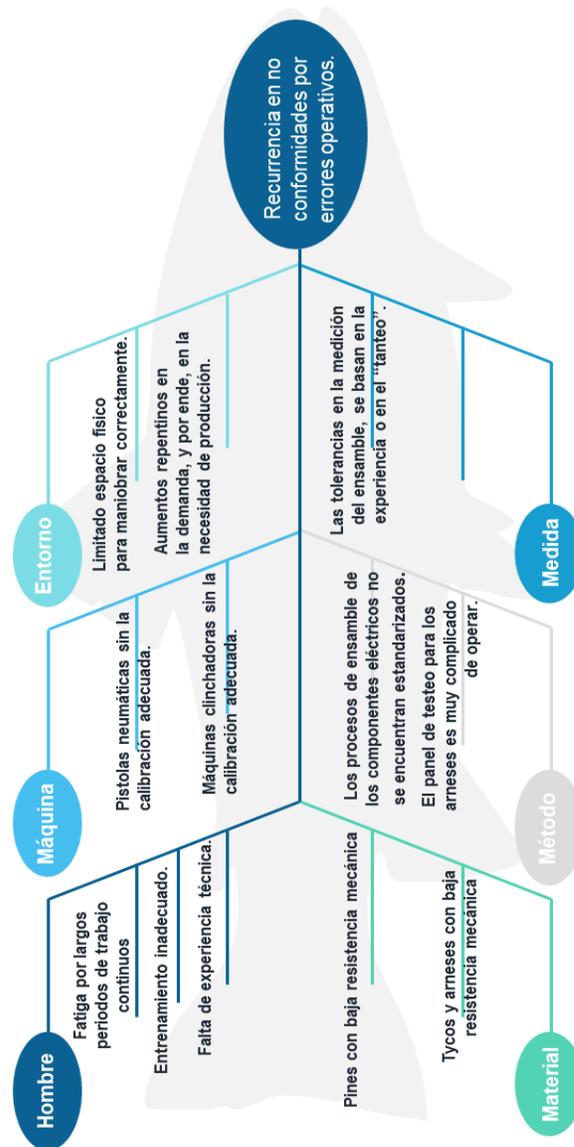
Fuente: elaboración propia.

Se observa que la causa de participación más recurrente con respecto a las no conformidades asignadas como un error operativo; son las borneras de termostato mal conectadas, con una participación del 18,17 % de la totalidad de los datos analizados durante el año 2019. Se encuentra el tema de termostatos sin conectar hacia las unidades, el cual aporta una participación del 13,41 % de la totalidad de los casos analizados durante el año 2019. Tan solo estos dos rubros suman el 31,58 % de las causas de no conformidad por errores operativos; por lo que abordar dicha problemática es un factor crítico y determinante, para el diseño de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad.

4.3.1.5.1. Diagrama Ishikawa

Para determinar la causa raíz de la no conformidad por errores operativos. Se procede a realizar el siguiente diagrama de causa y efecto.

Figura 22. Diagrama de Ishikawa para las no conformidades por errores operativos



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Power Point.

4.3.1.5.2. Causas raíz

Tomando como referencia los hallazgos concentrados en la figura 22 es concluyente que uno de los principales factores que influyen en la recurrencia de las no conformidades en el rubro de no conformidades por errores operativos, es el tema de la bornera de termostato mal conectada. También se hace evidente la deficiencia operativa en la estación de ensamble 3, debido a que la gran mayoría de las causas de no conformidad por errores operativos son las malas prácticas de manufactura de los operarios de esta estación.

4.3.2. Desarrollo de indicadores (KPI's)

Para el desarrollo de cualquier indicador clave de desempeño es imperativo responder a la pregunta ¿qué se puede medir? La solución a esta interrogante es clave, ya que no es posible controlar algo que no puede medirse. De la información obtenida a partir del estudio de la procedencia de las no conformidades se construye la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Desarrollo de indicadores claves de desempeño (KPI's)**

Punto Crítico de Control (PCC)	Porcentaje promedio de participación en las no conformidades	¿Qué puedo medir?	Nombre del KPI	¿Hay información histórica?	¿La información histórica puede ser medida?
Proveedores y Arnases	61,07 % del total de no conformidades en el rubro eléctrico	No conformidades por factores eléctricos.	Proporción de unidades rechazadas por factores eléctricos.	Si	Si

Continuación de la tabla XVIII.

Prefosas	54,03 % del total de no conformidades en el rubro de fugas	No conformidades por problemas de fugas.	Proporción de unidades rechazadas por problemas de fugas	Si	Si
Proveedor	72,03 % del total de no conformidades en el rubro de refrigeración	No conformidades por problemas de refrigeración.	Proporción de unidades rechazadas por problemas de refrigeración	Si	Si
	65,61 % del total de no conformidades en el rubro de factores externos	No conformidades por factores externos.	Proporción de unidades rechazadas por factores externos.	Si	Si
Ensamble 3	54,49 % del total de no conformidades en el rubro de fugas	No conformidades por errores operativos.	Proporción de unidades rechazadas por errores operativos.	Si	Si

Fuente: elaboración propia.

Los criterios de calificación para los KPI's se han obtenido a partir de la aplicación de los principios del control estadístico de procesos, específicamente, a través del desarrollo de gráficos de control "p" por atributos con tamaños de subgrupos diferentes. Los límites de control resultantes constituyen los parámetros de evaluación necesarios para realizar una medición cuantificable y comparativa del KPI. "La gráfica p se usa para datos consistentes en la proporción de cantidad de ocurrencias de un evento entre la cantidad total de ocurrencias. Se usa en control de calidad para presentar la fracción o porcentaje de no conformes en un producto, característica de calidad o grupo de características de calidad. Como tal, la fracción de no conformes es la proporción

de la cantidad de no conformes en una muestra o subgrupo, entre la cantidad total en la muestra o subgrupo”.³⁵

En este caso, se prefiere el estudio de atributos por sobre el estudio de variables debido a que “el método de medición por atributos es más utilizado cuando las especificaciones de calidad son muy complejas y la medición por medio de variables resulta difícil o costosa”.³⁶

Para elaborar el respectivo gráfico de control por atributos “p” para cada uno de los rubros de no conformidad es necesario determinar los límites de control tanto superiores como inferiores además del límite central. Dicho cálculo se realiza por medio de la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$LCS = Pprom + 3 \sqrt{\frac{Pprom (1-Pprom)}{n_i}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

$$\text{Línea central} = Pprom \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$LCI = Pprom - 3 \sqrt{\frac{Pprom (1-Pprom)}{n_i}} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde;

$$Pprom = \frac{\text{número total defectos}}{\text{número total de observaciones}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

n_i = número de muestra observado

³⁵ BESTERFIELD, Dale. *Control de Calidad*. p.317.

³⁶ KRAJEWSKI, Lee. *Administración de Operaciones, Estrategia y análisis*. p.250.

Del histórico de datos del año 2019 se obtuvieron las siguientes frecuencias de no conformidad por factores eléctricos:

Tabla XIX. **Frecuencia mensual de no conformidades eléctricas con respecto a la producción total del año 2019**

Meses	Frecuencia de la no conformidad	Producción total
Enero	126	8 881
Febrero	148	8 218
Marzo	202	9 250
Abril	134	8 250
Mayo	271	8 550
Junio	142	7 381
Julio	138	6 697
Agosto	91	7 862
Septiembre	116	8 231
Octubre	90	9 052
Noviembre	159	7 787
Diciembre	132	7 470

Fuente: elaboración propia.

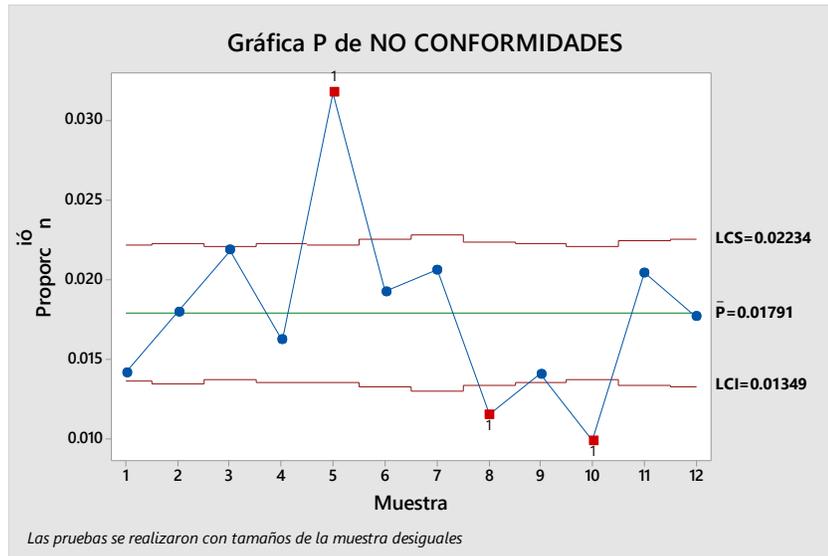
A partir de los valores contenidos en la tabla XIX y aplicando las fórmulas descritas anteriormente, se obtiene el contenido de la tabla XX. Al plotear estos puntos se obtiene como resultado el siguiente gráfico de control por atributos para las no conformidades eléctricas y sus respectivos límites de control.

Tabla XX. **Límites de control del grafico p para no conformidades eléctricas**

Meses	Muestra	Frecuencia de no conformidad	Proporción muestral	Límite de control inferior (LCI)	Límite de control central (P)	Límite de control superior (LCS)
Enero	8 881	126	0,01419	0,01369	0,01791	0,02214
Febrero	8 218	148	0,01801	0,01353	0,01791	0,02230
Marzo	9 250	202	0,02184	0,01378	0,01791	0,02205
Abril	8 250	134	0,01624	0,01353	0,01791	0,02230
Mayo	8 550	271	0,03170	0,01361	0,01791	0,02222
Junio	7 381	142	0,01924	0,01328	0,01791	0,02255
Julio	6 697	138	0,02061	0,01305	0,01791	0,02278
Agosto	7 862	91	0,01157	0,01343	0,01791	0,02240
Septiembre	8 231	116	0,01409	0,01353	0,01791	0,02230
Octubre	9 052	90	0,00994	0,01373	0,01791	0,02210
Noviembre	7 787	159	0,02042	0,01341	0,01791	0,02242
Diciembre	7 470	132	0,01767	0,01331	0,01791	0,02252
Promedio				0,01349	0,01791	0,02234

Fuente: elaboración propia, utilizando Xlstat de Microsoft Excel.

Figura 23. **Gráfico de control por atributos “P” para las no conformidades eléctricas mensuales del año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

Los puntos 5, 8 y 10 de la gráfica, correspondientes a los meses de mayo, agosto y octubre, se encuentran ubicados a más de 3,00 desviaciones estándar de la media; por lo que con un nivel de significancia de 5 % se concluye que en estos puntos. El proceso se encuentra fuera de control.

Tabla XXI. **Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades eléctricas**

Límite de control	Valor
Límite de control superior (LCS)	0,02234
Límite de control central (P)	0,01791
Límite de control inferior (LCI)	0,01349

Fuente: elaboración propia.

Del histórico de datos del año 2019 se obtuvieron las siguientes frecuencias de no conformidad por fugas.

Tabla XXII. **Frecuencia mensual de no conformidades por fugas con respecto a la producción total del año 2019**

Meses	Frecuencia de la no conformidad	Producción total
Enero	66	8 881
Febrero	100	8 218
Marzo	107	9 250
Abril	71	8 250
Mayo	326	8 550
Junio	88	7 381
Julio	47	6 697
Agosto	57	7 862
Septiembre	50	8 231
Octubre	102	9 052
Noviembre	80	7 787
Diciembre	72	7 470

Fuente: elaboración propia.

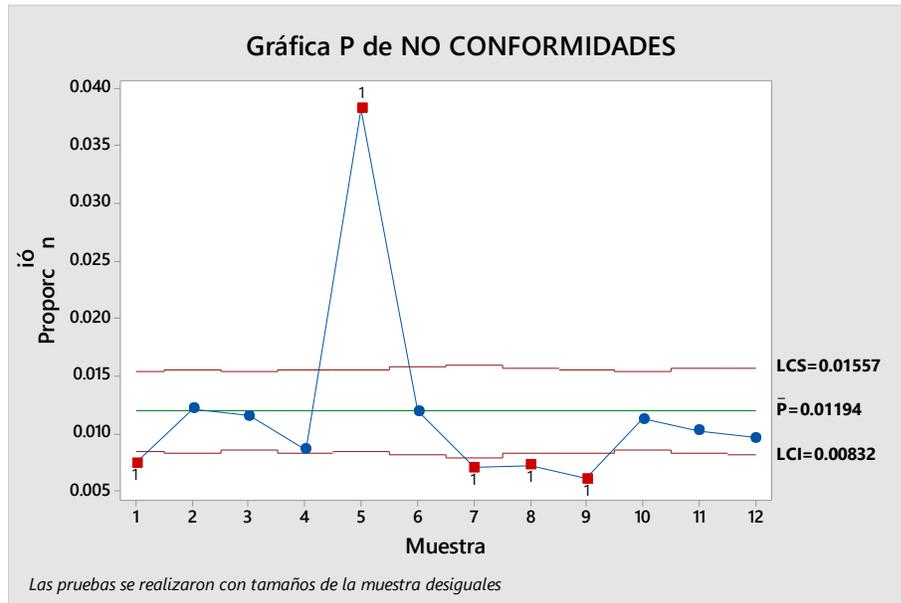
A partir de los valores contenidos en la tabla XXII y aplicando las fórmulas descritas anteriormente, se obtiene el contenido de la tabla XXIII. Al plotear estos puntos se obtiene como resultado el siguiente gráfico de control por atributos p para las no conformidades por fugas y sus respectivos límites de control.

