

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
SEDE PUNTARENAS.**

**INGENIERIA INDUSTRIAL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CAMBIOS  
DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN DE LA  
PLANTA COMPLEJO FERTICA PARA EL AÑO  
2022.**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO  
OPTAR POR EL BACHILLERATO DE  
INGENIERA INDUSTRIAL.**

**AUTOR: JAVIER ANTONIO GARCIA NAVARRO.**

**TUTOR: ING.JONATHAN POEREZ LARGAESPADA.**

**PUNTARENAS, OCTUBRE, 2022.**

## ACTA DE APROBACION

### CARTA DEL TUTOR

Puntarenas, 03 de abril de 2023

**Señores:**

**Carrera: Ingeniería Industrial**  
**Universidad Hispanoamericana**

Estimado señor:

El estudiante Javier Antonio García Navarro, cédula de identidad número 11550857, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "**Estudio de factibilidad de cambios de equipos de instrumentación de la planta complejo Fertica para el año 2022**", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	16%
C)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	27%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	19%
	TOTAL		<b>90%</b>

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

**Nombre: Jonathan Pérez Largaespada**  
**Cédula identidad: 205820315**  
**Carné Colegio Profesional: NA 2871**

## CARTA DE LECTOR

San José, 2 de mayo de 2023

Señores  
Registro  
Universidad Hispanoamericana  
Sede Puntarenas

Estimados señores:

Hago constar en mi condición de lector, que he revisado el trabajo del estudiante Javier Antonio García Navarro, cédula 1-1555-0857, titulado: *"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CAMBIOS DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA COMPLEJO FERTICA PARA EL AÑO 2022"* para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

Manifiesto, después de la revisión, que dicho trabajo reúne los requisitos exigidos por la Universidad y, por lo tanto, autorizo al autor para que continúe con el proceso de aprobación del proyecto.

Sin más por el momento,

Atentamente:



Ing. Lubín Campos Ureña  
Céd. 1-499-389  
Carné II-3108

## DECLARACION JURADA


### DECLARACIÓN JURADA

Yo Javier García Caravio, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 11555 0857 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato, juro solemnemente que mi

trabajo de investigación titulado: Estudio de factibilidad de cambios de equipo de instrumentación de la planta Complejo Fertica para el año 2022.

\_\_\_\_\_ es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los cuatro días del mes de abril del año dos mil veintitres.

\_\_\_\_\_ 

Firma del estudiante

Cédula: 11555 0857

## **DEDICATORIA**

A Dios las gracias por las bendiciones, por permitirme estar en esta etapa tan importante de la vida, con dedicación y esfuerzo presento el proyecto en dedicatoria a mis hijas Daniela y Mariana.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a nuestro Dios por todo lo que me ha bendecido durante todos estos años de vida, por la sabiduría por la salud que me da cada día para seguir creciendo.

Agradezco a mi esposa Milagro Gattgëns Segura por impulsarme siempre a seguir creciendo en cada momento, a mi madre Fressia Navarro Acevedo y a mi padre Eliecer García Álvarez por ayudarme durante mi formación académica.

A la empresa por permitirme elaborar este proyecto, a los Ingenieros y supervisores que me han brindado su apoyo y conocimiento.

## **EPIGRAFES**

“La mejora continua es crucial tanto para las personas como para las organizaciones, porque nada en esta vida es permanente.”

James Hunter

## TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACION .....	ii
DECLARACION JURADA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
EPIGRAFES.....	vii
TABLA DE CONTENIDOS .....	viii
TABLA DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
TABLA DE GRÁFICOS.....	xvii
ACRONIMOS Y SIGLAS .....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCION.....	1
1.1    DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO .....	2
1.2 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA.....	3
1.2.1 Contexto histórico .....	3
1.2.1.1. Misión.....	5
1.2.1.2. Visión .....	5
1.2.1.3. Política de calidad.....	5
1.2.2 Antecedentes de la empresa.....	5
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.3.1.    Idea del problema .....	7

1.3.2. Definición del problema .....	8
1.3.3. Justificación .....	10
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
1.4.1. Objetivo General.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos .....	11
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
1.5.1. Alcances .....	12
1.5.2. Limitaciones .....	12
CAPÍTULO II.....	13
MARCO TEORICO .....	13
2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA .....	14
2.1.1 Proceso .....	14
2.1.2 Productividad.....	14
2.1.3 Eficiencia y Eficacia.....	15
2.1.4 Calidad.....	16
2.1.5 Competitividad y Calidad.....	17
2.1.6 Costos de Calidad .....	19
2.1.7 Instrumentación Industrial.....	20
2.1.7.1 Instrumentos o sistemas de medición .....	21
2.1.7.2 Caldera de vapor .....	24
2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO .....	25
2.2.1. Metodología DMAIC .....	25
2.2.1.1. ¿Qué es DMAIC? .....	26

2.2.2. Definir.....	27
2.2.2.1 Diagrama de Flujo .....	27
2.2.2.2 Diagrama SIPOC .....	28
2.2.3. Medir .....	29
2.2.3.1 Recolección de datos históricos.....	30
2.2.3.1.1 El Cuestionario .....	30
2.2.3.1.2 La Encuesta.....	31
2.2.3.1.3 La Observación.....	31
2.2.3.1.3.1 Inspección Visual .....	31
2.2.4. Analizar .....	31
2.2.4.1. Diagrama de Ishikawa .....	32
2.2.4.2. Diagrama de Pareto .....	32
2.2.4.2.1 Estratificación.....	34
2.2.4.3 Análisis de modos efectos y fallas FMEA .....	34
<i>NPR = Severidad*Ocurrencia*DetECCIÓN</i> .....	39
2.2.5. Mejorar .....	39
2.2.5.1 Plan de Mejora.....	40
2.2.5.2 Matriz RACI.....	41
2.2.6. Controlar.....	42
2.2.6.1. Lista de Verificación .....	43
2.2.6.2. Sistema Poka-Yoke.....	43
2.3 EL MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO .....	44
2.3.1 Análisis Costo Beneficio .....	44

2.3.1.1 Identificación de los costos .....	45
2.3.1.2 Identificación de los beneficios .....	45
2.3.1.3 Comparación de costos y beneficios .....	46
2.3.2 Indicadores .....	46
2.3.3 Beneficios cuantitativos y cualitativos .....	46
2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES.....	47
CAPÍTULO III .....	50
MARCO METODOLÓGICO .....	50
3.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	51
3.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DE PROYECTO.....	52
3.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO .....	53
3.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	54
3.5 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.....	54
CAPÍTULO IV .....	56
LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS.....	56
4.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS.....	57
4.1.1. Procesos de instrumentación planta Fertica S.A .....	57
4.1.2 Diagrama de flujo .....	62
4.1.3 Diagrama SIPOC .....	63
4.2 MUESTRA DE LA MEDICION DE LOS PROCESOS .....	64
4.2.1 Control de mediciones.....	64
4.2.1.1 Indicadores de operación .....	66

4.2.2.2 Departamento de Mantenimiento en Instrumentación .....	67
4.3 ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DETECTADOS .....	71
4.3.1 Análisis de Pareto .....	71
4.3.2 Diagrama de Ishikawa .....	75
4.3.3 Análisis AMEF .....	79
CAPÍTULO V .....	83
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	83
5.1 IDEAS PROPUESTAS .....	84
5.2 PROPUESTA A IMPLEMENTAR.....	85
5.3 CUADRO MAESTRO DE IMPLEMENTACIÓN .....	85
5.3.1 Cronograma de propuestas .....	91
5.3.2 Análisis económico .....	93
5.4 ESTABLECER CONTROLES Y VERIFICACIONES DE LOS PROCESOS .....	95
CAPÍTULO VI .....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
6.1 CONCLUSIONES .....	100
6.2 RECOMENDACIONES .....	101
BIBLIOGRAFIA .....	103
ANEXOS .....	109

**TABLA DE FIGURAS**

Figura 1	
LA PRODUCTIVIDAD Y SUS COMPONENTES .....	16
Figura 2	
RELACIÓN ENTRE MALA CALIDAD Y COMPETITIVIDAD .....	18
Figura 3	
CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD .....	19
Figura 4	
CICLO DMAIC .....	27
Figura 5	
SIMBOLOGÍA PARA DIAGRAMA DE FLUJO .....	28
Figura 6	
MATRIZ SIPOC .....	29
Figura 7	
ESPINA DE PESCADO ISHIKAWA .....	32
Figura 8	
DIAGRAMAS DE PARETO .....	33
Figura 9	
MATRIZ FMEA .....	35
Figura 10	
PLAN DE MEJORA .....	41
Figura 11	
ETAPAS DE MATRIZ RACI .....	42
Figura 12	
CALDERA CLEAVER BROOKS .....	59
Figura 13	
<i>MACHOTE DE REPORTE INDICADORES DE INSTRUMENTACION</i> .....	64
Figura 14	
MACHOTE CONTROL OPERACIONAL, REIGISTRO DE INSTRUMENTOS .....	65

Figura 15	
TERMÓMETRO ANALÓGICO Y DIGITAL PLANTA COMPLEJO .....	66
Figura 16	
MANÓMETROS DE CONTROL EN BOMBAS DE INYECCIÓN .....	67
Figura 17	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2020 .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	22
Tabla 2	
CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADO DE SEVERIDAD AMEF .....	36
Tabla 3	
CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADA DE OCURRENCIA AMEF .....	37
Tabla 4	
CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADO DE DETENCION AMEF .....	38
Tabla 5	
GRADO DE FALLA PARA EL NPR .....	39
Tabla 6	
INSTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL DE LA PLANTA FERTICA S.A. ....	60
Tabla7	
FALLA CORRECTIVA EQUIPOS DE INSTRUMENTACION EN MAQUINAS DE PLANTA 2021 .....	69
Tabla 8	
CONSUMOS DE RESPUESTOS DE INSTRUMENTACION EN EL AÑO 2021 .....	70
Tabla 9	
HORAS ANUAL POR FALLA EN EQUIPOS DE INSTRUMENTACION DE MAQUINAS PLANTA 2021 .....	71
Tabla 10	
INTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL DE MAYOR CONSUMO EN EL AÑO 2021 .....	73
Tabla11	
ESCALA DE CALIFICACION .....	77
Tabla 12	
SIMPLIFICACION DE CAUSAS RAIZ DEL PROBLEMA .....	78

Tabla 13	
ANALISIS AMEF DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION CON MAYOR FRECUENCIA A FALLA CORRECTIVA.....	80
Tabla 14	
PROPUESTAS PARA CAUSAS Y RIESGOS EN LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION.....	84
Tabla 15	
PROPUESTAS APROBADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	85
Tabla 16	
CUADRO MAESTRO DE IMPLEMENTACION.....	86
Tabla17	
MATRIZ DE ANALISIS RACI.....	89
Tabla 18	
COMPORATIVA DE INVERSION VRS GANANCIAS GENERADAS .....	94
Tabla 19	
LISTA DE VERIFICACION EQUIPOS DE PLANTA .....	96
Tabla 20	
LISTA DE CONTROL COMPARATIVA DE CALIBRACION PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACION.....	97

## TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE INSTRUMENTACIÓN .....	62
Gráfico 2	
SIPOC EQUIPOS DE INSTRUMENTACION .....	63
Gráfico 3	
PARETO DE PAROS DE MAQUINARIA POR FALLA EN INSTRUMENTOS DE MEDICON Y CONTROL 2021.....	72
Gráfico 4	
PARETO DE CONSUMO DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PARA EL AÑO 2021 .....	74
Gráfico 5	
DIAGRAMA DE ISHIKAWA FALLAS CORRECTIVAS EN EQUIPOS DE INSTRUMENTACION.....	76
Gráfico 6	
DIAGRAMA GANTT DE ACTIVIDADES PROPUESTAS .....	92

## ACRONIMOS Y SIGLAS

**(PID)** Control Proporcional Integral Derivativo

**(Prebarrido)** Primer paso del arranque de una caldera, extracción de gases de la recámara interna con su ventilador de tiro forzado.

**(VT)** Inspección Visual.

**(RC)** Requerimientos de los clientes.

**(CT)** Características Técnicas.

**(SIPOC)** Suppliers (PROVEEDORES), inputs (ENTRADAS), process (PROCESOS), outputs (SALIDAS) and customers (CLIENTES).

**(FMEA)** Failure Modes and Effects Analysis, El Análisis de Modo y Efectos de Fallas.

**(RPN)** Risk Priority Number, Numero de prioridad de riesgo.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCION**

## **1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO**

El siguiente proyecto muestra el análisis realizado en la empresa Fertica S.A, donde surge la interrogante al problema identificado el cual se pretenderá estudiar en los distintos capítulos para determinar, causas, generar propuestas e implementar mejoras.

En el capítulo uno se muestran los datos históricos, se plantea el problema de investigación, se marcan los objetivos del proyecto, los alcances y limitaciones que el mismo pueda tener durante el proceso de investigación.

El capítulo dos fortalece de forma teórica los procesos que en este caso son los sistemas de medición y control del departamento de instrumentación, este capítulo muestra los equipos de instrumentación, controles de medición y análisis de costo beneficio, los cuales siguen la estructura de aplicación de la herramienta ingenieril DMAIC.

En el capítulo tres se muestra el análisis metodológico que se utilizara para la formulación de los capitulos cuatro y cinco, el cual identifica el personal de estudio, fuentes primarias, planteamiento para elaboración de los siguientes capítulos.

El cuarto capitulo identifica las variables que provocan o afectan al proceso de estudio, las cuales se pretenden identificar mediante las herramientas de ingeniería como el análisis de pareto, diagrama de Ishikawa y el análisis AMEF, las cuales brindaran los datos requeridos para la investigación.

El quinto capitulo muestra el diseño de propuestas para implementar en busca de la mejora de continua, este capítulo también señala los costos de inversión y beneficio que se adquieren tras la implementación de propuestas, además se crea el diseño de actividades cronogramadas con

ayuda de los departamentos involucrados en el estudio con la finalidad de dar seguimientos con las hojas de verificación y herramienta ingenieril poka-yoke.

El sexto y último capítulo identifica las conclusiones y recomendaciones que se generan o proponen para todo el estudio de la investigación, las cuales reflejan el alcance o cumplimiento de los objetivos.

## **1.2 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA**

Seguidamente se procede a dar una descripción de datos importantes acerca de la empresa en la cual se desarrolla el trabajo de investigación.

### **1.2.1 Contexto histórico**

Fertilizantes de Centro América (Costa Rica) S.A. es una empresa productora de fertilizantes que se establece en Costa Rica en 1961. Esta industria surge, como resultado de la unión del capital centroamericano, que participa minoritariamente, al lado del capital foráneo del área. La unión pretende combinar el aporte financiero y el desarrollo tecnológico.

La empresa de fertilizantes de Centroamérica, S.A. se dedica a la fabricación y distribución de fertilizantes químicos y mezclas granulares, que produce y comercializa fertilizantes sintetizados, productos industriales y fitosanitarios con altos estándares de calidad, desarrollando soluciones y tecnología a sus clientes a través de un servicio técnico, personalizado, con integridad y compromiso, para asegurar así el éxito sostenido del Grupo.

El complejo industrial en Puntarenas está conformado por una serie de instalaciones. Cuenta con tres plantas para elaborar producto terminado como lo son: una planta de fertilizantes

complejos (300TMD), una planta de mezclas físicas (500TMD) y una planta de mezclas líquidas (60000LD).

La planta de fertilizantes complejos cuenta con la facilidad de producir haciendo uso de dos procesos, PEC basado en tecnología francesa y TVA basado en tecnología americana, esto permite contar con una planta muy flexible que se ajusta con mucha facilidad a las necesidades del mercado ofreciendo así una extensa variedad de formulaciones para las diferentes demandas de nutrientes por los cultivos.

Cuenta con su propio canal de acceso al pacífico para recibir sus materias primas, así como la facilidad de recibir materias primas desde el puerto de caldera.

La empresa cuenta con instalaciones propias para descarga y almacenamiento de materias primas y producto terminado, planta de elaboración de fertilizantes químicos, mezclas físicas y fertilizantes líquidos. La capacidad de producción instalada es de 200000 TM/ año de producto terminado.

Actualmente la Planta de fertilizantes de Centroamérica (Costa Rica) S.A. es el complejo industrial es completo y grande de Centro América, funciona en la zona del Pacífico Central a 10km del puerto de Puntarenas, en Carrizal y cuenta con una superficie de 600 manzanas.

Su estructura administrativa es la típica de sociedad anónima, dirigida por una Junta Directiva y tres gerencias: Gerencia de Comercialización, Gerencia Administrativa Financiera y Gerencia de Operaciones.

### **1.2.1.1. Misión**

Grupo Centroamericano de empresas que produce y comercializa fertilizantes sintetizados, productos industriales y fitosanitarios con altos estándares de calidad, desarrollando soluciones y tecnología a sus clientes a través de un servicio técnico, personalizado, con integridad y compromiso, para así asegurar nuestro éxito sostenido.

### **1.2.1.2. Visión**

Institución enfocada al cliente, comprometida con el medioambiente y creadora de valor para sus accionistas, sus colaboradores y la sociedad.

### **1.2.1.3. Política de calidad**

En esta empresa se produce y comercializan productos relacionados con la nutrición y la salud vegetal, y con la industria química. Quienes aquí laboran permanecen continuamente mejorando productos, procesos y servicios, en un ambiente de desarrollo personal y profesional, para así lograr la satisfacción de los clientes.

## **1.2.2 Antecedentes de la empresa**

Fertilizantes de Centro América (Costa Rica) S.A. es una empresa productora de fertilizantes que se establece en Costa Rica en 1961, como subsidiaria de la casa matriz Fertica S.A. En el caso de la producción de los fertilizantes, es especialmente influyente el acelerado crecimiento de la población mundial, que caracteriza el decenio de 1950.

La revolución demográfica presiona por un replanteamiento de la respuesta que el mundo debe de dar a la pobreza y al hambre. Por esta razón, dos soluciones son planteadas

como capaces de contribuir a mitigar la carencia de alimentos. La primera solución al problema de alimentos no está en la ausencia de recursos, sino en la desequilibrada distribución de estos y la redistribución de la tenencia de la tierra. La otra solución plantea la intensificación del uso de los recursos para lograr una mayor producción, sin cuestionar la manera en que estos están distribuidos. La intensificación agraria es la solución más adecuada ante el problema del hambre, dada la estructuración económica, social y política del país en ese momento.

La idea de construir una planta de fertilizantes en el país es atractiva desde muchos puntos de vista. Costa Rica tiene una economía fundamentalmente agrícola y sus vínculos económicos se sustentan en el comercio del café, el banano y la caña de azúcar, razones por las cuales el establecimiento de la planta se presenta como una posibilidad de mayor acceso al uso de fertilizantes.

La inauguración de la planta costarricense se realiza el día 6 de diciembre de 1963. Entre los beneficios generados al país por la empresa aborda temas como: el consumo de energía, la generación de empleo a una cantidad de obreros, personal técnico administrativo y las importantes entradas por el uso del Ferrocarril Eléctrico al Pacífico. (Muñoz & Vargas, págs. 62-63)

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A continuación, se explica la interrogante de investigación que muestra la empresa Fertica, desde los puntos de afectación de los departamentos involucrados y análisis previo del analista.

### **1.3.1. Idea del problema**

La planta complejo Industrial tiene un horario rotativo de tres turnos para cumplir con las 24 horas de la jornada diaria de manera continua durante el periodo de producción, el cual inicia en febrero y finaliza en noviembre.

La empresa Fertica cuenta con sistemas encargados de satisfacer las necesidades operativas de la planta durante el periodo de producción; cuenta con un sistema de caldera encargado de fabricar el vapor utilizado durante la formulación química en la planta de complejo industrial, los equipos que consumen este producto son; los reactores, tanques de almacenamiento de materia prima y Amoniador, por otro lado la existencia de compresores de aire comprimido brinda aire para todos los sistemas neumáticos utilizados en los sistemas automatizados de zona de pesaje de balanzas de materia prima.

Los encargados de llevar los controles operacionales, técnicos de la caldera de vapor y compresores son los siguientes:

El departamento de instrumentación es el encargado de velar por el mantenimiento, pruebas técnicas de los equipos de la caldera y sistemas neumáticos. El funcionamiento de la caldera depende de su calibración precisa, de igual manera depende del tipo de agua inyectada en el sistema de fabricación de vapor y en el derivado del petróleo utilizado como fuente de combustión llamado Bunker, ya que la caldera es de combustión.

El departamento de producción es el encargado de llevar los informes de operación de la caldera, compresores, consumos y pruebas.

La Gerencia de Operaciones indica que existe un alto costo de consumo de bunker, en el primer trimestre del periodo de producción del año 2022, además se le agregan los gastos por repuestos de la caldera de vapor y compresores, razón por la cual nace una oportunidad de estudio.

Existe una visión de propuesta de mejora del equipo de caldera y sistema de aire comprimido, en cuanto a la reducción del costo por consumo de combustible, repuestos, mejoramiento en la operación, aprovechamiento de los recursos, estandarización de procesos en los equipos de estudio.

### **1.3.2. Definición del problema**

La industria, para ser competitiva debe producir con eficiencia y calidad por lo que es imprescindible realizar cambios importantes, como lo son la reorganización de sus recursos, planificación y control los procesos que se pretenden estudiar, de tal forma que se consiga aumentar la productividad, mejorar la calidad y el servicio de los equipos.

