

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE
MANTENIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE
ACTIVOS FÍSICOS DE LA PLANTA IANSA
LINARES**

por

Marisol del Carmen Ramírez Bustos

Sebastián Andrés Suárez Delgado

Trabajo de Título para Optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Filadelfo de Mateo

Diciembre de 2017

Dedicatoria

El siguiente trabajo de tesis está dedicado a mi familia quienes fueron el pilar fundamental en el transcurso de mi carrera profesional.

A mi madre Claudia por darme ese cariño y apoyo incondicional. Además, me enseñó que con fe, constancia y humildad se puede lograr grandes cosas.

A mi padre Froilán que me entrego la fortaleza necesaria para no darme nunca por vencido. Y ser mi ejemplo a seguir.

A mis amigos que de una u otra forma estuvieron siempre apoyándome y dándome fuerzas.

Y por último a Dios por darme la oportunidad de estudiar esta carrera y conocer a muchísima gente linda de corazón.

Atte. Sebastián Suarez D.

Dedicatoria

El siguiente trabajo de tesis está dedicado a mi familia por su apoyo incondicional, ya que a pesar de la distancia siempre estuvieron conmigo, entregando palabras de aliento en los momentos difíciles. En especial a mis padres por ayudarme a cumplir mis sueños, por confiar y darme esta oportunidad, puesto que son lo más importante en mi vida.

También quiero dedicárselo a Dios por estar conmigo siempre y colocar en mi camino a las personas indicadas, las cuales de una u otra forma fueron fundamentales para terminar este proceso, en especial a mi pololo por su paciencia, cariño y apoyo, el cual siempre estuvo conmigo ayudándome a tomar las decisiones correctas.

Atte Marisol Ramírez B.

Agradecimiento

Primero queremos darle gracias a Dios por darnos salud y fortaleza para culminar esta carrera profesional.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil Industrial por formarnos en el ámbito profesional como personal.

A nuestro profesor guía, Filadelfo de Mateo, por brindarnos su apoyo incondicional siempre cuando lo necesitamos.

Y por último a todos nuestros compañeros, con los cuales compartimos buenas y lindas experiencias en este proceso de aprendizaje y formación.

Índice

Índice de Figuras	8
Índice de Gráficos	9
Índice de Tablas	10
Glosario	11
Lista de Abreviaturas	12
Resumen	13
Summary	14
Introducción	15
Capítulo 1: Antecedentes Generales	16
1.1 Descripción Empresas IANSA	16
1.1.1 Indicadores Económicos	16
1.1.2 Producción y precio del Azúcar	17
1.2 Planta IANSA Linares	18
1.2.1 Descripción Planta IANSA Linares.....	18
1.2.2 Ubicación Planta IANSA Linares	19
1.2.3 Organigrama de la planta IANSA Linares	20
1.2.4 Producción Planta IANSA Linares.....	21
Capítulo 2: Descripción general del proceso productivo del azúcar blanco.	22
2.1 Producción de Remolacha	22
2.2 Recepción, Descarga y Almacenamiento de Remolacha	23
2.3 Preparación de Remolacha	25
2.4 Extracción.....	26
2.5 Purificación y Filtración.	28
2.6 Evaporación.....	31
2.7 Disolución.....	32
2.8 Filtración del Licor Estándar.	33
2.9 Cristalización.....	34
2.10 Centrifugación.	35
2.11 Secado de Azúcar	37

2.12 Tamizado	38
2.13 Almacenamiento a Granel	39
2.14 Envasado.....	40
2.15 Almacenamiento Producto Terminado	41
2.16 Despacho.	42
2.17 Recepción y Almacenamiento de Insumos de Envasado	43
2.18 Recepción de Insumos de Proceso (Materiales Auxiliares)	43
Capítulo 3: Definición del problema y objetivos de estudio	46
3.1 Indicador de producción diaria de azúcar comercial	46
3.2 Indicador de rendimiento diario de azúcar comercial.....	47
3.3 Indicador Utilidad neta por tonelada de azúcar blanco comercial.	48
3.4 Fallas equipos IANSA Linares	49
3.5 Mantenciones Preventivas y correctivas	49
3.6 Objetivos	53
3.6.1 Objetivo General	53
3.6.2 Objetivos específicos.....	53
3.7 Resultado esperado	53
Capítulo 4: Propuesta de Metodología	54
4.1 Principio de Pareto	55
4.2 Método de Jack Knife.....	56
4.3 Diagrama de Ishikawa	57
4.4 Teoría de la Fiabilidad aplicada a sistemas	58
4.4.1 Fase de rodaje	60
4.4.2 Fase de vida útil.....	61
4.4.3 Fase de desgaste	61
4.4 Análisis de Costes del Ciclo de Vida (LCC)	63
Capítulo 5: Descripción del Mantenimiento de Equipos de la Planta IANSA Linares...	65
5.1 Maestranza.....	65
5.2 Proceso de mantenimiento	65
5.3 Sistema SAP	67
5.4 Mantenciones Preventivas	67
Capítulo 6: Aplicación de la Metodología	68

6.1	Análisis de Pareto para priorización de estudio causa y efecto	68
6.2	Método Jack Knife	70
6.3.	Análisis de causa y efecto (Diagrama de Ishikawa)	72
6.3.1	Fallas de las mallas de la Torre de Difusión N°1	72
6.3.2	Colapso de circuito de vacío	74
6.3.3	Rotura de piezas sección entrada Secador	76
6.4	Fiabilidad de los equipos	77
6.5	Costos del Ciclo de vida de los equipos	91
6.5.1	Costo Global para mallas de la torre de Difusión N°1	92
6.6	Calculo VAN Y TIR	94
6.6.1	Reemplazo de Mallas de la Torre de Difusión N°1	94
6.6.2	Colapso Circuito de Vacío	95
6.6.3	Reparación al Secador de azúcar	96
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones		98
Referencias		102

Índice de Figuras

Figura 1: Plano Planta IANSA Linares	19
Figura 2: Plano Planta IANSA Linares	22
Figura 3: Imagen de Recepción y descarga de Remolacha	24
Figura 4: Lavadora de Remolacha	25
Figura 5: Torre de Extracción.....	27
Figura 6: Estanques donde se realiza el proceso de Purificación.	30
Figura 7: Evaporadores.....	31
Figura 8: Jugo Denso	32
Figura 9: Proceso de Filtración.....	33
Figura 10: Cristalizador	35
Figura 11: Proceso de Centrifugación	36
Figura 12: Azúcar secada con aire caliente	37
Figura 13: Azúcar separada por su tamaño.....	38
Figura 14: Silos.....	39
Figura 15: Envasado	40
Figura 16: Azúcar Paletizada.....	41
Figura 17: Despacho a Granel	42
Figura 18: Diagrama del proceso del azúcar blanco estándar (1).....	44
Figura 19: Diagrama del proceso del azúcar blanco estándar (2).....	45
Figura 20: Diagrama para determinar la confiabilidad de los equipos IANSA Linares.....	54
Figura 21: Ejemplo diagrama de Ishikawa	57
Figura 22: Representación de función densidad de probabilidad de falla	58
Figura 23: Ciclo de vida del equipo.....	59
Figura 24: Ejemplo Costos durante el ciclo de vida	63
Figura 25: Imagen de la maestranza	65
Figura 26: Diagrama de flujo del proceso de orden de mantenimiento	66
Figura 27: Ejemplo en Solver para calcular el parámetro de localización	82

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Producción, importación y consumo de azúcar en Chile.	17
Gráfico 2: Producción de azúcar blanca Plantas IANSA	21
Gráfico 3: Diagrama de control producción azúcar comercial	46
Gráfico 4: Rendimiento diario azúcar comercial.....	47
Gráfico 5: Costo total por combustible por tonelada de azúcar blanco	48
Gráfico 6: Fallas equipos IANSA Linares	49
Gráfico 7: Mantenciones Preventivas y Correctivas año 2015.....	50
Gráfico 8: Mantenciones Preventivas y Correctivas año 2016.....	50
Gráfico 9: Costos anual por mantenciones correctivas (US\$).....	51
Gráfico 10: Ejemplo aplicado Principio de Pareto	55
Gráfico 11: Ejemplo aplicado del método Jack knife.....	56
Gráfico 12: Diagrama de Pareto Categorías Planta IANSA Linares	68
Gráfico 13: Resumen horas Mecánicas de Menor Elaboración.....	69
Gráfico 14: Dispersión logarítmica de la categoría Mecánica IANSA Linares	71
Gráfico 15: Gráfico de dispersión de las mallas de la Torre de Difusión N°1	80
Gráfico 16: Grafico de dispersión ajustado	83
Gráfico 17: Gráfico densidad de probabilidad $f(t)$	84
Gráfico 18: Grafico función confiabilidad $R(t)$	85
Gráfico 19: Grafico función probabilidad acumulada de falla $F(t)$	86
Gráfico 20: Gráfico de la función tasa de falla (λ).....	87
Gráfico 21: Funciones Circuito de Vacío	88
Gráfico 22: Funciones Secador de azúcar	90
Gráfico 23: VAN de las Mallas de la Torre de Difusión N°1	95
Gráfico 24: VAN del Circuito de Vacío	96
Gráfico 25: VAN del Secador de Azúcar	97

Índice de Tablas

Tabla 1: Indicadores económicos, años 2013, 2014 y 2015	16
Tabla 2: Producción y precio del azúcar, años 2013, 2014 y 2015.	18
Tabla 3: Producción de azúcar blanca Plantas IANSA	21
Tabla 4: Horas por mantenciones preventivas y correctivas	49
Tabla 5: N° de detenciones de planta y horas totales anuales	50
Tabla 6: Costos por Mantenciones correctivas de equipos año 2016	51
Tabla 7: Resumen funciones de densidad de la falla	62
Tabla 8: Fallas categoría Mecánica Planta IANSA Linares	70
Tabla 9: Tiempo entre fallas de las mallas de la Torre de Difusión N°1	77
Tabla 10: Resumen operacional Torre de Difusión N°1	78
Tabla 11: Rango mediana de las mallas de la Torre de Difusión N°1	79
Tabla 12: Datos eje X e Y mallas de la Torre de Difusión N° 1	79
Tabla 13: Parámetros de las mallas de la Torre de Difusión N° 1	80
Tabla 14: Datos actualizados X e Y mallas de la Torre de Difusión N° 1	82
Tabla 15: Función $f(t)$ mallas de la Torre de Difusión N° 1	83
Tabla 16: Resumen operacional Circuito de vacío	87
Tabla 17: Resumen operacional Secador de azúcar	89
Tabla 18: Costos Operacionales.....	91
Tabla 19: Costos de Capital Fijo.....	91
Tabla 20: Inversión del Proyecto.....	94
Tabla 21: Cálculo de VAN y TIR de las Mallas de la torre de difusión N° 1.....	94
Tabla 22: Cálculo de VAN y TIR Circuito de vacío.....	95
Tabla 23: Cálculo de VAN y TIR Secador de Azúcar.....	96
Tabla 24: Malla de Torre de Difusión N°1.....	98
Tabla 25: Circuito de vacío.....	98
Tabla 26: Secador de azúcar.....	98
Tabla 27: Falla de las Mallas de la Torre de Difusión N°1.....	99
Tabla 28: Colapso Circuito de vacío.....	100
Tabla 29: Falla Secador de azúcar.....	101
Tabla 30: VAN Y TIR de los 3 reemplazos de equipos	101

Glosario

° **Brix:** Es una unidad que se utiliza para determinar la cantidad aproximada de azúcares disueltos en un líquido.

Cal IANSA: Es un subproducto derivado del proceso de la purificación de la remolacha, el cual es utilizado para corregir el pH de los suelos y recuperar la productividad de estos.

FIFO: Primer producto en entrar es el primero en salir.

Melaza: Sustancia espesa, dulce y de color oscuro que queda como residuo de la cristalización del azúcar.

Micrones: Es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

mm de luz: Es la distancia en milímetros entre dos alambres contiguos (uno al lado del otro tocándose, pero sin mezclarse).

Pellet: Es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido de diferentes materiales.

Silos: Es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel.

Lista de Abreviaturas

Hr.: Horas

HH'S: Horas Hombres

IANSA: Industria Azucarera Nacional Sociedad Anónima

Kg: Kilogramo

mm.: milímetros

MUS\$: Millones de Dólares

MTBF: Mean Time Between Failure o tiempo medio entre fallas

rpm: Revoluciones por minuto

S.A: Sociedad Anónima

TIR: Tasa de interés de retorno

TBF: Tiempo entre fallas

Tn: Toneladas

US\$: Dólar norteamericano

VAN: Valor actual neto

Resumen

IANSA Linares, es una industria azucarera dedicada a la producción de Azúcar Granulada, Azúcar Flor, Pellet para animales, CAL IANSA y Melaza. Esta fábrica fue fundada en el año 1959 y se encuentra ubicada en la Séptima Región del Maule, camino a Yervas Buenas S/N.

Dentro de la planta IANSA Linares se encuentra el departamento de mantención, el cual es el encargado de realizar mantenciones y estrategias que permitan la continuidad operacional de los equipos e instalaciones de la planta. Sin embargo, se han detectado múltiples fallas en distintos equipos, lo cual conlleva a realizar mantenciones correctivas, aumentando los tiempos muertos, por lo tanto, es necesario saber la confiabilidad de los equipos ya que de esta forma se pueden analizar las fallas que están afectando la eficiencia del proceso productivo de la planta.

Para lograr este resultado, se creó un modelo el cual permite medir la confiabilidad de los equipos de la Planta IANSA Linares en un tiempo determinado, analizando las fallas que abarcaron mayor cantidad de tiempo y se producen de manera repetitiva.

Al aplicar el Principio de Pareto, se determinó cual fue el área con mayor cantidad de fallas, posteriormente se aplicó el método de Jack Knife y se obtuvieron los equipos con fallas crónicas y agudas en simultaneo. Luego se realizó un Análisis causa-efecto para detectar las causas de las fallas, posteriormente se llevó a cabo un Análisis de fiabilidad de los equipos afectados, con el fin de calcular la confiabilidad $R(t)$ y tasa de falla (λ) de los equipos.

Y para finalizar se realizó un Análisis de Coste del Ciclo de Vida de los equipos para evaluar un recambio de equipo o las reparaciones necesarias.

Frente a los resultados obtenidos, se proponen mejoras en la mantención de los equipos de la Planta IANSA Linares, tanto preventivas como correctivas, para así lograr disminuir las fallas y las detenciones no programadas.

Summary

IANSA Linares, is a sugar industry dedicated to the production of Granulated Sugar, Sugar Flower, Pellet for animals, CAL IANSA and Molasses. This factory was founded in 1959 and is located it in the Seventh Region of Maule, on the way to Yervas Buenas S / N.