Tabla XXIII. **Límites de control del grafico p para no conformidades en la prueba de fugas**

Meses	Muestra	Frecuencia de no conformidad	Proporción muestral	Límite de control inferior (LCI)	Límite de control central (P)	Límite de control superior (LCS)
Enero	8 881	66	0,00743	0,00849	0,01194	0,01540
Febrero	8 218	100	0,01217	0,00835	0,01194	0,01554
Marzo	9 250	107	0,01157	0,00855	0,01194	0,01533
Abril	8 250	71	0,00861	0,00836	0,01194	0,01553
Mayo	8 550	326	0,03813	0,00842	0,01194	0,01547
Junio	7 381	88	0,01192	0,00815	0,01194	0,01574
Julio	6 697	47	0,00702	0,00796	0,01194	0,01593
Agosto	7 862	57	0,00725	0,00827	0,01194	0,01562
Septiembre	8 231	50	0,00607	0,00835	0,01194	0,01554
Octubre	9 052	102	0,01127	0,00852	0,01194	0,01537
Noviembre	7 787	80	0,01027	0,00825	0,01194	0,01564
Diciembre	7 470	72	0,00964	0,00817	0,01194	0,01571
Promedio				0,00832	0,01194	0,01557

Fuente: elaboración propia, utilizando Xlstat de Microsoft Excel.

Figura 24. **Gráfico de control por atributos “P” para las no conformidades por fugas mensuales del año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

Los puntos 1, 5, 7, 8 y 9 de la gráfica, correspondientes a los meses de enero, mayo, junio, agosto y octubre, se encuentran ubicados a más de 3,00 desviaciones estándar de la media; por lo que con un nivel de significancia de 5 % se concluye que en estos puntos el proceso se encuentra fuera de control.

Tabla XXIV. **Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por fugas**

Límite de control	Valor
Límite de control superior (LCS)	0,01557
Límite de control central (P)	0,01194
Límite de control inferior (LCI)	0,00832

Fuente: elaboración propia.

Del histórico de datos del año 2019 se obtuvieron las siguientes frecuencias de no conformidad por problemas en la carga de refrigerante.

Tabla XXV. **Frecuencia mensual de no conformidades por carga de refrigerante con respecto a la producción total del año 2019**

Meses	Frecuencia de la no conformidad	Producción total
Enero	158	8 881
Febrero	99	8 218
Marzo	78	9 250
Abril	93	8 250
Mayo	118	8 550
Junio	132	7 381
Julio	73	6 697
Agosto	76	7 862
Septiembre	69	8 231
Octubre	69	9 052
Noviembre	136	7 787
Diciembre	143	7 470

Fuente: elaboración propia.

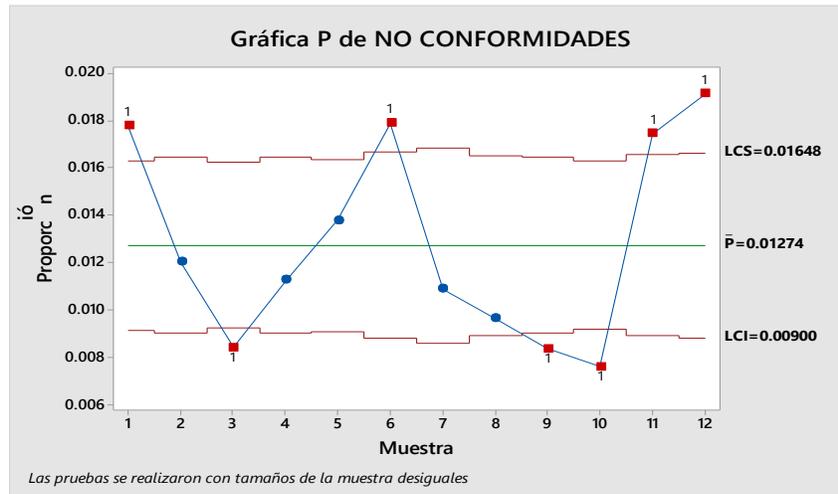
A partir de los valores contenidos en la tabla XXV y aplicando las fórmulas descritas anteriormente, se obtiene el contenido de la tabla XXVI. Al plotear estos puntos se obtiene como resultado el siguiente gráfico de control por atributos p para las no conformidades por carga de refrigerante y sus respectivos límites de control.

Tabla XXVI. **Límites de control del grafico p para no conformidades por carga de refrigerante**

Meses	Muestra	Frecuencia de no conformidad	Proporción muestral	Límite de control inferior (LCI)	Límite de control central (P)	Límite de control superior (LCS)
Enero	8 881	158	0,01779	0,00917	0,01274	0,01631
Febrero	8 218	99	0,01201	0,00903	0,01274	0,01645
Marzo	9 250	78	0,00843	0,00924	0,01274	0,01624
Abril	8 250	93	0,01127	0,00904	0,01274	0,01645
Mayo	8 550	118	0,01380	0,00910	0,01274	0,01638
Junio	7 381	132	0,01788	0,00883	0,01274	0,01666
Julio	6 697	73	0,01090	0,00863	0,01274	0,01685
Agosto	7 862	76	0,00967	0,00895	0,01274	0,01654
Septiembre	8 231	69	0,00838	0,00903	0,01274	0,01645
Octubre	9 052	69	0,00762	0,00921	0,01274	0,01628
Noviembre	7 787	136	0,01747	0,00893	0,01274	0,01656
Diciembre	7 470	143	0,01914	0,00885	0,01274	0,01664
Promedio				0,00900	0,01274	0,01648

Fuente: elaboración propia, utilizando Xlstat de Microsoft Excel.

Figura 25. **Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por carga de refrigerante mensuales del año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

Los puntos 1, 3, 6, 9, 10, 11 y 12 de la gráfica, correspondientes a los meses de enero, marzo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, se encuentran ubicados a más de 3,00 desviaciones estándar de la media; por lo que con un nivel de significancia de 5 % se concluye que, en estos puntos, el proceso se encuentra fuera de control.

Tabla XXVII. **Consolidado de límites de control del grafico P para no conformidades por carga de refrigerante**

Límite de control	Valor
Límite de control superior (LCS)	0,01648
Límite de control central (P)	0,01274
Límite de control inferior (LCI)	0,00900

Fuente: elaboración propia.

Del histórico de datos del año 2019 se obtuvieron las siguientes frecuencias de no conformidad por factores externos.

Tabla XXVIII. **Frecuencia mensual de no conformidades por factores externos con respecto a la producción total del año 2019**

Meses	Frecuencia de la no conformidad	Producción total
Enero	11	8 881
Febrero	16	8 218
Marzo	2	9 250
Abril	3	8 250
Mayo	37	8 550
Junio	77	7 381
Julio	1	6 697
Agosto	1	7 862
Septiembre	4	8 231
Octubre	4	9 052
Noviembre	25	7 787
Diciembre	8	7 470

Fuente: elaboración propia.

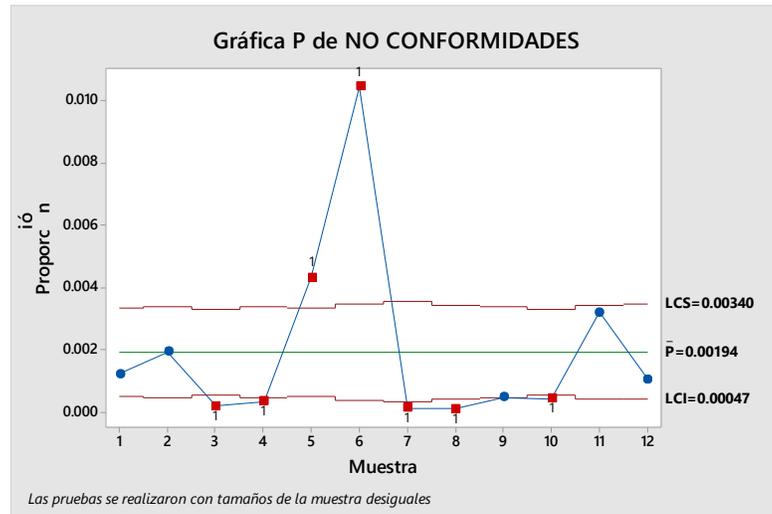
A partir de los valores contenidos en la tabla XXVIII y aplicando las fórmulas descritas anteriormente, se obtiene el contenido de la tabla XXIX. Al plotear estos puntos se obtiene como resultado el siguiente gráfico de control por atributos p para las no conformidades por factores externos y sus respectivos límites de control.

Tabla XXIX. **Límites de control del grafico p para no conformidades por factores externos**

Meses	Muestra	Frecuencia de no conformidad	Proporción muestral	Límite de control inferior (LCI)	Límite de control central (P)	Límite de control superior (LCS)
Enero	8 881	11	0,00124	0,00054	0,00194	0,00334
Febrero	8 218	16	0,00197	0,00048	0,00194	0,00339
Marzo	9 250	2	0,00022	0,00056	0,00194	0,00331
Abril	8 250	3	0,00036	0,00048	0,00194	0,00339
Mayo	8 550	37	0,00433	0,00051	0,00194	0,00336
Junio	7 381	77	0,01043	0,00040	0,00194	0,00347
Julio	6 697	1	0,00015	0,00032	0,00194	0,00355
Agosto	7 862	1	0,00013	0,00045	0,00194	0,00342
Septiembre	8 231	4	0,00049	0,00048	0,00194	0,00339
Octubre	9 052	4	0,00044	0,00055	0,00194	0,00332
Noviembre	7 787	25	0,00321	0,00044	0,00194	0,00343
Diciembre	7 470	8	0,00107	0,00041	0,00194	0,00346
Promedio				0,00047	0,00194	0,00340

Fuente: elaboración propia, utilizando Xlstat de Microsoft Excel.

Figura 26. **Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por factores externos, mensuales del año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

Los puntos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10 de la gráfica, correspondientes a los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y octubre, se encuentran ubicados a más de 3,00 desviaciones estándar de la media; por lo que con un nivel de significancia de 5 % se concluye que, en estos puntos, el proceso se encuentra fuera de control.

Tabla XXX. **Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por factores externos**

Límite de control	Valor
Límite de control superior (LCS)	0,00340
Límite de control central (P)	0,00194
Límite de control inferior (LCI)	0,00047

Fuente: elaboración propia.

Del histórico de datos del año 2019 se obtuvieron las siguientes frecuencias de no conformidad por errores operativos.

Tabla XXXI. **Frecuencia mensual de no conformidades por errores operativos con respecto a la producción total del año 2019**

Meses	Frecuencia de la no conformidad	Producción total
Enero	105	8 881
Febrero	70	8 218
Marzo	65	9 250
Abril	37	8 250
Mayo	179	8 550
Junio	70	7 381
Julio	44	6 697
Agosto	43	7 862
Septiembre	46	8 231
Octubre	43	9 052
Noviembre	51	7 787
Diciembre	121	7 470

Fuente: elaboración propia.

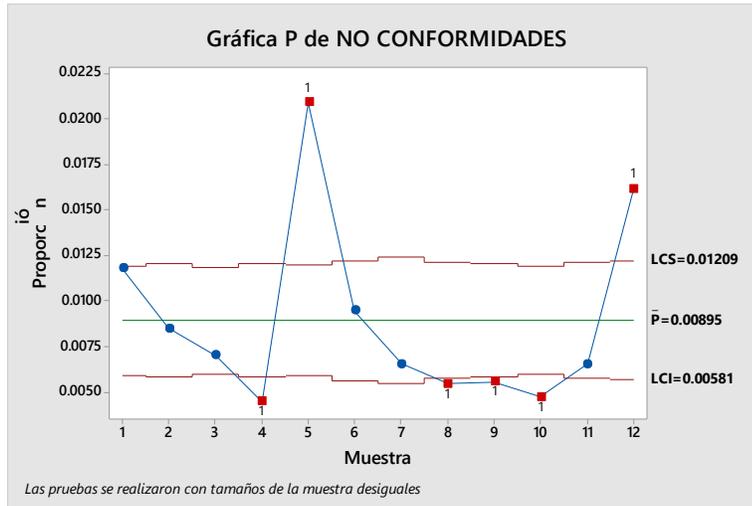
A partir de los valores contenidos en la tabla XXXI y aplicando las fórmulas descritas anteriormente, si obtiene el contenido de la tabla XXXII. Al plotear estos puntos se obtiene como resultado el siguiente gráfico de control por atributos p para las no conformidades por errores operativos y sus respectivos límites de control.