Los servicios de caldera y compresores generan gastos por consumos operativos y mantenimiento muy elevados, los paros que estos equipos generan afectan directamente al proceso de producción de la planta de complejo Industrial, convirtiéndose en una problemática constantes para los departamentos involucrados en el proceso de producción.

La eficiencia del servicio de fabricación de vapor y aire comprimido para la planta complejo está siendo afectada por problemas en los equipos de instrumentación. Los departamentos de producción y mantenimiento consideran que realizar ajustes de calibración y reparaciones en estos equipos sea vuelto una operación constante que genera problemas para el proceso productivo.

La caldera opera de forma automática por diferencial de presión de vapor entre el consumo por planta de complejo industrial. El alto costo de consumo de combustible bunker que el quemador y caldera generan muestra números en gastos de 45 000 000 millones de colones mensuales, a lo que se le agrega un costo según el periodo de febrero-abril 2022 de 20 000 000 millones de colones en repuestos.

El compresor por su parte opera de la misma forma, dependiente del consumo neumático por planta, sin embargo, existe un gasto por consumo en repuestos trimestrales de ₡ 3 250 0000 millones de colones aproximadamente.

La existencia de exceso sobre el consumo de combustible y repuestos ha venido en aumento en los últimos trimestres, además del desperdicio de energía que los equipos de caldera y compresores generan a diario, muestra la carencia de metodología en cero fugas, controles de los equipos de metrología del departamento de instrumentación de los sistemas de caldera y compresores. El exceso de consumo del recurso proporcionado por estos equipos, la falta de ajustes o calibración constante en los equipos de vapor y aire, generan, afectan directamente al proceso productivo de la planta complejo.

Existen toda una serie de variables que influyen en este comportamiento por lo que hay que hacer un descarte para concentrarse en aquellos puntos críticos. Con el propósito de colaborar con la empresa se plantea crear instrumentos para controlar y analizar los datos estadísticos de manera que pueda obtener datos de control contra gastos de consumo de combustible y gastos por mantenimiento. Con el fin de retroalimentar a los departamentos beneficiados, se pretende brindar mejora continua de la operacionalidad de los equipos de estudio.

### **1.3.3. Justificación**

Este proyecto surge de la necesidad que tiene el área de producción y mantenimiento de conocer el estado actual en que se encuentra el proceso que se pretende estudiar, para determinar porque no se logra satisfactoriamente con el cumplimiento del servicio, para mejorar el rendimiento de la empresa y tener un impacto económico positivo.

La implementación de este proyecto busca profundizar en el conocimiento, analizando las causas raíz que ocasionan el problema y su impacto económico para la empresa proponiendo posibles soluciones que erradiquen el problema, se buscara implementar sistemas independientes neumáticos regulados para el sistema de bascula de pesaje de materia prima y calentadores de vapor para el combustible bunker, con el fin de disminuir los costos de consumo de combustible, calibración, mantenimiento del equipo, disminución del consumo de los repuestos, eliminación del desperdicio de vapor y aire comprimido.

La propuesta de mejora busca aprovechar los recursos como materiales y energía que dispone la empresa, con el fin de brindar información correcta sobre el servicio e instrucciones precisas para utilizar los equipos de instrumentación encargados de los procesos productivos en la planta complejo Industrial para el segundo semestre del año 2022.

El desarrollo de este estudio está enfocado a analizar la eficiencia de estos equipos que son claves para el proceso productivo. Para los efectos correspondientes, el estudio se realiza considerando las condiciones actuales de operación que desarrollan en la planta de complejos y se centrará en el departamento de calderas y compresores.

Los resultados del proyecto proporcionan metodologías de utilidad para el personal que atiende estos departamentos, logrando poner en práctica la mejora para los indicadores de productividad, la estandarización de parámetros de operación.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Desarrollar un estudio de factibilidad de cambios de equipo de instrumentación basado en principios de mejora continua.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los procesos necesarios en los sistemas de instrumentación que de alguna manera afectan la calidad operativa de los servicios de caldera y compresores.
- Realizar la medición de los equipos de instrumentación en los procesos de operación de la caldera y compresores.
- Analizar la causa raíz de los equipos de instrumentación que afecta el servicio caldera y compresores.
- Crear un plan de sustitución de equipos de medición que minimice los costos operacionales.
- Crear un plan de seguimiento y evaluación periódica de los equipos de instrumentación.

## **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES**

Las empresas son bastante herméticas, en este caso no es la excepción especialmente con lo referente a temas económicos y datos muy específicos como indicadores de eficiencia, controles de calidad. Así como el desplazarse por los diferentes departamentos de la empresa para realizar la observación del proceso.

### **1.5.1. Alcances**

El área de calderas y compresores pertenecientes al departamento de producción es el beneficiado directamente con la realización de este proyecto, dicho departamento se ha comprometido en entregar toda la información que ayude a satisfacer el conocimiento del analista, así como también brindar todas las facilidades para que este estudio tenga un resultado exitoso.

Los datos que brinde este proyecto; el cual abarca el periodo de estudio del proceso de producción de febrero a diciembre para el año 2022, son de importancia para los departamentos de producción y mantenimiento por ser determinantes para la toma de decisiones en cuanto a la programación productiva de Fertica.

### **1.5.2. Limitaciones**

La limitante que más predomina en el proyecto es el espacio a reuniones con el personal técnico, supervisores, operarios de producción encargados de los equipos de instrumentación de las máquinas, esto ya que no todo el tiempo se pudo contar con todo el personal, sin embargo, las opiniones, datos técnicos y propuestas fueron tomadas de la mano de los encargados principales del análisis de estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

## **2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO A LA CARRERA**

### **2.1.1 Proceso**

Un proceso es un conjunto de actividades relacionadas o que interactúan entre sí, las cuales transforman elementos de entrada en resultados llamados salidas. (Pulido H. G., 2010, pág. 19)

El proceso es aquella parte del sistema de la cual se obtiene una transformación de las entradas ya sea información, materia o energía, los procesos industriales se les conoce como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos son salidas del proceso en forma de flujo continuo; ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas. Los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material. (Peinado, 2015, pág. 8)

### **2.1.2 Productividad**

Según Peinado (2015) “la necesidad de sanear los procesos productivos en todas las esferas de la actividad económica ha hecho de la productividad el foco de atención del público y de los especialistas en materia de competitividad” (pág. 6)

La productividad tiene que ver con los resultados que se obtienen en un proceso o un sistema, se deriva del resultado de dividir las salidas entre las entradas, se mide por el cociente formado de los resultados logrados y los recursos empleados, por lo que aumentar la productividad de un proceso es lograr mejores resultados en el sistema de producción, utilizando y aprovechando mejor los insumos; humanos, materiales, capital, energía y entre otros gastos. Los resultados pueden medirse en unidades producidas, vendidas o en utilidades, mientras que los recursos

empleados pueden cuantificarse por número de trabajadores, tiempo total empleado, horas máquina. (Pulido H. G., 2010, pág. 21)

### **2.1.3 Eficiencia y Eficacia**

La productividad a través de dos componentes: eficiencia y eficacia. La primera es simplemente la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados, mientras que la eficacia es el grado en que se realizan las actividades planeadas y se alcanzan los resultados planeados". (Peinado, 2015, pág. 6)

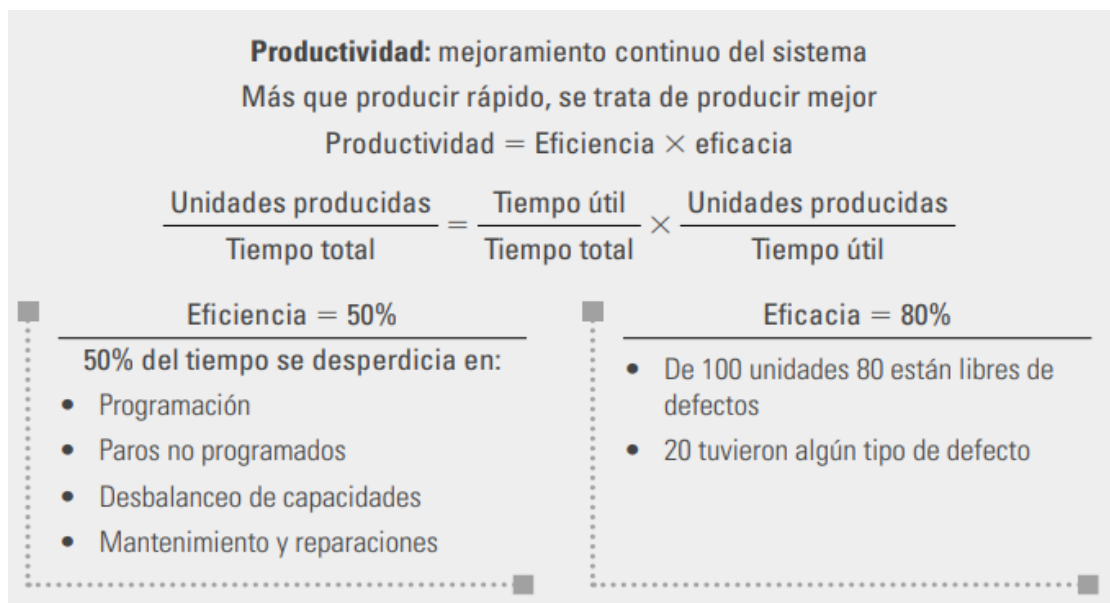
Existen tres criterios utilizados en la evaluación del desempeño de un sistema, los cuales sin embargo, se les mal interpreta o consideran sinónimos, están muy relacionados con la calidad y la productividad: eficiencia, efectividad y eficacia. (Rodríguez & Gómez Bravo, 1991)

La eficiencia se utiliza para dar cuenta del uso de los recursos o cumplimiento de actividades. Eficiencia es tratar de optimizar los recursos en reducción del desperdicio de estos; mientras que la eficacia implica utilizar los recursos para el logro de los objetivos planeados. Se puede ser eficiente y no generar desperdicio, pero al no ser eficaz no se están alcanzando los objetivos planeados. (Pulido H. G., 2010, pág. 22)

La efectividad es la relación entre los recursos y los resultados propuestos, la misma se vincula con la productividad, sin embargo, adolece la noción de los recursos. (Rodríguez & Gómez Bravo, 1991)

La eficacia valora el impacto del producto o servicio brindado, es un criterio relacionado con lo que se define como calidad en el sentido amplio calidad de procesos, sistema y recursos. La eficacia debe ser utilizada en conjunto con la eficiencia y efectividad. (Rodríguez & Gómez Bravo, 1991)

Figura 1

**LA PRODUCTIVIDAD Y SUS COMPONENTES**

Fuente Libro de Calidad, productividad y competitividad, capítulo uno (pág. 22)

En la figura 1 se observan dos programas para incrementar la productividad: mejorar.

la eficiencia reduciendo los tiempos desperdiciados por paros de equipos, falta de materiales, desbalanceo de capacidades, mantenimiento no programado, reparaciones, retrasos en los suministros y en las órdenes de compra. Por otro lado, está la mejora de la eficacia, cuyo propósito es incrementar la productividad del equipo, los materiales y los procesos, capacitar a la gente para alcanzar los objetivos planteados, mediante la disminución de productos con defectos, fallas en arranques, en operación de procesos, deficiencias en materiales, en diseños y en equipos. (Pulido H. G., 2010, pág. 22)

#### 2.1.4 Calidad

La calidad de igual manera que la productividad se obtiene de los procesos y sistemas, por lo que es necesario capacitar, reestructurar procesos, métodos de organización, buscar solución de

problemas, mejorar la toma de decisiones y la comunicación de todos los procesos del sistema. (Pulido H. G., 2010, pág. 23)

Las causas de una mala calidad deben de buscarse a lo largo del proceso, desde las entradas o insumos hasta los productos o servicios las cuales son las salidas, inspeccionando los procesos de transformación del servicio o producto, para evidenciar dónde se originan los incumplimientos, cuáles son las causas de éstos y cómo pueden prevenirse o corregirse de manera que mejore el proceso. También se debe tomar en cuenta si los productos y servicios satisfacen las necesidades de los procesos y la demanda del cliente. (Pulido H. G., 2010, pág. 23)

### **2.1.5 Competitividad y Calidad**

La competitividad según Pulido (2010) “se define como la capacidad de una empresa de generar valor para el cliente, los proveedores y los accionistas, de mejor manera que sus competidores” (pág. 27)

La calidad es un arma de competitividad debido a diversos factores; primero por la fabricación de un producto que corresponda a las expectativas de los clientes formando lealtad, control de calidad adecuadamente aplicado en reducir y aumentar los costos fabricación, cuando se utiliza un instrumento de gestión se puede estimular una cultura dentro de la empresa que está procurando constantemente mejorar la calidad de los productos, los procesos, la información y otras funciones empresariales. (Pulido H. G., 2010, pág. 19)

A nivel de empresa existen una serie de aspectos que obstaculizan la calidad; la resistencia al cambio cuando se incorporan innovaciones que suponen un incremento de la productividad y un ahorro de los costos. Las mejoras de la productividad son la llave para aumentar los

rendimientos, combatir las crisis, mejorar el desempeño, la inflación y conseguir productos altamente competitivos. (Pulido H. G., 2010, pág. 19)

Es decir, las empresas con productos de mejor calidad tienen costos totales bajos, mientras que las empresas con baja calidad tienen costos totales muy altos, cuando se tiene mala calidad en las diferentes actividades y procesos, hay equivocaciones, reprocesos, retrasos, fallas en facturación, programación y desperdicios. (Pulido H. G., 2010, pág. 23)

**Figura 2**

***RELACIÓN ENTRE MALA CALIDAD Y COMPETITIVIDAD***



Fuente Libro de Calidad, productividad y competitividad, capítulo uno (pág. 23)

La mala calidad trae como consecuencia insatisfacción de clientes, mayores costos, por lo tanto, no se puede competir en calidad, precio, tiempos de entrega, ya que un proceso con mal funcionamiento es errático e inestable. Al mejorar los diversos procesos se logra una reacción en cadena que trae importantes beneficios, disminuyendo la reducción de errores, retrasos, desperdicios, artículos defectuosos y clientes insatisfechos. (Pulido H. G., 2010, pág. 25)

### 2.1.6 Costos de Calidad

Según Pulido (2010) “ Los costos de calidad son los costos totales asociados al sistema de gestión de la calidad y pueden utilizarse como medida de desempeño del sistema de calidad” (pág. 25)

Estos costos se dividen en costos originados en la empresa para asegurar que los productos tengan calidad y costos por no tener calidad que resultan de las deficiencias en productos y procesos, estos costos de no calidad son el resultado de una deficiencia en la utilización de los recursos, entre más deficiencias y fallas se tengan, los costos por lograr la calidad serán elevados. Los costos de calidad se clasifican en costos de: prevención, evaluación, por fallas internas y por fallas externas. (Pulido H. G., 2010, pág. 25)

**Figura 3**

#### ***CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD***

<b>Costos para asegurar la calidad</b>	<b>Costos de no calidad</b>
<p><b>De prevención</b></p> <p>Evitar y prevenir errores, fallas y desviaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeación de calidad</li> <li>• Planeación de procesos</li> <li>• Control de procesos</li> <li>• Entrenamiento</li> </ul>	<p><b>Por fallas internas</b></p> <p>Originados por fallas, defectos o incumplimiento de especificaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdicio y reprocesos</li> <li>• Reinspecciones</li> <li>• Reparaciones</li> </ul>
<p><b>De evaluación</b></p> <p>Medir, verificar y evaluar la calidad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección, pruebas y ensayos</li> <li>• Auditorías de calidad</li> <li>• Equipos de pruebas y ensayos</li> </ul>	<p><b>Por fallas externas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atención de quejas del cliente</li> <li>• Servicios de garantía</li> <li>• Devoluciones, costos de imagen y pérdidas de ventas</li> <li>• Castigos y penalizaciones</li> <li>• Juicios, demandas y seguros</li> </ul>

Fuente Libro de Calidad, productividad y competitividad, capítulo uno (pág. 25)

### **2.1.7 Instrumentación Industrial**

En todo proceso industrial, por muy sencillo que sea, es siempre necesario el uso de instrumentos de medición y control que permitan llevar un control estadístico de consumos o parámetros de registro de calidad de los productos generados por el proceso. Esto con el fin de supervisar y tener un mejor control de la operación del proceso, tener un control de base de datos con información referente a los consumos de materias primas, condiciones inseguras de los procesos, parámetros estándar de aplicación en los procesos. (Calderón & Montero, 1993, p. 6)

Según Calderón y Montero (1993) “el ciclo de vida completo de un sistema de instrumentación contempla la definición conceptual del proyecto, el diseño, la implantación, el arranque y puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, y finalmente la desincorporación del mismo”(p7)

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual de estas variables utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros y válvulas manuales, control que era suficiente por la simplicidad de los procesos. La tecnología permite la elaboración de instrumentos cada vez más exactos y versátiles. La selección y aplicación adecuada de los instrumentos depende de una gran cantidad de factores como son: conocimiento del proceso, diferentes principios de medición, interpretación adecuada de las características dadas por el fabricante de cada instrumento, correcta instalación y mantenimiento de los instrumentos. (Calderón & Montero, 1993, p. 6)

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, la viscosidad o densidad. Los instrumentos de medición y control

permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas y cumpliendo roles de exactitud. (Solé, 2010, pág. 1)

Sin embargo, la exigencia del mercado aumenta la complejidad con qué éstos se desarrollan y ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido desplazando la vigilancia física de ciertos procesos por cabinas de control donde hay una supervisión, dosificación y análisis de datos situados dentro del mismo proceso. El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. (Solé, 2010, pág. 1)

#### **2.1.7.1 Instrumentos o sistemas de medición**

En la actualidad muchas empresas incorporan sistemas de control como indicadores de medición de los procesos para mejorar la calidad de sus productos o servicios. La rama de instrumentación es multidisciplinaria, en ella se abarca la ingeniería eléctrica, electrónica, química, sistemas informáticos y mecánica. (Calderon & Montero, 1993, pág. 7)

Para la realización de una medición se utiliza un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una cantidad o variable. Usualmente la variable medida es determinada indirectamente, mediante el efecto que produce en una variable secundaria conocida con el nombre de variable. (Calderon & Montero, 1993, pág. 7)

**Tabla**

**1**

***INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN***

<b>Instrumento</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Nivel de líquidos</b>	Visores verticales de cristal	Los niveles de cristal son un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos a los tanques de almacenamiento horizontales o verticales, que almacenan algún tipo de líquido, generalmente, mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido o en caso de rotura del cristal, y una de purga. (Solé, 2010, pág. 195)
<b>Temperatura</b>	Termómetros de vidrio y termómetros bimetálicos.	El uso de termómetros bimetálicos es admisible para servicio de 0 °C a 400 °C. Para indicación local se usan, preferiblemente, los termómetros bimetálicos de esfera orientable (Articulador), de este modo, el operario puede leer la temperatura a distancia desde niveles distintos, al de la instalación. La exactitud del instrumento es de $\pm 1\%$ y su campo de medida es de -200 °C a +500 °C. (Solé, 2010, pág. 235)
<b>Densidad y peso específico</b>	Calentadores, Agitadores y Reactores.	En los procesos industriales, la densidad es una variable cuya medida es vital cuando se emplea en sistema de bombeo, aspersion, caudalímetros y actuadores neumáticos. (Solé, 2010, pág. 326)
<b>Sistema de control</b>	Caudalímetro, manómetros, termómetros, basculas, viscosímetros, tacómetros, entre otros.	Los instrumentos de medición son parte integral de un sistema de control. Normalmente un sistema de control opera formando un lazo o bucle en el que se mide el valor de una variable, se compara con un punto de consigna o valor deseado (set point, SP) y se toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación o error existente. (Calderon & Montero, 1993, pág. 7)

Instrumento	Ejemplo	Aplicación
<b>Regulación de la combustión</b>	Programador, PLC	El control de regulación de combustión se le conoce como PID o controladores lógicos programables. El quemador de una caldera tiene controles auxiliares, tales como vigilancia de llama, válvula autorreguladora de presión para inyectar vapor al fuel-oil y pulverizarlo, válvula de solenoide con rearme manual para cerrar el paso del combustible, presostatos y termostatos para alarma de máxima y mínima presión de temperatura. El conjunto forma parte del circuito de enclavamiento de la instalación de arranque y paro de una caldera o quemador. (Solé, 2010, pág. 671)
<b>Seguridad de llama</b>	Ultravioleta, Infrarrojo.	El sensor ultravioleta detector de seguridad puede adoptar muchas formas, desde la más sencilla alarma y paro de la caldera hasta realizar funciones de Prebarrido, es decir, habilitar las condiciones de la recámara interna del quemador y monitorear si hay llama piloto de arranque o problemas internos en la recámara. (Solé, 2010, pág. 677)
<b>Válvula de control neumática</b>	Servomotor, Actuador.	Es una válvula que consiste en un servomotor accionado por la señal neumática de 3-15 psi (0,2-1 Kg/cm <sup>2</sup> ). El paso de presión da paso de abierto o cerrado en un sistema con caudal líquido o gaseoso. (Solé, 2010, pág. 381)
<b>Válvula de solenoide</b>	Solenoide de Bunker, Gas, Aire, Agua, Ácidos, Reajuste Manual	La válvula de solenoide o electroválvula es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica para accionar o controlar el flujo de un fluido a su paso por una tubería, puede realizar un control proporcional de tiempo variable mediante una unidad de control electrónico que envía a la bobina de control. (Solé, 2010, pág. 431)

Fuente, Elaboración propia.