Within the IANSA Linares plant you can find the maintenance department, which is in charge of carrying out maintenance and strategies that allow the operational continuity of the equipment and facilities of the plant. However, multiple faults have been detected in different equipment, which leads to corrective maintenance, increasing downtime, therefore, it is necessary to know the reliability of the equipment since this way you can analyze the faults that are affecting the efficiency of the production process of the plant

To achieve this result, a model was created which allows to measure the reliability of the equipment of the IANSA Linares Plant in a determined time, analyzing the failures that covered the greatest amount of time and are produced in a repetitive manner

When applying the Pareto Principle, the area with the greatest number of faults was determined, then the Jack Knife method was applied and the equipment with simultaneous and chronic faults was obtained simultaneously. Then a cause-effect analysis was carried out to detect the causes of the failures, then a reliability analysis of the affected equipment was carried out, in order to calculate the reliability $R(t)$ and failure rate (λ) of the equipment

And finally, a cost analysis of the life cycle of the equipment was performed to evaluate a replacement of equipment or the necessary repairs.

In view of the results obtained, improvements are proposed in the maintenance of the equipment of the IANSA Linares Plant, both preventive and corrective, in order to reduce failures and unscheduled detentions.

Introducción

La producción de azúcar en Chile fomenta y desarrolla la actividad agrícola y ganadera a través del cultivo e industrialización de la remolacha. En el mercado mundial, la elaboración de azúcar chilena a través de la remolacha representa el 0,3% del total, mientras que el consumo nacional, es cercano a las 650 mil toneladas.

Pese a que nuestro país no encabeza las listas de producción ni exportación de azúcar, sin embargo, se destaca por su alto rendimiento agrícola e industrial, ya que sus costos de fabricación son menores y los precios al consumidor son los más bajos del mundo (\$645).

La Industria Azucarera Nacional S.A., conocida como IANSA S.A, está compuesta por 10 plantas actualmente que se encuentran a lo largo del país. Dentro de estas 10 plantas, se encuentra IANSA Linares, la cual en el año 2016 se caracterizó por producir la mayor cantidad de azúcar blanca del país, correspondiente a 140.000 toneladas aproximadamente.

Para llevar a cabo este proceso, IANSA Linares cuenta con un departamento de mantenimiento el cual es el encargado de implementar los planes de mantención y demás estrategias que permitan la continuidad operacional de los equipos e instalaciones de la planta. No obstante, en el año 2016 las fallas totales de los equipos aumentaron un 26% con respecto al año 2015. Así mismo, las detenciones por mantenciones correctivas aumentaron un 39%.

Es por esto que en el presente trabajo de título se pretende analizar los procesos de mantención para diseñar estrategias de mantenimiento para la Gestión de activos físicos de la Planta IANSA Linares, con el fin de reducir los costos de Mantención, disminuir las fallas y dar una mayor confiabilidad y disponibilidad al momento de operar los equipos.

Capítulo 1: Antecedentes Generales

1.1. Descripción Empresas IANSA

La Empresa IANSA es una de las principales compañías agroindustriales del país, la cual es reconocida por la producción, comercialización, distribución de azúcar y coproductos de la remolacha.

En el año 1953 la CORFO creó la primera Industria azucarera Nacional Sociedad Anónima en la localidad de Los Ángeles. Su impacto económico y social en la zona impulsó a crear nuevas plantas las cuales fueron instaladas en el lago Llanquihue (1958), Linares (1959), Chillán (1967), Rapaco (La Unión, 1970) y Curicó (1974).

Las acciones de la empresa IANSA se transan en las tres bolsas de valores chilenas. A fines de diciembre del año 2015, sus activos fueron de MUS\$ 641.893, su capital suscrito y pagado de la sociedad fue de US\$ 245.159.598,102 y su producción fue de 384.000 toneladas de Azúcar.

Sus estrategias corporativas son coordinadas desde la casa matriz ubicada en Rosario Norte 615 piso 23 comuna de Las Condes, en la ciudad de Santiago, esta compañía cuenta con 3 plantas azucareras las cuales son: Linares, Chillán y Los Ángeles. Su participación en el mercado de azúcar en Chile es de un 67%, por lo tanto, el 54% de los ingresos de esta empresa corresponden a el Azúcar y Coproductos y el 46% restante corresponde a su gestión agrícola, nutrición animal y pasta de tomates.

1.1.1. Indicadores Económicos

A continuación, se presenta un análisis de la empresa IANSA la cual muestra la situación de la empresa, en el cual se da a conocer los ingresos, margen de contribución, EBITDA, ganancias operaciones y la utilidad neta durante los años 2013 al 2015.

Tabla 1: Indicadores económicos, años 2013, 2014 y 2015

Indicadores Económicos (MUS\$)	Años		
	2013	2014	2015
Ingresos	604,4	597,1	537,6
Margen de Contribución	153,5	138,5	115,5
EBITDA	48,3	35,6	25,6
Ganancia Operacional	32,5	18,2	6,8
Utilidad Neta	24,2	12,3	4

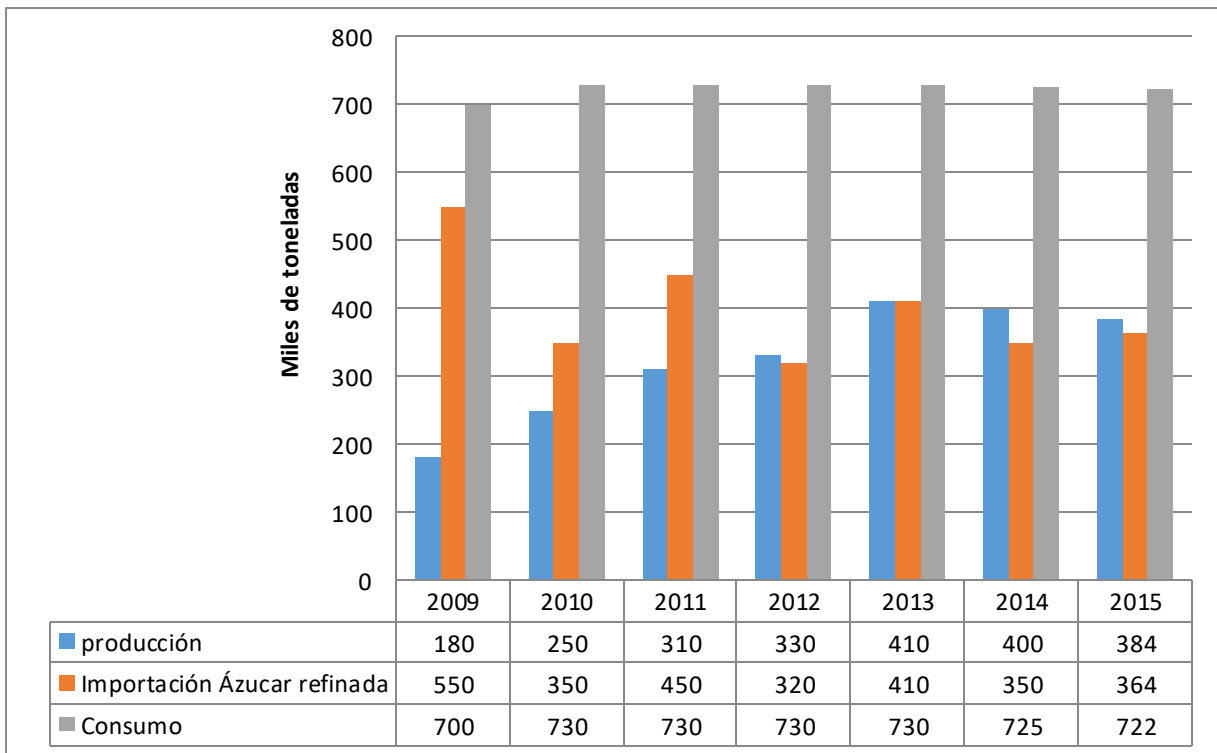
Fuente: Memoria IANSA 2015

1.1.2. Producción y precio del Azúcar

IANSA es la empresa líder en producción y comercialización de azúcar en el país. El mercado global del azúcar en Chile durante 2015 totalizó un estimado de 722 mil toneladas, representando un decrecimiento de un 2,5% respecto a 2014. En este contexto, IANSA es la principal empresa azucarera en cuanto a su participación en el mercado, con un total estimado de 67%. El saldo es vendido por importadores que traen el azúcar de distintos orígenes. Las importaciones de azúcar han ingresado al país libre de aranceles desde el año 2009.

A continuación, se presenta la evolución de producción, importación y consumo de Azúcar en Chile.

Gráfico 1: Producción, importación y consumo de azúcar en Chile.



Fuente: Memoria IANSA 2015

En la siguiente tabla se muestra una relación entre la producción y el precio del azúcar durante los años 2013, 2014 y 2015.

Tabla 2: Producción y precio del azúcar, años 2013, 2014 y 2015.

	Años		
	2013	2014	2015
Producción de Azúcar (mil toneladas)	401	387	384
Precios del Azúcar (US\$ por tonelada)	490	440	373

Fuente: Memoria IANSA 2015

1.2. Planta IANSA Linares

1.2.1. Descripción Planta IANSA Linares

La remolacha utilizada en la Planta de Linares, se cultiva en la zona agrícola comprendida entre el sur de Curicó y Parral, esta empresa se dedica a la producción de Azúcar Granulada, Azúcar Flor, Pellet para animales, CAL IANSA y Melaza, donde el 49% de sus ingresos corresponde a la producción de azúcar y el 51% a sus coproductos en el año 2015.

La planta se desarrolla en dos etapas, las cuales son: El Período de Producción y el Período de Mantenimiento, los cuales tienen una duración de 6 meses cada uno.

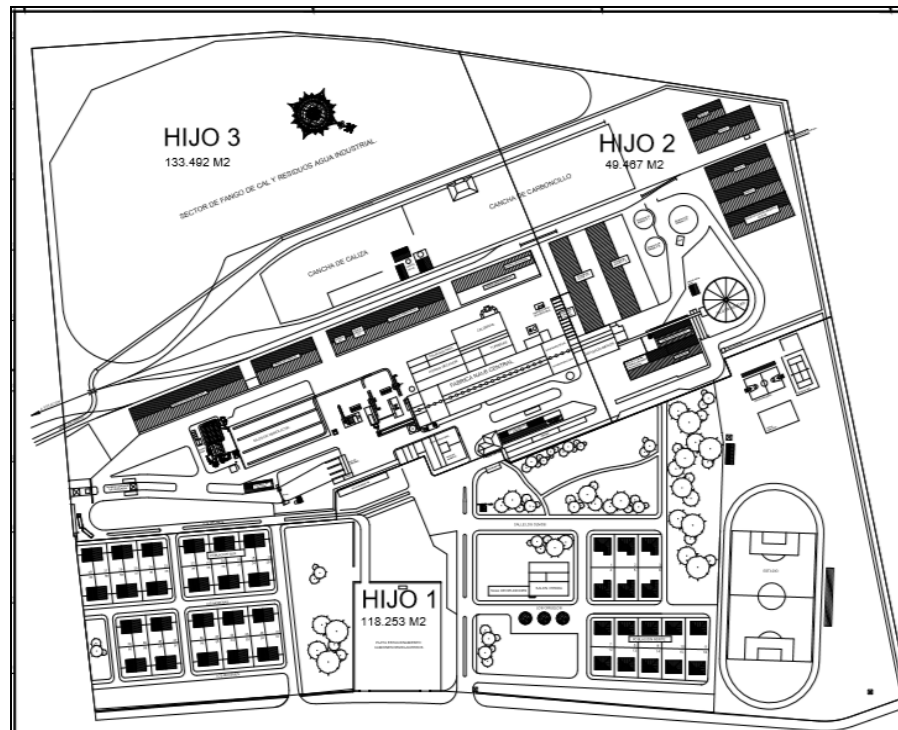
En el Período de Producción la planta opera con 400 colaboradores aproximadamente, donde se procesan anualmente 660.000 toneladas de remolacha y se producen 100.000 toneladas de azúcar y 72.000 toneladas de subproductos aproximadamente.

Por otra parte, en el Período de Mantenimiento solo operan 100 colaboradores, dado que la línea productiva se detiene completamente, centrándose solo en la mantención de los equipos. Sin embargo, esto no se lleva a cabo ya que el plan de mantenimiento actual que tiene la empresa no cumple con los plazos estipulados ni los procedimientos adecuados para realizar un óptimo mantenimiento a sus equipos.

1.2.2. Ubicación Planta IANSA Linares

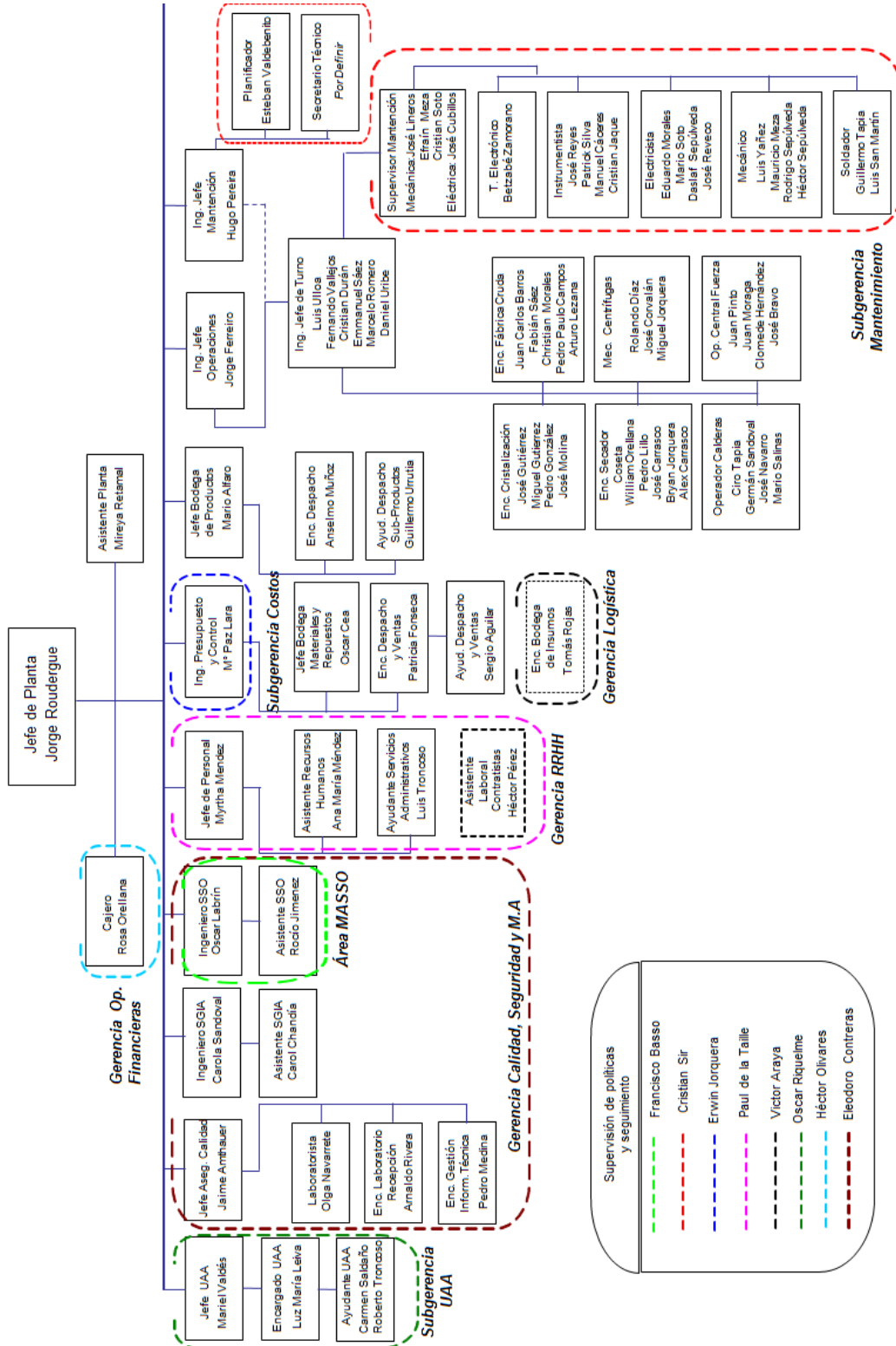
La planta IANSA Linares se encuentra ubicada en la Séptima Región del Maule, camino a Yervas Buenas S/N, está se encuentra construida en 181.212 M².