Tabla XXXII. **Límites de control del grafico p para no conformidades por errores operativos**

Meses	Muestra	Frecuencia de no conformidad	Proporción muestral	Límite de control inferior (LCI)	Límite de control central (P)	Límite de control superior (LCS)
Enero	8 881	105	0,01182	0,00595	0,00895	0,01195
Febrero	8 218	70	0,00851	0,00584	0,00895	0,01207
Marzo	9 250	65	0,00703	0,00601	0,00895	0,01189
Abril	8 250	37	0,00448	0,00584	0,00895	0,01206
Mayo	8 550	179	0,02094	0,00590	0,00895	0,01201
Junio	7 381	70	0,00948	0,00566	0,00895	0,01224
Julio	6 697	44	0,00657	0,00550	0,00895	0,01241
Agosto	7 862	43	0,00547	0,00577	0,00895	0,01214
Septiembre	8 231	46	0,00559	0,00584	0,00895	0,01207
Octubre	9 052	43	0,00475	0,00598	0,00895	0,01192
Noviembre	7 787	51	0,00655	0,00575	0,00895	0,01215
Diciembre	7 470	121	0,01620	0,00568	0,00895	0,01222
Promedio				0,00581	0,00895	0,01209

Fuente: elaboración propia, utilizando Xlstat de Microsoft Excel.

Figura 27. **Gráfico de control por atributos p para las no conformidades por errores operativos, mensuales del año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

Los puntos 4, 5, 8, 9, 10 y 12 de la gráfica, correspondientes a los meses de abril, mayo, agosto, septiembre, octubre y diciembre, se encuentran ubicados a más de 3,00 desviaciones estándar de la media; por lo que con un nivel de significancia de 5 % se concluye que, en estos puntos, el proceso se encuentra fuera de control.

Tabla XXXIII. **Consolidado de límites de control del grafico p para no conformidades por errores operativos**

Límite de control	Valor
Límite de control superior (LCS)	0,01209
Límite de control central (P)	0,00895
Límite de control inferior (LCI)	0,00581

Fuente: elaboración propia.

Se establecen los siguientes criterios de calificación para cada uno de los KPI de proporción de unidades rechazadas.

Tabla XXXIV. **Criterios de calificación para el KPI de proporción de unidades rechazadas**

Criterio	Evaluación
$KPI > LCS$	Serios problemas de calidad
$LCS > KPI > P$	Moderados problemas de calidad
$KPI = P$	Proceso estable
$P > KPI > LCI$	Leves problemas de calidad
$KPI < LCI$	Mejora continua

Fuente: elaboración propia.

Un KPI mayor al límite de control superior (LCS) en el siguiente periodo de evaluación, indica un aumento en la proporción de las unidades de refrigeración no conformes; debido a ello, se considera que el proceso tiene graves problemas de calidad con respecto al periodo anterior. Un KPI con un valor igual al límite de control central (P) del periodo anterior indica que el proceso se ha mantenido estable, sin una mejora significativa que se refleje de manera cuantificable. Un KPI menor al límite de control inferior (LCI) indica que el proceso se encuentra en un estado de mejora continua. La proporción de equipos no conformes ha disminuido con respecto a los valores históricos del periodo anterior.

4.3.2.1. Matriz de indicadores (KPI's)

Una matriz de indicadores es una herramienta de gestión que permite dar seguimiento y retroalimentación, a todos y cada uno de los indicadores clave de desempeño que se hayan desarrollado para determinado proyecto. Se desarrolla una matriz de indicadores para dar seguimiento a los puntos críticos de control (PCC); por medio de la reducción en la reincidencia de las no conformidades operativas.

Tabla XXXV. **Matriz de indicadores claves de desempeño para el departamento de Instrumentación**

Objetivo SMART	Indicador	Responsable de la medición	Periodicidad	Línea Base	Meta	Rangos y Criterios
Reducir la tasa de recurrencia de no conformidades debido a problemas de fugas.	Proporción de unidades rechazadas en la prueba de fugas.	Supervisor del departamento de Instrumentación.	Mensual	En referencia a los límites de control establecidos.	KPI<LCI	En referencia a los límites de control establecidos
Reducir la tasa de recurrencia de no conformidades debido a problemas eléctricos.	Proporción de unidades rechazadas en las pruebas eléctricas.	Supervisor del departamento de Instrumentación.	Mensual	En referencia a los límites de control establecidos.	KPI<LCI	En referencia a los límites de control establecidos
Reducir la tasa de recurrencia de no conformidades debido a problemas en la carga de refrigerante.	Proporción de unidades rechazadas en la carga de refrigerante.	Supervisor del departamento de Instrumentación.	Mensual	En referencia a los límites de control establecidos.	KPI<LCI	En referencia a los límites de control establecidos

Continuación de la tabla XXXV.

Reducir la tasa de recurrencia de no conformidades debido a factores externos.	Proporción de unidades rechazadas debido a factores externos.	Supervisor del departamento de Instrumentación.	Mensual	En referencia a los límites de control establecidos.	KPI<LCI	En referencia a los límites de control establecidos
Reducir la tasa de recurrencia de no conformidades debido a errores operativos.	Proporción de unidades rechazadas debido a errores operativos.	Supervisor del departamento de Instrumentación.	Mensual	En referencia a los límites de control establecidos.	KPI<LCI	En referencia a los límites de control establecidos

Fuente: elaboración propia.

4.3.2.2. Balance scorecard (BSC)

El Balance scorecard (BSC) permite a la dirección tener un control general de la implantación de actividades en la organización. Tanto en los buenos como en los malos tiempos; la dirección debe hacer todo lo posible para mantenerse enfocada en lo que ha definido que el negocio debe de ser. Para ello, debe de alinear a todos los colaboradores hacia los objetivos comunes. “El cuadro de mando integral es un nuevo marco o estructura creado para integrar indicadores derivados de la estrategia organizacional; debido a que viene a llenar el vacío que existe en la mayoría de sistemas de gestión tradicionales: la falta de un proceso sistemático para poner en práctica y obtener *feedback* sobre la estrategia. Los procesos de gestión alrededor del cuadro de mando integral permiten que la organización se equipare y se centre en la puesta en práctica de la estrategia a largo plazo. Utilizado de esta manera, el cuadro de mando integral

se convierte en los cimientos para gestionar las organizaciones de la era de la información”.³⁷

Esta herramienta permite estructurar los objetivos estratégicos de forma dinámica e integral a manera de poder evaluarlos en virtud de una serie de indicadores que miden el desempeño de todas las iniciativas necesarias para alcanzar su cumplimiento satisfactorio. Adicionalmente, mejora la comunicación interna de las organizaciones con el fin de que todos los miembros tengan conocimiento de su función y razón de existir dentro de la organización. De acuerdo al método estratégico del Balance scorecard, la definición de la estrategia de una organización debe analizarse teniendo en cuenta cuatro perspectivas: la perspectiva financiera, la perspectiva de los clientes, la perspectiva interna del departamento y la perspectiva de innovación, aprendizaje y desarrollo.

Tabla XXXVI. **Cuadro de mando integral para el departamento de instrumentación**

Perspectiva	Objetivo estratégico	KPI	Meta Mensual	Planes de acción	Responsable
Perspectiva financiera	Reducir la merma correspondiente a reprocesos.	Costo del reproceso.	25 % del periodo anterior.	Implantar y dar seguimiento a un sistema de detección de puntos críticos de control para reducir la reincidencia de no conformidades operativas.	Supervisor de Instrumentación

³⁷ DELGADO, José Víctor. *Planificando Estratégicamente*. p. 331.

Continuación de la tabla XXXVI.

Perspectiva de los clientes	Entregar al cliente un equipo de calidad garantizada	Porcentaje de no conformidades, debido a errores en los parámetros de prueba.	0 %	Aumentar la exactitud de los parámetros de programación, a través del uso de herramientas informáticas para el análisis de los datos.	Supervisor de Instrumentación Departamento de Diseño.
Perspectiva interna del departamento	Estandarizar el sistema de reporte de no conformidades.	Causas de no conformidad sin asignación.	0 %	Desarrollar una matriz que contenga todos los posibles casos de no conformidad en los procesos; y su respectiva causa.	Departamento de Instrumentación. Departamento de Producción.
	Consolidar la información referente a normas y estudios internos.	Porcentaje de información documentada	100 %	Almacenar y resguardar como copias controladas de información todos los documentos necesarios para el correcto desempeño de las actividades del departamento.	Departamento de Instrumentación.
Perspectiva de innovación, aprendizaje y crecimiento.	Mejorar el ambiente laboral y las estaciones de trabajo de los operarios.	Porcentaje de no conformidades generadas por deficiencias en los principios de ergonomía.	0 %	Ampliar las estaciones de trabajo tomando en cuenta los principios de economía de movimientos.	Departamento de Producción. Departamento de Instrumentación.
	Mejora en los sistemas de información	Precisión en la captura de los datos en tiempo real.	100 %	Desarrollar una plataforma virtual que permita visualizar y monitorear en tiempo real el estatus de los equipos de testeo.	Departamento de Informática. Departamento de Instrumentación.

Continuación de la tabla XXXVI.

Perspectiva de innovación, aprendizaje y crecimiento.	Implantación de nuevas tecnologías de bigdata.	Punteo de evaluaciones técnicas mensuales.	100 %	Programas de capacitación técnica e informática.	Departamento de Recursos Humanos. Departamento de Producción. Departamento de Instrumentación.
	Desarrollo de competencias.	Punteo de evaluaciones operativas mensuales.	100 %	Calendarización de asesorías técnicas.	Departamento de Recursos Humanos. Departamento de Producción Departamento de Instrumentación.

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Estudio de la variabilidad

Solamente una proporción no es suficiente para poder describir a un conjunto de datos. El desarrollo de un estudio de variabilidad permite demostrar la existencia de cierta inconsistencia que se encuentra implícita durante los ciclos operativos de los equipos de testeo.

4.3.3.1. Gráficos de control

Los gráficos de control se realizan con el objetivo de observar la distribución muestral de los datos analizados y de esta forma, tomar decisiones oportunas sobre las posibles incongruencias en los mismos. Adicionalmente, por medio de la elaboración de los gráficos de control es posible determinar si el proceso de prueba analizado se encuentra en una condición estable o con variaciones. Los datos para elaborar los gráficos de control, provienen de los valores históricos de no conformidades registradas en el departamento de instrumentación.

4.3.3.1.1. Desempeño actual vs. Desempeño estándar

En la actualidad, los resultados obtenidos del proceso de testeo que se aplica a las unidades de refrigeración no se encuentran en un estado de control estadístico. Existe una gran variación en los datos que se generan diariamente. Para que un proceso se encuentre en un estado de control estadístico se deben de cumplir con las siguientes condiciones:

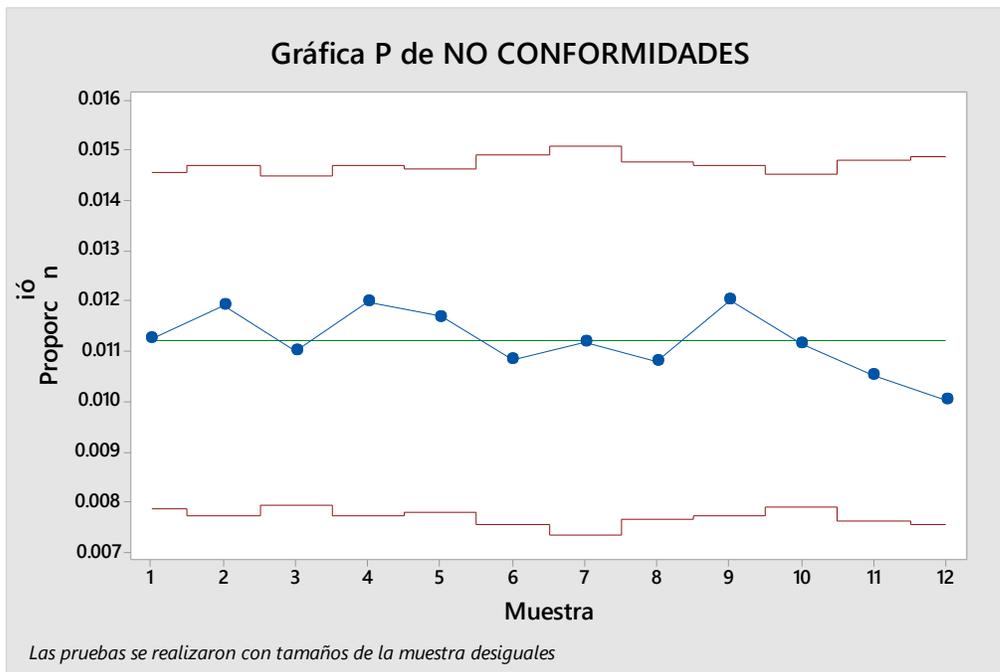
- El proceso debe ser predecible a través del tiempo.
- Las causas comunes de variación deben de poder distinguirse fácilmente de las causas especiales.
- La variación debe de mantenerse en constante reducción.