### **2.1.7.2 Caldera de vapor**

Las calderas de vapor se utilizan en las industrias debido a que muchos procesos emplean grandes cantidades de vapor y dentro de su proceso necesitan de esta energía para poder procesar. La caldera se caracteriza por tener una capacidad nominal de producción de vapor, en toneladas/hora, a una presión especificada de corte regulado por instrumentos de presión llamados presostatos, de igual manera se mantiene con sistema de seguridad resguardado por válvula de escape de presión por escala con una capacidad adicional de caudal.

A la caldera se le exige, mantener una presión de trabajo constante para la gran diversidad de caudales de consumo según la demanda de los procesos que la necesiten, por lo cual debe ser capaz de tener una buena relación del aire combustible, un porcentaje de llama controlado por límites, el sistema de control debe ser seguro en la puesta en marcha, en la operación y en el paro de la caldera. (Solé, 2010, pág. 671)

Según Raúl Julián Pardillos (2010) “existen dos tipos de calderas según sus características se y se clasifican en calderas de vapor de tubos de agua (acuotubulares) y Calderas de tubos de humo (pirotubulares)” (pág. 8)

Las Calderas pirotubulares se denominan por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior está cubierto por el agua de la caldera y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través del indicador de combustión. (Pardillos, 2010, pág. 13)

Las Calderas acuotubulares, calientan el agua que circula por el interior de los tubos que conforman un circuito cerrado a través de la recámara que constituye la superficie de

intercambio de calor de la caldera. Estas calderas, están configuradas por tubos de agua y refractario, en el cual se produce la combustión del combustible, y constituyendo la zona de radiación de la caldera. (Pardillos, 2010, pág. 14)

Para lograr obtener el máximo rendimiento al mínimo coste, cada parte componente de la caldera y cada proceso de esta deben estar en correcta proporción en relación con las restantes partes, elementos y procesos, de manera que la caldera en conjunto presente un diseño equilibrado. (Pardillos, 2010, pág. 7)

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL ATINENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO**

### **2.2.1. Metodología DMAIC**

La metodología analiza y comprende los procesos, haciendo una doctrina de mejoramiento de calidad, de tal manera que puedan ser modificados al punto de reducir el desperdicio generado. Esto con la finalidad de reducir los costos de hacer las cosas, mediante la eliminación de los costos asociados con los errores o desperdicios. (BAHENA & LAR, 2006, pág. 14)

Esta metodología, se considera una estrategia basada en la gestión de procesos que es capaz de conseguir aumentar la calidad, cumplir con las expectativas de los clientes e incrementar beneficios empresariales, optimizando el binomio eficacia-eficiencia, controlando, reduciendo costos y al mismo tiempo incrementando los resultados económicos, manteniendo un alto nivel de calidad en sus procesos. (Instituto Gallego de Promoción Económica IGAPE., 2000-2006, pág. 3)

### **2.2.1.1. ¿Qué es DMAIC?**

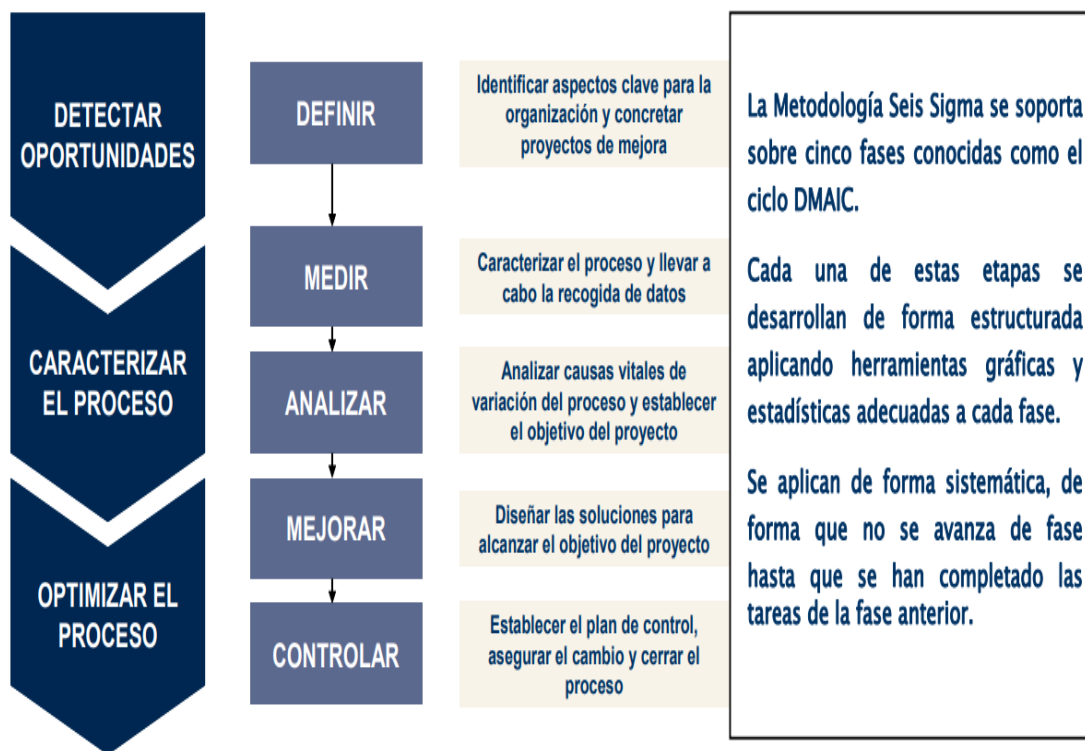
DMAIC es una estrategia de calidad basada en datos, para mejorar los procesos mediante la matriz (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Este proceso de mejora basado en datos está destinado a detectar y eliminar las ineficiencias que resultan en defectos. (Jonathan Trout, Noria Corporation, 2021)

DMAIC no puede emplearse en ciertas circunstancias o escenarios, como diseñar o crear nuevos procesos. Su enfoque principal debe estar en mejorar los procesos y proyectos existentes. (Jonathan Trout, Noria Corporation, 2021)

Según Jonathan Trout (2021) hay algunas condiciones específicas para decidir si DMAIC es una buena opción:

- Problema evidente con un proceso o conjunto de procesos existente.
- Oportunidad de reducir defectos, plazos, ahorro de costos y mejora la productividad.
- El proceso es cuantificable; los datos pueden medirse y la acumulación de datos puede analizarse.

Figura 4

**CICLO DMAIC**

Fuente Manual de Innovación para PYMES (pág. 13)

**2.2.2. Definir**

Consiste en localizar el origen de la variación que se está produciendo en el proceso. Es decir, se trata de acotar las causas que están produciendo los problemas y encontrar la raíz de dichos problemas. Su dimensión es a través de las mediciones del proceso, recolección de datos. Y comprensión de los factores que intervienen en el proceso, las cuales producen variaciones o defectos. Es importante definir cómo van a realizarse las mediciones y plantearse para su estudio. (Cuauhtémoc Ignacio Hernández Martínez, 2014, pág. 54)

**2.2.2.1 Diagrama de Flujo**

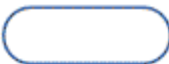
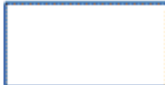


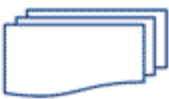





Representación gráfica de la secuencia de actividades de un proceso, que incluya transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de reproceso. Este tipo de diagrama

representa de forma visual en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; es de utilidad para analizar y mejorar el proceso. (Pulido & Salazar, 2009, pág. 165)

Además de registrar operaciones e inspecciones, muestran todos los retrasos de movimientos y almacenamiento a los que se expone un artículo a medida que recorre la planta. (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 26)

**Figura 5**

***SIMBOLOGÍA PARA DIAGRAMA DE FLUJO***

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	<b>Terminal:</b> Indica el inicio o la terminación del flujo del proceso.		<b>Actividad:</b> Representa la actividad llevada a cabo en el proceso.
	<b>Decisión:</b> Señala un punto en el flujo donde se produce una bifurcación del tipo "Sí" – "No".		<b>Documento:</b> Documento utilizado en el proceso.
	<b>Multidocumento:</b> Refiere un conjunto de documentos. Por ejemplo, un expediente.		<b>Inspección / Firma:</b> Aplicado en aquellas acciones que requieren de supervisión.
	<b>Conector de un Proceso:</b> Conexión o enlace con otro proceso, en el que continúa el diagrama de flujo. Por ejemplo, un subproceso.		<b>Archivo:</b> Se utiliza para reflejar la acción de archivo de un documento o expediente.
	<b>Base de Datos:</b> Empleado para representar la grabación de datos.		<b>Línea de Flujo:</b> Indica el sentido del flujo del proceso.

Fuente AITECO consultores, <https://www.aiteco.com/diagrama-de-flujo/>

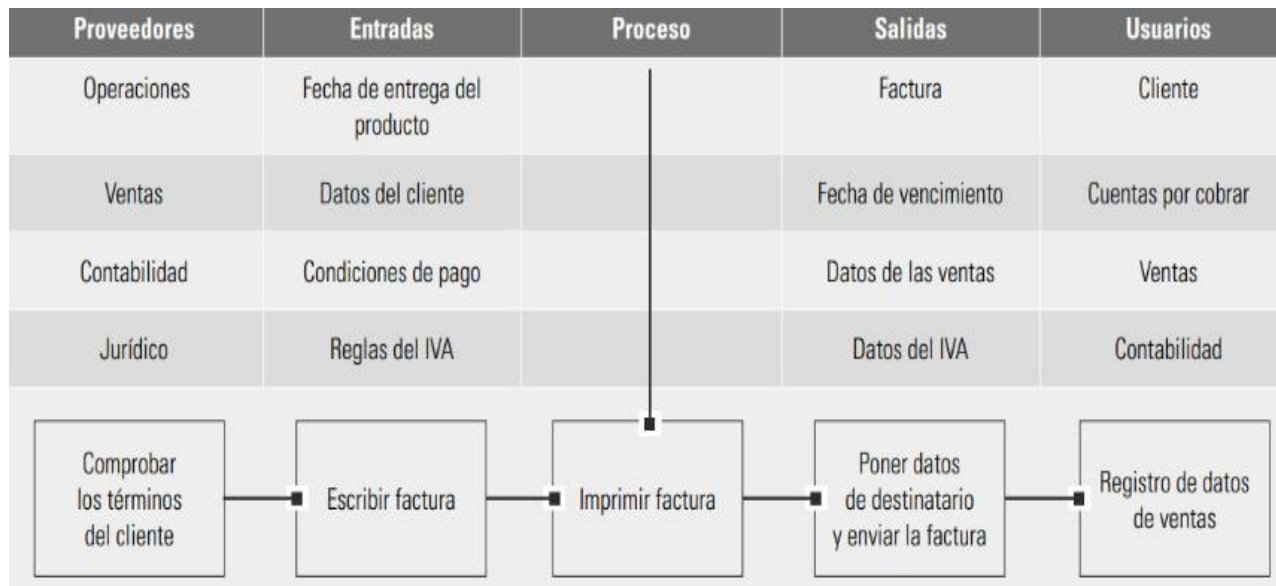
### 2.2.2.2 Diagrama SIPOC

El acrónimo en inglés de este diagrama es SIPOC (suppliers, inputs, process, outputs and customers). (Herramientas para el análisis y mejora procesos , 2008, págs. 3-4)

Para la elaboración de un SIPOC se debe identificar las salidas del proceso, que son los resultados (bienes o servicios) que genera a el proceso, especificar a los Usuarios/clientes, que son quienes reciben o se benefician con las salidas del proceso, establecer las entradas (materiales, información), que son necesarias para que el a proceso funcione adecuadamente y por último, identificar a los Proveedores, que son quienes proporcionan las entradas. (Pulido H. G., 2010, pág. 205)

**Figura 6**

***MATRIZ SIPOC***



Fuente Calidad Total y Productividad Tercera Edicion, Capitulo 12 (pág. 201).

### **2.2.3. Medir**

Para realizar la medición se debe conocer qué es lo que se necesita medir y cómo se va a medir, seleccionar cuidadosamente las herramientas que proporcionen la información objetiva y precisa, para las siguientes fases. (IONATHAN & LOURDES, 2014, pág. 14)

### **2.2.3.1 Recolección de datos históricos**

La recolección de información se puede definir como; el medio a través del cual el investigador se relaciona con los investigados o muestra para obtener la información necesaria que le permita alcanzar los objetivos planteados en la investigación. (Bastis Consultores, 2020)

Actualmente existen métodos y mecanismos que se utilizan para llevar el correcto análisis de un producto de calidad los mecanismos más usados son: el cuestionario, la encuesta, la observación. (Juarez, s.f.)

#### **2.2.3.1.1 El Cuestionario**

Los cuestionarios son un mecanismo que puede conectar a un cierto número de individuos para poder conocer distintas características, ya que estos pueden repartirse de manera estratégica para que se recolecte la información necesaria para presentar datos, los cuales detallan los procesos productivos de la investigación. Esta herramienta proporciona una ayuda para otra herramienta dentro de la recolección de datos la cual es la entrevista. (Juarez, s.f.)

Las dos clases de cuestionarios son:

- Cuestionario Descubierta: Estos se aplican donde se requiera saber las opiniones, observaciones o sugerencias acerca del proceso o producto; ya que estos son de gran utilidad al intentar resolver el problema o los métodos de supervisión. (Juarez, s.f.)
- Cuestionario Sellado: Este cuestionario tiene ciertas limitantes, sirve para conocer la información de los hechos relevantes y obliga a los sujetos de investigación a responder con opinión acerca de las interrogantes formuladas. (Juarez, s.f.)

#### **2.2.3.1.2 La Encuesta**

La encuesta es una técnica de recopilación de información donde se trata de conseguir información, de manera sistemática y ordenada de una población o muestra, sobre las variables consideradas en una investigación. En la encuesta el nivel de interacción del encuestador con la persona que posee la información es mínimo, pues dicha información es obtenida por preguntas realizadas con instrumentos como el cuestionario. (Bastis Consultores, 2020)

#### **2.2.3.1.3 La Observación**

La observación consiste en la indagación sistemática, dirigida a estudiar los aspectos más significativos de los objetos, hechos, situaciones sociales o personas en el contexto donde se desarrollan normalmente; permitiendo la comprensión de la verdadera realidad del fenómeno. (Bastis Consultores, 2020)

##### **2.2.3.1.3.1 Inspección Visual**

La inspección visual (VT) u observación es el método no destructivo más utilizado en todas las industrias de fabricación de materiales. detecta las fallas que son visualmente perceptibles como las deformaciones y los fenómenos de corrosión. Se basa en la observación de discontinuidades visibles a simple vista. Permite un control en todas las etapas del proceso de fabricación o mantenimiento de las instalaciones. (Nucleom , 2018)

#### **2.2.4. Analizar**

Se debe de plantear una hipótesis sobre las causas de la variabilidad o errores que se están produciendo en los procesos. Mediante la verificación de las hipótesis planteadas se pretende

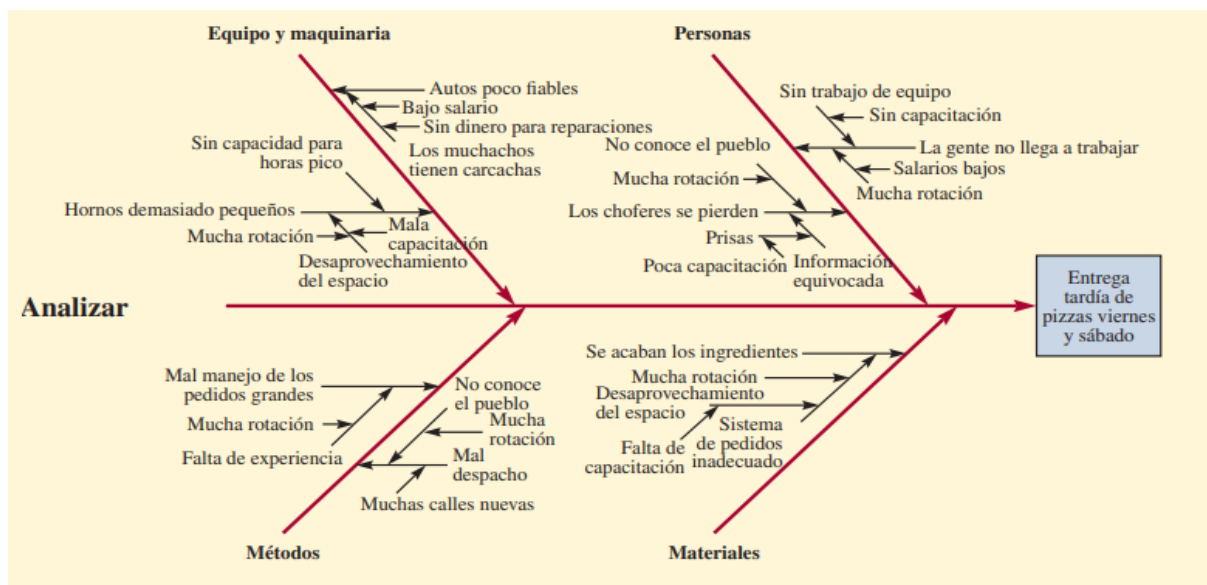
llegar a identificar de manera científica el origen de los problemas u oportunidades.  
(Cuauhtémoc Ignacio Hernández Martínez, 2014, pág. 55)

#### 2.2.4.1. Diagrama de Ishikawa

Es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. Este tipo de diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis utilizando la metodología de las 6M, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.  
(Pulido & Salazar, 2009, pág. 152)

**Figura 7**

#### *ESPINA DE PESCADO ISHIKAWA*



Fuente Libro Administración de Operaciones, capítulo 9. (pág. 317)

#### 2.2.4.2. Diagrama de Pareto

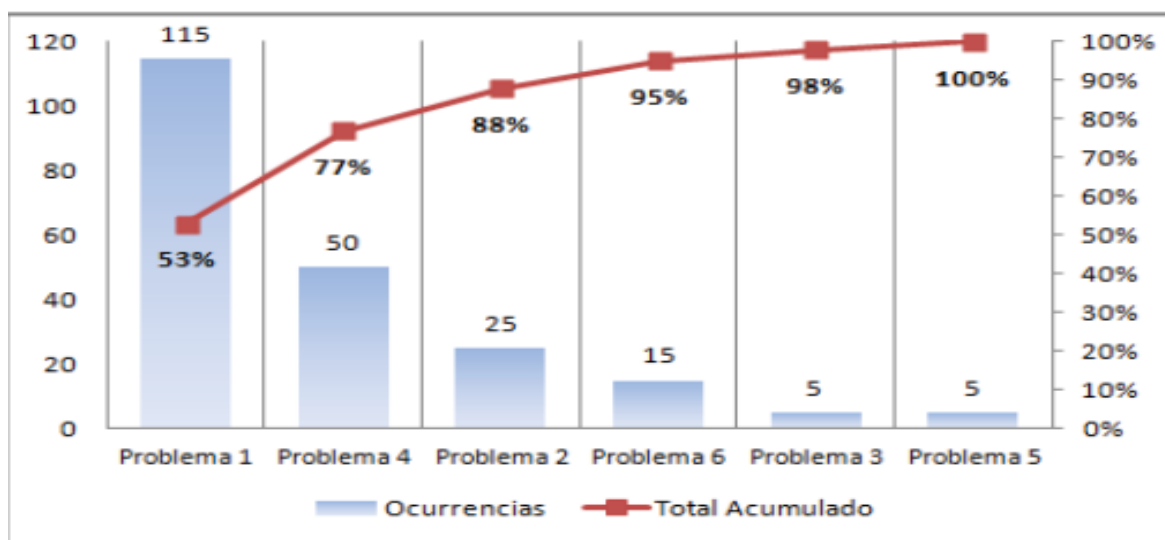
Es un tipo gráfica de dos dimensiones que se construye listando las causas de un problema en el eje horizontal, empezando por la izquierda para colocar a aquellas que tienen un mayor efecto

sobre el problema, de manera que vayan disminuyendo en orden de magnitud. El eje vertical se dibuja en ambos lados del diagrama: el lado izquierdo representa la magnitud del efecto provocado por las causas, mientras que el lado derecho refleja el porcentaje acumulado de efecto de las causas, empezando por la de mayor magnitud. (IONATHAN & LOURDES, 2014, pág. 19)

La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total. El nombre del principio se determinó en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1843-1923). (Pulido & Salazar, 2009, pág. 140)

**Figura 8**

**DIAGRAMAS DE PARETO**



Fuente El Dibujo y la Expresión Gráfica como Herramientas Fundamentales en la Ingeniería Industrial (Duarte, 2014, página 110)

#### **2.2.4.2.1 Estratificación**

La estratificación es una poderosa estrategia de búsqueda que facilita entender cómo influyen los diversos factores o variantes que intervienen en una situación problemática, su función es analizar problemas, fallas, quejas o datos, clasificándolos o agrupándolos de acuerdo con los factores para resolver los problemas de un proceso. La estratificación recoge la idea del diagrama de Pareto, la generaliza como una estrategia de análisis y búsqueda (Pulido & Salazar, 2009, pág. 144)