Figura 1: Plano Planta IANSA Linares



Fuente: Planta IANSA S.A

1.2.3. Organigrama de la planta IANSA Linares



Fuente: Planta IANSA Linares

1.2.4 Producción Planta IANSA Linares

Durante el año 2015, la planta IANSA Linares produjo 100.000 toneladas de azúcar blanca y 72.000 toneladas de subproductos.

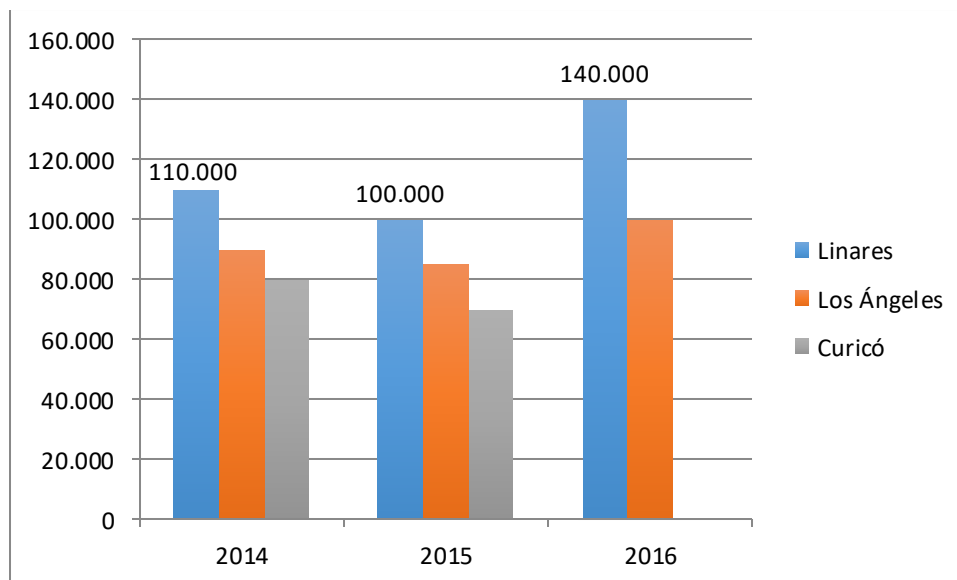
A continuación, se presenta una tabla comparativa de la producción anual de Azúcar blanca de la Planta Linares y otras plantas de IANSA durante los años 2014, 2015, 2016.

Tabla 3: Producción de azúcar blanca Plantas IANSA

Planta	2014	2015	2016
Linares	110.000	100.000	140.000
Los Ángeles	90.000	85.000	100.000
Curicó	80.000	70.000	0

Tras serios análisis y conscientes de que la zona norte de la Región del Maule se ha transformado en un área eminentemente frutícola y vitivinícola, por lo que no hay terrenos disponibles para el cultivo de la remolacha, IANSA anunció el cierre definitivo de la planta en Curicó a finales del año 2015. Por lo tanto, toda la producción remolachera se concentró en el año 2016 en las fábricas de Linares y Los Ángeles, aumentando la producción de azúcar blanca de la planta Linares en 40% con respecto al año anterior.

Gráfico 2: Producción de azúcar blanca Plantas IANSA



Fuente: Elaboración propia (datos extraídos Planta IANSA Linares)

Capítulo 2: Descripción general del proceso productivo del azúcar blanco.

2.1. Producción de Remolacha

La remolacha utilizada en esta Planta se cultiva en la zona agrícola comprendida entre el sur de Curicó y Parral.

La dirección del cultivo es ejecutada por el Departamento Técnico Agrícola de IANSAGRO en relación con:

- Determinación de predios aptos para el cultivo.
- Entrega de semillas certificadas.
- Tipos y dosis de fertilizantes y pesticidas.
- Asistencia técnica general.

La relación entre IANSAGRO y el Agricultor se verifica a través de un contrato que especifica entre otras cosas el precio a pagar por la remolacha y las restricciones al uso de insumos no autorizados.

Figura 2: Plano Planta IANSA Linares



Fuente: Memoria IANSA 2015

2.2. Recepción, Descarga y Almacenamiento de Remolacha

Cuando el análisis de madurez industrial de remolacha efectuado en planta Ñuble, indica que ya está en condiciones adecuadas, se procede a la cosecha. Por lo general dichas condiciones se logran desde abril.

La remolacha es transportada a la planta por medio de camiones según programa de cosecha realizado por IANSAGRO para cada Agricultor.

Para estimar el pago a los agricultores, el transporte con remolacha se pesa en la romana de ingreso y luego se le sacan 20 – 30 kg de muestra mediante un equipo denominado Rupro. En el laboratorio de recepción se determina % Pol y % Mugre.

Finalmente, el vehículo se descarga lateralmente con agua a presión de 3 a 4 bar y luego se pesa vacío para determinar el peso neto.

A través de pitones giratorios el chorro de agua de descarga es proyectado desde una posición superior respecto de la carga de remolacha para facilitar el barrido húmedo. Posteriormente se desplaza al canal hidráulico que la conduce a los equipos de separación de piedra y pasto y equipo descolillador, para llegar a Silo de almacenamiento de Remolacha. Las piedras y pasto acompañan normalmente a la remolacha desde los potreros donde ha sido cosechada y producen serios problemas en la operación de Fábrica. Las raicillas (colillas) corresponden al extremo delgado inferior de la remolacha que se quiebra durante la descarga y el transporte en los canales. Por su bajo tamaño obstruye maceradores y torres de difusión. Este “subproducto” se destina a la comercialización.

El carguío de los silos se realiza a través de una rueda elevadora que deposita la remolacha en canales hidráulicos elevados, los cuales distribuyen la remolacha en los silos de almacenamiento, separándose del agua sucia resultante de su movilización. La capacidad de almacenamiento de los silos de remolacha de la planta es de aprox. 6500 ton, equivalentes a 1,3 días de elaboración.

Un factor importante en el almacenamiento de la Remolacha es:

Respetar Sistema FIFO y así evitar tiempos prolongados de permanencia en Silos, que ocasionan degradación de la sacarosa por ataque microbiano, formación de compuesto que perjudican el proceso y pérdida de las características deseables de resistencia mecánica de la remolacha.

Insumos utilizados en esta etapa:

- Agua fresca
- Cal viva

Equipos utilizados:

- Sonda toma muestra (Rupro)
- Descolillador
- Despastador
- Despiedrador
- Rueda elevadora
- Bombas de agua
- Decantador de agua
- Básculas para camiones
- Balanzas
- Picadora de muestra
- Balanza dosificadora
- Polarímetro

Figura 3: Imagen de Recepción y descarga de Remolacha



Fuente: Planta IANSA Linares

2.3. Preparación de Remolacha

La función fundamental en esta operación es eliminar tierra, colillas y otras materias adheridas a la remolacha y su corte en trozos para aumentar la superficie de extracción de sacarosa.

Insumos utilizados en esta etapa:

- Agua decantada
- Agua de pozo clorada (Hipoclorito de Sodio)
- Cuchillos

Equipos utilizados:

- Puentes de pesaje (Básculas)
- Lavadora de remolachas
- Bombas de agua
- Separador de agua
- Separador de pasto
- Separador Magnético
- Rueda de Remolacha
- Cintas de remolacha
- Cortadora de remolachas

Figura 4: Lavadora de Remolacha



Fuente: Planta IANSA Linares

2.4. Extracción

Se utiliza el proceso de difusión con agua caliente. El rendimiento de recuperación de sacarosa en la extracción es del orden del 98 – 99%.

Para la difusión es necesaria una gran superficie de contacto agua-remolacha, que se obtiene mediante el corte de ésta en tiras alargadas, de sección cuadrada, de 3 a 5 mm. de espesor y aproximadamente 10 cm de longitud, denominadas cosetas.

En el Macerador se calientan rápidamente las cosetas hasta 72 °C, para producir la desnaturalización de las vacuolas de las células (proteínas), que contienen el jugo natural azucarado.

Tienen notable importancia en la difusión factores tales como:

- Cantidad de agua de extracción, la que debe balancearse perfectamente para evitar la obtención de jugos muy diluidos, que incidirían en mayor consumo de vapor en las etapas de concentración posteriores.
- Temperatura a que se lleva a cabo el proceso. Un calentamiento excesivo favorece la difusión de no-azúcares y la incorporación al jugo de algunos sólidos no solubles, que dificultan la purificación posterior. Una calefacción deficiente, por otra parte, es propicia para el desarrollo de microorganismos y menor recuperación de sacarosa.

La coseta ya agotada se prensa, se seca y peletiza, obteniéndose un producto almacenable, apto para el consumo animal. De acuerdo a las necesidades del mercado también se puede realizar un baño de melaza obteniendo otra variedad de alimento animal llamada “coseta seca peletizada melazada”. El agua obtenida del proceso de prensado es devuelta a la extracción como Agua de prensas.

Para un buen prensado de la coseta agotada, se adiciona durante el proceso de extracción yeso, ácido sulfúrico y aceite antiespumante. Para evitar la pérdida de sacarosa por acción microbiana se adiciona Biocida. Para evitar rebase de espuma en los equipos se utiliza Antiespumante.

Insumos utilizados en esta etapa:

- Remolacha
- Agua fresca (condensado)
- Ácido Sulfúrico
- Yeso
- Antiespumante
- Biocida

En esta etapa no hay reacciones químicas importantes, ya que se trata de un proceso de extracción física.

Los principales equipos involucrados son:

- Maceradores
- Torres de Difusión
- Prensas de Coseta
- Intercambiadores de Calor
- Bombas
- Despulpadores
- Tornillos sin fin (gusanos)
- Cintas Transportadoras

Figura 5: Torre de Extracción



Fuente: Planta IANSA Linares

2.5. Purificación y Filtración.

El jugo Crudo azucarado obtenido de los equipos de extracción se somete a una purificación a objeto de neutralizarlo, eliminar sustancias solubles que disminuyen su pureza en sacarosa y darles termo estabilidad a los tratamientos posteriores del proceso.

Universalmente se considera que el proceso de purificación calco-carbónica es el más eficiente y de bajo costo para lograr los objetivos señalados.

La Purificación comienza con un pequeño calentamiento a 45 – 60 °C para luego recibir lodos recirculados de los decantadores para subir el pH a 8.5 – 8.8 en un estanque perfectamente agitado con un tiempo de residencia de 5 – 10 min. donde comienzan a precipitar proteínas y a formarse pequeños gránulos. A esta etapa de la purificación se envían los residuos de lavados Filtros de 2° Saturación y Filtros de Licor Estándar, la disolución de polvo de azúcar del filtro de polvo de Casa de Azúcar, la disolución de azúcar de barrido (local y de otras plantas), azúcar rechazado en envasado y adición de azúcar cruda.

Luego este jugo se calienta a 85 °C y recibe lechada de cal para subir el pH a 12.5 para inmediatamente bajarlo a pH 11 - 11.2 por efecto de la adición del CO₂ producido en la calcinación de la caliza en los hornos de cal.

Con el agregado de lechada de cal se consigue coagular proteínas y sustancias colorantes, precipitar sales insolubles de calcio y descomponer ciertos no-azúcares, tales como amidas, azúcar invertido y sustancias pépticas.

Al encalado le sigue una primera carbonatación, en un estanque perfectamente agitado en el cual se controla el PH en 11.0 – 11.2, (agregado de CO₂) para formar cristales de carbonato de calcio (CaCO₃), de un tamaño adecuado para poder decantar y filtrar, en cuya superficie se absorben sustancias colorantes y no azúcares. Dichos cristales envuelven, estabilizan y dan peso a los coloides. Para evitar la formación de espuma y rebalse de equipos, se adiciona Antiespumante.

El Jugo con todos los precipitados resultantes de la primera carbonatación se envían a los decantadores, de los cuales sale por la parte superior jugo decantado y por el fondo sale un jugo fangoso que se recircula una parte al jugo crudo y la otra parte se envía a los filtros de alta materia seca.

De los filtros sale el jugo filtrado directamente al estanque de jugo combinado donde se une al decantado. En una segunda etapa el queque de fango se lava con agua caliente y sale el agua azucarada que se envía a los Hornos de Cal para la preparación de Lechada. En una tercera etapa y luego de prensar al máximo el fango se inyecta aire comprimido para producir el secado del queque, el fango que como sólido seco sale de estos filtros se acopia para posterior comercialización como Cal IANSA.

El jugo Combinado, (filtrado de primera más decantado), calentado a 94°C, es sometido a una segunda carbonatación, hasta PH 9,0, (Óptimo entre 8,8 y 9,2), con el objeto de reducir al mínimo posible su contenido de sales cálcicas solubles (dureza). Las sales precipitadas en esta etapa son eliminadas por filtración. A objeto de disminuir en mayor proporción las sales solubles de calcio, frecuentemente se adiciona Ceniza de Soda (Na_2CO_3) a la segunda Carbonatación.