Al cumplirse con estas condiciones, la toma de decisiones será más acertada y oportuna. Será posible medir, detectar y corregir progresivamente la variabilidad. “Si la variabilidad del proceso proviene únicamente de causas comunes de variación; la suposición típica es que se trata de una distribución binomial simétrica, donde la mayoría de las observaciones se localizan cerca del centro”.³⁸ Por el contrario, si la variabilidad del proceso proviene también de causas especiales; existirá cierto sesgo en la distribución.

Para el próximo periodo de evaluación (año 2020), se espera un comportamiento muy similar al de la figura 28, con una tendencia en la que la proporción de no conformidades se mantenga entre la media y el límite de control inferior. Es decir, en la que se aprecie un continuo decrecimiento en la proporción de las no conformidades totales.

³⁸ KRAJEWSKI, Lee. *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*. p. 248.

Figura 28. **Tendencia del desempeño estándar o esperado; en las gráficas de control por atributos “p” para el periodo de evaluación 2020**



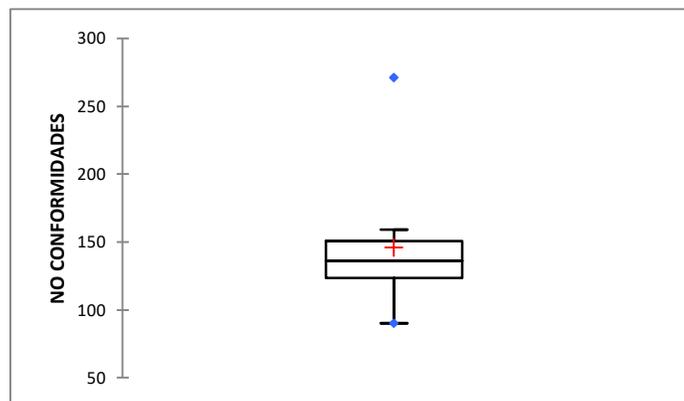
Fuente: elaboración propia, utilizando Minitab 18.

4.3.3.2. BoxPlots

Un boxplot, también conocido como diagrama de caja y bigotes, es un gráfico que por simple inspección permite percibir la forma en que se concentra una serie de datos entorno a su mediana, pudiendo identificar de esta manera, valores atípicos que se encuentren presentes en dicha serie. La esencia de un diagrama de caja es su capacidad para representar una serie de datos numéricos a través de sus cuartiles estadísticos.

Se incluye el análisis de los diagramas de caja y bigote en los estudios de variabilidad para localizar valores atípicos dentro de la distribución de datos, a través de sus análisis y estudio, es posible evidenciar de manera gráfica, el hallazgo de una desviación o inconsistencia operativa en el proceso de ensamblaje de unidades de refrigeración. A continuación, se estudian de manera independiente las recurrencias de no conformidad registradas durante el año 2019.

Figura 29. **Diagrama de caja y bigote para las no conformidades eléctricas registradas durante el año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Tabla XXXVII. **Estadísticos descriptivos para las no conformidades eléctricas, registradas durante el año 2019**

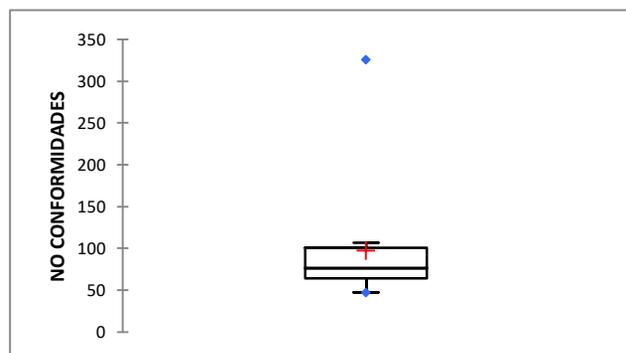
Estadístico	Valor
1° Cuartil	123,500
Mediana	136,000
3° Cuartil	150,750
Media	145,750

Fuente: elaboración propia, utilizando figura 29.

De la figura 29 y sus respectivos estadísticos descriptivos pueden realizarse las siguientes observaciones.

- La parte superior de la caja es del mismo tamaño que la parte inferior; por lo que se puede concluir que las no conformidades eléctricas, comprendidas en los meses de enero, abril y diciembre. Tienen la misma dispersión que las comprendidas en los meses de febrero, junio y julio.
- El bigote superior (X_{\max} , Q_3) es más corto que el bigote inferior (X_{\min} , Q_1), por ello, las no conformidades eléctricas ocurridas en los meses de marzo y noviembre se encuentran mucho más concentradas que las ocurridas en los meses de agosto, septiembre y octubre.
- El 50 % de los meses del histórico analizado, registran valores de entre 124 y 151 no conformidades eléctricas. El 25 % de los mismos se registran un valor mayor a las 151 no conformidades.
- Existencia de un valor atípico de 271 no conformidades eléctricas durante el mes de mayo.
- La asimetría del gráfico indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Figura 30. **Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por fugas registradas durante el año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Tabla XXXVIII. **Estadísticos descriptivos para las no conformidades por fugas registradas durante el año 2019**

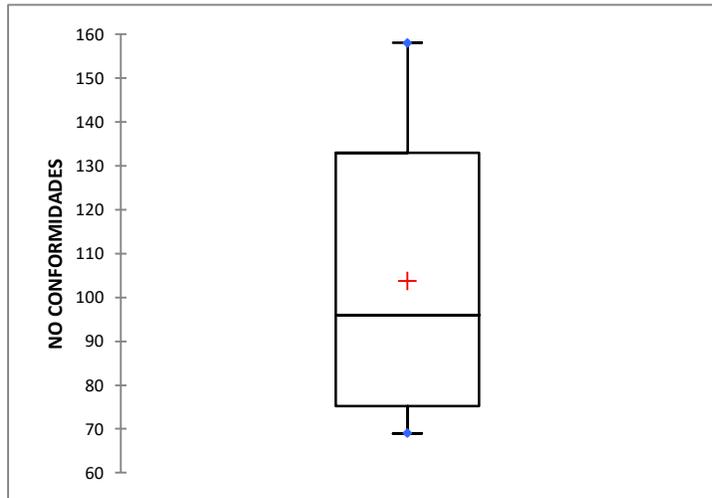
Estadístico	Valor
1° Cuartil	63,750
Mediana	76,000
3° Cuartil	100,500
Media	97,167

Fuente: elaboración propia, utilizando figura 30.

De la figura 30 y sus respectivos estadísticos descriptivos pueden realizarse las siguientes observaciones:

- La parte superior de la caja es más grande que la parte inferior, por lo que se puede concluir que las no conformidades por fugas, comprendidas en los meses de febrero, junio y noviembre tienen una mayor dispersión que las comprendidas en los meses de enero, abril y diciembre.
- El bigote superior (X_{\max} , Q_3) es más corto que el bigote inferior (X_{\min} , Q_1), por ello, las no conformidades por fugas, ocurridas en los meses de febrero, octubre y marzo se encuentran mucho más concentradas que las ocurridas en los meses de enero, julio, agosto y septiembre.
- El 50 % de los meses del histórico analizado, registran valores de entre 64 y 101 no conformidades por fugas. El 25 % de los mismos registran un valor mayor a las 101 no conformidades.
- Existencia de un valor atípico de 326 no conformidades durante el mes de mayo.
- La asimetría del gráfico indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Figura 31. **Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por refrigeración, registradas durante el año 2019**



Fuente: Elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Tabla XXXIX. **Estadísticos descriptivos para las no conformidades por refrigeración, registradas durante el año 2019**

Estadístico	Valor
1° Cuartil	75,250
Mediana	96,000
3° Cuartil	133,000
Media	103,667

Fuente: elaboración propia, utilizando figura 31.

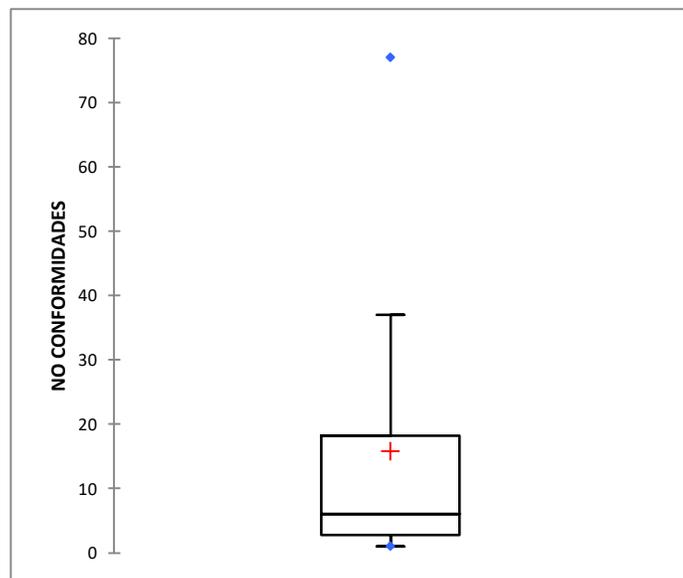
De la figura 31 y sus respectivos estadísticos descriptivos, pueden realizarse las siguientes observaciones:

- La parte superior de la caja es más grande que la parte inferior; por lo que se puede concluir que las no conformidades en refrigeración,

comprendidas en los meses de febrero, mayo y junio tienen una mayor dispersión que las comprendidas en los meses de marzo, abril y agosto.

- El bigote superior (X_{\max} , Q_3) es más largo que el bigote inferior (X_{\min} , Q_1), por ello, las no conformidades por refrigeración ocurridas en los meses de julio, septiembre y octubre, se encuentran mucho más concentradas que las ocurridas en los meses de enero, noviembre y diciembre.
- El 50 % de los meses del histórico analizado, registran valores de entre 75 y 133 no conformidades por refrigeración. El 25 % de los mismos registran un valor mayor a las 133 no conformidades.
- La asimetría del gráfico indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Figura 32. **Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por factores externos, registradas durante el año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Tabla XL. **Estadísticos descriptivos para las no conformidades por factores externos registradas durante el año 2019**

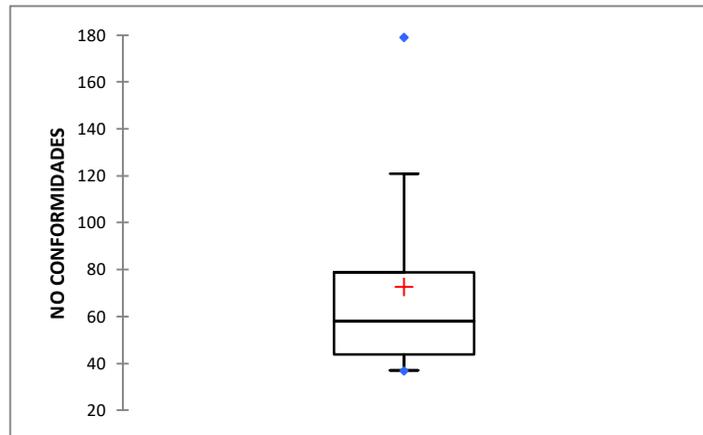
Estadístico	Valor
1° Cuartil	2,750
Mediana	6,000
3° Cuartil	18,250
Media	15,750

Fuente: elaboración propia, utilizando figura 32.

De la figura 32 y sus respectivos estadísticos descriptivos, pueden realizarse las siguientes observaciones:

- La parte superior de la caja es mucho más grande que la parte inferior; por lo que se puede concluir que las no conformidades por factores externos, comprendidas en los meses de enero, febrero y diciembre. Tienen una mayor dispersión que las comprendidas en los meses de enero, febrero y diciembre.
- El bigote superior (X_{\max} , Q_3) es mucho más largo que el bigote inferior (X_{\min} , Q_1), por ello, las no conformidades por factores externos, ocurridas en los meses de marzo, julio y agosto, se encuentran mucho más concentradas que las ocurridas en los meses de mayo y noviembre.
- El 50 % de los meses del histórico analizado, registran valores de entre 2 y 19 no conformidades por factores externos. El 25 % de los mismos registran un valor mayor a las 19 no conformidades.
- La asimetría del gráfico indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.
- Existencia de un valor atípico de 77 no conformidades por factores externos durante el mes de mayo.

Figura 33. **Diagrama de caja y bigote para las no conformidades por errores operativos registradas durante el año 2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Tabla XLI. **Estadísticos descriptivos para las no conformidades por errores operativos registradas durante el año 2019**

Estadístico	Valor
1° Cuartil	43,750
Mediana	58,000
3° Cuartil	78,750
Media	72,833

Fuente: elaboración propia, utilizando figura 33.

De la figura 33 y sus respectivos estadísticos descriptivos, pueden realizarse las siguientes observaciones:

- La parte superior de la caja es más grande que la parte inferior; por lo que se puede concluir que las no conformidades por errores operativos,

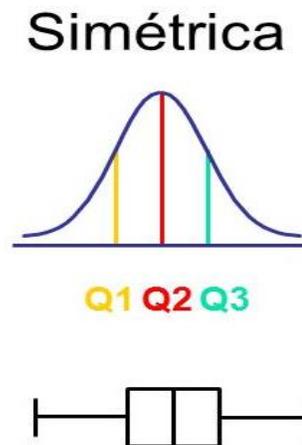
comprendidas en los meses de febrero, marzo y junio; tienen una mayor dispersión que las comprendidas en los meses de julio, septiembre y noviembre.