#### **2.2.4.3 Análisis de modos efectos y fallas FMEA**

Se trata de un método estructurado para identificar, calcular y evaluar el riesgo de posibles fallas en cada etapa de un proceso; identificar cada elemento, montaje o parte del proceso, modos posibles de fallo, causas potenciales y efectos de cada falla. (HASE, ACOBS, & QUILANO, 2009, pág. 319)

Para cada modo de falla se calcula un número de prioridad de riesgo (RPN: Risk Priority Number) es un índice usado para medir el orden de importancia de los elementos. El FMEA sugiere una acción recomendada para eliminar la condición de fallo, estas condiciones incluyen la probabilidad de que suceda el fallo (ocurrencia), el daño que resulte del fallo (gravedad) y la probabilidad de detectar el fallo internamente (detección). Los elementos de más RPN deben ser los primeros en considerarse para mejoramiento. (HASE, ACOBS, & QUILANO, 2009, pág. 319)

Figura 9

**MATRIZ FMEA**

Análisis FMEA															
Proyecto: _____										Fecha: _____ (original)					
Equipo: _____										_____ (revisado)					
Elemento o paso del proceso	Modo fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Gravedad	Causas potenciales (s)	Ocurrencia	Controles actuales	Detección	RPN	Acción recomendada	Responsabilidad y plazo	“Después” → Acción emprendida	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RPN
Prioridad de riesgo total (número):								Prioridad “posterior” de riesgo (número):							

Fuente Libro Administración de Operaciones, Producción y cadena de suministros, capítulo 9 (pág. 318)

Para la elaboración del análisis de modo se necesitan evaluar los criterios de severidad, ocurrencia y detención para la obtención del grado NRP, según (Armando, 2005)

**Tabla 2****CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADO DE SEVERIDAD AMEF**

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la severidad de efectos en un proceso AMEF</b>		
<b>Efecto</b>	<b>Criterios: Severidad del efecto para AMEF</b>	<b>Fila</b>
– peligroso; sin alarma	Puede poner en peligro al operador del ensamblaje. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto con la regulación del gobierno. El incidente ocurrirá sin alarma.	10
– peligroso; con alarma	Puede poner en peligro al operador del ensamblaje. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto con la regulación del gobierno. El incidente ocurrirá con alarma.	9
Muy Arriba	Interrupción importante a la cadena de producción. 100% del producto puede ser desechado. El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción desechada. El producto es operable, pero en un nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser desechado (no se clasifica). El producto es operable, pero un cierto ítem(s) de la comodidad / de la conveniencia es inoperable	6
Bajo	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. 100% del producto puede ser devuelto a trabajar. El producto es operable, pero algunos ítems de la comodidad / de la conveniencia funcionan en un nivel reducido del funcionamiento.	5
Muy Bajo	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción puede ser devuelto a trabajar. La mayoría de los clientes notan el defecto.	4
De menor importancia	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a trabajar en línea solamente hacia fuera-de-estación. Los clientes medios notan el defecto.	3
Muy De menor importancia	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a trabajar en línea solamente en-estación. Los clientes exigentes notan el defecto.	2
Ninguno	El modo de fallo no tiene ningún efecto.	1

Fuente, Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales,  
<https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>

**Tabla 3****CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADA DE OCURRENCIA AMEF**

<b>Vector 4. Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la ocurrencia del incidente en un proceso AMEF</b>			
<b>Probabilidad del incidente</b>	<b>Incidente Tarifas</b>	<b>Pk de C</b>	<b>Fila</b>
Muy Arriba: El incidente es casi inevitable	1 en 2 <sup>3</sup>	< 0,33	10
	1 en 3	0,33 <sup>3</sup>	9
Alto: Asociado generalmente a los procesos similares que han fallado anteriormente	1 en 8	0,51 <sup>3</sup>	8
	1 en 20	0,67 <sup>3</sup>	7
Moderado: Asociado generalmente a los procesos similares previos que han experimentado incidentes ocasionales, pero no en proporciones importantes	1 en 80	0,83 <sup>3</sup>	6
	1 en 400	1,00 <sup>3</sup>	5
	1 de 2000	1,17 <sup>3</sup>	4
Bajo: Los incidentes aislados se asociaron a procesos similares	1 en 15.000	1,33 <sup>3</sup>	3
Muy Bajo: Solamente los incidentes aislados se asocian a procesos casi idénticos	1 en 150.000	1,50 <sup>3</sup>	2
Telecontrol: El incidente es inverosímil	1 en 1.500.000	1,67 <sup>3</sup>	1

Fuente, Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales, (Armando, 2005)

**Tabla 4****CRITERIO DE EVALUACION PARA EL GRADO DE DETENCION AMEF**

<b>Criterios de la evaluación y sistema de graduación sugeridos para la detección de una causa del incidente o del modo de fallo en un proceso AMEF</b>		
<b>Detección</b>	<b>Criterios: Probabilidad de la detección por control de proceso</b>	<b>Fila</b>
Casi Imposible	Ninguno de los controles disponibles detectar incidente Modo o causa	10
Muy Alejado	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alejada de detectar modo o causa de fallo	9
Alejado	Los controles actuales tienen una probabilidad alejada de detectar modo o causa de fallo	8
Muy Bajo	Los controles actuales tienen una probabilidad muy baja de detectar modo o causa de fallo	7
Bajo	Los controles actuales tienen una probabilidad baja de detectar Modo o causa de fallo	6
Moderado	Los controles actuales tienen una probabilidad moderada de detectar modo o causa de fallo	5
Moderadamente Alto	Los controles actuales tienen una probabilidad moderadamente alta de detectar modo o causa de fallo	4
Alto	Los controles actuales tienen una alta probabilidad de detectar modo o causa de fallo	3
Muy Alto	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alta de detectar modo o causa de fallo	2
Casi Seguro	Controles actuales detectan casi seguros al modo o a la causa de fallo. Los controles confiables de la detección se saben con procesos similares.	1

Fuente, Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales,  
<https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>

Mediante la ecuación 1 se obtiene el valor que establece una clasificación de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste proporciona el número de prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla identificado. (Lean Solutions , s.f.)





***Ecuación 1***

$$NPR = Severidad * Ocurrencia * Detección$$

Obtenido el número NPR se identifica el grado de riesgo pictórico según la el cuadro 5.

**Tabla 5**

**GRADO DE FALLA PARA EL NPR**

<b>ALTO RIESGO DE FALLA</b>	<b>500-1000</b>	
<b>RIESGO FALLA MEDIO</b>	125-499	
<b>RIESGO FALLA BAJO</b>	1-124	
<b>NO EXISTE RIESGO</b>	0	

Fuente, Lean Solution, <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>.

**2.2.5. Mejorar**

Mejorar incluye pruebas piloto las cuales son experimentos antes de la implementación completa, dentro de la implementación se debe tener especial atención en comprobar que los cambios seleccionados cumplen realmente con su cometido, ya que ello repercutirá en poder

verificar a pequeña escala que los caminos elegidos son los correctos. (Cuauhtémoc Ignacio Hernández Martínez, 2014, pág. 55)

### **2.2.5.1 Plan de Mejora**

Es un documento que contiene información de un conjunto de medidas de cambio que se toman en una organización para mejorar su rendimiento y potenciar los procesos. Las mejoras deben ser sistemáticas, no improvisadas ni aleatorias, deben planificarse cuidadosamente, llevarse a la práctica y constatar sus efectos. Un plan de mejora debe fijar objetivos tales como; diseñar actuaciones, nombrar responsables de cada actuación, disponer recursos para llevar a efecto la medida, prever un procedimiento o método de trabajo, establecer un calendario y tener previsto un sistema para comprobar si se ha cumplido cada objetivo, es decir, debe establecer indicadores. (Rodrigues, 2021)

El plan de mejora es una técnica que permite analizar de manera constante los procesos que integran una compañía y ofrece una manera iterativa perfeccionarlos, ya que permite aprender de ellos al mismo tiempo que este se analiza. (Rodrigues, 2021)

**Figura 10****PLAN DE MEJORA**

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO OBJETIVOS	TAREAS	RESPONSABLE DE ÁREA	TIEMPOS (INICIO-FIN)	RECURSOS	FINANCIACIÓN	SEGUIMIENTO	RESPONSABLE SEGUIMIENTO
1.1	a) b) c)						
1.2	a) b) c)						

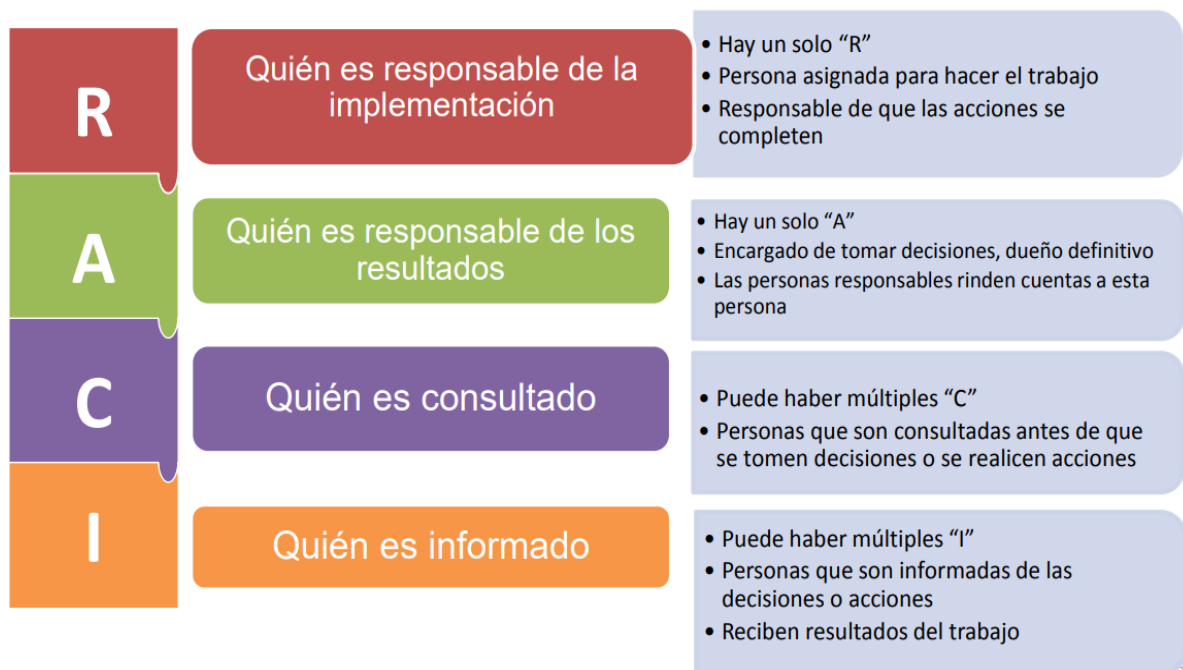
Fuente <https://blog.hubspot.es/sales/plan-de-mejora> (2021)

**2.2.5.2 Matriz RACI**

La matriz RACI; Responsible (Ejecutador), Accountable (responsable), Consulted (Consultado) e informed (Informado), también se conoce como una matriz de asignación de responsabilidad o un gráfico de responsabilidad lineal, ya que mapea tareas entregas y las relaciona con los roles del proyecto, la toma de decisiones y responsabilidades que se asignan a cada etapa.

Tener una matriz de asignación de responsabilidades, simplifica la comunicación, involucra a las personas adecuadas en el momento adecuado y acelera las aprobaciones en la toma de decisiones. También ayuda a reducir el hecho de tener un único punto de falla, donde todo el conocimiento y la responsabilidad de una tarea recaen en una persona y, por lo tanto, se acumula. (Redator Rock Content, 2019)

Figura 11

**ETAPAS DE MATRIZ RACI**

Fuente Irina Motylev (2019), Modelo de asignación de responsabilidades también conocido como RACI, Diapositiva 6, <https://www.cpg.org/globalassets/documents/publications/arc-ebac-2019-project-mgmt-motylev-spanish-v2-kw-final-lam.pdf>

**2.2.6. Controlar**

Se debe garantizar que las variables están dentro de los límites aceptables especificados, crear el proceso de control para el proyecto, de modo que el seguimiento sea duradero sin alteraciones externas, de modo que permita la evolución de la mejora, además de su correcto funcionamiento, dando lugar a la mejora (Cuauhtémoc Ignacio Hernández Martínez, 2014, pág. 56)

### **2.2.6.1. Lista de Verificación**

Son formatos de registro que muestran la regularidad estadística de sus problemas, como los son accidentes de trabajo, fallas en equipos, mantenimiento, fallas en trámites administrativos, atención a clientes, razones de incumplimiento de plazos de entrega, ausentismo, inspección y supervisión de operaciones. Cada hoja de verificación debe llevar la información completa sobre el origen de los datos: fecha, turno, máquina, proceso, quién toma los datos. Una vez obtenidos, se analizan e investigan las causas de su comportamiento. (Pulido H. G., 2010, pág. 188)

### **2.2.6.2. Sistema Poka-Yoke**

Sistema poka-yoke es diseñar sistemas y métodos de trabajo en los procesos a prueba de errores. El término proviene del japonés: poka (error inadvertido), yoke (prevenir).

El enfoque poka-yoke propone atacar los problemas desde su causa y actuar antes de que ocurra el defecto entendiendo su mecánica. La inspección y el monitoreo de procesos debe enfocarse a detectar la regularidad estadística de las fallas, para identificar dónde, cuándo y cómo están ocurriendo las fallas, a fin de enfocar y mejorar las acciones correctivas. (Pulido & Salazar, 2009, pág. 171)

Es un sistema constituye procesos libres de fallos o errores ya que eliminan tareas repetitivas q liberan tiempo a las personas dedicándose a tareas de más valor añadido, no es aceptable cometer un pequeño número de errores, cuando las causas están relacionadas con errores humanos, ya que las personas tienen olvidos y la rutina de trabajo las puede llevar a descuidos, asimismo, reconoce que el ser humano comete errores. Por ello, en algunas situaciones no es suficiente la capacitación ni la experiencia, de esta forma, para aquellos errores más críticos que están influidos por el cansancio de las personas, por estados de ánimo, por la urgencia de la

producción o por la presión, es necesario diseñar sistemas a pruebas de errores que permitan eliminar la posibilidad de falla, que el sistema advierta y prevenga lo más posible antes de que el error tenga consecuencias.

En otras palabras, un sistema poka-yoke hace la inspección en la fuente o causa del error, determinando si existen las condiciones para producir con calidad. En caso de que estas condiciones no existan, el sistema impide que el proceso continúe o por lo menos manda una señal de alerta. (Pulido & Salazar, 2009, pág. 171)

## **2.3 EL MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO**

### **2.3.1 Análisis Costo Beneficio**

El objetivo de este tipo de análisis es la valoración de la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y evaluación posterior, en términos monetarios, de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto, como una herramienta para determinar impactos o consecuencias sociales y económicas. Cuantificar los beneficios en términos monetarios a efecto de establecer relaciones entre ellos y de medirlos en relación con el conjunto de costos. (Mayorga, 2018, págs. 36-37)

Es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión, justifica únicamente si los costos son menores a los beneficios, es decir, si la relación beneficio-costos es mayor a 1. Por lo general, este tipo de análisis implica sumar todos los costes de un proyecto o decisión. (Bello, 2021)

También conocido como Índice Neto de Rentabilidad, este análisis se lleva a cabo con la intención de medir el vínculo que existe entre los costos y los beneficios de una determinada decisión, proyecto o acción. Por lo que posibilita identificar si la inversión será, de hecho, efectiva. Para calcular este índice y analizar la eficiencia de una decisión en términos de rentabilidad se debe dividir el valor actual de los ingresos totales netos, también conocidos como beneficios netos, entre el valor actual de los costos totales o costos de inversión, y su función es la siguiente;  $B/C = VAN / VAC$  (Pereda, s.f.)

Para realizar un análisis costo beneficio se deben de tomar en cuenta tres pasos:

#### **2.3.1.1 Identificación de los costos**

Un proyecto puede requerir costos únicos relacionados con la inversión o los gastos operativos, así como costos recurrentes a lo largo del ciclo de vida del proyecto y más allá. Todos los valores monetarios de los costos que se produzcan a lo largo del tiempo deben calcularse en términos de valor actual para crear estimaciones lo más precisas posible. También hay que tener en cuenta los costos que se pueden producir si se decide no emprender el proyecto o si este fracasa. (Weller, 2016)

#### **2.3.1.2 Identificación de los beneficios**

Los beneficios pueden ir desde las ganancias directas y el aumento de la producción hasta la mejora de la satisfacción de los empleados o la reducción del impacto medioambiental. Al igual que en el caso de los costos, los valores asignados a los beneficios también deben mostrarse en términos de valor actual para obtener un análisis más preciso. (Weller, 2016)

### **2.3.1.3 Comparación de costos y beneficios**

Enumerados todos los costos y beneficios, se puede comparar los totales para ver si los costos superan a los beneficios o viceversa. Al comparar los costos y los beneficios, se debe considerar el tiempo que tardarán los beneficios en devolver los costos, la comprobación sirve para decidir si un proyecto es una buena inversión o si no merece la pena dedicarle tiempo y recursos. (Weller, 2016)

### **2.3.2 Indicadores**

Los indicadores, son una expresión cualitativa o cuantitativa observable que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable, la cual permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo. (Estadística, s.f.)

Los indicadores de productividad se basan en la calidad del producto o servicio que se ofrece, y están muy ligados a la eficiencia de la productividad, y no en la cantidad que se produce por lo cual pueden beneficiar de manera cuantitativa o cualitativa. (workmeter, s.f.)

### **2.3.3 Beneficios cuantitativos y cualitativos**

Los indicadores cualitativos hacen referencia a aquellos que están relacionados con el nivel de calidad que se está proporcionando, en el tipo de servicio o producto que se ofrece a los clientes. En este sentido no se toma en cuenta la cantidad relacionada con este proceso, pero sí la eficiencia y el nivel de productividad. Los indicadores cualitativos medirán cuántas unidades se pueden crear en un determinado espacio de tiempo. (Grupopya, 2016)

El indicador cuantitativo, se refiere a los que tienen en cuenta tanto el tiempo como la cantidad. Estos indicadores valoran dos factores y se hace una media entre ellos: el tiempo que se ha utilizado para llevar a cabo una tarea y la cantidad representativa del trabajo realizado. En este sentido hay que decir que el indicador es aplicable tanto si la empresa fabrica un producto como si ofrece un servicio personalizado a sus clientes.

El resultado de esta media cruzando los dos factores será aquello que ayudará a determinar el nivel de productividad de la empresa. Este tipo de indicador ayuda a obtener un mejor rendimiento de la empresa y a aprovechar sus distintos procesos internos sin sobresaltos. (Grupopya, 2016)

## **2.4 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS**

### **SEMEJANTES**

Según Arcenio David Figueroa Arias (2008, pág. 151) en su proyecto Tendencias Tecnológicas en el control e Instrumentación de calderas, concluye lo siguiente:

- El control automático facilita las tareas que en un principio se hacían manualmente, y actualmente es posible el control de la mayor parte de variables que surgen en el campo industrial.
- La selección de los instrumentos deberá realizarse tomando en cuenta factores como calidad esperada del proceso, eficiencia objetivo, capacidad de la caldera, condiciones de operación, variaciones de carga, etc.,

Según Eduardo Marcelo Ortiz González (2000, pág. 175) concluye en su proyecto del Estudio de Control, Operación e Instrumentación de Calderas de Vapor lo siguiente:

- Operar una caldera implica un peligro inherente y deben ser controlada en forma rigurosa sus variables especialmente agua, vapor y combustible, por tal razón, el personal técnico encargado debe tener conocimiento apropiado de los riesgos que esto implica.
- Los equipos con tecnología antigua y moderna utilizados en el control y seguridad de las calderas son descritos en sus características y secuencias de operación, su aplicación por el personal técnico garantiza un mayor grado de confiabilidad y eficiencia.
- Los métodos para controlar la mezcla de aire-combustible y la instrumentación utilizada de acuerdo con la capacidad de la caldera para conseguir una combustión adecuada es necesario para aprovechar en forma eficiente la energía, conlleva un ahorro económico y mínima contaminación ambiental que actualmente superan las normas permisibles.

Según Cesar Augusto Galvis Rizo (2008, pág. 116) concluye en su tesis de Optimización del sistema de vapor de la empresa INCAUCA S.A lo siguiente:

- El agotamiento de combustibles fósiles como lo son el carbón y el petróleo, hacen que la industria este buscando fuentes de energía renovables como lo es la biomasa de residuos agrícolas, en el caso de los ingenios azucareros el bagazo de caña de azúcar, la disminución significativa en los consumos de carbón que se lograron con este trabajo hace que se cumpla con este objetivo.
- Al consumir menos carbón estamos desechando menos material contaminante hacia nuestro medio ambiente y estamos cumpliendo a cabalidad con las normas ambientales vigentes de nuestro país.

- Se ha alcanzado un ahorro en consumo de carbón de 2.380,96 toneladas de carbón que representan un ahorro de \$ 227.535.383,57, el cual es un ahorro bastante significativo para la empresa.