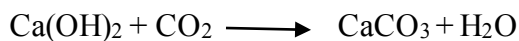
El jugo, así purificado denominado Jugo Claro Duro, queda libre de impurezas en suspensión, es termoestable, es transparente y de baja coloración. Es descalcificado mediante un equipo conocido como descalcificador el cual contiene resinas sintéticas de intercambio iónico, que eliminan casi completamente la dureza residual de la purificación, permitiendo un funcionamiento más estable de los equipos de evaporación, al evitar su principal fuente de incrustación. Posteriormente, el Jugo, pasa a la etapa de sulfitación con el objetivo de inhibir en lo posible la coloración del jugo al pasar por las altas temperaturas de la evaporación. Después de la sulfitación se habla de Jugo Claro blando sulfitado.

Los insumos involucrados en esta etapa son:

- Jugo crudo proveniente de extracción
- Anhídrido Carbónico (CO_2) proveniente de Hornos de Cal
- Lechada de Cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) proveniente de Hornos de Cal
- Antiespumante
- Ceniza de Soda (Na_2CO_3)
- SO_2 proveniente del Horno de Azufre
- Residuos de Lavado provenientes de Filtros de Licor Estándar y 2° Saturación
- Azúcar de Barrido, Polvo de azúcar proveniente de filtros de polvo, azúcar rechazada en envasado y azúcar cruda.

Las reacciones químicas más importantes son:

Purificación: La Cal reacciona con el CO_2 dando Carbonato de Calcio



Los hidróxidos alcalinos se transforman en Carbonatos



Los principales equipos son:

- Carbonatadores
- Decantadores
- Filtros de presión (mangas, Filtro prensa)
- Descalcificadores
- Estanques
- Bombas
- Agitadores
- Columna de Sulfitación

Los subproductos resultantes destinados a comercialización, de esta etapa son:

- Fango o Cal IANSA

Figura 6: Estanques donde se realiza el proceso de Purificación.



Fuente: Planta IANSA Linares

2.6. Evaporación

El Jugo Claro Blando Sulfitado, con un contenido de materia seca de 16 – 18%, es concentrado en una estación evaporadora hasta un 65 – 70% de materia seca. Este jugo es conocido como Jugo Denso Blando, que luego de volver a pasar por los descalcificadores para regenerarlos, capta nuevamente el calcio depositado por el Jugo Claro Duro y se convierte en Jugo Denso Duro.

Con el objetivo de alcanzar un alto nivel de economía térmica en la fábrica de azúcar, la evaporación se lleva a cabo con la extracción de cada cuerpo evaporador, que permite satisfacer las necesidades de calor y alcanzar la temperatura de saturación para:

- El precalentamiento de jugos y aguas.
- La cristalización al vacío en la refinería.
- El secado de azúcar.

El vapor proveniente de Calderas es condensado en el primer efecto, desde donde se devuelve gran parte del condensado como agua de reposición a Calderas. Debido a purgas y otras pérdidas, este condensado no es suficiente para mantener Calderas, por lo que también se envía una parte del condensado del segundo efecto.

Para evitar la incrustación, de los tubos de los efectos de la estación evaporadora, por sales de calcio (oxalato, carbonato y silicatos) se adiciona inhibidor de incrustaciones. Para evitar la producción de espuma y arrastre de ésta se utiliza antiespumante.

Los insumos involucrados en esta etapa son:

- Jugo Claro Blando Sulfitado
- Inhibidor de incrustaciones
- Antiespumante
- Vapor de baja presión

Los principales equipos involucrados en esta etapa son: la Estación Evaporadora e Intercambiadores de calor.

Figura 7: Evaporadores

Fuente: Planta IANSA Linares

2.7. Disolución

Se forma el licor estándar mediante la disolución en Jugo Denso de: azúcar B, azúcar C afinada y Siropo Blanco A.

En caso de emergencia, a falta de jarabe se utiliza Condensado.

Los insumos involucrados en esta etapa son:

- Jugo Denso Dura
- Azúcar B y C afinada
- Siropo Blanco A
- Condensado (opcional)

El principal equipo involucrado es un estanque de disolución con agitador, conocido como “Paila”. Además, se cuenta con otros estanques con agitador para asegurar la completa disolución de todo lo agregado.

Figura 8: Jugo Denso

Fuente: Planta IANSA Linares

2.8. Filtración del Licor Estándar.

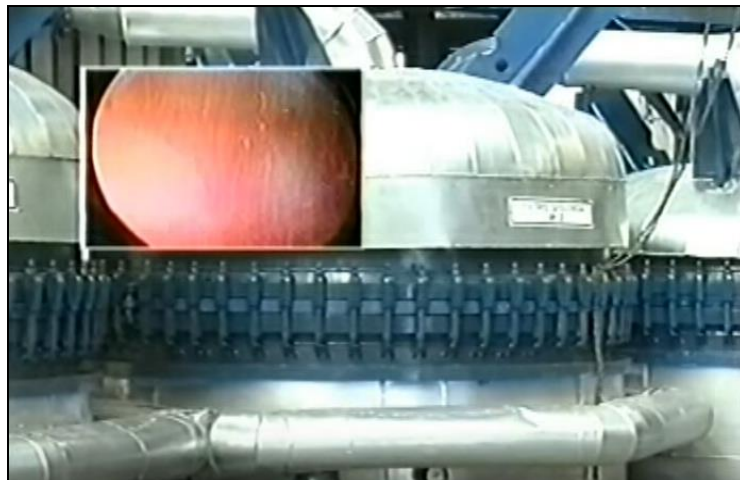
Como una medida de seguridad en el proceso, el licor estándar es sometido a una etapa de filtración para retener partículas inferiores a 55 micrones. Dada la alta viscosidad que puede alcanzar el licor estándar se calienta hasta 90 °C para facilitar la filtración.

Esta filtración es realizada en forma automática (Filtros Sibomat) y consta de dos etapas: Filtración de Licor Estándar y Lavado de Filtros. En esta última etapa se utiliza Condensado a presión y los residuos generados son retornados a la etapa de Purificación.

Los insumos de esta etapa son el Licor estándar proveniente de la etapa de Disolución y agua caliente para el lavado del filtro.

El principal equipo involucrado son los filtros de Licor Estándar.

Figura 9: Proceso de Filtración



Fuente: Planta IANSA Linares

2.9. Cristalización

- **Semillado.**

Esta etapa comienza con la elaboración del “slurry”, que es una papilla que contiene pequeños cristales de azúcar en suspensión en alcohol isopropílico y glicerina para evitar que se disuelvan o se peguen entre ellos.

En un evaporador con tubos de 90 mm de diámetro y un robusto agitador mecánico, el licor estándar filtrado se concentra al vacío, (0,20 Bar a), lográndose una solución sobresaturada a 72 °C, 78% de materia seca y 74% de sacarosa. A este licor, (pie de cocida), se le inyecta la semilla, (Slurry). Luego de la consolidación de éstos se continúa agregando licor al cocimiento para que los cristales que ésta contiene, con la cristalización de azúcar sobre ellos, sigan creciendo desde 0,01 mm hasta el tamaño deseado para la semilla que habitualmente es una curva de distribución normal alrededor de 0,3 mm.

- **Cristalización.**

Al igual que para el Semillado en otros tachos de cocción se alimenta licor y se concentra hasta 78° Brix y a este pie se le inyecta 4 o 5 Tn de semilla preparada en la etapa anterior y estos cristales, al seguir agregando licor y subiendo el Brix, continúan creciendo hasta un tamaño medio deseado alrededor de 0,6 mm. Se utiliza la cristalización al vacío para evitar el exceso de temperatura que podría caramelizar la sacarosa.

El producto que se obtiene al final de la concentración se denomina “Masa cocida” y contiene los cristales de azúcar suspendidos en el licor madre. Este licor madre, a su vez, es una solución saturada de azúcar y contiene todos los no-azúcares del licor original.

Los insumos son:

- Licor Estándar Filtrado
- Antiespumante.
- Siropos, enviadas desde la etapa de Centrifugación.
- Slurry (suspensión de cristales de sacarosa de 10 micrones de tamaño en una solución de Isopropanol más glicerina, que se usa como medio de siembra para iniciar la cristalización en los tachos)
- Condensado
- Tensoactivos

Los equipos involucrados son:

- Tachos cocedores a Vacío Bombas de vacío
- Cristalizadores Horizontales
- Semillero
- Columnas barométricas

Figura 10: Cristalizador

Fuente: Planta IANSA Linares

2.10.Centrifugación.

La etapa de centrifugación comienza con el bombeo de la masa a un repartidor que es un equipo con agitador lento y del cual se alimentan las centrífugas A, discontinuas.

Estas máquinas se preparan ajustando su giro a una velocidad lenta o de carga, lavan sus mallas y reciben la masa con un gran flujo, comienza a acelerar hasta un mínimo de 1000 rpm para lograr la separación del licor madre (o sirope verde), de los cristales de azúcar. Durante la etapa de aceleración se inyecta agua de lavado de los cristales para luego separarse como Sirope Blanco. Aprovechando la máxima velocidad el azúcar sufre un presecado luego de lo cual la máquina frena y descarga azúcar blanco húmedo.

El sirope separado en una primera etapa se sigue agotando en dos cristalizaciones sucesivas, análogas a la descrita. El azúcar obtenido de estas cristalizaciones (azúcar B) es enviado a la etapa de Disolución. El azúcar C, se mezcla con sirope verde A formándose un magma que se centrifuga y que también se envía a disolución; por otra parte, el sirope verde A se envía al cocimiento B.

Como subproducto de la última etapa de centrifugación se obtiene un sirope de baja pureza (alta proporción de no-azúcares/sacarosa) denominado Melaza.

En las Centrífugas de Masa cocida A, frecuentemente se producen pequeños descartes de azúcar húmedo que son enviados a Disolución.

Los insumos de esta etapa son:

- Masa cocida A
- Masa cocida B
- Masa cocida C
- Magma C
- Agua Caliente a Centrifugas “A”

Los equipos son:

- Repartidor
- Centrifugas discontinuas “A”
- Centrifugas continuas B, C y C afinadas.
- Amasador

Figura 11: Proceso de Centrifugación



Fuente: Planta IANSA Linares

2.11.Secado de Azúcar

Todo el azúcar producido en la campaña debe permanecer almacenado por un tiempo prolongado, es por ello que el azúcar debe cumplir ciertos requisitos de humedad y temperatura para un almacenamiento seguro.

Al salir de las centrifugas el azúcar tiene entre 0,5 a 1 % de humedad y 75 – 90°C. En estas condiciones el azúcar se deteriora. Las condiciones adecuadas de almacenamiento son: humedad menor a 0,030 % y 25 °C. Para esto, el azúcar de centrifugas se seca y enfría en un equipo especialmente diseñado, que cuenta con filtros para el aire frío y caliente.

Los insumos son:

- Azúcar blanco húmedo
- Aire caliente
- Aire Frío
- Los equipos involucrados:
 - Filtro de Polvo
 - Secador de azúcar
 - Ventilador Extractor
 - Calentador de aire
 - Filtros

Figura 12: Azúcar secada con aire caliente



Fuente: Planta IANSA Linares

2.12. Tamizado

Cuando se seca el azúcar se puede generar Granza (terrones), que son separados en la etapa de Tamizado.

Esto se hace en harneros vibratorios con mallas de acero inoxidable de 2,5 mm de luz para extraer el sobre tamaño, y malla de 0,25 mm de luz para extraer el fino que ocasiona problemas en el almacenamiento a granel (Silo Lucks). Luego es enviado a través de parrillas imantadas que extraen el material ferroso, hacia Almacenamiento Granel y además a un Bunker para envasado directo a 50 kilos.

El sobre tamaño (Granza) se envía a la etapa de Disolución.

El fino obtenido es enviado al búnker de envasado de 50 kg.

El polvo del filtro se disuelve con jugo y se envía al Estanque de Residuos de Refinería.

Los insumos involucrados en esta etapa son:

- Azúcar blanco seco.

Los equipos involucrados:

- Clasificadores de Azúcar

Figura 13: Azúcar separada por su tamaño



Fuente: Planta IANSA Linares

2.13. Almacenamiento a Granel.

Esta etapa es importante pues el azúcar debe permanecer en el silo hasta 24 meses sin que se deteriore. Para esto el silo tiene una “Central de Climatización” donde se toma aire de la atmósfera, se filtra, se retira el exceso de humedad por enfriamiento y se calefacciona, para ser inyectado por la parte inferior del silo con el propósito de mantener la temperatura y humedad adecuadas para su conservación (Temperatura 30°C y humedad relativa 40 %).

Los insumos involucrados en esta etapa son:

- Azúcar blanco seco
- Aire acondicionado

Los equipos involucrados:

- Sala de clima
- Silo Lucks

Figura 14: Silos



Fuente: Reporte IANSA 2012

2.14. Envasado

La forma de presentación del producto final en cualquier industria es uno de los temas importantes que ésta debe considerar.

La industria azucarera debe cubrir diferentes formas de presentación del azúcar a objeto de cumplir con los requerimientos de los consumidores. En la actualidad el envasado es realizado con azúcar recién producida, desde la etapa de Tamizado la cual es enviada a Bunker y envasada en sacos de 50 kilos, o desde la ya Almacenada a granel en Silo Lucks en los siguientes cortes:

- Un kilo empacado en 20x1 (Suspendido)
- 5 kilos (Suspendido en Linares)
- 50 kilos
- 1200 kilos

Una vez que el producto es envasado se hace pasar por un detector de metales con la finalidad de detectar y detener todo el producto que contenga algún material ferroso, no ferroso y acero inoxidable.

Se cuenta con un detector de metales para el envasado de 50 kg.

Figura 15: Envasado



Fuente: Planta IANSA Linares

2.15. Almacenamiento Producto Terminado

La mayor parte del azúcar producido debe quedar almacenada en la Planta durante un tiempo más o menos prolongado, debido a que las ventas se prolongan fuera de los periodos de campaña (Septiembre – Marzo).

Este almacenamiento se puede realizar:

- Paletizado (1 y 5 kilos) (Suspendido en Linares)
- Apetacado (50 y 1200 kilos)

Figura 16: Azúcar Paletizada



Fuente: Planta IANSA Linares

2.16.Despacho.

La presentación del producto al llegar al destino final (consumidor o Industriales), en parte depende de la forma que se origina el despacho y de los cuidados que se deben tener en los medios de transporte utilizados para este efecto, tanto desde el punto de vista de seguridad como de higiene. En la actualidad se despacha por medio de transporte terrestre en los diferentes cortes y a granel dependiendo del consumidor final.