- El bigote superior (X_{\max} , Q_3) es mucho más largo que el bigote inferior (X_{\min} , Q_1), por ello, las no conformidades por errores operativos, ocurridas en los meses de abril, julio, agosto y octubre, se encuentran mucho más concentradas que las ocurridas en los meses de enero y diciembre.
- El 50 % de los meses del histórico analizado, registran valores de entre 43 y 79 no conformidades por factores externos. El 25 % de los mismos registran un valor superior a las 79 no conformidades.
- La asimetría del gráfico indica que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.
- Existencia de un valor atípico de 179 no conformidades por errores operativos durante el mes de mayo.

4.3.3.2.1. Desempeño actual vs. desempeño estándar

Para el periodo de evaluación 2020 se espera obtener una serie de datos que permitan generar un diagrama de caja y bigote como el que se detalla.

Figura 34. **Modelo del desempeño estándar o esperado en los gráficos de caja y bigote para el periodo de evaluación 2020**



Fuente: ARANDA, Juan. *Describiendo los datos utilizando medidas numéricas*.
www.slideplayer.es. Consulta: 20 de marzo de 2020.

La simetría del diagrama de caja y bigote indica que el conjunto de datos de no conformidad; se ajustan perfectamente a una distribución normal. Por lo tanto, puede garantizarse que los resultados de las pruebas de testeó se encuentran en un estado de control estadístico.

4.4. Implementación del plan de acción

Se procede a implementar el plan de acción y las estrategias que permitirán constituir y dar retroalimentación al modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC).

4.4.1. Definición de objetivos

Los objetivos establecidos para el siguiente periodo de evaluación (año 2020) son los siguientes:

- Dirigir e implementar posibles planes de acción que permitan reducir considerablemente la proporción de no conformidades en todos los rubros de evaluación. Se utiliza un análisis de las debilidades encontradas.
- Cumplir satisfactoriamente con los indicadores clave de desempeño establecidos para el año 2020.

4.4.2. Detalle de la estrategia

Mensualmente se realizará una revisión previa del recuento de no conformidades obtenidas para compararlas con el recuento obtenido en el periodo anterior y evaluar la implementación de posibles planes de acción que puedan aportar un resultado positivo para el siguiente mes. Dichos planes de acción deben ser discutidos con el personal del departamento de producción. Deliberar cuáles de ellos tienen una ponderación más significativa en cuanto a beneficios.

4.4.3. Planteamiento de tareas

Las tareas a realizar se encuentran detalladas en el inciso 4.3 del plan de investigación y son responsabilidad exclusiva del departamento de Instrumentación.

4.5. Efectividad de la solución

Para medir la efectividad de la metodología planteada se hace necesario cuantificar la reincidencia de las no conformidades encontradas en periodos posteriores para compararlas con las encontradas en el periodo actual. Es posible evidenciar de manera porcentual, si existe un incremento o un decremento en las no conformidades, luego de la implantación de los indicadores clave de desempeño.

4.5.1. Porcentaje de reducción de no conformidades

La evaluación a realizar para validar la efectividad de los planes de acción implementados durante el periodo en curso.

4.5.1.1. Eléctricas

En caso de existir un aumento en las no conformidades eléctricas se debe de realizar una retroalimentación completa de todas las posibles deficiencias en el sistema de control actual para replantear los objetivos y estrategias. Lograr obtener un dato más favorable para el siguiente periodo.

4.5.1.2. Refrigeración

En caso de existir un aumento en las no conformidades por refrigeración se debe de realizar una retroalimentación completa de todas las posibles deficiencias en el sistema de control actual; para replantear los objetivos y estrategias. Lograr obtener de esta manera, dato más favorable para el siguiente periodo.

4.5.1.3. Factores externos

En caso de existir un aumento en las no conformidades por factores externos se debe de realizar una retroalimentación completa de todas las posibles deficiencias en el sistema de control actual para replantear los objetivos y estrategias. Lograr obtener dato más favorable para el siguiente periodo.

4.5.1.4. Problemas de maquinaria

En caso de existir un aumento en las no conformidades por problemas de maquinaria se debe de realizar una retroalimentación completa de todas las posibles deficiencias en el sistema de control actual para replantear los objetivos y estrategias. Lograr obtener dato más favorable para el siguiente periodo.

4.5.1.5. Errores operativos

En caso de existir un aumento en las no conformidades por errores operativos se debe de realizar una retroalimentación completa de todas las posibles deficiencias en el sistema de control actual para replantear los objetivos y estrategias. Lograr obtener dato más favorable para el siguiente periodo.

4.6. Responsabilidades por departamento

Para que el ciclo de mejoramiento continuo de la calidad se ejecute correctamente. Es imperativo disponer de la participación y disponibilidad de todo el personal involucrado directamente con los procesos productivos de las líneas de ensamblaje. De esta manera, son responsabilidades y obligaciones de cada departamento.

4.6.1. Departamento de instrumentación

El departamento de instrumentación deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- Actualizar mensualmente los registros correspondientes a los resultados de las pruebas de testeado de las unidades de refrigeración.
- Realizar diariamente las rutinas de revisión de las pistolas neumáticas y de las cortadoras ultrasónicas de tubería.
- Monitorear el estado de funcionamiento de las bombas de vacío ubicadas en las fosas de refrigeración.
- Verificar diariamente el correcto funcionamiento de los equipos de testeado y calibrar los mismos, según la calendarización programada por el supervisor del área.
- Programar de manera certera los parámetros de prueba a los cuales serán sometidos las unidades de refrigeración; se toma en consideración las especificaciones técnicas de diseño y los análisis estadísticos realizados por el departamento.
- Dar seguimiento a todos y cada uno de los rechazos reportados por las líneas de ensamblaje. Determinar la procedencia y causa de los mismos.
- Mantener actualizados todos los registros operativos del departamento.

4.6.2. Departamento de producción

El departamento de producción deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- Realizar mensualmente, evaluaciones operativas al personal que labora en las líneas de ensamblaje, para evidenciar que cuentan con las competencias necesarias relativas a su puesto.
- Reportar al encargado del área de Instrumentación sobre cualquier anomalía que presenten los equipos de testeo.
- Garantizar que todos los operativos cuenten con los insumos y herramienta necesarios; para el correcto cumplimiento de sus labores.
- Capacitar al personal que supervisa las líneas de ensamblaje; sobre las características y funcionamiento de las máquinas de testeo.

4.6.3. Departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- Reportar inmediatamente y de forma certera el diagnóstico de todo equipo que sea reprocesado debido a rechazos en los parámetros de prueba de las máquinas de testeo.
- Notificar al encargado del departamento de producción sobre cualquier hallazgo que ponga en riesgo la calidad y el funcionamiento de las unidades que están siendo ensambladas.
- Comunicar al departamento de diseño sobre cualquier anomalía u observación.

- Dar seguimiento a los casos aislados de rechazo en los que no pueda encontrarse una solución inmediata, y que necesiten una intervención a largo plazo.

4.6.4. Departamento de diseño

El departamento de diseño deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- Comunicar eficazmente y a tiempo sobre cualquier modificación en las especificaciones técnicas de las unidades de refrigeración que están siendo programadas para su ensamble.
- Mantener actualizados los registros de las especificaciones técnicas de cada unidad de refrigeración.

4.6.5. Laboratorio de materiales

El laboratorio de materiales deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- Realizar una correcta programación termostatos que serán ensamblados en las unidades de refrigeración, tomando en consideración las especificaciones técnicas elaboradas por el departamento de diseño y los parámetros de prueba desarrollados por el departamento de Instrumentación.
- Informar al departamento de instrumentación sobre cualquier variación que presenten los análisis realizados a la espuma de inyección.

4.7. Retroalimentación del proceso

Para que exista una correcta retroalimentación en el proceso de mejora continua se debe de tener claridad y orden en las salidas aportadas por el modelo. Además de la certeza de que los resultados que se presentan no han sido manipulados ni alterados de ninguna manera. El proceso de retroalimentación permite evaluar las deficiencias o carencias del proceso de determinación de los puntos críticos de control del proceso.

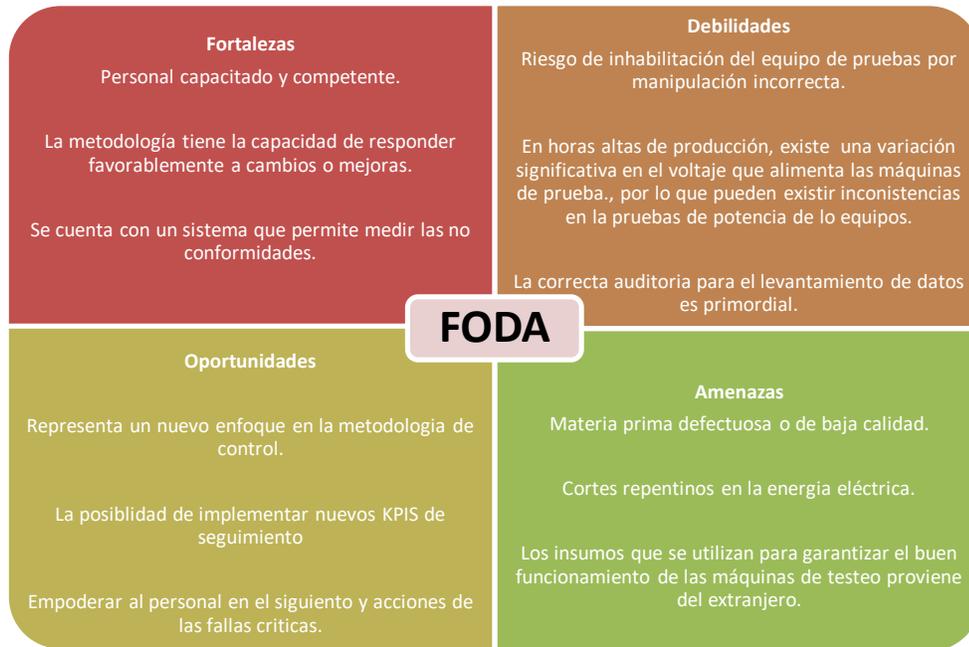
4.7.1. Actualización de bases de datos

La actualización de las bases de datos debe de realizarse de manera mensual y en casos muy aislados que aporten un valor agregado al proceso de retroalimentación del ciclo de mejora continua. La actualización de los datos debe de realizarse en el momento en que sean detectados. Durante el proceso de actualización de datos debe de descartarse la información que se considere obsoleta o de poco valor; esto con la finalidad de mantener una base de datos limpia y organizada.

4.7.2. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta de planificación estratégica diseñada para realizar un estudio tanto interno (fortalezas y debilidades), como externo (oportunidades y amenazas) del entorno que rodea la implementación de un proyecto. A través del uso de esta herramienta es posible disponer de una perspectiva más clara de la naturaleza cambiante del proyecto y de las debilidades que este presenta; para poder aportar ideas de valor, que sumen efectividad al mismo.

Figura 35. **Matriz FODA en base al modelo de mejoramiento continuo de la calidad planteado**



Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es una metodología dirigida a lograr el aseguramiento de la calidad mediante un análisis sistemático que contribuye a identificar y prevenir los modos de fallos tanto de un producto como de un proceso; evaluando su gravedad, ocurrencia y capacidad de detección. “El AMFE (análisis modal de fallos y efectos), es una herramienta de predicción y prevención que, a través del estudio de la disponibilidad y seguridad de los procesos, se orienta a proponer mejoras. Concretamente, consiste en un análisis cualitativo sistemático de los fallos potenciales de un sistema, de sus causas y consecuencias; y permite poner en evidencia los puntos críticos para definir acciones correctoras.”³⁹

³⁹ ROMEVA, Carles Riva. *Diseño Concurrente*. p. 192.

En la actualidad su aplicación se ha extendido a la mayoría de campos de la industria. En el campo de los servicios, presenta igualmente grandes posibilidades de aplicación. Este procedimiento de análisis tiene una serie de ventajas potenciales significativas, como, por ejemplo:

- Incrementa la calidad, fiabilidad y seguridad del sistema de gestión.
- Reduce los tiempos y costes del desarrollo de las actividades.
- Debidamente actualizado, sirve para recopilar y documentar experiencias (lecciones aprendidas), que pueden ayudar al diseño futuro de procesos similares.