Según David Eduardo Castillo Beber (2008, pág. 77) en su tesis de Implementación de un Sistema de Calderas para generar energía vapor y reducir costo en la facturación por consumo de energía del hotel Radisson concluye lo siguiente:

- Los costos energéticos ocupan el segundo lugar en importancia para las empresas hoteleras, tras los costos de personal. El consumo de energía supone un gasto que representa un porcentaje muy elevado de los costos generales de los hoteles. En cuanto al consumo eléctrico por usos en un hotel promedio de Guatemala, el estudio señala que en un 42.3% corresponde a iluminación, el 32.5% a climatización y calefacción; el 8.9% a cocinas; el 8.5% a agua caliente y el 7.9% a otros.
- La tendencia al ahorro energético en Guatemala va en crecimiento debido a los altos costos del combustible hoy en día, el precio del petróleo se multiplicó por cinco, en valor nominal, en el período desde el año 2002 al 2007, por lo cual se hace necesario analizar otras alternativas para tratar de reducir los costos por consumo de energía y para calentar el agua del Hotel Radisson. (Beber, 2008)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Para obtener una definición del proceso de estudio, hechos y situaciones sociales, se pretende mediante la observación, la encuesta y su herramienta el cuestionario obtener información que permita conocer el control de las etapas del proceso, tales como mantenimiento de la caldera vapor, ambiente laboral del área de calderas, actividades que desempeñan los operadores de caldera, la situación actual del proceso, mediciones de los indicadores de instrumentación utilizados. En si los procedimientos realizados por el departamento caldera y el uso de los instrumentos de medición en el ámbito laboral, la información brindara datos para la elaboración del diagrama de flujo, buscando tener una visión más amplia del proceso de estudio.

El diagrama de flujo como herramienta de ingeniería pretende recolectar la información necesaria del registro de operaciones e inspecciones, mediante encuestas que se realizaran a los operadores de caldera, quienes tienen el mayor conocimiento práctico y teórico de todos los equipos de instrumentación del proceso que se lleva a cabo en el departamento, para así conocer todos los movimientos a los que se expone el servicio durante el recorrido de planta y cuales procesos son cadena del proceso principal.

El SIPOC, esta herramienta a través de la encuesta a los supervisores, operadores y técnicos mostrará la relación directa entre lo que le piden los clientes; en este caso la demanda de vapor para la planta de Complejo Industrial y lo que obtienen los proveedores; que son quienes proporcionan las entradas. Esta herramienta tiene la finalidad de verificar si se está proporcionando lo que el cliente demanda y si el equipo está tomando la ruta más sencilla en la creación del producto.

### **3.2 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DE PROYECTO**

Los departamentos de producción y mantenimiento filtran la información de paros por falla, falta de materia prima, costos de repuestos y gastos de consumos a través del departamento de instrumentación el cual es el encargado de las metodologías del servicio de caldera, es el encargado de filtrar la información necesaria para la recolección de datos históricos. Por otra parte, mediante gráficos y tablas se pretende obtener la información del servicio técnico brindado, a través de los datos de operadores de caldera, supervisores, técnicos y ayudantes de producción, quienes tienen la información del servicio operacional, técnicas, capacitaciones del personal y relaciones sociales, este respaldo documenta los datos cualitativos y cuantitativos para el proyecto.

Se pretende elaborar tablas donde se tabulen los tiempos de paro operacional, paros por fallas de mantenimiento, costos de consumos y repuestos, datos importantes para la elaboración de diagramas como Ishikawa y pareto; herramientas que fundamentaran el estado actual del proceso.

A partir del planteamiento del problema, se realizará a través de encuesta la recolección de datos para la elaboración del diagrama causa-efecto el cual buscara ordenar de forma concentrada las variables dependientes e independientes que pueden contribuir a una causa que afecte el proceso. Después del levantamiento del diagrama de Ishikawa, se cuenta con una serie de causas probables que generan el problema; sin embargo, este diagrama no identifica cuáles de ellas son más o menos críticas.

La regla de Pareto permitirá mostrar gráficas donde se pueda identificar cuales causas son más o menos críticas y cuales deben ser eliminadas con prioridad por su impacto en el proceso, mediante la estratificación de datos obtenidos de los gráficos se simplificará la información cuantitativa y brindará la información para las siguientes herramientas dentro del proceso mejora.

### **3.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTA EN PRÁCTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO**

Los planes de mejora deben ser sistemáticos, deben planificarse cuidadosamente, llevarse a la práctica y constatar sus efectos. Se pretende realizar un plan de mejora con ayuda de la herramienta de lluvia de ideas en colaboración con del departamento de instrumentación, acerca de las posibles soluciones que se pretenden proponer para mejorar los puntos críticos de instrumentación los cuales repercuten en el proceso de caldera y el servicio brindado a la planta de producción complejo industrial.

A través de reuniones con los departamentos involucrados se pretende formar un plan de soluciones de posibles mejoras, buscando poner en marcha durante el paro preventivo por mantenimiento anual. Este paro tiene una efectividad laboral de enero a febrero, el cual siguiendo la acción recomendada por el análisis de efecto falla FMEA en el plan de mejora a proponer, brindara información de ocurrencia, gravedad y detección en el servicio de caldera, en el mismo se desglosarán los costos, tiempos, mejoras, personal responsable y capacitaciones del personal, esto con la finalidad de mejorar la calidad y productividad del servicio de caldera.

Las reuniones grupales en colaboración de los supervisores de producción, técnicos de instrumentación y operadores del equipo, buscaran el reforzamiento de la solución de mejora a través de la capacitación, indicadores de seguimiento operacional y técnicas de mantenimiento.

### **3.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

A través de un cronograma de trabajo, el cual se desarrollará con el departamento de instrumentación y el cual se pretende poner en práctica durante el tiempo de mantenimiento de planta, buscará realizar la implementación de mejora de los equipos de servicio de caldera, mediante hojas de control, capacitaciones de supervisores y personal de equipos de vapor, reforzando en temas de operacionalidad, mantenimiento y manipulación de combustible.

Mediante la matriz RACI se buscara simplificar las actividades retrogradadas, la duplicidad de tareas, las responsabilidades que cada funcionario tiene conociendo al Ejecutador, el responsable, el consultado y el informado, se tendrá una perspectiva más clara de las responsabilidades de cada funcionario en el proceso, de igual forma conocer que actividades agregan o no valor al proceso, esta matriz reflejara en que puntos están los cuellos de botella dentro de las delegación de responsabilidades, esto en la busca de brindar posibles mejoras para los procesos.

### **3.5 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS**

Se pretende realizar una hoja de verificación para el departamento de producción en el cual se desglose el consumo, maquina, fecha, equipo, densidad, presión y temperatura, de los equipos

de vapor, de igual manera una hoja de verificación para el departamento de mantenimiento en el cual se muestren las irregularidades del equipo, fallas, inspección y supervisión.

Mediante la verificación e implementación del sistema poka yoke, herramienta que brindara mejoras para la puesta en marcha, en actividades que busquen la eliminación de tareas repetitivas, errores humanos por descuidos del proceso, fluidez de procesos. A través de indicadores clave, operacionales de consumo y demanda, se tendrá un control de los equipos de instrumentación, los cuales tienen como objetivo servir de herramienta de medición, control de variables a las que los equipos se enfrentan y a su vez brinden información de su estado actual de operación.

## **CAPÍTULO IV**

### **LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS**

## **4.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS**

### **4.1.1. Procesos de instrumentación planta Fertica S.A**

La empresa cuenta con una planta de formulación química, la cual se encarga de mezclar materias primas para obtener un producto final, para realizar este proceso se necesitan maquinas encargadas de bombear líquidos, vapor, combustible, mezcladoras encargadas de disolver y de absorber minerales de la materia prima.

Para la planta complejo la instrumentación forma parte de sus indicadores operativos en las áreas de trabajo, ya que son los encargados mediante puntos de calibración, de ser indicadores de seguimiento para que los operadores de las maquinarias obtengan puntos de referencia, como parámetro de revisión de niveles, presión, temperatura, peso entre otros instrumentos de medición que facilitan la operación del equipo.

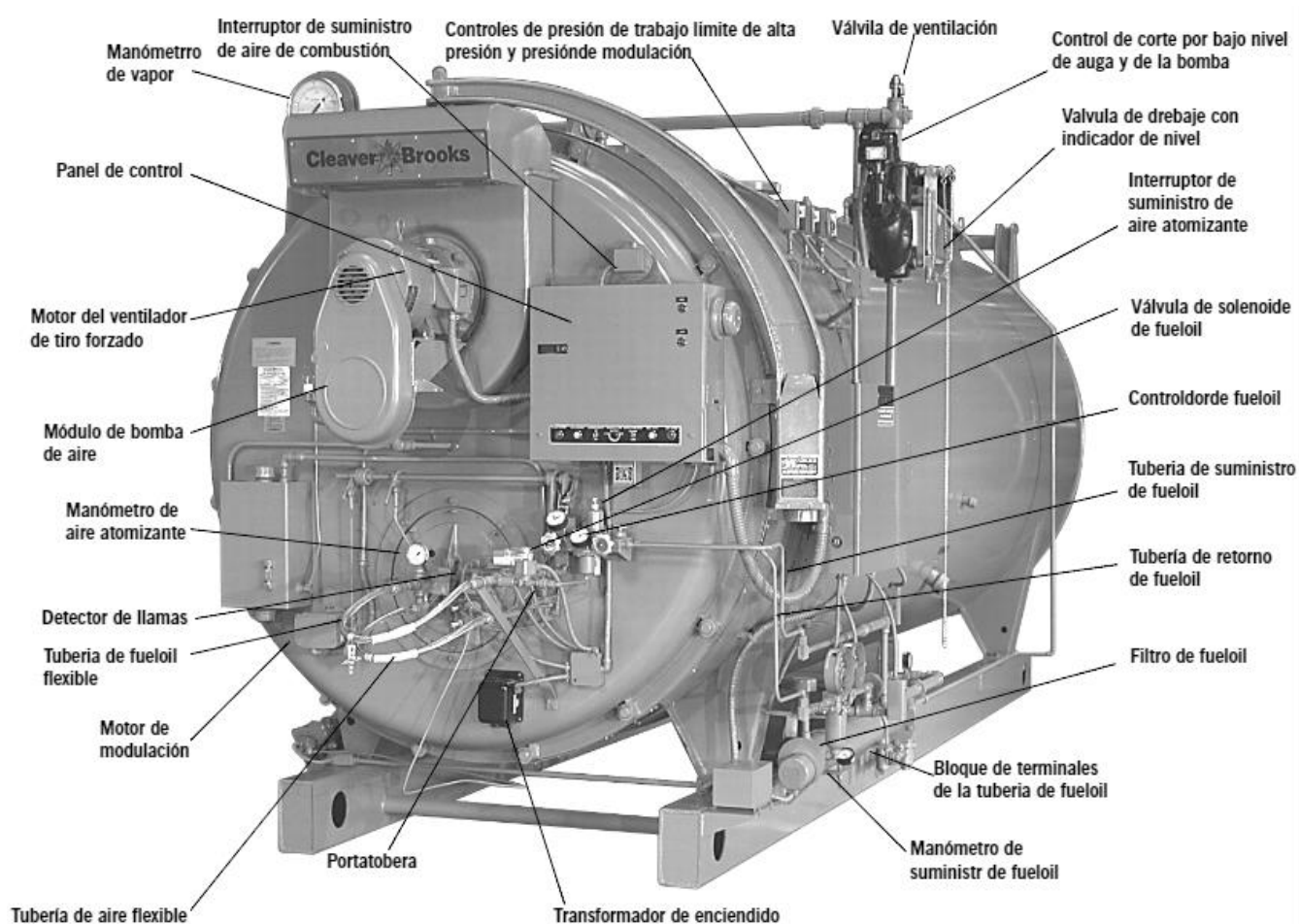
Los instrumentos de medición son fundamentales para que los operadores puedan desempeñar correctamente en sus áreas de trabajo, con la información brindada por cada instrumento se obtienen temperaturas óptimas para cada operación, presiones estables de los sistemas de inyección, seguridad en utilización de máquinas, como lo son; los sensores infrarrojos, microswitch de palanca, actuadores, electroválvulas y sensores ultrasónicos de nivel. Estos instrumentos están presentes en máquinas como la caldera, quemador, Amoniador, reactores, bombas, romanas y calentadores.

El departamento de instrumentación es el encargado de verificación mediante calibraciones y mantenimiento preventivo, la operacionalidad de los instrumentos de medición de estos equipos.

Los indicadores analógicos y digitales son los encargados de reflejar mediciones para identificar rangos de operación, crear parámetros de trabajo y procesos estables mediante el monitoreo, los equipos digitales pertenecen a la nueva era de la programación electrónica, donde a través de señales sensitivas de diferentes tipos de sensores conmutan estos códigos binarios a datos reales que se pueden monitorear en números, escalas, graficas o luces indicadoras de fallas, por otra parte los sistemas análogos son equipos mecánicos que mediante calibraciones de técnicos especialistas se obtienen rangos de parametrización para los sistemas de control, estos instrumentos análogos son los manómetros de presión, termocuplas, termómetros, contadores de flujo, actuadores neumáticos.

Algunos instrumentos de medición digitales son; el programador es el controlador programado para diferentes funciones automáticas y manuales, el temporizador quien control los sensores infrarrojos de seguridad, el amplificador de señales de control, los controladores de temperatura quienes gobiernan las señales de control de calentadores.

Figura 12

**CALDERA CLEAVER BROOKS**

Fuente Manual de Operación, Servicio y Repuestos 15-800 hp, Gas, Aceite o Combinación, CLEAVER BROOKS modelo CB, <https://docplayer.es/79319877-Modelo-cb-caldera-tipo-paquete.html>

La figura anterior muestra los instrumentos de medición digitales y analógicos, que tiene la caldera de vapor Cleaver Brooks.

El departamento de producción cuenta con dos modelos de este tipo de caldera, la primera tiene una capacidad de 800 hp actualmente operativa, la segunda es de 600 hp fuera de servicio, únicamente para repuestos. La caldera operativa cuenta con una capacidad de 190 libras por pulgada cuadrada, la caldera tiene instrumentos de válvulas de seguridad previamente calibrados por el departamento de instrumentación en tres parámetros de disparo 160 psi , 170 psi y 180 psi, esto en caso de que el sistema de presostato electromecánico el cual brinda los parámetros de calibración para el corte (150 psi) y arranque(80 psi) de la caldera, presentara una falla en este instrumento, por seguridad la caldera se dispara por alta presión según las válvulas de seguridad.

**Tabla 6**

***INSTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL DE LA PLANTA FERTICA S.A.***

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>APLICACIÓN</b>
<b>Temporizador 30 se modulo para cb780</b>	Brinda los tiempos de programación de respuesta de los sensores.
<b>Amplificador de señal cb780 o cb 784</b>	En cargado en función relevar mediante contactos solidos las repuestas de comunicación.
<b>Programadores cb-780</b>	Cerebro encargado de controlar todas las funciones de la caldera a través de permisos brindados por equipos de seguridad.
<b>Sensor infrarojo</b>	Indicador de llama, sensor encargado realizar pasos de verificación de recamara en inicio de arranque y de apagado de la caldera.
<b>Válvula solenoide p/gas 1/2 npt 120v</b>	Apertura y cierre de gas en repuesta a la señal del sensor de llama.
<b>Válvula solenoide p/Aire 1/2 npt 120v</b>	Apertura y cierre de aire en sistema de inyección con bunker al quemador.
<b>Electrodo ignicion 400-800hp</b>	Encargado de dar la chispa de ignición en conjunto con el gas y el aire.
<b>Controlador de temperatura</b>	Indicador de temperatura de entrada de bunker al sistema, calentador eléctrico y de vapor.
<b>Termocupla</b>	Encargadas de emitir las señales para los controladores de temperatura

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>APLICACIÓN</b>
<b>Termómetro</b>	Indicador de temperatura de calentadores, bunker, bombas de inyección de bunker.
<b>Manometro</b>	Indicadores de presión, situados en el manual de control, calentador, válvula reguladora, aire, bunker, gas, actuador neumático y bomba de inyección de bunker.
<b>Controlador mcdonnell</b>	Equipos electroneumáticos, con un control interno de magnetismo por nivel de agua, es el encargado de satisfacer las necesidades de consumo agua de la caldera, ya que se encarga de emitir las señales de alerta a los equipos en serie al control.
<b>Actuador neumatico</b>	Válvula neumática que abre y cierra entrada de agua a la caldera en respuesta a las señales del McDonnell
<b>Electrovalvula de 5 vias</b>	Realiza los pasos de apertura y cierre del actuador neumático.
<b>Microswitch pcz 62 rm</b>	Sensor de puerta de entrada del cañón de combustión de la caldera si está abierta la caldera entra en estado de bloqueo.
<b>Valvula solenoide p/bunker 1/2 npt 120v</b>	Apertura y cierra de combustible al sistema de inyección al quemador.
<b>Valvula reguladora</b>	Reguladora encargada de minimizar la presión de entrada al manifold de control.
<b>Manifull de control</b>	Válvula manual de control de entrada y retorno de bunker para el quemador de la caldera
<b>Celdas de carga</b>	Célula de carga encargada de convertir lo tangible en datos, mediante información enviada al totalizador.
<b>Contadores de flujo</b>	Equipo electrónico que mide la cantidad de flujo que se inyecta en un determinado sistema.
<b>Indicador de Nivel Ultrasonico</b>	Equipo electrónico que mide la altura del nivel de los tanques de almacenamiento, a través de ondas ultrasónicas.

Fuente, Elaboración propia

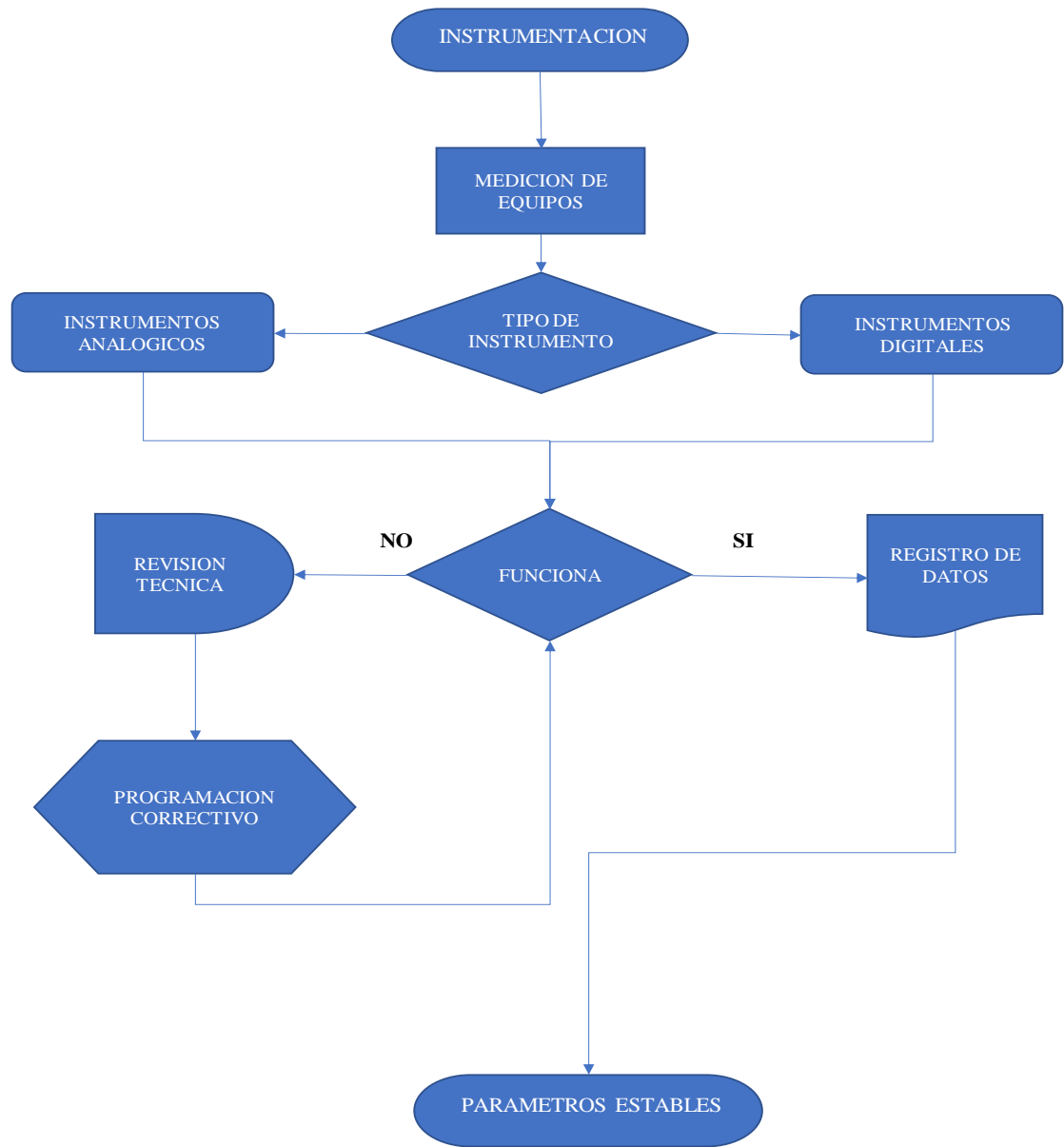
La tabla anterior muestra los equipos de instrumentación y medición que se utilizan en la planta de complejo Industrial en los distintos tipos de área de trabajo.

### 4.1.2 Diagrama de flujo

Mediante esta herramienta se brinda la información del flujo del proceso de los equipos de instrumentación de la planta complejo.

**Gráfico 1**

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE INSTRUMENTACIÓN**



Fuente, Elaboración propia.

### 4.1.3 Diagrama SIPOC

A través de la herramienta SIPOC se analizan los pasos que se relacionan con los servicios de instrumentación.