Figura 17: Despacho a Granel



Fuente: Planta IANSÁ Linares

2.17.Recepción y Almacenamiento de Insumos de Envasado

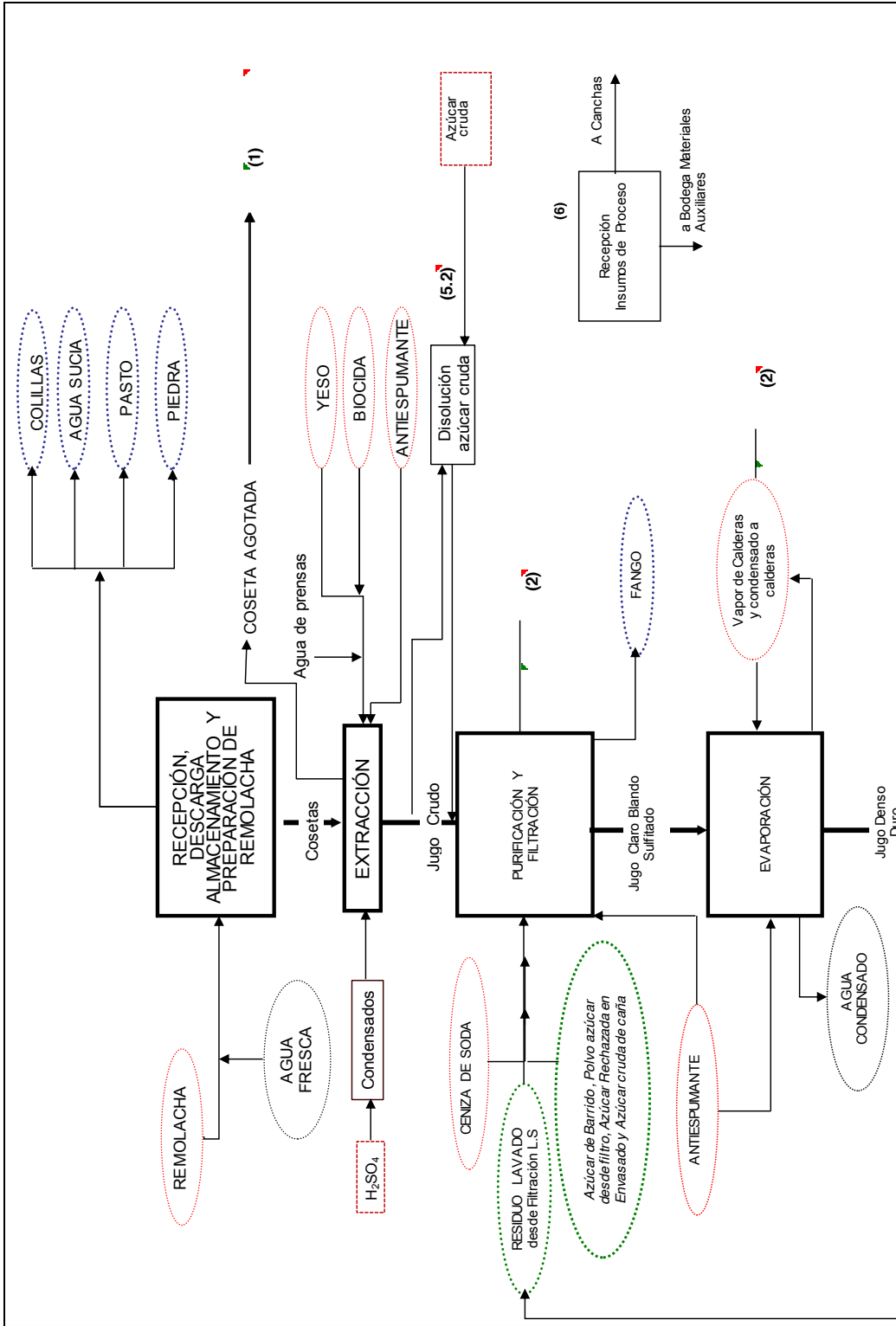
La recepción de los insumos de envasado se realiza en una bodega destinada especialmente para ello. El tipo de almacenamiento es según el sistema FIFO.

2.18.Recepción de Insumos de Proceso (Materiales Auxiliares)

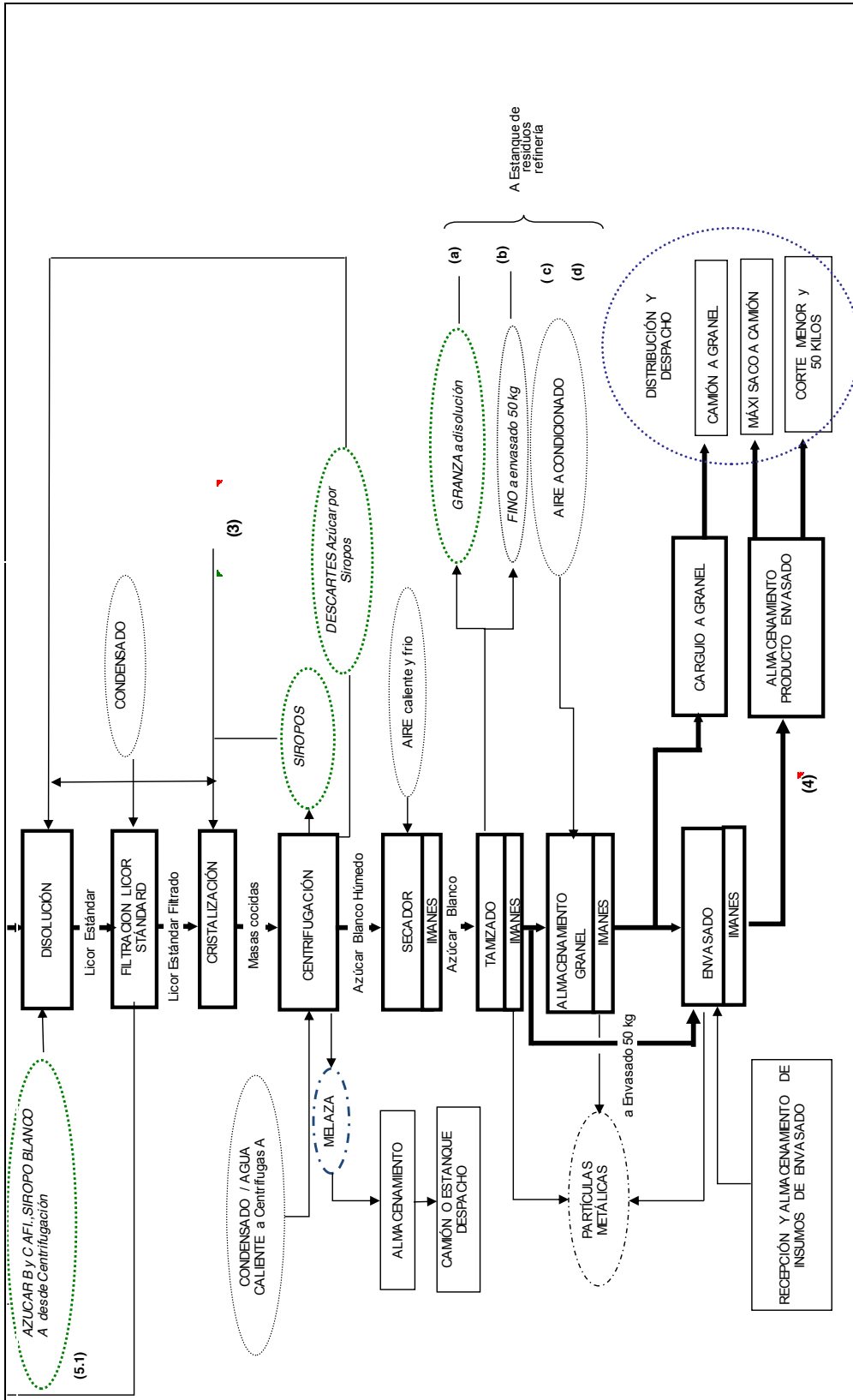
Todo camión portador de los “insumos” requeridos por la planta seguirá el siguiente procedimiento:

- Portería Central: registra datos tales como patente del camión, nombre conductor, guía de despacho y lugar hacia donde se dirigirá con la carga (Bodega o canchas).
- Bodega de Materiales: Encargado de Bodega (o su Ayudante) recibe los insumos, revisando previamente la guía de despacho del (o los) insumos y verificando en el sistema SAP, la orden de compra respectiva. Cuando se da conformidad a la carga, ésta es trasladada a la Bodega de Materiales Auxiliares, donde se mantendrán almacenados hasta inicio de la campaña desde donde serán retirados, según necesidad de stock en fábrica, previa reserva SAP de materiales.

Esta actividad la realiza el Encargado de Servicios Generales, quien gestionará con personal de la Cuadrilla de Acarreo de Materiales, el traslado desde Bodega de Materiales auxiliares hasta el sector de la fábrica donde se requiera del insumo de proceso, en particular.



Fuente: Planta IANSA Linares



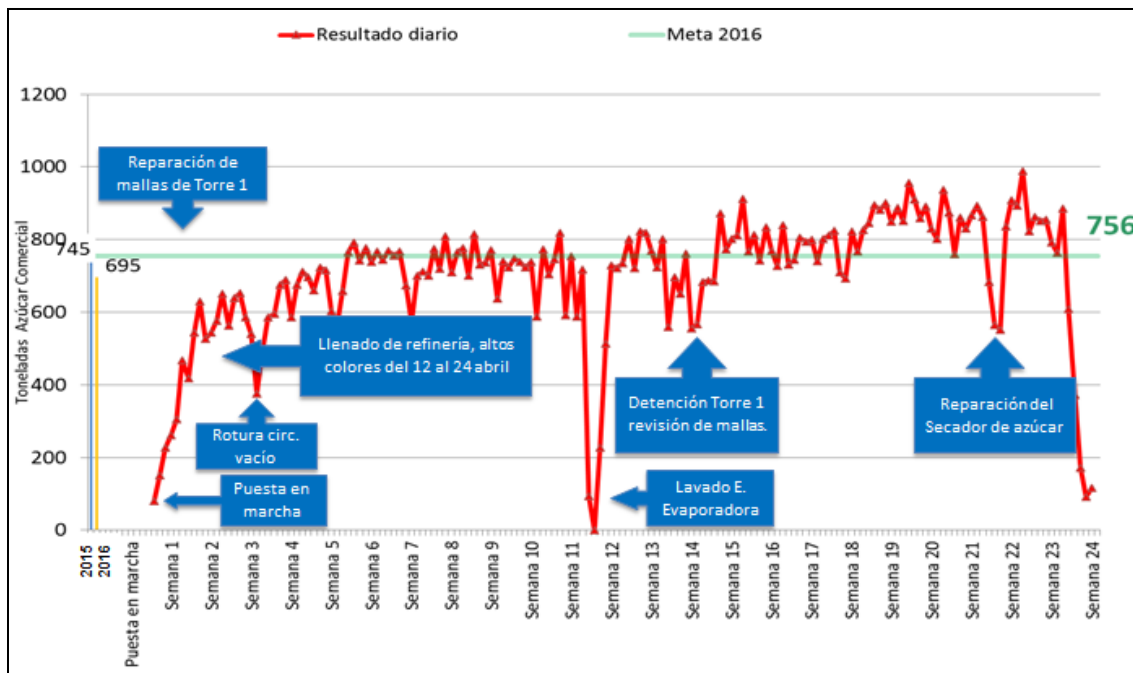
Capítulo 3: Definición del problema y objetivos de estudio

3.1 Indicador de producción diaria de azúcar comercial

El departamento de mantenimiento de la Planta IANSA Linares, está conformada por un equipo de trabajo que está encargado de implementar los planes de mantenimiento y demás estrategias que permitan la continuidad operacional de los equipos e instalaciones de la planta. Este departamento debe cumplir con los estándares de excelencia operacional acordados con la dirección. Dentro de esos estándares se tiene los indicadores de rendimiento, correspondientes a la producción diaria de azúcar comercial, rendimiento diario azúcar comercial y utilidad neta por tonelada de azúcar blanco comercial.

Dentro de la planta IANSA Linares se tiene que cumplir con las metas acordadas con la dirección. En el caso del departamento de mantenimiento se le exige que la producción media diaria sea de 756 toneladas de azúcar comercial, esto se representa en el siguiente diagrama de control:

Gráfico 3: Diagrama de control producción azúcar comercial



Fuente: Campaña IANSA Linares 2016

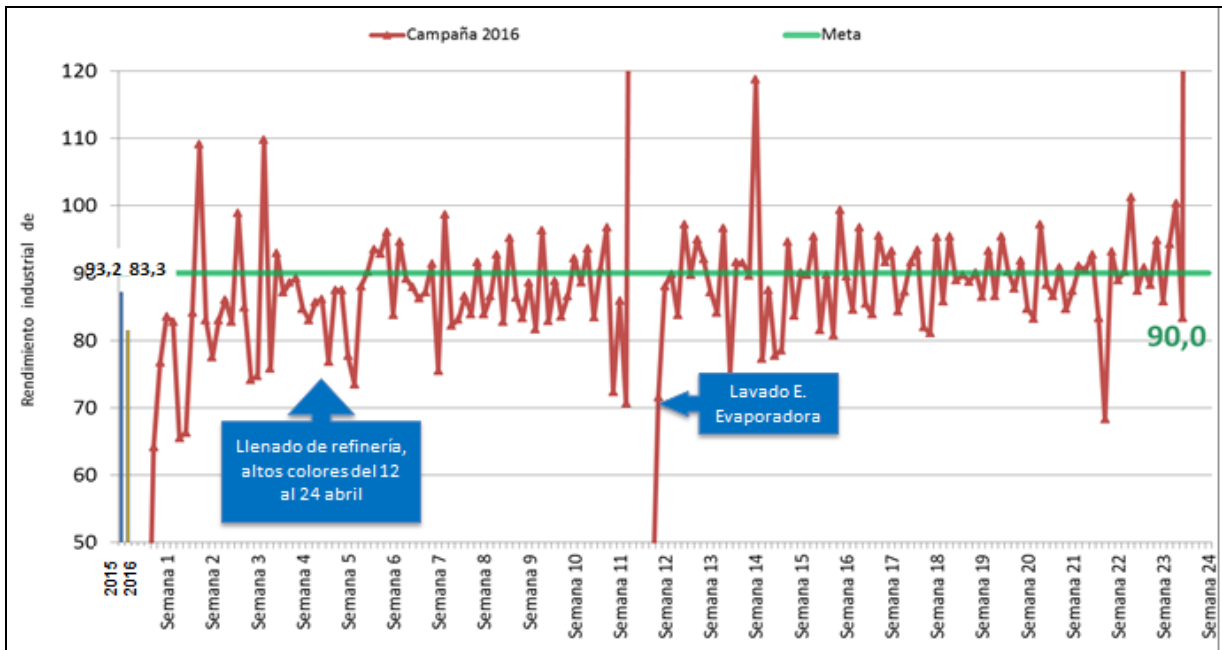
Lo que se muestra en el Gráfico 3, es que no se está cumpliendo con el estándar de producción diaria de azúcar comercial solicitado por la dirección. La producción de azúcar comercial en el año 2016 solo alcanzó una media de 695 toneladas diarias, disminuyendo un 7% con respecto al año anterior y un 9% con la meta actual. Dentro de las causas asignables señaladas en el Gráfico 3 se encuentran las mantenciones correctivas en el periodo de

producción. (Reparación de mallas Torre 1, rotura círculo vacío, llenado refinería, lavado Estación Evaporada, reparación del secador de azúcar, entre otras)