Tabla XLII. **Matriz AMFE de las actividades operativas del departamento de Instrumentación**

Actividad	Riesgos (Tipos posibles de fallo)	Consecuencias del Fallo (riesgo)	S	Causas del Fallo (riesgo)	O	Controles actuales	D	NPR (Inicial)
<u>Verificación de Torque en áreas de ensambles y subensambles con torquímetro</u>	No se cuenta actualmente con un patrón para calibrar los torquímetros	NC's en auditorías y poca fiabilidad de las lecturas por parte del instrumento de medición	4	Falta de calibración del instrumento de medición	8	R DC 39 57 para verificaciones / Ningún control actual de calibración de instrumento de torque	4	128
<u>Verificación de Alturas de cortes de soldadura</u>	Mediciones fuera del rango de aceptación sugeridas por los manuales del fabricante	NC's en auditorías y poca fiabilidad de las lecturas por parte del instrumento de medición	2	Calibración y/o ajuste en mordazas de máquinas soldadoras (efectuadas por Mto.)	6	R DC 39 49	4	48
<u>Programación de Parámetros en softwares HAVAC 2.0 y GEDA</u>	Programación incorrecta o a destiempo en cada una de las máquinas GALILEO que completan la fase del proyecto o HAVAC 2.0	Equivocación del supervisor de instrumentación de calidad al ingresar los parámetros o programación pendiente a destiempo	2	Falta de seguimiento de secuencia en SCO / Ocupación en otras tareas	8	Web Control de Fosas / Software GEDA	4	64
<u>Programación de Parámetros en softwares HAVAC 2.0 y GEDA</u>	Detección de causas no identificadas del cambio de límites de parámetros en maquinaria GALILEO	Falta de trazabilidad de cambios de límites en maquinaria GALILEO	2	No se posee un registro histórico por cambios de modelos en GEDA	8	R DC 39 45	4	64

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Matriz AMFE de las actividades de supervisión del departamento de Instrumentación**

Actividad	Riesgos (Tipos posibles de fallo)	Consecuencias del Fallo (riesgo)	S	Causas del Fallo (riesgo)	O	Controles actuales	D	NPR (Inicial)
Supervisión del área de trabajo	Omisión de una serie que no sea registrada en los programas de control (HAVAC o GEDA)	Falta de trazabilidad de la serie de un equipo	4	Despiste o negligencia del operario	8	R DC 39 45 / R DC 39 53 / Sistema GEDA / Sistema HAVAC 2.0 / Rondas de inspección	4	128
	Detección de alguna serie omitida en estado "aprobado" en los reportes proveídos por los sistemas HAVAC 2.0 y GEDA	Falta de trazabilidad de la serie de un equipo	4	Despiste o negligencia del operario	8	R DC 39 45 / R DC 39 53 / Sistema GEDA / Sistema HAVAC 2.0 / Rondas de inspección	6	192
	<u>Detección de algún desperfecto mecánico u error operativo que genere rechazos en las máquinas configuradas con los sistemas HAVAC 2.0 y GEDA</u>	Atrasos en líneas de producción / Aumento de NC's operativas	4	Falta de mantenimiento / manipulación incorrecta de las máquinas	6	R DC 39 45 / Registros por parte de Mto / Seguimiento de eventos de defectos en maquinaria	6	144
	Detección de la omisión de algún proceso clave de refrigeración que pueda tener una consecuencia o un defecto en algún proceso posterior	Rechazos y aumento de NC's recopiladas en softwares en áreas de refrigeración	2	Despiste o negligencia del operario en alguno de los procesos de refrigeración	2	R DC 39 45 / No se poseen controles actuales en áreas previas a las áreas automatizadas	8	32
	Suspensión por enfermedad y/o accidente del personal de instrumentación de calidad	No cubrimiento total de la supervisión total del trabajo	6	Enfermedades o accidentes no contemplados	2	No existe actualmente	8	96
	Identificación de rubros "No identificados"	Rechazos y aumento de NC's recopiladas en softwares en áreas de refrigeración	2	Eventos internos y externos que infieren en el rechazo de pruebas / No se posee actualmente un sistema de aseguramiento total de calidad del área	8	R DC 39 45 / Estudios de identificación de NC's	6	96

Fuente: elaboración propia.

En la matriz AMFE para las actividades operativas la actividad con un mayor número de prioridad de riesgo (NPR). Es decir, aquella actividad en donde deben priorizarse los esfuerzos de mejora es la verificación del torque en las áreas de ensambles y subensambles. Esta actividad presenta la ponderación más alta debido a que no se ha establecido un método estándar para la calibración del torquímetro con el que se realizan las pruebas, por lo tanto, la ponderación de ocurrencia del fallo es crítica. En la matriz AMFE para las actividades de supervisión; los riesgos con un mayor índice de prioridad de riesgo (NPR); aquellos en donde deben priorizarse los esfuerzos de mejora deben ser los siguientes:

- Omisión de una serie que no sea registrada en los programas de control con un NPR de 128.
- Detección de alguna serie omitida en estado “aprobado” en los reportes proveídos por los sistemas con un NPR de 192.
- Detección de algún desperfecto mecánico u operativo que genere rechazos en las máquinas de testeo con un NPR de 144.

En los dos primeros riesgos, el índice de ocurrencia es alto (8) debido a que el despiste o negligencia por parte del operario del departamento de Instrumentación es muy recurrente. Se debe a la elevada carga de trabajo a la que se encuentra expuesto día con día y a la falta de algunos conocimientos técnicos relativos a su puesto. El tercer riesgo se vuelve preponderante debido a la falta de mantenimientos preventivos de las máquinas de testeo. La manipulación de las mismas no es la adecuada y los equipos tienen mecanismos electrónicos muy sensibles que los hacen vulnerables al fallo. Los programas de seguimiento correctivo para los eventos de avería de los equipos de prueba no están bien definidos por el departamento de mantenimiento.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

5.1. Control y seguimiento

Para que el modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) encuentre una retroalimentación adecuada con respecto a las actividades que son una potencial fuente de contribución. Se debe de mantener un estricto control y seguimiento de toda la metodología. Debido a ello es necesario desarrollar las siguientes acciones.

5.1.1. Calibración de maquinaria

En lo que respecta a la calibración de las máquinas encargadas de realizar los testeos de calidad de las unidades de refrigeración. Se proponen los siguientes datos.

Tabla XLIV. Frecuencia de calibración de cargadoras de refrigerante

Máquina	Descripción	Frecuencia	Observación
HABILIS H MODELO III	C.A.M. Sensores de vacío y presión	CSN	Aplicar únicamente cuando los valores de vacío estén fuera de rango según el manual.
HABILIS H MODELO III	C.A.M. Dosis de Carga de Refrigerante	CSN (diaria)	Se realizan pruebas de carga de refrigerante y se ejecuta la opción de calibración cuando los valores estén fuera de los rangos admisibles.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Rangos admisibles para la calibración de las cargadoras de refrigerante**

Parámetro	Valor	Dimensional
Set Point Prueba Evacuación	(13-27)	Pa
Set Point Prueba de Pérdida	(80-100)	Pa

Fuente: elaboración propia.

La calibración de las máquinas cargadoras de refrigerante se llevará a cabo si y solo si, los parámetros salen del valor establecido con una frecuencia muy alta. Se recomienda en todo momento verificar las recomendaciones de calibración en el manual del fabricante.

Tabla XLVI. **Frecuencia de calibración de las probadoras de fugas**

Máquina	Descripción	Frecuencia	Observación
ASTRA III	C.A.M. Sensor de Vacío	6 meses	Según manual
ASTRA III	C.A.M. Sensor de vacío a presión atmosférica	6 meses	Según manual
ASTRA III	C.A.M. Sensores de Presión P1/P2	6 meses	Según manual
ASTRA III	Calibración <i>Test Volumen</i>	CSN	Aplicar únicamente cuando los valores de flujo estén fuera de rango según el manual.
ASTRA III	Calibración <i>Test Flujo</i>	CSN	Aplicar únicamente cuando los valores de flujo estén fuera de rango según el manual.
ASTRA III	C.A.M. Calibración de Factor de Detección de Fuga	CSN	Aplicar únicamente cuando los valores de detección estén fuera de rango según el manual.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. Rangos admisibles para la calibración de las probadoras de fugas

Parámetro	Valor	Dimensional
<i>Set Point Prueba Flow Ratio</i>	0.9 Mín; 1.1 Máx	Adimensional
<i>Set Point Flow Measurement</i>	1 Mín; 200 Máx	(N [*] l)/m
<i>Set Point Prueba Pérdida de Presión</i>	(9-12)	kPa
<i>Set Point Fase Descarga</i>	(120-150)	kPa
<i>Set Point Fase Evacuación</i>	(0-700)	Pa
<i>Set Point Fase Recuperación</i>	120	kPa

Fuente: elaboración propia.

La calibración de las máquinas probadoras de fugas se llevará a cabo si los parámetros salen del valor establecido con una frecuencia muy alta. Se recomienda en todo momento verificar las recomendaciones de calibración en el manual del fabricante.

Tabla XLVIII. **Frecuencia de calibración de las probadoras eléctricas**

Máquina	Descripción	Frecuencia	Observación
PQE / ELEKTRON	C.A.M. Prueba de Continuidad	Mensual	Según recomendación VPC Ingeniería
PQE / ELEKTRON	C.A.M. Prueba de Aislamiento	Mensual	Según recomendación VPC Ingeniería
PQE / ELEKTRON	C.A.M. Prueba de Potencia	Mensual	Según recomendación VPC Ingeniería
PQE / ELEKTRON	C.A.M. Prueba de Corriente Dispersa	Mensual	Según recomendación VPC Ingeniería
PQE / ELEKTRON	C.A.M. Prueba de Rigidez Dieléctrica	Mensual	Según recomendación VPC Ingeniería

Fuente: elaboración propia.

La calibración de las máquinas probadoras encargadas de realizar las pruebas eléctricas se llevará a cabo si y solo si, los parámetros salen del valor establecido con una frecuencia muy alta. Se recomienda en todo momento verificar las recomendaciones de calibración en el manual del fabricante.

Tabla XLIX. Rangos admisibles para la calibración de las probadoras eléctricas

Parámetro	Valor sugerido por el manual	Valor sugerido por el depto. de Diseño	Dimensional	Observaciones
<i>Set Point</i> mínimo prueba continuidad tierra	0,01	-	MOhms	Prueba determina únicamente verificación de continuidad de tierra en equipo.
<i>Set Point</i> máximo prueba continuidad tierra	0,5	-	MOhms	Prueba determina únicamente verificación de continuidad de tierra en equipo.
<i>Set Point</i> prueba de aislamiento	1	2	MOhms	Referencia de norma mexicana NOM022ENER-2014 para aislamiento principal, equipos clase I.
<i>Set Point</i> prueba rigidez dieléctrica	-	7	mA	Referencia a norma UL 471.
<i>Set Point</i> prueba de corto circuito	1	Valor de resistencia de la bobina de arranque	Ohms	Valor de resistencia de la bobina de arranque del compresor sugerido.
<i>Set Point</i> prueba de fuga de corriente	5	0,75	mA	Referencia a norma UL 471.
<i>Set Point</i> mínimo consumo prueba de potencia absorbida	0	-	W	Según instrucciones de la vicepresidencia de operaciones, se colocarán rangos amplios de referencia y luego con la recolección de datos se elaborará estudios de tendencia central aplicando la norma NOM-022-ENER-2014. Se toma como valor mínimo de <i>Set Point</i> el valor de potencia del compresor.
<i>Set Point</i> máximo consumo prueba de potencia absorbida	5000	-	W	
<i>Set Point</i> de factor de potencia prueba de potencia absorbida	0	-	-	
<i>Set Point</i> máximo prueba de voltaje residual	48*	34*	V	Referencia de norma mexicana NOM022ENER-2014 sobre condiciones de seguridad del usuario

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Periodicidad de los análisis

La recolección, organización y análisis de los datos debe de realizarse de manera mensual; de esta manera será posible comparar el rendimiento actual del proceso con el estándar definido a partir del modelo generado para el año 2019.

Los criterios de calificación para los indicadores de desempeño (KPI's) establecidos; deben de actualizarse al inicio de cada año operativo; aplicando la metodología planteada en el trabajo de investigación. De esta manera, será posible comparar el rendimiento del siguiente año, con el rendimiento actual; y aplicar las correcciones necesarias para que, a través del replanteamiento de los objetivos organizacionales, el proceso se encuentre siempre en un permanente ciclo de mejora continua.

5.2. Divulgación de los hallazgos

Al final de cada semana operativa será necesario calendarizar una reunión con directivos, coordinadores de cada una de las áreas del departamento de producción, analistas del departamento de diseño y supervisores del departamento de mantenimiento para comunicar los por menores del rendimiento del departamento e informar sobre posibles inconsistencias que puedan estar generando desviaciones o variabilidad en los procesos. Esta reunión debe de ser moderada por el supervisor de Instrumentación, quien debe de saber transmitir de manera clara y coherente todo tipo de información que genere un valor agregado para la siguiente semana operativa.

5.3. Ventajas y beneficios

La mejora continua es un objetivo organizacional que toda empresa se esmera por alcanzar:

- Reducción de la merma operativa producto de los reprocesos.
- Incremento de la productividad de las líneas de ensamblaje.
- Detección de los puntos críticos de control (PCC) de todo el proceso operativo de las líneas de ensamblaje.
- Automatización del proceso de análisis de datos.

5.3.1. Reducción de no conformidades

Al reducir la reincidencia en las no conformidades, las líneas de ensamblaje trabajarán de manera más fluida, existirá un menor número de reprocesos, se alcanzará disminuir significativamente la merma. Se garantizará la calidad de las unidades de refrigeración ensambladas.