**Gráfico 2**

***SIPOC EQUIPOS DE INSTRUMENTACION***



Fuente, Elaboración propia.

## 4.2 MUESTRA DE LA MEDICION DE LOS PROCESOS

### 4.2.1 Control de mediciones

Mediciones de control que llevan a cabo los departamentos involucrados y mediante el cual se obtiene datos para los registros de las situaciones cotidianas e historial de comportamiento de los equipos de instrumentación que se utilizan en la planta complejo.

Figura 13

### MACHOTE DE REPORTE INDICADORES DE INSTRUMENTACION

Fuente, Departamento de Caldera, Fertica S.A

FECHA		PLANTA CALDERAS																					
Martes: 17/5/2022		ALIMENTACION BUNKER								ALIMENTACION DE AGUA				NIVELES TANQUES REACTIVOS				DEREADOR			TANQUE-CONDEN		NIVEL TANQUE
HORA	CB#1	CB#2	CB#3	CB#2	CB#3	CB#4	CB#4	BN1	BN2	BN3	BN4	CBN1	CBN2	CBN3	CBN4	TEMP	PRES	BOMB	TEMP	PRES	BUNKER		
	ENTRADA	RETORNO	ENTRADA	RETORNO	ENTRADA	RETORNO	ENTRADA	RETORNO	PSIG	PSIG	PSIG	PSIG	PULG	PULG	PULG	PULG	°F	PSIG	PSIG	°F	PSIG		
36:00	122		90	90				90	50			20.5				180	19	200			1543		
37:00	122		90	90				90	62			20				180	17	200			1525		
38:00	126		90	90				90	76			19.5				180	15	200			1511		
39:00	128		90	90				90	94			19				180	13	200			1475		
10:00	128		90	90				90	98			18.5				185	11	200			1461		
11:00	124		90	90				90	94			18				185	9	200			Mala		
12:00	124		90	90				90	92			17.5				190	7	200			" "		
13:00	124		90	90				90	90			17				190	1100	200			" "		
14:00	124		90	90				90	85			16.5				190	34	195			" "		
15:00	124		90	90				90	85			16.0				190	32	195			1377		
16:00	124		90	90				90	80			15.5				190	30	195			1344		
17:00	124		90	90				90	80			15.0				190	28	195			1367		
18:00	122		90	90				90	78			14.5				190	26	195			1358		
19:00	122		90	90				90	78			14.5				190	24	195			1348		
20:00	122		90	90				90	65			14.0				190	21	195			1339		
21:00	122		90	90				90	60			13.5				190	18	195			1330		
22:00	120		90	90				90	50			13				195	16	195			1325		
23:00	120		90	90				90	50			12.5				195	14	195			1320		
30:00	120		90	90				90	50			12				195	12	195			1314		
31:00	120		90	90				90	55			11.5				195	10	195			1306		
32:00	118		90	90				90	55			11				195	8	195			1298		
33:00	118		90	90				90	60			10.5				195	6	195			1290		
34:00	118		90	90				90	60			10				190	4	195			1283		
35:00	118		90	90				90	50			9				190	2	195			1275		

Machote de control de entradas al sistema de caldera, los operarios son los encargados de llevar el registro a través del monitoreo por hora, según los indicadores de presión y temperatura que la maquina posee.

Figura 14

## MACHOTE CONTROL OPERACIONAL, REIGISTRO DE INSTRUMENTOS


 Departamento de Producción  
**Martes. 17/5/2022 CONTROL CALDERAS**  
**PLANTA CALDERAS**  
 Tanques H<sub>2</sub>O

HORA	CALDERA N° 1								CALDERA N° 2								
	Quemador			Vapor	Combustible		Cámara		Quemador			Vapor	Combustible		Cámara	Vapor Salida	
	Presión Aceite Psig.	Presión Aceite Psig.	Presión Aceite Psig.	Presión Psig.	Temp. °C	Presión Aceite Psig.	Temp. °C	Presión Aceite Psig.	Presión Aceite Psig.	Presión Aceite Psig.	Presión Psig.	Temp. °C	Presión Psig.	Temp. °C	LB/HR	Pres. Psig.	
06:00	32	32	15	100	108	87	218										
07:00	32	32	15	100	106	86	256										5.6
08:00	32	32	15	105	107	87	261										
09:00	32	32	15	100	100	84	267										
10:00	32	32	15	95	99	83	264										
11:00	32	32	15	135	105	85	285										
12:00	32	32	15	95	100	84	230										
13:00	32	32	15	130	110	87	278										
14:00	32	32	15	110	108	86	237										6.8
15:00	32	32	15	130	104	84	274										
16:00	32	32	15	120	107	83	258										
17:00	32	32	15	120	110	86	271										
18:00	32	32	15	100	104	85	224										
19:00	32	32	15	135	102	87	282										
20:00	32	32	15	110	106	83	232										
21:00	32	32	15	120	108	84	237										
22:00	32	32	15	100	100	86	240										
23:00	32	32	15	140	100	82	246										
00:00	32	32	15	95	104	86	250										
01:00	32	32	15	95	100	84	246										
02:00	32	32	15	140	105	90	250										
03:00	32	32	15	130	100	90	255										
04:00	32	32	15	100	100	86	248										
05:00	32	32	15	95	92	80	245										

Fuente, Departamento de Caldera Fertica S.A.

Machote de registro utilizado para llevar control de indicadores de la operabilidad de la caldera, en este documento se llevan los datos de la funcionalidad de la caldera por hora.

#### 4.2.1.1 Indicadores de operación

Algunos equipos de medición analógicos y digitales utilizadas en planta complejo como indicadores de control para los operadores, quienes se encargan de registrar los datos en operación.

**Figura 15**

#### *TERMÓMETRO ANALÓGICO Y DIGITAL PLANTA COMPLEJO*



Fuente, Departamento de Producción, Planta Complejo Fertica S.A.

Termómetro analógico articulado encargado de censar los gases de operación, y los controladores de temperatura digitales en puesto de trabajo para monitores de operadores.

Los instrumentistas son los encargados de calibrar los equipos analógicos y digitales para cada función desempeñada.

**Figura 16*****MANÓMETROS DE CONTROL EN BOMBAS DE INYECCIÓN***

Fuente, Departamento de Caldera, Fertica S.A.


Manómetros analógicos de control, donde los operadores observan la presión de inyección y succión de bunker, instrumentos de medición utilizado para registro y control diario de presión requerida por demanda de consumibles de planta.

**4.2.2.2 Departamento de Mantenimiento en Instrumentación**

El departamento de instrumentación es el encargado de llevar el control de consumos de repuestos y calibraciones de los equipos de medición utilizados en planta, por lo tanto, se muestra el plan de mantenimiento en intervención preventiva y correctiva realizado en los equipos de instrumentación en años anteriores.

Figura 17


## PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2020

 <b>DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO PARO 2020</b>			
<b>Equipos</b>	<b>Horas Planificadas</b>	<b>Horas Reales</b>	<b>Especialidad</b>
<b>Bascula de Pesaje</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	
Revisión y cambio de pistones	24	24	Instrumentación
Revisión de compuertas	24	24	Instrumentación
Revisión de solenoide	12	12	Instrumentación
<b>AVANCE</b>	<b>100%</b>		
<b>Quemador</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	
Mantenimiento general	48	48	Instrumentación
<b>AVANCE</b>	<b>100%</b>		
<b>Caldera CB1</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	
Revisión de instrumentos de temperatura de equipos	12	12	Instrumentación
Revisión de cableado en caldera	12	12	Instrumentación
Cambiar roles del motor de soplar en calderas	8	8	Instrumentación
Revisión de aspas del soplador en calderas	8	8	Instrumentación
Revisión de sello de manífull en calderas	8	8	Instrumentación
Cambio de vidrios en deriador en calderas	8	8	Instrumentación
Revisión de valvulas de seguridad calderas	8	8	Instrumentación
<b>AVANCE</b>	<b>100%</b>		

Fuente, Departamento de Mantenimiento Fertica S.A.

En la figura anterior se muestra el plan de mantenimiento preventivo realizado en las máquinas que poseen equipos de instrumentación donde se observa que no se desglosa un mantenimiento por instrumento en específico, sino más bien una revisión general de la máquina. Este plan de mantenimiento preventivo se realiza en los paros de planta, el cual tiene un tiempo para realizarse de un mes con la ayuda del personal técnico.

**Tabla7****FALLA CORRECTIVA EQUIPOS DE INSTRUMENTACION EN MAQUINAS DE PLANTA 2021**

 <b>PLANTA COMPLEJO PRODUCCION 2021</b>						<b>TOTAL, DE</b>
						<b><u>HORAS FALLAS</u></b>
<b>AMONIADOR</b>	<b>REACTOR</b>	<b>CALDERA</b>	<b>QUEMADOR</b>	<b>CALENTADOR</b>	<b>BOMBAS</b>	<b><u>POR</u></b>
						<b><u>INSTRUMENTOS</u></b>
<b>1</b>	1,2	1,95	9,4	2	1,17	<b>16,72</b>
<b>0,3</b>	5,6	3,45	1,92	1,2	0	<b>12,47</b>
<b>0,65</b>	6,8	5	0	2,3	2,2	<b>16,95</b>
<b>0,9</b>	9,5	2,66	1,5	1,5	2,74	<b>18,8</b>
<b>6,52</b>	4,35	3,4	0	0,4	0	<b>14,67</b>
<b>8,4</b>	2,67	5,9	0	6,5	2,67	<b>26,14</b>
<b>6,9</b>	8,5	8,2	2,3	5,2	3,24	<b>34,34</b>
<b>4,33</b>	4,66	6,3	0,68	3,1	1,35	<b>20,42</b>

Fuente, Departamento de producción Fertica S.A.

La tabla anterior muestra el tipo de reporte elaborado por el departamento de producción, en el cual se acumulan por mes la cantidad de horas que una maquina estuvo detenida por falla en equipos de instrumentación, sin embargo no se especifica que tipo de instrumento es el que presento problemas, ya que no existe información cruzada entre los departamentos de instrumentación y producción.

Este tipo de informe al ser de producción solo refleja la cantidad de horas mensual que la planta estuvo detenida por fallas correctivas en instrumentos.

El departamento de instrumentación no lleva ningún control cruzado con este tipo de reportes, sin embargo, tiene un control de la cantidad de repuestos suministrados a planta durante paros preventivos y correctivos, el cual se muestra en la siguiente tabulación de datos.

**Tabla 8****CONSUMOS DE RESPUESTOS DE INSTRUMENTACION EN EL AÑO 2021**

 REPUESTO	COSTO UNITARIO	ENTREGADOS POR BODEGA	COSTO TOTAL
Valvula solenoide p/bunker 1/2 npt 120v	€300 777,23	2	€601 554,46
Pantalla para programador	€321 310,00	1	€321 310,00
Temporizador 30 se modulo para cb780	€70 377,05	6	€422 262,30
Amplificador de señal cb780 o cb 784	€319 468,50	6	€1 916 811,00
Programador cb-780	€2 179 320,00	4	€8 717 280,00
Celda de carga 5000 lbs	€286 159,00	4	€1 144 636,00
Tubo visor 5/8	€461 194,00	2	€922 388,00
Sensor infrarojo 320	€288 864,00	12	€3 466 368,00
Empaque de alta temperatura 5/8	€140 319,00	24	€3 367 656,00
Caja sumadora rice lake jb4ss tuffseal a	€170 500,00	1	€170 500,00
Electrodo ignicion 400-800hp	€107 532,08	2	€215 064,16
Microswitch pcz 62 rm completo	€51 087,64	2	€102 175,28
			<b>€21 368 005,20</b>

Fuente, Departamento de instrumentación Fertica S.A.

El departamento de instrumentación se encarga de llevar un control de salida de repuestos y costos de que se utilizan en la planta complejo, en el cual se observa cuales tienen mayor demanda de consumo por falla correctivas.

### 4.3 ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DETECTADOS

Mediante las siguientes herramientas se procede analizar las causas raíz de la problemática de estudio.

#### 4.3.1 Análisis de Pareto

En el siguiente análisis se pretende mostrar a través del gráfico de Pareto, los datos de las maquinarias que obtuvieron más recurrencia a fallo por equipos de instrumentación en el año 2021, a través de la tabulación de datos del reporte de producción que se muestra en la tabla 7, se pretende identificar qué tipo de instrumentos de planta presenta mayor incidencia de fallos correctivos, ya que el reporte únicamente identifica la maquinaria por hora y no el instrumento que presentó la falla, se elabora la siguiente tabla de datos por horas anuales de equipo en busca de analizar las causas potenciales de los correctivos.

**Tabla 9**

***HORAS ANUAL POR FALLA EN EQUIPOS DE INSTRUMENTACION DE MAQUINAS  
PLANTA 2021***

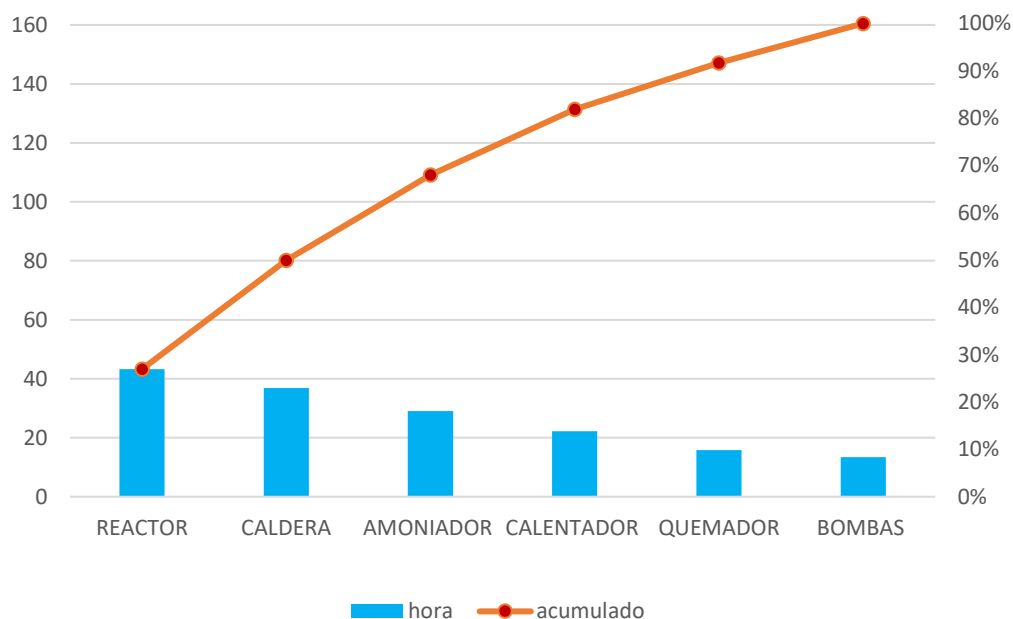
<b>EQUIPO</b>	<b>HORA</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>ACUMULADO</b>
<b>Reactor</b>	43,28	27%	27%
<b>Caldera</b>	36,86	23%	50%
<b>Amoniador</b>	29	18%	68%
<b>Calentador</b>	22,2	14%	82%
<b>Quemador</b>	15,8	10%	92%
<b>Bombas</b>	13,37	8%	100%

Fuente, Elaboración propia.

La tabla anterior muestra las horas anuales por maquinaria que presentaron fallos correctivos en los equipos de medición y control del departamento de instrumentación, la información recolectada se utilizara para la elaboración del diagrama de pareto.

**Gráfico 3**

***PARETO DE PAROS DE MAQUINARIA POR FALLA EN INSTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL 2021***



Fuente, Elaboración propia.

La grafica anterior muestra que existe una tendencia del 68% de fallas anuales que provienen de los equipos de instrumentacion utilizados en maquinas como el amoniador, caldera y reactores, los intrumentos de medicion utilizados en estos equipos son los de mayor recurrencia a fallas correctivas.

Conociendo las maquinas con tedencia a fallos correctivos en planta, se pretende identificar que intrumentos de medicion y control son los que mas generan gasto para el departamento de

mantenimiento, la finalidad es conocer que equipos de instrumentacion están siendo mayormente afectados, por lo cual se generan mayores correctivos reflejados en horas por paros de maquinas de planta.

La siguiente tabulacion de datos se obtiene de la simplificacion de la tabla 8, en la que se muestran los equipos de medicion y control del departamento de intrumentacion que son mayormente consumidos o tienen mayor recurrencia d ordenes de salida.

La informacion busca identificar cuales intrumentos son los que se están instalando con mayor frecuencia en las maquinas de planta.

**Tabla 10**

***INTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL DE MAYOR CONSUMO EN EL AÑO 2021***

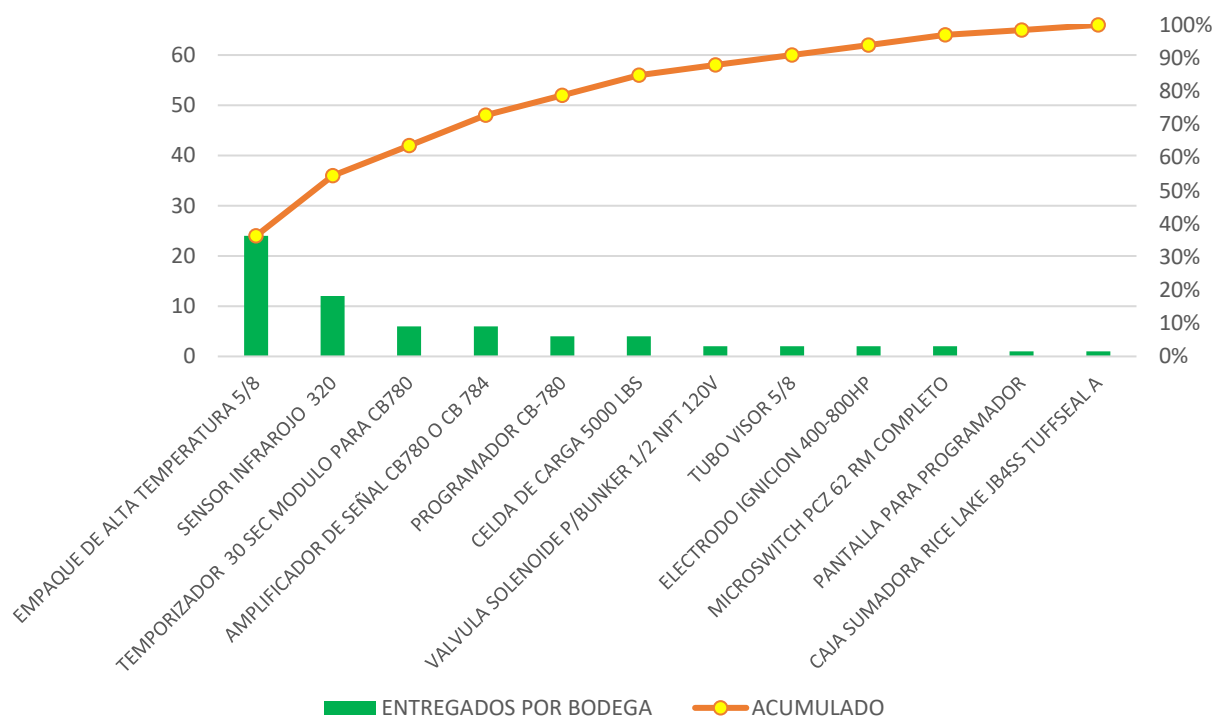
<b>REPUESTO</b>	<b>ENTREGADOS POR BODEGA</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>ACUMULADO</b>
<b>Empaque de alta temperatura 5/8</b>	24	36%	36%
<b>Sensor infrarrojo 320</b>	12	18%	55%
<b>Temporizador 30 sec modulo para cb780</b>	6	9%	64%
<b>Amplificador de señal cb780 o cb 784</b>	6	9%	73%
<b>Programador cb-780</b>	4	6%	79%
<b>Celda de carga 5000 lbs</b>	4	6%	85%
<b>Válvula solenoide p/bunker 1/2 npt 120v</b>	2	3%	88%
<b>Tubo visor 5/8</b>	2	3%	91%
<b>Electrodo ignición 400-800hp</b>	2	3%	94%
<b>Microswitch pcz 62 rm completo</b>	2	3%	97%
<b>Pantalla para programador</b>	1	2%	98%
<b>Caja sumadora rice lake jb4ss tuffseal a</b>	1	2%	100%

Fuente, Elaboración propia.

La tabla anterior muestra la información de los repuestos de instrumentación que tienen mayor salida para el año 2021 según el departamento de bodega de repuestos, en el cual se refleja la cantidad despachada por equipo, la información se utilizara para la elaboración del análisis de pareto.

**Gráfico 4**

***PARETO DE CONSUMO DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PARA EL AÑO 2021***



La grafica anterior muestra los repuestos más recurrentes de consumo por el departamento de instrumentación para el año2021, los cuales según la regla 80/20 reflejan que existe un 79% de acumulación en los repuestos de mayor demanda de bodega, los cuales pertenecen a empaques de temperatura, sensor infrarrojo, temporizador, amplificador y programador.

Según lo mostrado en el gráfico 3 se puede tener una visión de los equipos de instrumentación que tienen mayor demanda, ya sea por causas correctivas o preventivas.