3.2 Indicador de rendimiento diario de azúcar comercial

Al departamento de mantenimiento se le exige un estándar de rendimiento para procesar el azúcar crudo a azúcar comercial, correspondiente al 90%, esto se representa en el siguiente diagrama de control:

Gráfico 4: Rendimiento diario azúcar comercial



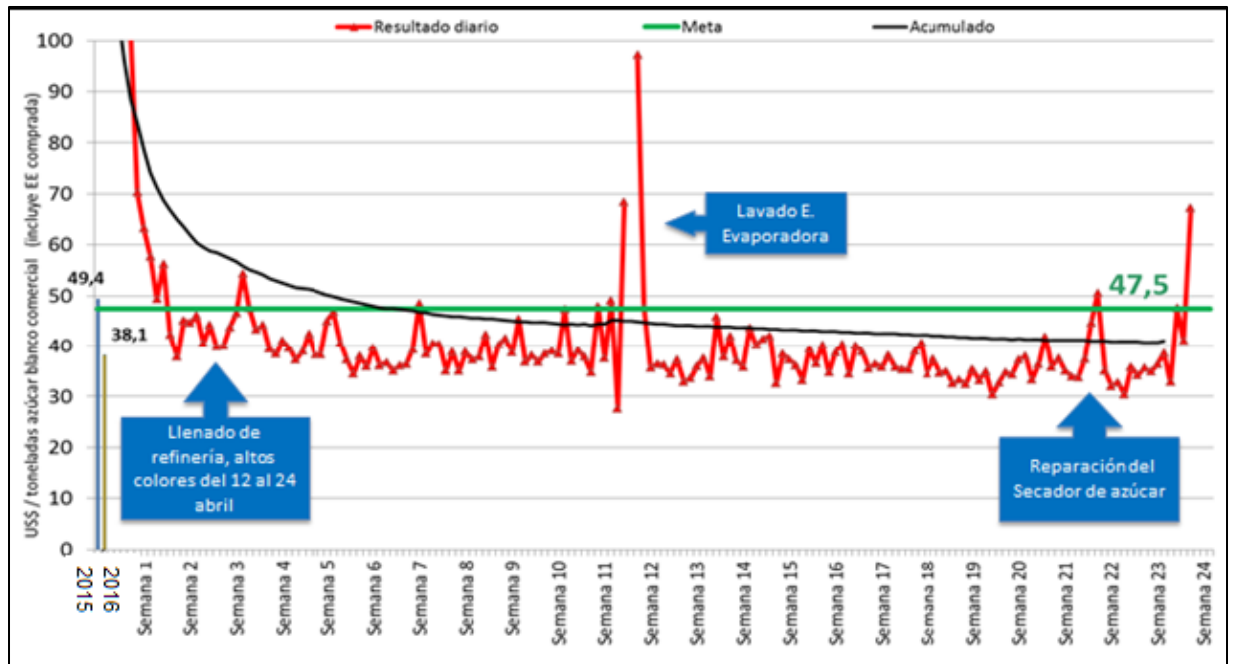
Fuente: Campaña IANSA Linares 2016

Lo que se muestra en el Gráfico 4, es que no se está cumpliendo con los estándares solicitados por la dirección. El rendimiento diario de azúcar comercial en el año 2016 fue de 83,3%, disminuyendo un 8,9% con respecto al año 2015 y un 6,7% con la meta actual. Dentro de las causas asignables señaladas en el Gráfico 4 se encuentra las mantenciones correctivas en el periodo de producción (Llenado de refinería, lavado Estación Evaporadora, entre otras).

3.3 Indicador Utilidad neta por tonelada de azúcar blanco comercial.

La planta IANSA Linares tiene un estándar para calcular la utilidad neta por tonelada en base a las toneladas de azúcar blanco comercial producido. Al departamento de mantenimiento se le exige una media de US\$47,5 por tonelada de azúcar blanco diario, esto se representa en el siguiente diagrama de control.

Gráfico 5: Utilidad neta por tonelada de azúcar blanco



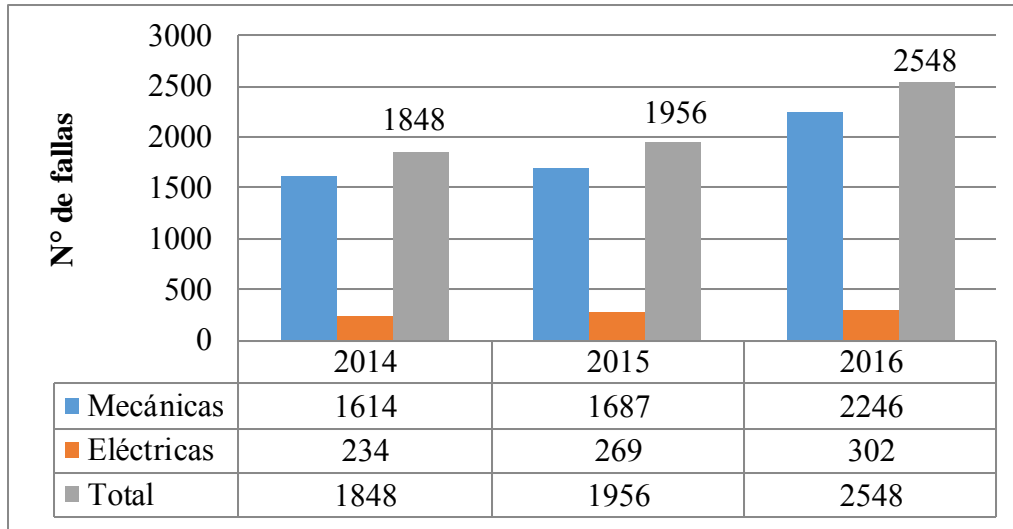
Fuente: Campaña IANSA Linares 2016

Lo que se muestra en el Gráfico 5, es que no se está cumpliendo con los estándares solicitados por la dirección. La utilidad neta en el año 2016 fue de 38,1 US\$/tonelada de azúcar comercial, disminuyendo un 22,88 % con respecto al año 2015 y un 3,85% con respecto a la meta actual. Dentro de las causas asignables señaladas en el Gráfico 5 se encuentra las mantenciones correctivas en el periodo de producción (Llenado de refinería, lavado Estación Evaporadora, reparación del secador de azúcar, entre otras).

3.4 Fallas equipos IANSA Linares

Actualmente, debido al tiempo de uso de los equipos, se ha generado un aumento significativo en las fallas de los equipos de la Planta IANSA Linares. En el siguiente Gráfico se representa las fallas mecánicas y eléctricas de los últimos 3 años:

Gráfico 6: Fallas equipos IANSA Linares



Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares)

Lo que se muestra en el Gráfico 6, es que entre el año 2015 y 2016 las fallas mecánicas aumentaron un 24,88% y las fallas eléctricas un 11%. Así mismo las fallas totales del 2016 aumentaron un 23% aproximadamente con respecto al año 2015.

3.5 Mantenciones Preventivas y Correctivas

En el periodo de producción o campaña, se realizan mantenciones preventivas y correctivas, a los distintos equipos que presentan fallas en estos periodos.

A continuación, se presenta las mantenciones preventivas y correctivas de los últimos 3 años.

Tabla 4: Horas por mantenciones preventivas y correctivas

Horas detenciones	2014	2015	2016
Preventivas	104	104	104
Correctivas	12	18	120,9

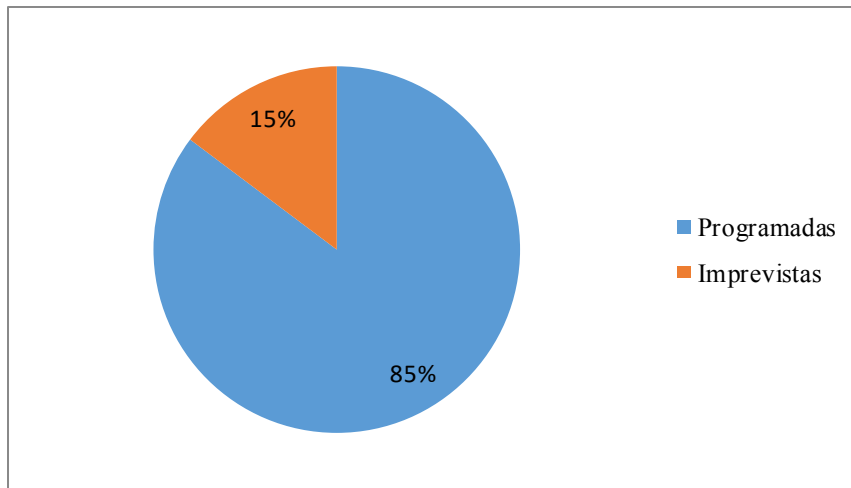
Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares)

Tabla 5: N° de detenciones de planta y horas totales anuales

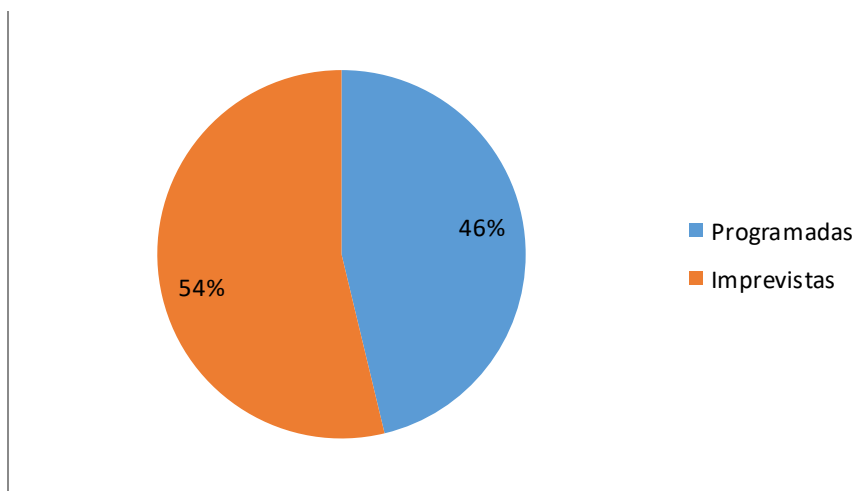
Años	N° de detenciones	Total, de horas por detenciones
2014	18	116
2015	17	122
2016	31	224,9

Fuente: Elaboración Propia (datos extraídos de IANSA Linares)

Los Gráficos 7 y 8 muestran las mantenciones preventivas y correctivas que se realizaron los años 2015 y 2016.

Gráfico 7: Mantenciones preventivas y correctivas año 2015

Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares)

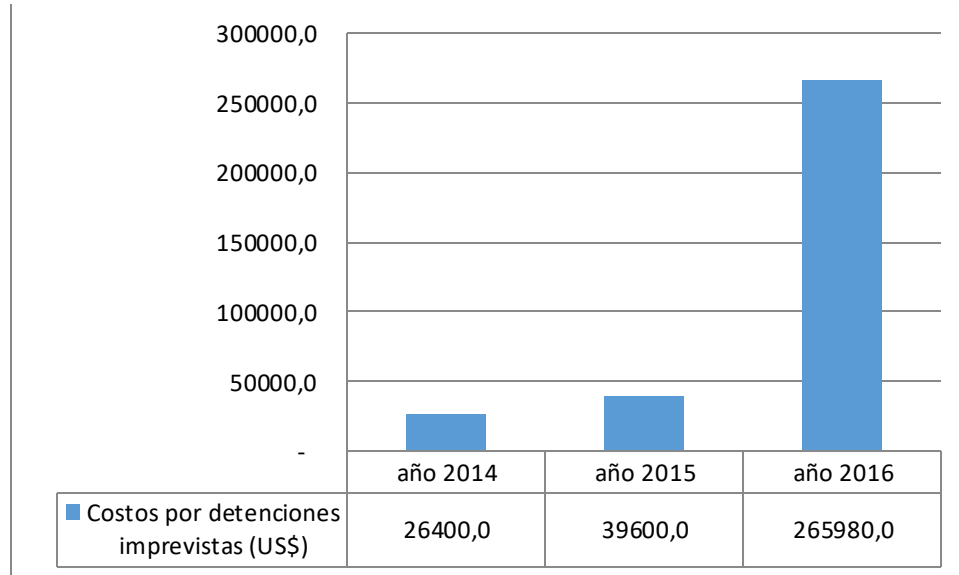
Gráfico 8: Mantenciones preventivas y correctivas año 2016

Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares)

Como se puede apreciar en los gráficos anteriores, las mantenciones correctivas, alcanzan como mínimo el 15% de las detenciones totales de los equipos. Al comparar los años 2015 y 2016 se puede apreciar que las mantenciones correctivas aumentaron un 39%.

Considerando que una detención de planta en el periodo producción tiene un costo de US\$ 2.200 por hora, los costos anuales por detención de planta de los últimos 3 años fueron:

Gráfico 9: Costos anual por mantenciones correctivas (US\$)



Fuente: Elaboración Propia (datos extraídos de IANSA Linares)

Se puede apreciar que los costos por detenciones de planta no programada del año 2016 aumentaron un 571,16% con respecto al año 2015.

Adicionalmente se debe incluir los costos por materiales, servicios y horas hombre (HH) empleados en las mantenciones correctivas de los equipos, esto se representa en la siguiente tabla:

Tabla 6: Costos por Mantenciones correctivas de equipos año 2016

Horas por detenciones	Costos por mantenciones correctivas	Materiales	Servicios	HH	Total
120,9	US\$ 265.980	US\$ 17.411	US\$ 7.884	1.022	US\$ 291.275

Fuente: IANSA Linares 2016

En resumen, según los antecedentes planteados debido al tiempo de uso de los equipos de la planta IANSA Linares y la falta de un plan de mantenimiento adecuado, se ha generado un aumento significativo del 23% de fallas en equipos con respecto al año 2015, lo cual ha traído como consecuencia a la empresa un fuerte impacto en el sistema productivo, ocasionando grandes gastos por mantenimiento, correspondientes a US\$ 291.275 anuales. Además de generar un incremento de horas hombres no aprovechadas, correspondientes a 1022 horas, debido a la frecuencia de mantenimiento no adaptada a las condiciones actuales del funcionamiento de los equipos.