5.3.2. Determinación de puntos críticos de control (PCC)

Al determinar los puntos críticos de control del proceso de ensamblaje, se evidencia un conocimiento y dominio total de las operaciones de manufactura de la organización.

5.4. Programa de capacitación (puntos críticos de control (PCC))

Una organización con empleados bien capacitados tiene más posibilidades de alcanzar sus metas tanto a corto como a mediano plazo. Los trabajadores que

han recibido una formación sólida son más eficientes y productivos en las actividades que realizan.

5.4.1. Formulación de la estrategia

A través de la capacitación, se busca concientizar al colaborador sobre el buen ejercicio de sus actividades operativas.

5.4.2. Definición de objetivos

El programa de capacitación sobre puntos críticos de control (PCC) busca cumplir con los siguientes objetivos:

- Que es el personal operativo de los departamentos de Instrumentación y Producción desarrolle las competencias técnicas e intelectuales que les permitan poder identificar un punto crítico de control en su área de trabajo.
- Proporcionar las herramientas de evaluación necesarias para desarrollar un juicio crítico que permita a los participantes tomar decisiones que promuevan la mejora continua en su estación de trabajo.
- Crear conciencia en los participantes sobre la importancia de ejecutar de manera correcta y precisa todas y cada una de las actividades que se llevan a cabo en las líneas de ensamblaje.

5.4.3. Presupuesto

El presupuesto necesario para impartir de manera satisfactoria el programa de capacitación se desglosa de la siguiente manera:

Tabla L. **Presupuesto de programa de capacitación sobre puntos críticos de control (PCC)**

Descripción	Unidad	Costo Unitario	Unidades Necesarias	Costo Total
Plumones de colores	p/12	Q 24,90	2	Q 49,80
Lapiceros negros	p/12	Q 14,90	2	Q 29,80
Papel tamaño carta de 75g.	p/500	Q 30,90	1	Q 30,90
Trifoliales impresos	Unidad	Q 1,00	20	Q 20,00
Refrigerios	Unidad	Q 15,00	20	Q 300
Total				Q 430,50

Fuente: elaboración propia.

Se toma en cuenta que se realizarán dos capacitaciones cada 4 meses el presupuesto anual asciende a Q 2 583,00.

5.4.4. Contenido temático

El contenido didáctico a presentar durante el programa de capacitación consiste en:

- Suplemento impreso con información general sobre la metodología propuesta para determinar los puntos críticos de control (PCC) de las líneas de ensamblaje elaborado por el departamento de instrumentación.
- Presentación de diapositivas con el tema: ¿Cómo puedes detectar un punto crítico de control en tu estación de trabajo? elaborada por el departamento de instrumentación.
- Presentación de diapositivas con el tema: ¿Conoces la importancia del trabajo de tus compañeros? elaborada por el departamento de producción.

5.4.5. Medios y recursos didácticos

Para el desarrollo del programa de capacitación se solicitará por escrito al departamento de recursos humanos la autorización para utilizar el área destinada a capacitaciones y talleres que consta de un retroproyector, una pantalla de proyección y el equipo de cómputo respectivo. Los recursos didácticos serán elaborados por personal de la organización tomando en cuenta las responsabilidades detalladas en la sección anterior.

5.4.6. Duración y cronograma de actividades

El programa de capacitación tendrá una duración de 40 minutos constituidos de la siguiente manera. Un periodo inicial de 15 minutos en el que se abordará la importancia de contar con una eficiente metodología para detectar los puntos críticos de control del proceso de ensamblaje de unidades de refrigeración. Se

darán 10 minutos para tomar una refacción y los últimos 15 minutos del programa de capacitación se enfocarán en concientizar a los colaboradores sobre la importancia del trabajo que sus demás compañeros desempeñan en sus respectivas estaciones de trabajo; con el fin mejorar el clima organizacional y fomentar en los participantes un espíritu de colaboración y respeto mutuo.

Figura 36. **Cronograma de actividades – programa de capacitación puntos críticos de control (PCC)**

Tareas	Inicio	Fin	Duración	14:00 - 14:15			14:15 - 14:25			14:25 - 14:40		
Programa de Capacitación	14:00	14:40	40 min.									
Fase I ¿Cómo puedes detectar un punto de control en tu estación de trabajo?	14:00	14:15	15 min.									
Receso	14:15	14:25	10 min.									
Fase II ¿Conoces la importancia del trabajo de tus compañeros?	14:25	14:40	15 min.									

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.4.7. Participantes

Se han contemplado como posibles candidatos para participar en los talleres de capacitación a los siguientes colaboradores:

- Personal operativo de las estaciones de soldadura.
- Personal operativo de las estaciones de pruebas eléctricas.
- Personal operativo de las estaciones de pruebas de fugas y carga de refrigerante.
- Personal operativo de la estación de ensamble 3.
- Personal operativo del departamento de arneses.
- Supervisores y operativos del departamento de Instrumentación.
- Supervisores de las líneas de ensamblaje.

5.4.8. Sistema de evaluación

Para evaluar los conocimientos adquiridos por los participantes se realizarán cuestionarios relacionados con el contenido de las capacitaciones 15 días después de recibir la información. Los cuestionarios deben de contener preguntas relevantes y objetivas sobre los principales puntos que fueron abarcados durante la capacitación. Es responsabilidad del departamento de instrumentación el elaborar y calificar dichos cuestionarios. En caso de que algún participante obtenga un resultado no satisfactorio se deberá evaluar si debe ir nuevamente a capacitación o trabajar en conjunto con él, los temas en los que tenga algún tipo de debilidad.

5.5. Métodos de evaluación del sistema

La evaluación es aquel sistema mediante el cual se quiere obtener un juicio de valor sobre determinado tema. Para evaluar la aceptación y efectividad del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) planteado en el trabajo de investigación se debe tener evidencia de lo siguiente:

- La concordancia del modelo planteado con los objetivos organizacionales.
- El alcance de las metas planteadas para el proyecto.
- La existencia de una mejoría significativa en la calidad general de los procesos operativos.
- El impacto generado en la organización.
- La relevancia en el proceso de toma de decisiones

Para tener plena seguridad de que el modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) está funcionando acorde a los objetivos de mejora bajo los cuales fue desarrollado.

5.5.1. Satisfacción del cliente interno

En la medida en la que el cliente interno (colaborador de la organización) se vea beneficiado por la implementación del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) se observará:

- Una mejora significativa en su productividad diaria.
- Un aumento en su iniciativa de colaboración
- Una disminución en el número de quejas o inconformidades en cuanto a lo relacionado con sus actividades operativas.
- Una mayor energía y dinamismo en sus acciones.
- Un mayor compromiso con la empresa.
- Un menor riesgo a sufrir accidentes

Cuando el colaborador se siente apoyado, beneficiado, atendido su rendimiento general aumenta y el estado anímico de la empresa mejora considerablemente.

5.5.1.1. Encuestas

Para evaluar la satisfacción del cliente interno con respecto a la propuesta de una metodología de detección de los puntos críticos de control del proceso de ensamblaje, se ha propuesto el siguiente modelo de encuesta:

Figura 37. Encuesta de satisfacción del cliente interno

Metodología para la determinación de puntos críticos de control (PCC)				
Departamento: _____ Fecha: _____				
Puesto: _____				
Conteste de manera consciente cada una de las siguientes interrogantes, toda información proporcionada aquí es de carácter anónimo y sus objetivos son puramente evaluativos.				
1. ¿Considera que es importante contar con un sistema que permita detectar los puntos críticos de control de la línea de ensamblaje en la que usted trabaja?				
Si		No		Talvez
2. ¿Si pudiera expresar en una sola palabra, que es más importante para usted en su trabajo, que respuesta lo identificaría mejor?				
Producir		Calidad		Ninguna de las anteriores
3. ¿Siente usted alguna mejoría en relación a la productividad de su trabajo con respecto al mes anterior?				
Si		No		Talvez
4. ¿Con una calificación de 1 a 5, siendo 1 el puntaje más bajo y 5 el puntaje más alto, cómo calificaría el desempeño actual de su estación de trabajo?				
1	2	3	4	5

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word.

- Objetivo de la primera pregunta: Evaluar si el colaborador está consciente de la importancia de contar con una metodología que permita determinar los puntos críticos de control de su departamento.
- Objetivo de la segunda pregunta: conocer el tipo de enfoque que caracteriza mejor a cierta estación de trabajo.
- Objetivo de la tercera pregunta: evaluar la efectividad de los planes de acción ejecutados; en base a los resultados obtenidos por la aplicación de la metodología en las líneas de ensamblaje.
- Objetivo de la cuarta pregunta: conocer las estaciones de trabajo con mayor debilidad productiva para proponer estrategias que permitan aumentar la efectividad de su operación.

La recolección de los datos de cada encuesta es responsabilidad del departamento de instrumentación, el cual velará por que se realicen los análisis pertinentes y se aproveche toda la información.

A través de los resultados obtenidos será posible analizar cada una de las posturas del sector productivo. Se consigue información relevante para dar retroalimentación al modelo de mejoramiento continuo o realizar un replanteamiento de la metodología desarrollada.

5.5.2. Conteo de reincidencias en las no conformidades

Uno de los métodos para evaluar si existe una metodología adecuada para el seguimiento de los puntos críticos de control (PCC) consiste en realizar un conteo, de manera mensual, de la reincidencia de cada tipo de no conformidad y

relacionarla, mediante una proporción, con la reincidencia mensual de no conformidades del periodo pasado. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de reincidencia} = \frac{\text{frecuencia de no conformidades del periodo actual}}{\text{frecuencia de no conformidades del periodo anterior}} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Es posible realizar una comparativa entre periodos y determinar en cuál de ellos se tomaron las mejores decisiones para abordar la problemática de cada punto crítico de control (PCC); debido a que, en donde exista una menor reincidencia es en donde se realizó un mejor seguimiento a cada no conformidad potencial.

5.5.2.1. Histograma

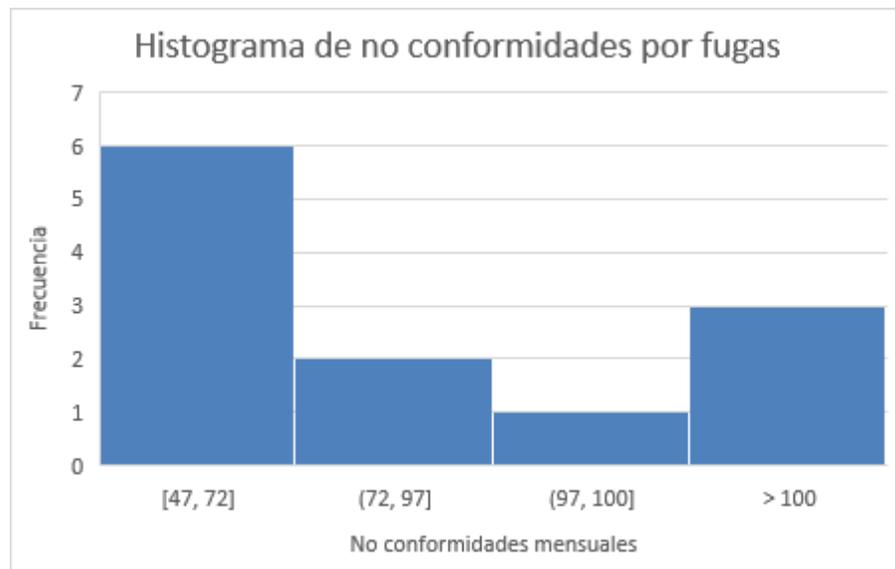
La participación de los histogramas como una herramienta para evaluar la reducción en la reincidencia de las no conformidades, está enfocada en la aplicación de los siguientes criterios:

- Si el histograma se encuentra desplazado hacia la izquierda esto significa que los valores de no conformidad dentro de los rangos son más pequeños, que existe una reducción considerable en las no conformidades.
- Si el histograma se encuentra desplazado hacia la derecha, esto significa que los valores de no conformidad dentro de los rangos son más grandes; por consiguiente, existe un aumento considerable en las no conformidades.

Para que la evaluación arroje los resultados esperados el histograma del periodo actual debe de elaborarse con rangos de la misma magnitud de los que

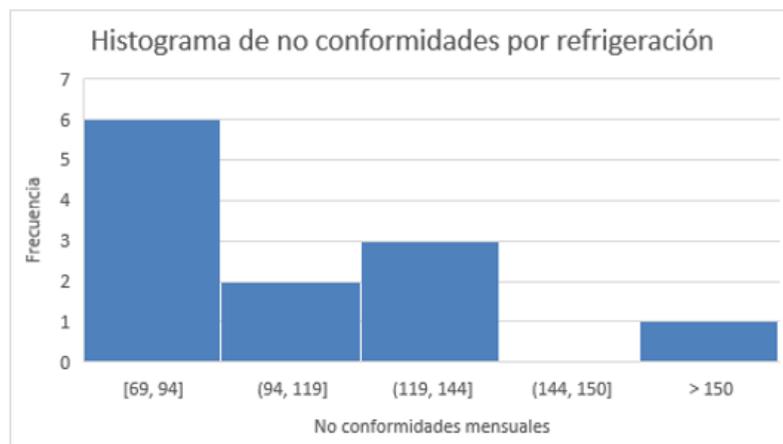
contiene el periodo actual. Se proponen los siguientes histogramas como un instrumento para la evaluación del periodo 2020.