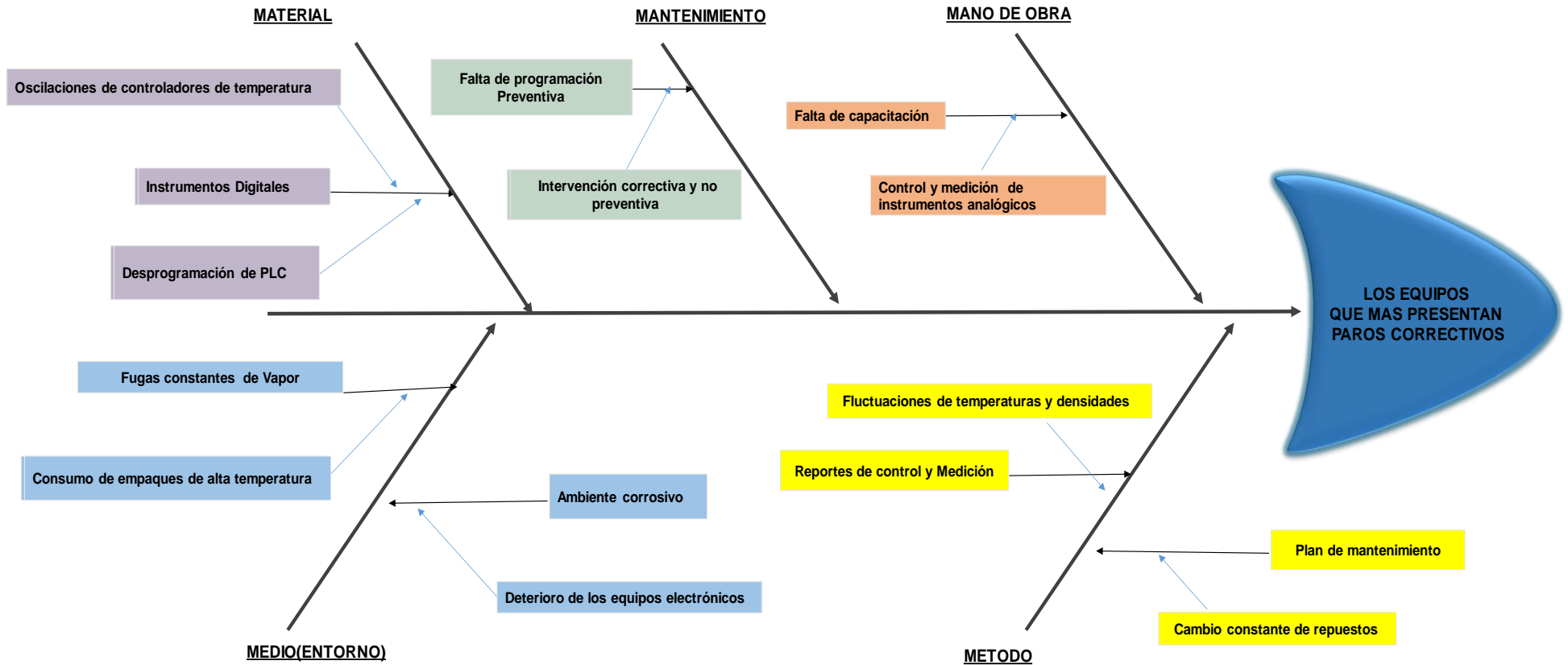
En busca de la identificación de las causas potenciales que afectan los datos recolectados en el estudio del gráfico 3, se pretende mostrar un estudio mediante la herramienta de Ishikawa con el propósito de identificar las causantes raíz de las fallas correctivas de instrumentación en las máquinas de planta.

#### **4.3.2 Diagrama de Ishikawa**

El diseño del diagrama de Ishikawa buscara las causas raíz al problema que genera posibles fallas correctivas reflejadas en horas de paro de máquina según los equipos de instrumentación utilizados en los mismos.

Gráfico 5

**DIAGRAMA DE ISHIKAWA FALLAS CORRECTIVAS EN EQUIPOS DE INSTRUMENTACION**



Fuente, Elaboración propia.

Para la simplificación de ramas y encontrar la causa raíz del problema se realiza una tabla de análisis de criterios con colaboración de los supervisores de mantenimiento y producción, la cual pretende encontrar cuales ramas son las que se deben intervenir para encontrar posibles soluciones, para obtener datos cuantitativos se elabora una escala de evaluación que se muestra en la siguiente tabla, la cual brindara criterios para simplificación de causas.

**Tabla11*****ESCALA DE CALIFICACION***

<b>Menor beneficio</b>	<b>1</b>
<b>Intermedio</b>	<b>2</b>
<b>Mayor beneficio</b>	<b>3</b>

Fuente, Estrategia y Control con Iván Martínez Lima,  
<https://www.youtube.com/watch?v=emaonahQ21I>

Tabla 12

**SIMPLIFICACION DE CAUSAS RAIZ DEL PROBLEMA**

Causas	Criterios						TOTAL
	Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
<b>Mano de obra</b>							
Falta de capacitación en control y medición de instrumentos analógicos.	2	1	3	1	3	3	13
<b>Método</b>							
Plan de mantenimiento debido a cambio constante de repuestos	3	3	2	2	3	3	16
Reportes de control y medición por fluctuaciones en temperaturas y densidades	3	3	3	3	3	2	17
<b>Mantenimiento</b>							
Falta de programación preventiva por recurrencia en intervención correctiva y no preventiva.	3	3	3	3	3	3	18
<b>Material</b>							
<b>Instrumentos digitales</b>							
Oscilación de controladores de temperatura	3	3	2	3	3	1	15
Desprogramación de PLC	3	3	3	3	3	3	18
<b>Medio Entorno</b>							
Fugas constantes de vapor que genera alto consumo de empaques de alta temperatura.	1	2	2	3	3	1	12
Ambiente corrosivo que deteriora los equipos electrónicos	3	3	3	3	3	3	18

Fuente, Elaboración propia.

Según el análisis de causas en reunión con supervisores y gerencia operacional los datos presentados por la tabla 12 arroja 3 causas potenciales con mayor puntaje las cuales serían; causa por mantenimiento( falta de programación preventiva por recurrencia en intervención correctiva y no preventiva), causa por material (desprogramación de PLC, esta causa además representa el 79% de fallas acumuladas según el pareto de consumo de equipos de instrumentación para el año 2021, presentado en el grafico 4) y causa por medio entorno ( ambiente corrosivo que deteriora los equipos electrónicos)

#### **4.3.3 Análisis AMEF**

El análisis modo efecto falla pretende detectar los principales riesgos en los equipos de instrumentación que tienen mayor frecuencia de fallas correctivas según el análisis del grafico 4.

Tabla 13

## ANALISIS AMEF DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION CON MAYOR FRECUENCIA A FALLA CORRECTIVA

EQUIPO O PROCESO	Instrumento Analizar	Descripción	Modo de fallo	Efecto Potencial de Falla	S	O	D	NPR = S*O*D	Acciones propuestas	Responsable o Encargado
					1 a 10	1 a 10	1 a 10	1 a 1000		
Equipos digitales de instrumentación	Empaque de alta temperatura a 5/8	Utilizado en visores verticales de niveles.	Deterioro por temperatura.	Fugas de líquidos y gases.	10	10	9	900	Mejorar la aplicación de vapor en los equipos, evitando el desperdicio para regular los arranques por demanda de vapor innecesarios.	Departamento de Instrumentación
	Sensor infrarrojo 320	Indicador de llama para arranque y apagado.	Película de obstrucción de bunker en ojo sensor.	Fallas de arranque y paro.	10	9	6	540	Colocar un cobertor cilíndrico al ojo del sensor, para evitar el contacto con residuos de bunker	
	Temporizador 30 sec modulo para cb780	Brinda los tiempos de programación de respuesta de los sensores.	Problemas de comunicación	Perdida de programación, corto circuitos electrónicos por falsos contactos.	9	8	7	504	Reubicar el panel de control donde no se vea afectado por la vibración de la maquina y las condiciones corrosivas del ambiente.	

<b>EQUIPO O PROCESO</b>	<b>Instrumento Analizar</b>	<b>Descripción</b>		<b>Efecto Potencial de Falla</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>NPR = S*O*D</b>	<b>Acciones propuestas</b>	<b>Responsable o Encargado</b>
					1 a 10	1 a 10	1 a 10	<b>1 a 1000</b>		
Equipos digitales de instrumentación	Amplificador de señal cb780 o cb 784	En cargado enviar señales, mediante contactos solidos a las repuestas de comunicación .	Problemas de comunicación		9	8	7	<b>504</b>	Reubicar el panel de control donde no se vea afectado por la vibración de la maquina y las condiciones corrosivas del ambiente.	Departamento de Instrumentación
	Programador cb-780	Cerebro encargado de controlar todas las funciones, paso a paso (PLC).			9	8	10	<b>720</b>		

Fuente, Elaboración propia.

A través del análisis planteado en el cuadro AMEF se opta por buscar solución a tres de los factores con mayor riesgo según el grado NPR encontrado, ya que según los datos recolectados del Pareto de paros de maquinaria por falla en instrumentos de medición y control del año 2021 mostrado en el gráfico 3, muestra que el 50% acumulado pertenece a la caldera equipo que presenta mayor índice de grado de riesgo en equipos de instrumentación.

Siguiendo la simplificación de datos se obtiene que el riesgo NPR para el programador cb-780 es de 720 categoría roja de alta magnitud y la cual está relacionado directamente a la causa raíz de material de la desprogramación del PLC.

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

## 5.1 IDEAS PROPUESTAS

Mediante la recolección de datos adquiridos de los análisis de Pareto, Ishikawa y AMEF, se identifican las causas potenciales que generan el problema de estudio, por lo cual se genera la siguiente tabla de propuestas para resolver o mitigar dichas causas.

**Tabla 14**

### *PROPUESTAS PARA CAUSAS Y RIESGOS EN LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION*

<b>EQUIPOS DE INSTRUMENTACION QUE GENERAN MAYORES PROBLEMAS EN PLANTA</b>		
<b>CAUSAS Y MAYORES RIESGOS</b>	<b>SOLUCIONES PARA MITIGAR O RESOLVER PROBLEMAS</b>	
Falta de programación preventiva por recurrencia en intervención correctiva y no preventiva.	Diseño de plan de mantenimiento preventivo mensual, actividades y prioridades.	Recorrido preventivo diario.
Desprogramación de PLC o programador cb-780	Cambiar panel de control de posición para evitar altas vibraciones de los equipos.	Reestructuración de panel de control, para evitar falsos contactos.
Ambiente corrosivo que deteriora los equipos electrónicos	Impermeabilización de los paneles de los controladores digitales.	Impermeabilización de cables de señal digital.
ALTO riesgo NPR empaques de alta temperatura 5/8 por fugas de vapor.	Mejorar la aplicación de vapor en los equipos, evitando el desperdicio para regular los arranques por demanda de vapor innecesarios.	Instalación de válvulas reguladoras para mejorar control de fluidos.
ALTO Riesgo NPR Sensor infrarrojo 320	Colocar un cobertor cilíndrico al ojo del sensor, para evitar el contacto con residuos de bunker	Recorrido preventivo diario.

Fuente, Elaboración propia.

## 5.2 PROPUESTA A IMPLEMENTAR

La información adquirida de la tabla anterior es analizada con los supervisores y gerencia operacional para aprobar las soluciones más factibles a cada una de las causantes del problema en los equipos de medición y control de máquinas, en busca de resolver de manera satisfactoria las fallas en los procesos productivos de la planta complejo, por lo que se presenta la siguiente tabla.

**Tabla 15**

### *PROPUESTAS APROBADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN*

<b>EQUIPOS DE INSTRUMENTACION QUE GENERAN MAYORES PROBLEMAS EN PLANTA</b>	
<b>CAUSAS Y MAYORES RIESGOS</b>	<b>SOLUCION APROBADA</b>
Falta de programación preventiva por recurrencia en intervención correctiva y no preventiva.	Diseño de plan de mantenimiento preventivo mensual, actividades y prioridades.
Desprogramación de PLC o programador cb-780	Cambiar panel de control de posición para evitar altas vibraciones de los equipos.
Ambiente corrosivo que deteriora los equipos electrónicos	Impermeabilización de los paneles de los controladores digitales.
ALTO riesgo NPR empaques de alta temperatura 5/8 por fugas de vapor.	Instalación de válvulas reguladoras para mejorar control de fluidos.
ALTO Riesgo NPR Sensor infrarrojo 320	Colocar un cobertor cilíndrico al ojo del sensor, para evitar el contacto con residuos de bunker.

Fuente, Elaboración propia.

## 5.3 CUADRO MAESTRO DE IMPLEMENTACIÓN

Técnica de tabulación de datos encarga del desglose de actividades necesarias para llevar a cabo la implementación a la solución propuesta, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 16

**CUADRO MAESTRO DE IMPLEMENTACION**

SOLUCIONES	ACTIVIDADES	COSTO MANO DE OBRA	TIEMPO	RESPONSABLE	INDICADOR DE ÉXITO
Diseño de plan de mantenimiento preventivo mensual, actividades y prioridades.	Diseñar un plan de recorrido diario con control del departamento de producción y supervisión del departamento de mantenimiento.	€100 000	Una semana	Supervisión Mantenimiento	100% completado
	Cronogramar los equipos mensualmente para mantenimiento preventivo sin afectar los procesos productivos.	€100 000	Una semana	Supervisión Mantenimiento	100% completado
	Realizar un estudio de prioridades y urgencias preventivas antes de las correctivas.	€120 000	Una semana	Instrumentista	100% completado
	Contar con un presupuesto mensual para mantenimiento de los equipos de instrumentación.	€90 000	Una semana	Bodega de Repuestos	50% completado
Cambiar panel de control de posición para evitar altas vibraciones de los equipos.	Medir la zona de reubicación con respecto al cableado del panel de potencia y control de la máquina.	€20 000	Un día	Instrumentista	100% completado
	Contar con un presupuesto para la reubicación del panel.	€15 000	Un día	Bodega de Repuestos	100% completado

SOLUCIONES	ACTIVIDADES	COSTO MANO DE OBRA	TIEMPO	RESPONSABLE	INDICADOR DE ÉXITO
Cambiar panel de control de posición para evitar altas vibraciones de los equipos.	Instalación de anclajes para el área de reubicación del panel.	€18 000	Un día	Mantenimiento en Soldadura	100% completado
	Desmontaje y montaje de panel en nueva ubicación.	€120 000	Una semana	Instrumentista	100% completado
Impermeabilización de los paneles de los controladores digitales.	Contar con un presupuesto de materiales para revestir los paneles de mayor contaminación con químicos.	€90 000	Una semana	Bodega de Repuestos	100% completado
	Colocación de tela y resina a paneles de mayor grado de contaminación.	€75 000	Una semana	Departamento de pinturas	100% completado
Instalación de válvulas reguladoras para mejorar control de fluidos.	Revisión de los insumos de bodega de repuestos	€15 000	Un día	Bodega de Repuestos	100% completado
	Crear presupuesto de materiales.	€15 000	Un día	Bodega de Repuestos	100% completado
	Montaje de Válvulas	€120 000	Una semana	Instrumentista	50% completado
Colocar un cobertor cilíndrico al ojo del sensor, para evitar el contacto con residuos de bunker	Crear presupuesto de materiales.	€15 000	Un día	Bodega de Repuestos	100% completado
	Montaje de cobertor del sensor.	€18 000	Un día	Mantenimiento en Soldadura	100% completado

Fuente, Elaboración propia.

La tabla anterior muestra las actividades necesarias para la ejecución de cada una de las soluciones propuestas en mejora del problema detectado en los equipos de medición y control del departamento de instrumentación.

En la tabla se observa el costo por mano de obra que cada funcionario obtiene por su trabajo, el costo por materiales no se muestra ya que los materiales utilizados para cada propuesta de mejora son reciclaje en equipos y materiales fuera de inventario proveniente de proyectos anteriores como lo es en el caso de las válvulas estranguladoras, la resina, el catalizador, electrodos para anclajes de panel, entre otros materiales que no generan costo alguno.

Para tener una visión detallada de los involucrados en cada una de las soluciones propuestas se presenta la siguiente matriz de análisis RACI:

Tabla 17

*MATRIZ DE ANALISIS RACI*

SOLUCIONES	R	A	C	I
Diseño de plan de mantenimiento preventivo mensual, actividades y prioridades.	Técnico en Instrumentación	Supervisor de Mantenimiento	Gerencia Operaciones	Departamento de Mantenimiento
				Operadores
				Departamento de Producción
Cambiar panel de control de posición para evitar altas vibraciones de los equipos.	Técnico en Instrumentación	Supervisor de Mantenimiento	Operadores	Departamento de Mantenimiento
				Operadores
				Departamento de Producción
Impermeabilización de los paneles de los controladores digitales.	Departamento de pintura	Supervisor de Mantenimiento	Operadores	Departamento de Mantenimiento
			Supervisor de Producción	Operadores
				Departamento de Producción

SOLUCIONES	R	A	C	I
Instalación de válvulas reguladoras para mejorar control de fluidos.	Técnico en Instrumentación	Supervisor de Mantenimiento	Operadores	Departamento de Mantenimiento
			Supervisor de Producción	Operadores
				Departamento de Producción
Colocar un cobertor cilíndrico al ojo del sensor, para evitar el contacto con residuos de bunker	Departamento de Soldadura	Supervisor de Mantenimiento	Gerencia de Operaciones	Departamento de Mantenimiento
				Operadores
				Departamento de Producción

Fuente, Elaboración propia.

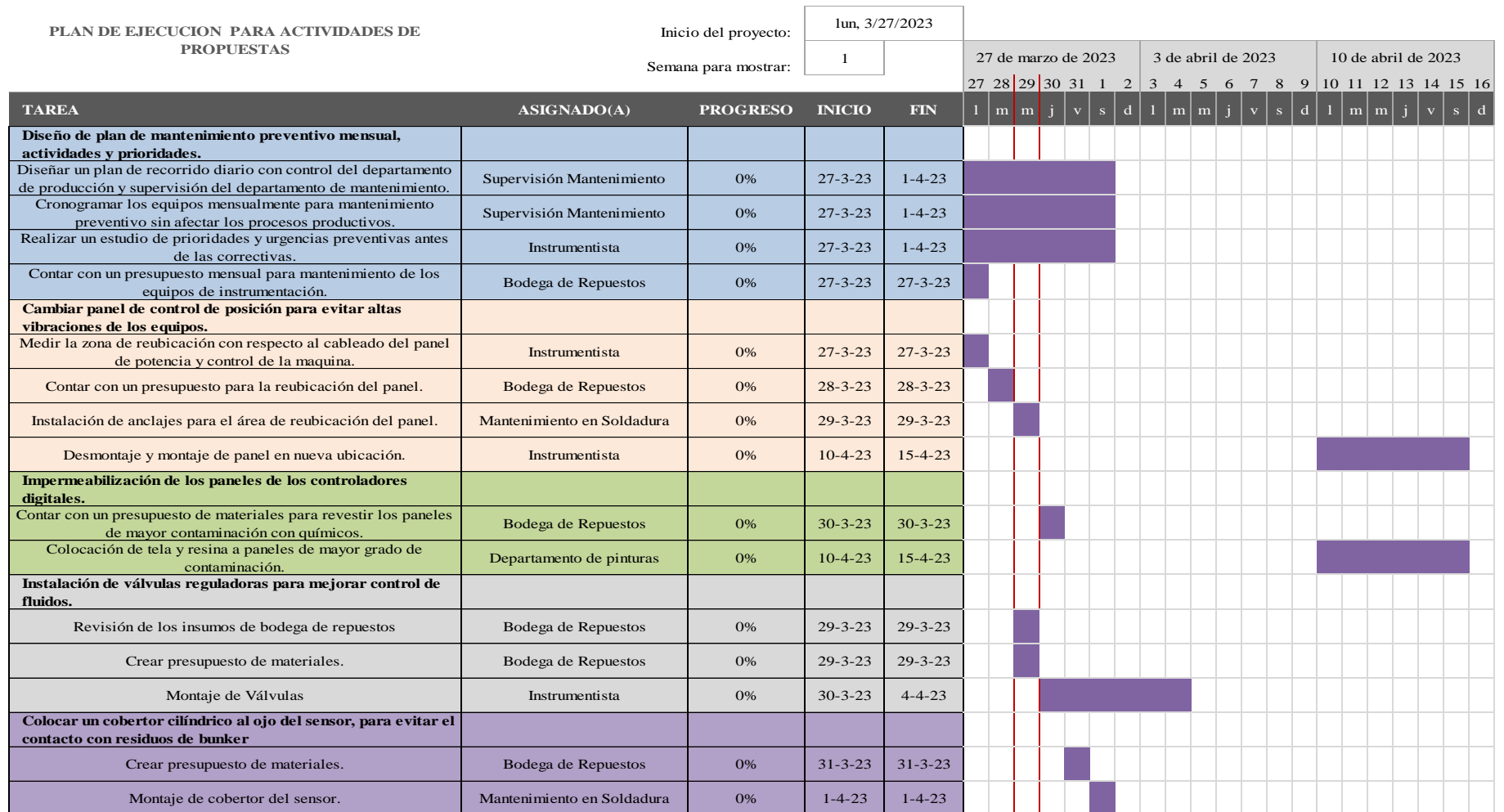
La información anterior muestra la matriz de asignación de responsabilidad para el personal involucrado en cada actividad propuesta, personas adecuadas en el momento adecuado, en el cual se pretende reducir el hecho de tener un único punto de falla y orden en la información de las actividades correspondientes.