Por lo tanto, es de suma importancia analizar los procesos de mantenimiento para diseñar estrategias de mantenimiento para la Gestión de activos físicos en la Planta IANSA Linares, con el fin de reducir los costos de Mantenimiento, disminuir las fallas y dar una mayor confiabilidad y disponibilidad al momento de operar los equipos.

3.6 Objetivos

3.6.1 Objetivo General

Proponer acciones de mantenimiento que permitan el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos de la planta IANSA Linares.

3.6.2 Objetivos específicos

- Recopilar y analizar datos históricos de las distintas fallas que se ha registrado en la Planta IANSA Linares para identificar los equipos críticos.
- Estimar la confiabilidad de los equipos críticos de la Planta IANSA Linares basándose en los historiales de falla.
- Cuantificar costos de mantenciones correctivas/preventivas para evaluar su impacto en la producción.
- Proponer indicadores de gestión que permitan la evaluación de las mejoras establecidas a los planes de mantenimiento.
- Proponer un plan de mantenimiento centrado en la mejora de los equipos críticos y su confiabilidad.

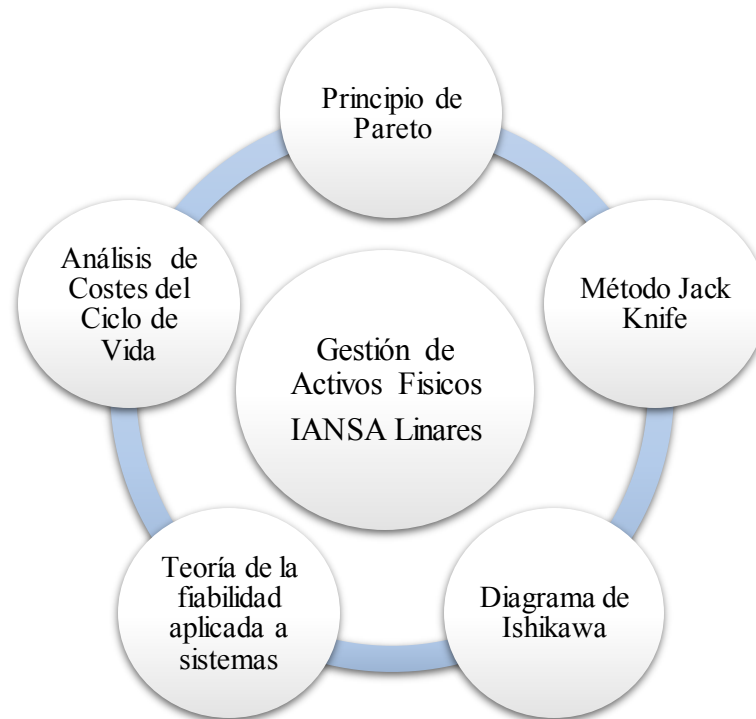
3.7 Resultado esperado

El resultado esperado es diseñar estrategias y un plan de mantenimiento para la Gestión de activos físicos en la Planta IANSA Linares, con el fin de reducir los costos de Mantenimiento, disminuir las fallas, dar una mayor confiabilidad y disponibilidad al momento de operar los equipos.

Capítulo 4: Propuesta de Metodología

En este trabajo de título se utilizará la siguiente metodología para determinar las causas del problema planteado en el Capítulo 3.

Figura 18: Diagrama para determinar la confiabilidad de los equipos IANSA Linares



Fuente: Elaboración Propia

Para poder estructurar el modelo de procesos se consideraron diversas herramientas con el fin de determinar la confiabilidad y tasa de fallas de los equipos críticos de la Planta IANSA Linares. Al aplicarlo, se analiza qué estrategias de mantención se pueden realizar con el fin de reducir los costos de mantención, disminuir las fallas y dar una mayor confiabilidad y disponibilidad al momento de operar los equipos.

Para comenzar, se identificará las categorías más significativas y las personas responsables de cada área a través del Principio de Pareto. Luego se aplicará el Método de Jack Knife a las categorías significativas, para determinar las fallas crónicas y agudas por área.

Para continuar se realizará una Análisis de causa-efecto para detectar las causas de las fallas. Así mismo se procederá a realizar una Análisis de fiabilidad de los equipos afectados, con el fin de calcular la confiabilidad $R(t)$ y tasa de falla (λ) de los equipos.

Y para finalizar se realizará un Análisis de Coste del Ciclo de Vida de los equipos para evaluar un recambio de equipo o las reparaciones necesarias.

4.1 Principio de Pareto

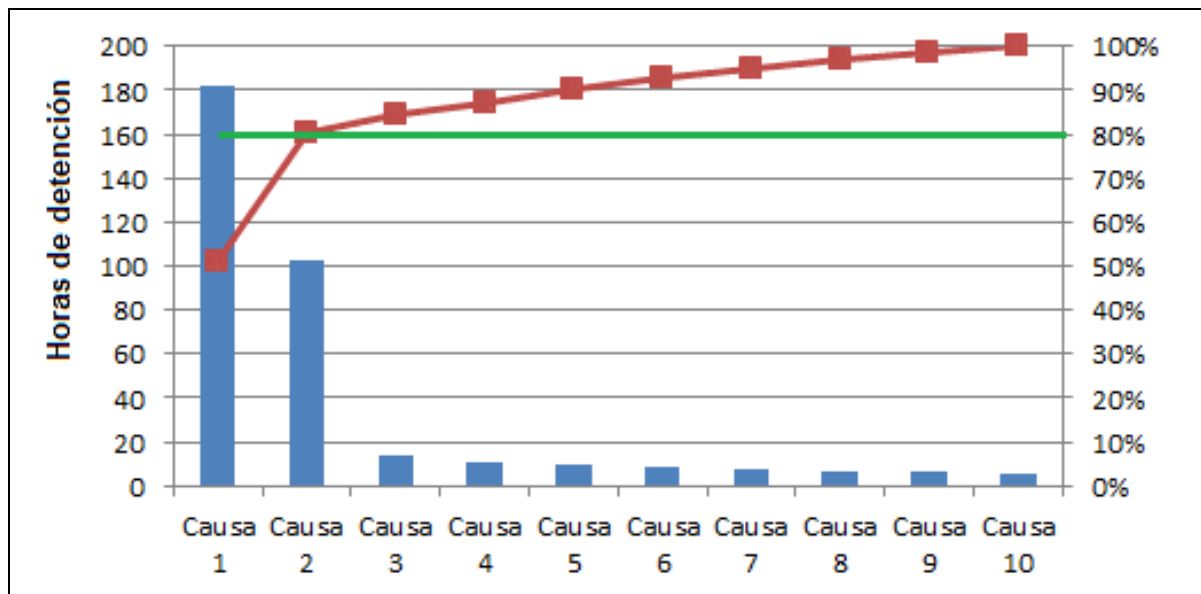
El diagrama de Pareto debe su nombre a Vilfredo Pareto y su principio de la “regla 80/20”. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelven el 20% del problema.

Pareto es una herramienta de análisis de datos ampliamente útil en la determinación de la causa principal durante un esfuerzo de resolución de problemas. Este permite ver cuáles son los problemas más grandes, permitiéndoles a los grupos establecer prioridades, a través de este principio podemos hacer referencia en cuanto al análisis económico, ya que Pareto determino esta relación basándose en sus estudios sobre la riqueza.

Por lo tanto, el análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales. Esta gráfica es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar.

La curva se divide en tres zonas: a, b y c. La zona a muestra que el 20% de las fallas produce el 80% de los costos, por lo tanto, las fallas que se encuentran en esta zona deben ser priorizadas. En la zona b se concentran el 15% de los costos y en la zona c solo se concentra el 5% de los costos. Para estas fallas se debe utilizar un control menos rígido, puesto que tienen menor prioridad. [Pascual, 2005]

Gráfico 10: Ejemplo aplicado Principio de Pareto

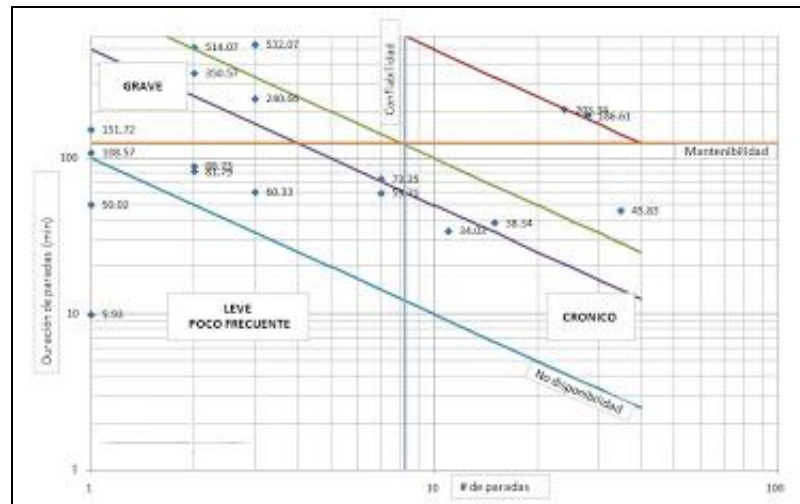


Fuente: Diagrama de Pareto

4.2 Método de Jack Knife

Es una herramienta de trabajo de mantenimiento, su fin es determinar las prioridades de mantenimiento. Es básicamente un gráfico de dispersión, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros; duración de paradas (Y), y números de paradas (X).

Gráfico 11: Ejemplo aplicado del método Jack knife



Fuente: Método de Jack knife

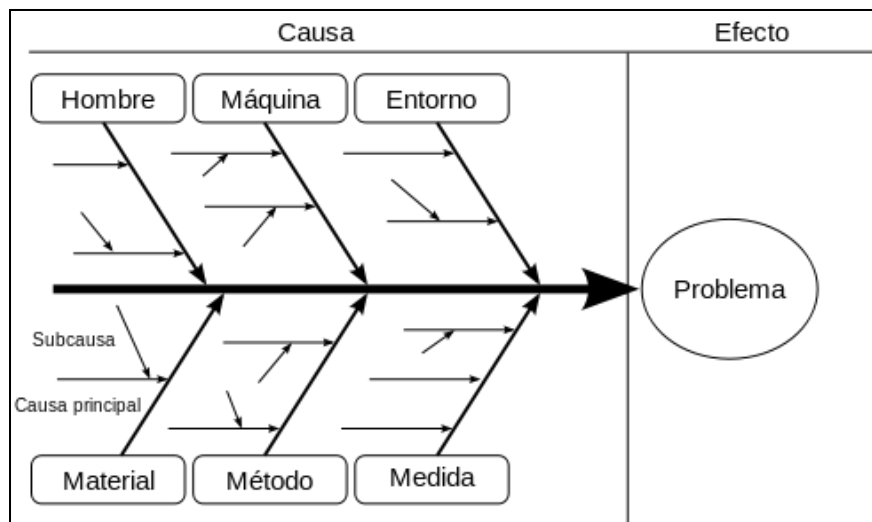
Este gráfico es representado en escala logarítmica en ambos ejes (X, Y), para graficar los cuadrantes tienes que tener en cuenta que la línea que se dibujará paralelo al eje X, viene asociado con la mantenibilidad, y de manera similar la línea paralela al eje Y está asociado con la confiabilidad. Gracias a estas líneas ya se pueden distinguir 4 cuadrantes. El primer cuadrante, representan las fallas de grado de impacto LEVE y con POCA FRECUENCIA, este cuadrante suele ser obviado muchas veces por los analistas de mantenimiento, pero más adelante podemos ver que también se pueden distinguir prioridades en este cuadrante debido al concepto de disponibilidad. El segundo cuadrante izquierdo-superior, muestra un estado GRAVE debido a el tiempo prolongado de mantenimiento por falla, a la misma vez el grado de ocurrencia sigue siendo POCO FRECUENTE. El tercer cuadrante derecho-inferior, muestran los puntos donde las fallas son más frecuentes (CRÓNICAS), pero representando un intervalo de mantenimiento por fallas de corta duración (LEVE). El Cuarto y último cuadrante, es el que combina las fallas CRÓNICAS con las de mayores duraciones (GRAVES), es en si el cuadro más crítico. Además de ello podemos trazar una línea cruzada, que nos representa la NO DISPONIBILIDAD en horas. [Marcelo Córdova, 2014]

4.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, conocido también como causa-efecto o diagrama de espina de pez, es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. [Ramírez José, 2013]

Nos permite, por tanto, representar gráficamente el conjunto de causas que dan lugar a una consecuencia, o bien el conjunto de factores y subfactores (en las espinas) que contribuyen a generar un efecto común (en la cabeza del diagrama), como se muestra en la Figura 21:

Figura 19: Ejemplo diagrama de Ishikawa



Fuente: Diagrama Ishikawa

A continuación se presenta los pasos para elaborar un diagrama de Ishikawa:

1. Se debe concretar cuál va a ser el problema o “efecto” a solucionar, se dibuja una flecha y se pone el tema a tratar al final de la misma.
2. Identificar las causas principales a través de flechas secundarias que terminan en la flecha principal, se pueden establecer categorías dependiendo de cada problema.
3. Se debe identificar las causas secundarias a través de flechas que terminan en las flechas secundarias, esto se puede realizar mediante un análisis de cada parámetro, escribiendo cada causa de forma concisa.
4. Se puede hacer una asignación de la importancia de cada factor.
5. Se usan 5 categorías para definir el esquema de Ishikawa: materiales, equipos, métodos de trabajo, mano de obra, medio ambiente; conocidas como las 5M’s.