Figura 38. **Histograma patrón para evaluar las no conformidades por fugas del periodo 2020**



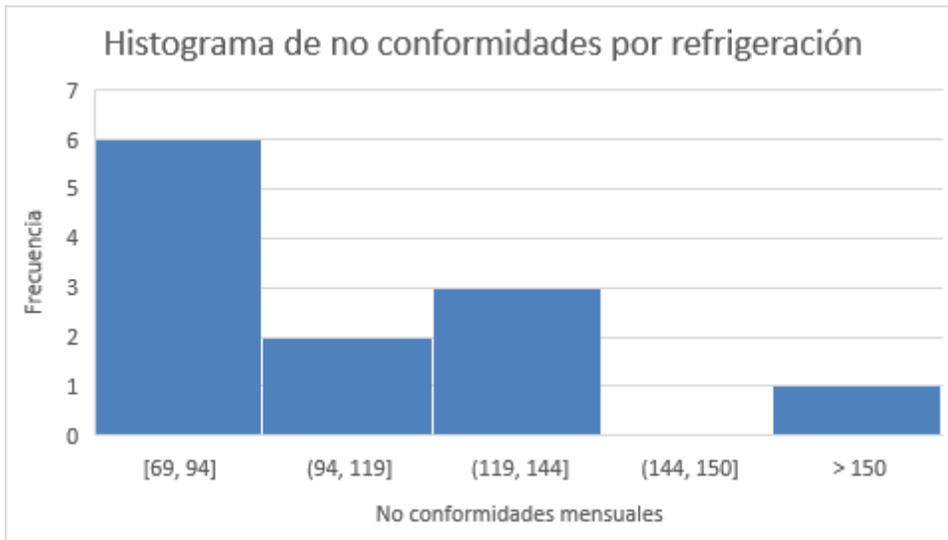
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 39. **Histograma patrón para evaluar las no conformidades por refrigeración del periodo 2020**



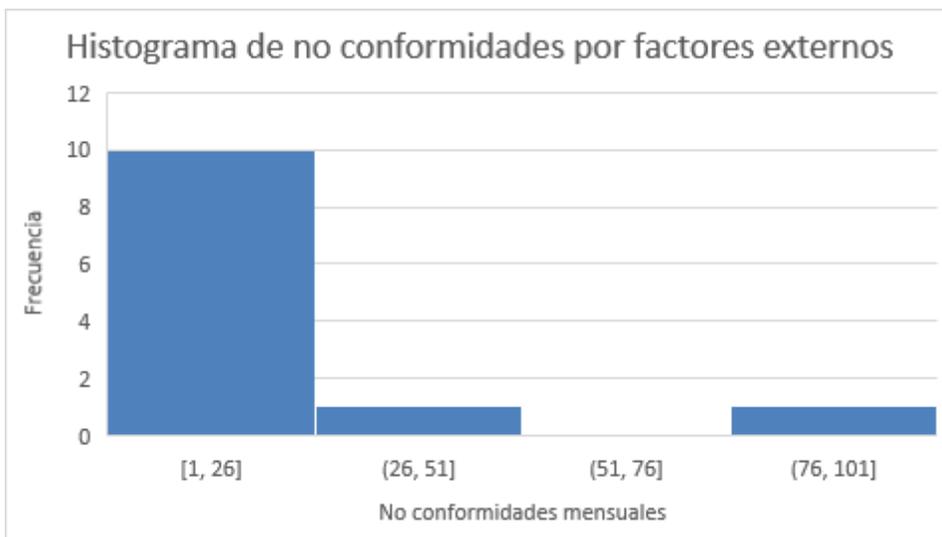
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 40. **Histograma patrón para evaluar las no conformidades por problemas de refrigeración del periodo 2020**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 41. **Histograma patrón para evaluar las no conformidades por factores externos del periodo 2020**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 42. **Histograma patrón para evaluar las no conformidades por errores operativos del periodo 2020**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. Por medio de la aplicación de la metodología del modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) fue posible determinar que los puntos críticos de control existentes en las líneas de ensamblaje corresponden a las estaciones de proveedores y arneses con una participación promedio del 61,07 % de las no conformidades totales en el rubro eléctrico, proveedores con una participación del 65,61 % de las no conformidades totales en el rubro de factores externos y de 72,03 % de las no conformidades totales en el rubro de carga de refrigerante, Prefosas con una participación del 54,03 % de las no conformidades totales en el rubro de fugas y ensamble 3 con una participación del 54,49 % de las no conformidades totales en el rubro de errores operativos.
2. Por medio de un estudio individual de las no conformidades y aplicando los principios tanto del diagrama de Ishikawa como del diagrama de Pareto como una estrategia para identificar los puntos críticos de control del departamento. Fue posible determinar la causa raíz de las no conformidades que poseen un mayor porcentaje de participación. Encontrando de esta manera, deficiencias en los procesos de soldadura y en los procesos de ensamblaje de componentes eléctricos.
3. Por medio de un análisis de la naturaleza intrínseca de la procedencia de las no conformidades, fue posible segmentarlas en no conformidades eléctricas, no conformidades por problemas de refrigeración, no conformidades por problemas de fugas, no conformidades por factores externos y no conformidades por errores operativos. Esta segmentación,

permitió obtener un panorama más amplio del estudio de las no conformidades. Se consiguió abordar su investigación, desde una perspectiva más controlable.

4. Por medio del estudio de los gráficos de control por atributos “p” fue posible desarrollar un conjunto de indicadores claves de desempeño para cada rubro de clasificación de no conformidad y sus respectivos criterios de calificación. La naturaleza del KPI de proporción de unidades no conformes se sustenta bajo la premisa de una búsqueda continua en la disminución de las no conformidades por rubro. Este KPI permitirá comparar continuamente la información obtenida en distintos periodos de tiempo contra el histórico de datos acumulados hasta el momento, promoviendo de esta manera la toma oportuna de decisiones.
5. Por medio de la aplicación de una herramienta de control estadístico de procesos, específicamente el gráfico de control por atributos p; fue posible cuantificar la variabilidad de cada uno de los registros generados. Se logró representar de una manera gráfica la distribución de las no conformidades, haciendo posible de esta manera, la evaluación del comportamiento de la variabilidad en diversas condiciones de trabajo.
6. Por medio del desarrollo sistemático de un modelo de mejoramiento continuo de la calidad (MCC) fue posible coordinar satisfactoriamente la ejecución de planes de acción que permitieron abordar el estudio y seguimiento de cada uno de los puntos críticos de control que forman parte del proceso productivo.
7. Como parte del conjunto de estrategias que aportarán un valor agregado al desempeño de las actividades realizadas por el departamento de

instrumentación. Se logró diseñar satisfactoriamente y las obligaciones actuales del departamento, un modelo de Balanced Scorecard y una matriz funcional de análisis de fallos y efectos (AMFE). Se logró desarrollar una propuesta para la calendarización de las actividades de calibración de las máquinas de prueba que se encuentran a cargo del departamento.

8. Como parte del plan de seguimiento encargado de dar retroalimentación al modelo de mejoramiento continuo de la calidad. Se logró diseñar satisfactoriamente un programa de capacitación con un alcance tanto para el personal operativo del departamento de instrumentación, como para algunos otros colaboradores que tienen cierta injerencia en las actividades del departamento. El plan de capacitación contempla una aproximación a las metodologías de detección de puntos críticos de control en las líneas de ensamblaje y una cápsula de concientización, que busca promover la unidad y el trabajo en equipo.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a los hallazgos detectados en la matriz funcional de fallos y efectos (AMFE) y actualizarla cuando sea necesario, con base en las necesidades operativas y a la asignación de nuevas responsabilidades y obligaciones en el departamento.
2. Considerando la mejora continua de la calidad como una obligación ineludible y un objetivo de toda la organización se recomienda coordinar auditorías externas que permitan evaluar los métodos de soldadura en cobre galvanizado; con el objetivo de adquirir nuevos conocimientos que puedan aportar un valor agregado al proceso.
3. Reforzar la necesidad de diagnóstico en cada una de las estaciones de trabajo que componen las líneas de ensamblaje. Procurar genera la ruptura de ciclos en no conformidades que poseen altos índices de recurrencia y que son fácilmente detectables.
4. Organizar y establecer un departamento que se encargue del aseguramiento de la calidad en los procesos de producción y que tenga a su cargo las siguientes obligaciones. El análisis de los métodos de producción, el desarrollo de proyectos de automatización, el estudio de tiempos, entre otros.
5. Considerando que el análisis de los datos es fundamental para determinar los puntos críticos de control del proceso de ensamblaje se

recomienda mantener una actualización continua con respecto al surgimiento de nuevas herramientas de minería de datos.

6. Considerando el hecho de que el ingreso de materia prima proveniente de los proveedores es considerado un punto crítico de control. Se recomienda intensificar las medidas de control al momento de realizar la recepción en el departamento de despacho.
7. Considerando que la estación de arneses es un punto crítico de control, se recomienda implementar nuevas metodologías para verificar el funcionamiento adecuado de los arneses. Se recomienda intensificar las medidas de control para verificar la calibración de las máquinas crimpadoras.
8. Considerando que la mejora continua de la calidad es producto del efecto multiplicador de una dedicación constante se recomienda revisar periódicamente los planes de acción establecidos en el balance scorecard para determinar el porcentaje de cumplimiento de los mismos y modificarlos en caso de ser necesario.
9. Considerando que el departamento de instrumentación tiene la oportunidad de desarrollar proyectos de mejora continua para el beneficio de la productividad en las líneas de ensamblaje. Cuando exista un alto volumen de colaboradores involucrados en el desarrollo del mismo, se recomienda trabajar en base a los principios de la gestión ágil de proyectos por medio de la metodología SCRUM.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, Gerardo Gabriel. *Administración para la Calidad Total (Apuntes)*. 1a ed. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2009. 149 p.
2. BESTERFIELD, Dale H. *Control de Calidad*. 8a ed. México: Pearson Education, 2009. 540 p.
3. CAMISON, Cesar. *Gestión de la Calidad: Conceptos, modelos, enfoques y sistemas*. 1a ed. España: Editorial Pearson, 2006. 1 428 p.
4. CAÑEDO FERNANDEZ, Miguel. *Gestión de la calidad y medioambiental en industrias en proceso*. 6a ed. España: Editorial Elearning S.A., 2015. 494 p.
5. CARRO PAZ, Roberto. *Administración de la Calidad Total*. 1a ed. Argentina: Universidad de Mar de Plata, 2012. 65 p.
6. CHANG, Richard Y. *Las Herramientas para la mejora continua de la calidad – volumen 2*. 2a ed. Argentina: Ediciones Granica S.A, 1999. 131 p.
7. DELGADO, José V. *¡Planificando Estratégicamente!* 1a ed. Estados Unidos: Windmills Editions California, 2015. 355 p.

8. GARCIA MATA, Juan R. *Sistemas de Calidad y Mejora Continua*. 1a ed. España. Ediciones: Departamento de Salud y Consumo, Gobierno de Aragón, 2015. 191 p.
9. GUERRA LOPEZ, Ingrid. *Evaluación y mejora continua: Conceptos y Herramientas para la medición y mejora del desempeño*. 1a ed. Estados Unidos: Universidad Estatal Wayne, 2007. 218 p.
10. KRAJEWSKI, Lee J. *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*. 8a ed.. México: Pearson Education, 2008. 752 p.
11. Página oficial Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [en línea]. <<https://www.cepal.org>>. [Consulta: mayo 2019].
12. Página oficial Grupo Fogel Guatemala. [en línea]. <<https://www.fogel-group.com>>. [Consulta: mayo 2019].
13. Página Universidad Autónoma de México. [en línea]. <<http://www.facmed.unam.mx>>. [Consulta: mayo 2019].
14. ROMEVA, Carles Riva. *Diseño Concurrente*. 1a ed. España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2012. 226 p.
15. TARI GUILLO, Juan José. *Calidad Total: Fuente de ventaja competitiva*. 1a ed. España: Publicaciones universitarias de Alicante, 2000. 302 p.

16. UNDERWRITERS LABORATORIES, *UL471 - Norma de Seguridad para Refrigeradores Comerciales y Congeladores*. 10a ed. Estados Unidos: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, 2014. 218 p.
17. VARO, Jaime. *Gestión estratégica de la calidad de los servicios sanitarios*. 1a ed. España: Ediciones Díaz de Santos S.A., 1994. 529 p.
18. VILAR BARRIO, José Francisco. *Las 7 Herramientas para la Mejora de la Calidad*. 2a ed. España: Fundación Confemetal, 1997. 166 p.
19. WHITMAN C., William. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado*. 1a ed. España: Thomson Paraninfo, 2009. 347 p.