### **5.3.1 Cronograma de propuestas**

Al conocer las actividades para las mejoras se presenta el siguiente diagrama Gantt, en propuesta para las mejoras y buscando aprovechar el tiempo de paro por mantenimiento de planta del año 2023.

Gráfico 6

DIAGRAMA GANTT DE ACTIVIDADES PROPUESTAS



Fuente, Elaboración propia.

El cronograma de actividades se planifica en conjunto con las supervisiones de mantenimiento y producción, el cual pretende aprovechar el tiempo de paro programado por mantenimiento de planta complejo del año 2023, en el cual se utilizarán los recursos propios de la empresa en busca de poner en marcha las soluciones propuestas a los problemas detectados , como materiales de reciclaje o fuera de inventario, horas hombre de los colaboradores del departamento de Instrumentación, soldadura y pintura para ejecutar las actividades de la propuesta.

### **5.3.2 Análisis económico**

Al realizar cada actividad de propuesta se genera de forma directa e indirectamente un costo el cual se analizará en la siguiente tabla de desglosa de los costos del cronograma de implementación para dichas propuestas.

Tabla 18

## COMPARATIVA DE INVERSION VRS GANANCIAS GENERADAS

Inversiones realizadas			Ahorros generados	
Mano de obra		Subtotal	Consumo de repuestos	Subtotal
Cuadro maestro implementación		€856 000	Válvula solenoide p/bunker 1/2 npt 120v	€300 777
<b>Materiales reutilizados</b>	<b>Cantidad requerida</b>		Pantalla para programador	€321 310,00
Resina y catalizador	1 galón	€55 000	Temporizador 30 sec modulo para cb780	€351 885
Tela	1 caja	€36 000	Amplificador de señal cb780 o cb 784	€1 597 343
Brochas 2"	4 unidades	€6 000	Programador cb-780	€6 537 960
Varsol	1 galón	€8 000	Celda de carga 5000 lbs	€858 477
Thinner	1 galón	€3 000	Tubo visor 5/8	€461 194
Cable potencia 1/0	10 metros	€350 000	Sensor infrarrojo 320	€3 177 504
Cable control multilíneas	10 metros	€20 000	Empaque de alta temperatura 5/8	€3 227 337
Manómetros 0-160	4 unidades	€100 000	Caja sumadora rice lake jb4ss tuffseal a	€170 500,00
Manómetros 0-60	4 unidades	€60 000	Electrodo ignición 400-800hp	€107 532
Termómetros 0-300 analógico	2 unidades	€156 000	Microswitch pcz 62 rm completo	€51 088
<b>Total</b>		<b>€1 650 000</b>	<b>Total</b>	<b>€17 162 907</b>

Fuente, Elaboración propia.

La información anterior muestra el apartado de inversiones, el rubro de costo por mano de obra, el cual se obtiene de los datos suministrados por el cuadro maestro de implementación donde se muestra el costo por día y semana para un total de ¢856 000 por el personal involucrado en el proyecto de mejora.

Además, se muestra en el mismo apartado un costo por materiales reutilizados de proyectos anteriores, el cual se pretende utilizar en la implementación de mejoras, ya que los mismo están fuera de inventario generando un costo por ¢794 000 sin embargo, de igual manera genera un costo de ganancia por inversión.

El apartado de ahorro generados muestra el valor por consumo unitario, proponiendo que se consuma solo un repuesto anual. La tabla 8 de consumos por repuestos de instrumentación en el año 2021, brinda los datos requeridos para el análisis de la propuesta, el cual refleja un ahorro de ¢17 162 907 en cuanto a consumo recurrente de repuestos.

## **5.4 ESTABLECER CONTROLES Y VERIFICACIONES DE LOS PROCESOS**

En busca de obtener registros con indicadores de éxito y seguimiento de las mejoras propuestas, se crea una hoja de verificación de control la cual se pretende implementar en el departamento de instrumentación como principal fuente de datos técnicos, para llevar los datos de manera más periódica y poder utilizar la herramienta poka-yoke la cual propone atacar los problemas desde su causa y actuar antes de que ocurra el defecto, con esto así obtener enfocarse en detectar la regularidad estadística de las fallas.

Tabla 19

**LISTA DE VERIFICACION EQUIPOS DE PLANTA**

Técnico Responsable	ESTADO		Fecha	INDICADOR DE ÉXITO
ACTIVIDADES	OPTIMO	INTERVENIR	OBSERVACIONES	
Inspección de boquillas de caldera.				Paros por hora mensual de caldera
Limpieza de panel de caldera.				Consumo mensual de programadores cb-780.
Resacar tornillería de contactos electrónicos.				
Medición semanal de resistencia máxima y mínima de los sensores.				Consumo mensual por sensores infrarrojos.
Limpieza de paneles de controladores de temperatura.				Paros por hora mensual reactores y Amoniador
Calibración de válvulas estranguladoras en boquillas.				Consumo mensual por empaques de repuestos.

Fuente, Elaboración propia.

Lista de revisión rutinaria para el departamento de instrumentación, elaborada según las necesidades de los equipos de mejora, la cual pretende prevenir las correctivas que generan los paros por equipos de instrumentación.

Tabla 20

**LISTA DE CONTROL COMPARATIVA DE CALIBRACION PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACION**

Técnico Responsable		MEDICIONES EN CAMPO			Fecha
MONITOREO DE EQUIPOS	ANALOGICAS	DIGITALES	OBSERVACIONES	INDICADOR DE ÉXITO	
Indicadores de temperaturas en Reactores				Paros por hora mensual de reactores y Amoniador	
Indicadores de temperaturas en Amoniador					
Indicadores de presión en Reactores					
Indicadores de presión en Amoniador					

Fuente, Elaboración propia.

Lista de medición y control para los departamentos de producción e instrumentación el cual pretende mantener un mejor control de las variables de la temperatura y presión, teniendo una comparativa analógico vrs datos digitales, con la finalidad de predecir des calibración u otra falla en los equipos de medición.

A través de los análisis de las propuestas se crea un plan de mantenimiento o rutina de inspección o seguimiento de los equipos en mejora, con la finalidad de que el técnico encargado de la instrumentación ejecute las tareas de seguimiento asignadas en las que cheque los instrumentos de medición y control, en la cual allá una tabla comparativa para llevar un mejor control de los desfases de temperatura, inspecciones de cero fugas, calibración apropiada o utilización adecuada del flujo de vapor, esto buscando que la caldera no trabaje para el desperdicio, minimizando los arranques los instrumentos encargado de este proceso alargan su vida de utilidad y verificación diaria de humedad en equipos electrónicos.

Se pretende que la hoja de chequeo cree procesos libres de fallos o errores, eliminando tareas repetitivas y aprovechando el tiempo de ocio para actividades que generen valor, por ello, en algunas situaciones no es suficiente la capacitación ni la experiencia, la hoja de verificación buscara seguir mejorando para que cada indicador refleje mejoras en las propuestas de implementación.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

- Se concluye con la identificación de causas principales que afectan los equipos de instrumentación en las maquinas de la planta complejo, el estudio realizado mediante Pareto, Ishikawa y AMEF son los encargados de mostrar dichos equipos de instrumentación que afectan los procesos productivos, evidenciando la inexistencia de un control técnico continuo por parte del departamento de instrumentación y controles de reportes de mediciones realizadas por el personal operativo.
  
- Se identifica que la medición de los equipos de instrumentación es solamente de forma digital tanto para los registros de producción como para los de mantenimiento, por lo cual dentro de las propuestas se busca realizar una comparativa, implementando equipos analógicos para tener dos puntos de referencia en los controles operacionales (lectura digitales y analógicas).
  
- Se concluye que los equipos de instrumentación utilizados en máquinas como la caldera es uno de los que más genera gastos por repuestos de bodega al departamento mantenimiento, además el consumo anual de dichos repuestos ocasiona paros por mantenimiento correctivo que se refleja en indicadores de producción por falla en instrumentos.

- Se concluye que el análisis de costo beneficio para las posibles inversiones de las propuestas, en el cual se reflejan las ganancias de inversión de la puesta en marcha, es factible tanto en la inversión de mano de obra, materiales, tiempo y cronograma para ejecución.
  
- Se concluye con un sistema de verificación poka-yoke el cual, mediante la formulación de hojas de verificación y chequeo de equipos, buscara mejorar los equipos de instrumentación y brindar resultados a través de indicadores como paros de equipos de planta y consumo mensual de repuestos.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tener un control de los instrumentos analógicos y mecánicos, además de inspección diaria, donde se busca verificar la presencia de humedad en paneles de control, mediciones de paneles para registros de mantenimientos, aperturas controladas de sistemas de inyección de vapor con la finalidad de evitar desperdicio y brindar durabilidad a los instrumentos de medición.
  
- Se recomienda realizar la inversión de propuestas analizando el cuadro de costo beneficio que el proyecto presenta para su implementación, ya que el plan a seguir tiene un bajo costo, los materiales que se necesitan son reutilizados de proyectos anteriores, el mismo personal se encarga de realizar el aporte de mano de obra, las ganancias por

inversión podrían elevarse, esto debido a que se pretende eliminar los paros de planta por fallas en instrumentos de medición y control, además del consumo de repuestos de bodega.

- Se recomienda dar seguimiento a las hojas de verificación propuestas, ya que son las encargadas según la herramienta poka-yoke de evitar tareas que no generan valor, duplicidad de actividades, atacar de forma preventiva y no correctiva, estas hojas de verificación llevarán un registro diario de revisión de equipos de instrumentación.
- Se recomienda al departamento de instrumentación seguir la rutina establecida por el departamento de mantenimiento según la propuesta de implementación, esto con la finalidad de obtener datos de prima fuente, técnica y operacional. Atacar las fallas antes de que se presenten, estar rutinariamente en campo analizando los instrumentos de medición y control.
- Se recomienda tomar lecturas de los instrumentos analógicos y digitales con la finalidad de tener comparativas de temperaturas y presiones, datos que brindaran predicciones de equipos descalibrados, saturación de equipos, malas practicas operacionales y mejoramiento en los reportes productivos (estandarización de parámetros reales).

## BIBLIOGRAFIA

- Arias, A. D. (2008). *Tendencias Tecnologicas en el control e Instrumentacion de calderas*. Tesis Ingenieria Mecanica, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0558\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0558_M.pdf)
- Armando, H. M. (5 de setiembre de 2005). *Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>
- BAHENA, M. M., & LAR, D. P. (2006). *Curso de Seis Sigma*. Mexico.
- Bastis Consultores. (02 de Marzo de 2020). *Online-Tesis*. Recuperado el 05 de 01 de 2023, de <https://online-tesis.com/tecnicas-de-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-de-investigacion/>
- Beber, D. E. (2008). *Implementacion de un Sistema de Calderas para generar energia vapor y reducir costo en la facturacion por consumo de energia del hotel Radisson*. Tesis Ingeniero Mecanico Electricista , Universidad de San Carlos Guatemala , Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0145\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0145_ME.pdf)
- Bello, E. (9 de Diciembre de 2021). *IEBS* . Obtenido de <https://www.iebschool.com/blog/analisis-coste-beneficio-finanzas/>
- Calderon, J., & Montero, Y. S. (1993). *Mediciones e Instrumentacion Industrial*. Obtenido de [https://www.academia.edu/4174621/Use\\_of\\_experimental\\_design\\_and\\_effective\\_mobility\\_calculations\\_to\\_develop\\_a\\_method\\_for\\_the\\_determination\\_of\\_antimicrobials\\_by\\_capillary\\_electrophoresis?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/4174621/Use_of_experimental_design_and_effective_mobility_calculations_to_develop_a_method_for_the_determination_of_antimicrobials_by_capillary_electrophoresis?from=cover_page)
- Candel, T. G. (2014). *Análisis Coste-Beneficio del Corredor del Mediterraneo*. Ingeniería en Tecnologías Industriales, Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla , Departamento de Organización Industrial y Gestion de empresas II, Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90035/fichero/memoriaPFG.pdf>
- Castro, C. N.-M. (2013). *Guía para el Seguimiento y Evaluación de Proyectos Sociales*. Mexico: Handel Mayer. Unicornio 23 Col. Prado Churubusco Coyoacán 04230 México D.F. Obtenido de

<http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/I.%20SOCIEDAD%20CIVIL/Elaboraci%C3%B3n,%20Seguimiento%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Proyectos/Gu%C3%ADa%20para%20el%20Seguimiento%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Proyectos%20Sociales.pdf>

Consult, C. (s.f.). *Indicadores clave de rendimiento KPI'S*. EBOOK.

Cuauhtémoc Ignacio Hernández Martínez. (2014). *“La metodología Lean Seis Sigma, sus Herramientas.* Mexico. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47659/HernandezMartinezCuauhtemocI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Escuela Europea. (s.f.). *Ques y para que sirve la matriz RAICE*. Obtenido de <https://escuela-europea.com/actualidad/que-es-y-para-que-sirve-la-matriz-rice/>

Estadística, D. A. (s.f.). Recuperado el 2022, de <https://www.medicinalegal.gov.co/gestion/ley-1474-de-2011/indicadores#:~:text=Un%20Indicador%20es%20una%20expresi%C3%B3n,frente%20a%20una%20meta%20o>

Galicia, I. t. (s.f.). *Metodología Seis Sigma de mejora de procesos*.

Gonzalez, E. M. (2000). *Estudio de Control, Operacion e Instrumentacion de Calderas de Vapor*. Tesis Ingenieria en Electronica y Control, Escuela Politecnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10466/3/T1609.pdf>

Grupopya. (13 de Setiembre de 2016). *grupopya*. Recuperado el 26-12-2022, de <https://grupopya.com/indicadores-de-evaluacion-cualitativos-y-cuantitativos/>

HASE, R. I., ACOBS, F. R., & QUILANO, N. I. (2009). *Administracion de Operaciones. Producción y cadena de suministros*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, Inc. Obtenido de [https://www.academia.edu/37830326/Administracion\\_de\\_Operaciones\\_y\\_Produccion\\_12\\_ed\\_Chase\\_Aquilano\\_Jacobs\\_pdf](https://www.academia.edu/37830326/Administracion_de_Operaciones_y_Produccion_12_ed_Chase_Aquilano_Jacobs_pdf)

(2008). *Herramientas para el analisis y mejora procesos* . Obtenido de [https://www.academia.edu/11612028/HERRAMIENTAS\\_PARA\\_EL\\_ANALISIS\\_Y\\_MEJORA\\_DE\\_PROCESOS](https://www.academia.edu/11612028/HERRAMIENTAS_PARA_EL_ANALISIS_Y_MEJORA_DE_PROCESOS)

Instituto Gallego de Promoción Económica IGAPE. (2000-2006). *VALor en GALicia. Manual de Innovación para pymes. Metodología Seis Sigma de Mejora de Procesos*. Galicia: Fundación Instituto Tecnológico de Galicia PO.CO.MA.CO. Sector I Portal 5.

- IONATHAN, M. G., & LOURDES, C. O. (2014). *APLICACIÓN DE METODOLOGÍA SIX SIGMA A LA DETERMINACIÓN DE CARBONO, HIDRÓGENO Y NITRÓGENO DE PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS UTILIZANDO UN ANALIZADOR ELEMENTAL*. Mexico.
- Jiménez, Y. M. (2018). *ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VAPOR DEL PLANTEL EL ALTO*. Tesis, Cuidad Universitaria Rodrigo Facio Brenes San José, Costa Rica, Costa Rica . Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/7480>
- Jonathan Trout, Noria Corporation. (2021). *DMAIC: UNA GUÍA COMPLETA*. Obtenido de <https://cmc-latam.com/2021/07/21/dmaic-una-guia-completa/>
- Juarez, D. V. (s.f.). *Control Estadístico de la Calidad* . Obtenido de <https://controlestadisticodelacalidad-industrial.weebly.com/14-recoleccion-acuten-de-datos.html>
- KYOCERA Document Solutions. (2021). *Cuadros de mando integral De medir a gestionar rendimiento*. Obtenido de KYOCERA Document Solutions España S.A.: <https://www.kyoceradocumentsolutions.es/es/smarter-workspaces/business-challenges/procesos/cuadros-de-mando-integral-de-medir-a-gestionar-rendimiento.html>
- Lean Solutions . (s.f.). *Lean Solutions* . Obtenido de <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- Madriz, I. M. (2019). *PROPUESTA PARA LA RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE LA CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL*. Tesis , Universidad Latina, Costa Rica. Obtenido de [https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/914/1/TFG\\_Ulatina\\_Mauricio\\_Hernandez\\_Madriz.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/914/1/TFG_Ulatina_Mauricio_Hernandez_Madriz.pdf)
- Mayorga, J. C. (2018). *Evaluación Costo-Beneficio de un proyecto de desarrollo tecnológico para la*. Tesis, Universidad de Costa Rica , Costa Rica . Obtenido de <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/75581/UCR%20PADE%20PPF%20I%20CICLO%202017%20JCCM%20Versi%C3%B3nParaImprimir.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MORALES, I. (s.f.). *EL CUADRO DE MANDO INTEGRAL EN LA PLANIFICACION ESTRATEGICA*.
- Muñoz, I., & Vargas, C. A. (s.f.). *La producción de fertilizantes en Costa Rica y el modelo estatal costarricense: El caso FERTICA*. Anuario Centroamericano, Universidad de

- Costa Rica , Universidad de Costa Rica . Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/2271/2230>
- Murillo, E. R. (2021). *Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA*. Tesis, Universidad Técnica Nacional, Alajuela. Obtenido de <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/697/ANALISIS%20ENERGETICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muther, R. (1970). *DISTRIBUCION DE PLANTA*. España: HISPANO EUROPEA, McGraw Hill Book Company. New York segunda edición. Obtenido de [https://www.academia.edu/49232937/Distribucion\\_de\\_Planta\\_Richard\\_Muther](https://www.academia.edu/49232937/Distribucion_de_Planta_Richard_Muther)
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de [https://www.academia.edu/7731445/Ingenier%C3%ADa\\_Industrial\\_12ma\\_Niebel\\_y\\_Freivalds](https://www.academia.edu/7731445/Ingenier%C3%ADa_Industrial_12ma_Niebel_y_Freivalds)
- Nucleom . (2018). *SOLUCIONES END VISUAL*. Obtenido de <https://nucleom.ca/es/soluciones-end/visual/#/inspeccion-visual-vt/>
- Pardillos, R. J. (2010). *Tratamiento del agua de una caldera de vapor*. Proyecto fina carrera, Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial. Obtenido de <https://zagan.unizar.es/record/5353/files/TAZ-PFC-2010-344.pdf>
- Peinado, E. R. (2015). *La productividad en la empresa : lecciones para ser más eficiente y competitivo*. España: Editorial Almuzara. Obtenido de <https://www.casadellibro.com/libro-la-productividad-en-la-empresa-lecciones-para-ser-mas-eficiente-y-competitivo/9788416100934/2502348>
- Pereda, M. (s.f.). *RockCont*. Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/analisis-costo-beneficio/>
- Pulido, H. G. (2010). *CALIDAD TOTAL Y PRODUCTIVIDAD Tercera edición*. Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/56cf64337c2fcc05d6a9120694e36d82.pdf>
- Pulido, H. G., & Salazar, R. d. (2009). *Control Estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Segunda ed.). Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>

- Redator Rock Content. (18 de julio de 2019). *Rock Content* . Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/matriz-raci/>
- Rizo, C. A. (2008). *Optimización del sistema de vapor de la empresa INCAUCA S.A.* . Tesis Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Energética y Mecánica, Santiago de Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6105/T04108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez, N. (21 de JUNIO de 2021). *HubSpot*. Obtenido de <https://blog.hubspot.es/sales/plan-de-mejora>
- Salas, C. U. (2017). *Propuesta de ahorro energético en el sistema de vapor para la planta de Coopeagropal R.L.* Tesis , Coopeagropal R.L, Laurel. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9649/propuesta\\_ahorro\\_energetico\\_o\\_sistema\\_vapor\\_para\\_planta\\_coopeagropal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9649/propuesta_ahorro_energetico_o_sistema_vapor_para_planta_coopeagropal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Salazar, H. G.-R. (2009). *CONTROL ESTADÍSTICO*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. SEGUNDA EDICION.
- Solé, A. C. (2010). *Instrumentación Industrial 8a Edición*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. Obtenido de <https://es.pdfdrive.com/instrumentacion-industrial-e157926931.html>
- Weller, J. (09 de 12 de 2016). *Smartsheet!* Obtenido de <https://es.smartsheet.com/free-cost-benefit-analysis-templates>
- workmeter. (s.f.). *workmeter*. Obtenido de <https://www.workmeter.com/blog/indicadores-de-productividad-cuantitativos-y-cualitativos/>
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (s.f.). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*.
- Calderón, J., & Montero, Y. S. (1993). *Mediciones e instrumentación industrial*.

Duarte, M. (2014). El Dibujo Y La Expresión Gráfica Como Herramientas Fundamentales En La Ingeniería Industrial. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(13), 106–113.

Rodríguez, F., & Gómez Bravo, L. (1991). *Indicadores de calidad y productividad de la empresa*. CAF

## ANEXOS

## ANEXOS

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 10 de mayo 2023

Señores:  
Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Javier Antonio García Navarro con número de identificación con) 115550857 autor (a) del trabajo de graduación titulado **Estudio de factibilidad de cambios de equipos de instrumentación de la planta complejo Fertica para el año 2022** presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de **Bachillerato**; (~~S~~/ NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

  
Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)  
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y  
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

**Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional**

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.