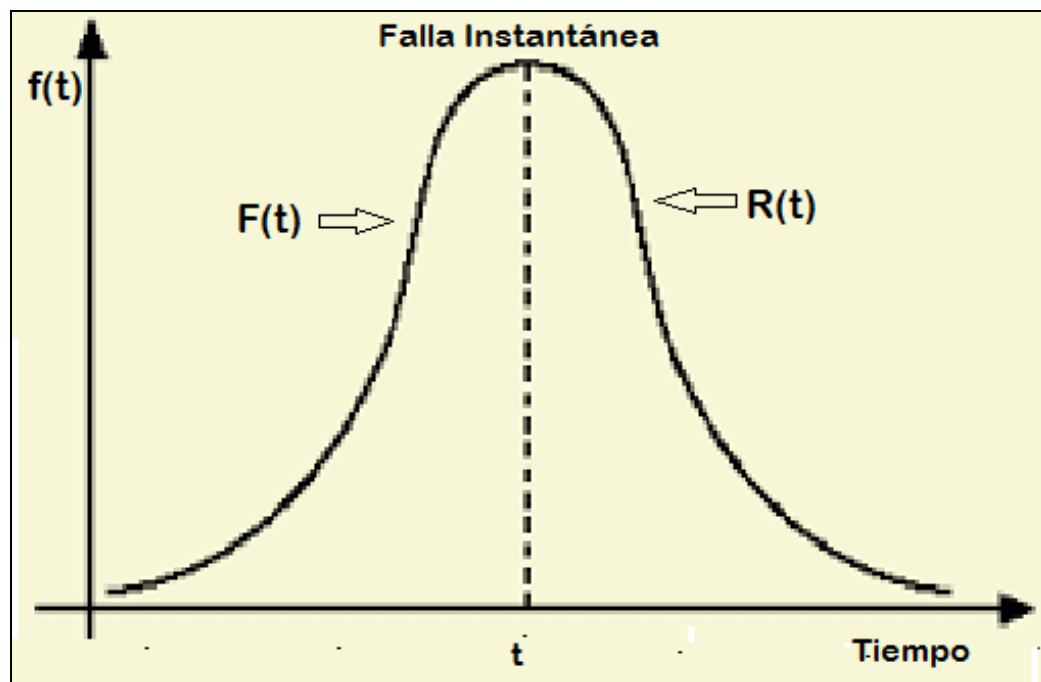
Se puede establecer una relevancia de las causas principales para tratar unas antes que otras, además se puede añadir cualquier otra información que sea de utilidad para el proceso y ayude a la resolución del problema.

4.4 Teoría de la Fiabilidad aplicada a sistemas

La Teoría de la Fiabilidad es el conjunto de teorías, métodos matemáticos y estadísticos, procedimientos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de fallos, están dirigidos a resolver problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración de vida media y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema. [Ríos Moreno, 2010]

En la Figura 22 se muestra la función de falla “ $f(t)$ ” o función de densidad probabilística de falla que representa la probabilidad de que un elemento falle en un instante de tiempo “ t ” cualquiera, también se muestra la probabilidad acumulada de falla “ $F(t)$ ”, que cuantifica la probabilidad que el equipo (o sistema) falle en el intervalo de tiempo $\{0,t\}$, además se muestra el área de la curva que representa, gráficamente, a la confiabilidad “ $R(t)$ ”.

Figura 20: Representación de función densidad de probabilidad de falla



Fuente: Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales.

La figura anterior muestra que la probabilidad acumulada de falla es:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (4.4)$$

Mientras que la confiabilidad está dada por:

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (4.5)$$

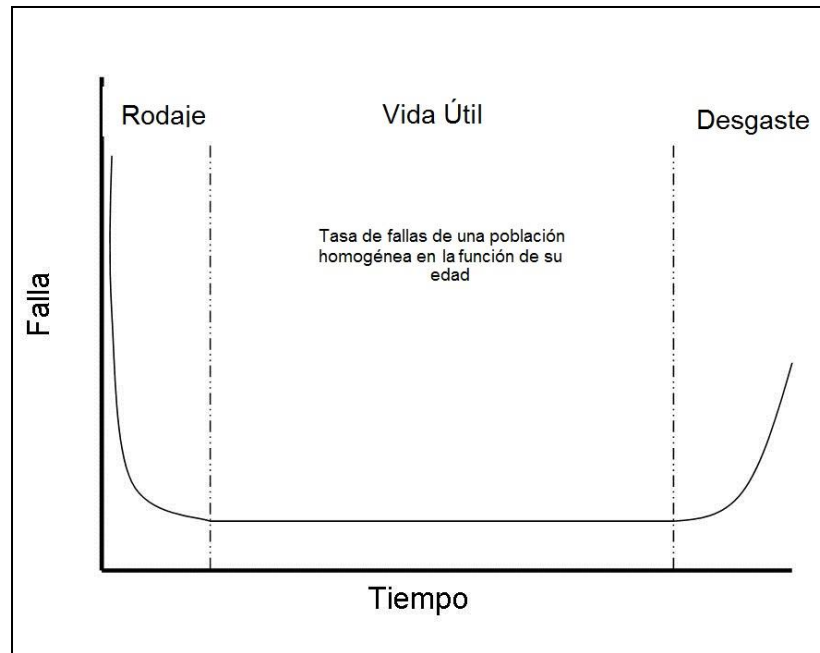
Nótese que mientras más extenso sea el horizonte temporal “t”, mayor es la probabilidad de falla y, por lo tanto, menor es la confiabilidad del equipo (o sistema).

Conocida, entonces, la ley de probabilidad que explica el comportamiento sobre la falla de un componente es posible describir o identificar otro indicador importante de la seguridad de funcionamiento de un sistema, Este concepto es el tiempo medio entre falla para equipos reparable o tiempo medio hasta la falla para los no reparables. Por definición el MTTD (Mean Time To Failure) o MTBF (Mean Time Between Failure) viene dado por:

$$MTBF (o MTTF) = \int_0^{\infty} t \times f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (4.6)$$

La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada a través de distintos modelos de probabilidad. Este modelamiento depende de la etapa de vida en que se encuentre el equipo. A continuación, en la Figura 23, se muestran las distintas etapas en la vida de los equipos.

Figura 21: Ciclo de vida del equipo



Fuente: Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales.

La figura anterior muestra la tasa de falla o $\lambda(t)$ o también conocida como tasa de riesgo de falla, como función de la etapa en que se encuentre el elemento. En términos generales. Es posible demostrar que:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (4.7)$$

Las funciones de importancia, entonces, para la caracterización de la confiabilidad son $f(t)$, $F(t)$ y $\lambda(t)$, donde conocida una de ellas es posible establecer las demás. Por otro lado, dada la curva de la bañera (Figura 23) es posible modelar el comportamiento en cada una de las tres etapas de la tasa de falla a través de leyes conocidas de probabilidad.

4.4.1 Fase de rodaje

En la fase de rodaje la tasa de falla es decreciente y el modelo matemático que se adapta a esta situación se representa con la *distribución de Weibull*, donde $\lambda(t)$ está dada por:

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \times \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (4.8)$$

Cuando $\beta > 1$.

Es importante destacar que debido a su gran capacidad de parametrización la distribución de probabilidad de Weibull es muy difundida en estudios de confiabilidad, dado que, dependiendo del valor de sus parámetros (α , β e γ), es posible modelar todos los estados en la vida de un elemento.

4.4.2 Fase de vida útil

En la fase de vida útil, la tasa de fallas es sensiblemente constante, en este caso la función de confiabilidad toma la forma de:

$$R(t)e^{-\lambda t} \quad (4.9)$$

La que se representa una curva *exponencial negativa*, de la ecuación (4.8) se desprende que la curva de densidad probabilística de falla está dada por:

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \quad (4.10)$$

Luego al integra sobre “t”, se tiene que la función de probabilidad acumulada de falla es:

$$F(t)=1-e^{-\lambda t} \quad (4.11)$$

De lo anterior, y considerando la ecuación 4.9, se puede decir que el tiempo medio entre fallas es:

$$MTBF=\int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt=\frac{1}{\lambda} \quad (4.12)$$

Para el cálculo de la confiabilidad, la distribución exponencial, correspondiente a tasa de fallas constantes, tiene una importancia fundamental. Esta importancia radica, esencialmente, en dos cosas; primero es que los cálculos para este caso son notablemente sencillos, hecho de gran importancia al tratar sistemas complejos y, segundos, es que esta distribución es la ley típica de ocurrencia de los fenómenos puramente casuales, esto es, aquellos cuyas causas son exclusivamente accidentales.

4.4.3 Fase de desgaste

En la fase de desgaste es posible utilizar una distribución normal para modelar las fallas producidas por desgaste o fatiga. Por lo tanto, las funciones $f(t)$, $\lambda(t)$, y MTBF vienen dadas por las ecuaciones presentadas a continuación:

$$f(t)=\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-1/2 \left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (4.13)$$

$$MTBF=m \tag{4.14}$$

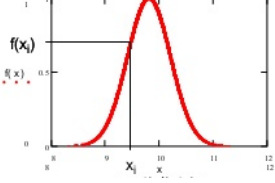
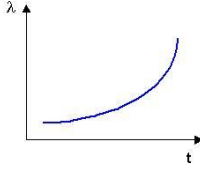
$$\lambda(t) = \frac{e^{-1/2\left(\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2\right)}}{\int_t^\infty e^{-1/2\left(\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2\right)} dt} \tag{4.15}$$

Para el cálculo de las funciones F(t) y R(t) se deben considerar las ecuaciones 4.4 y 4.5, respectivamente.

Para el modelamiento matemático de la confiabilidad las distribuciones Weibull, exponencial y normal son muy relevantes, dado que su consideración permite caracterizar cada uno de los periodos de la vida de un elemento, equipo o sistema. En la tabla 4.1 se representa un resumen de las funciones de densidad de probabilidad de fallas comúnmente usadas para modelar la confiabilidad de componentes y sistemas [Arata, 2009].

Tabla 7: Resumen funciones de densidad de la falla

Distribución/Ciclo de Vida	MTBF	Forma gráfica	Tasa de falla
<p>Weibull/Rodaje</p> $\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \times \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}$ $f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \times \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$ $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$	$\gamma + \alpha \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)$		
<p>Exponencial Negativa/ Vida útil</p> $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $R(t) = e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$		

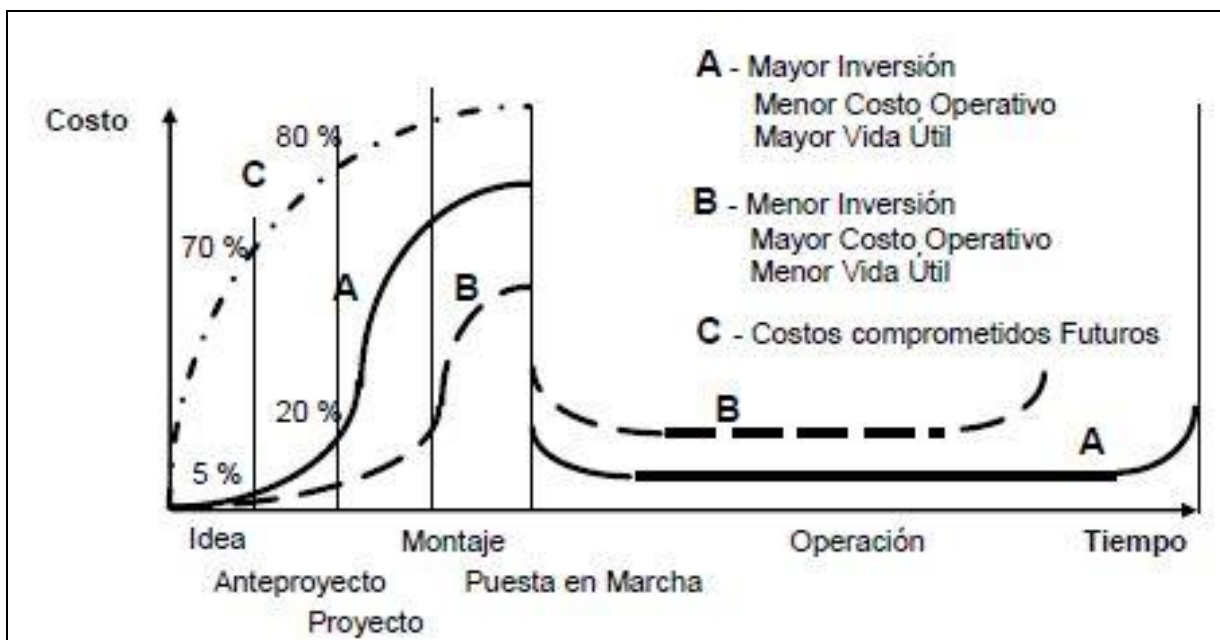
<p>Normal/ Desgaste</p> $\lambda(t) = \frac{e^{-1/2 \left(\left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2 \right)}}{\int_t^{\infty} e^{-1/2 \left(\left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2 \right)} dt}$ $f(t) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right]^2}$ $R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$	μ		
---	-------	--	---

Fuente: Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales.

4.4 Análisis de Costes del Ciclo de Vida (LCC)

También conocido como análisis en el ciclo de vida, este lleva a identificar los costos globales de una instalación industrial o equipo durante el ciclo de vida, es decir, desde su concepción hasta el fin de su vida económica. [Adolfo Arata, 2009]

Figura 22: Ejemplo Costos durante el ciclo de vida



Fuente: Ciclo de Vida, REABILITYWEB

En la Figura 24, se presenta la manera en que una solución orientada fuertemente hacia una reducción de los gastos asociados al desarrollo e implementación del proyecto (curva B),

no necesariamente representa la mejor solución durante todo el ciclo de vida del equipo o instalación (curva A).

Para este análisis general es necesario no solo considerar los costos tradicionales o visibles, sino también aquellos costos asociados con la cuantificación de la falla de producción (ventas no realizadas), originadas por las más diversas razones, como por ejemplo fallas en los equipos o la producción de productos defectuosos.

El Costo de Ciclo de Vida se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Costo\ Global = Costo\ capital\ fijo + Costo\ Operacional + Costo\ de\ Ineficiencia} \quad (4.1)$$

El costo de capital fijo (o de inversión) queda determinado por el costo de los equipos e instalaciones. El costo operacional se encuentra definido por todos aquellos elementos propios de la operación. Finalmente, el costo de ineficiencia corresponde al costo asociado a la indisponibilidad de la instalación durante el período de evaluación.

$$\mathbf{Costo\ Ineficiencia = Cf \times T}$$

En donde: (4.2)

Ci : Costos de ineficiencia por horario definido (US\$).

T : Período de detención (Hr.).

Cf : Costo de falla. (US\$/Hr.).

El costo de falla está dado por

$$\mathbf{Cf = F^* - CV} \quad (4.3)$$

F^* : Lo que se deja de facturar (US\$/Hr.).

CV^* : Costos Variables, que se dejan de gastar durante el período de detención (US\$/Hr.).

Capítulo 5: Descripción del Mantenimiento de Equipos de la Planta IANSA Linares

En esta Planta el proceso de mantenimiento de los equipos se encuentra determinado por el término del proceso de producción, ya que una vez finalizado este período, la empresa cuenta con 6 meses para aplicar diferentes tipos de pautas de mantenimiento.

5.1 Maestranza

En la maestranza se realizan reparaciones y se diseñan piezas de los distintos equipos que hay en la planta, ya que la mayoría de estos se encuentran funcionando por más de 30 años, por lo tanto, no es fácil encontrar las piezas adecuadas al momento de que haya alguna falla.

A continuación, se ilustra la maestranza de la planta IANSA Linares

Figura 23: Imagen de la maestranza



Fuente: Planta IANSA Linares.

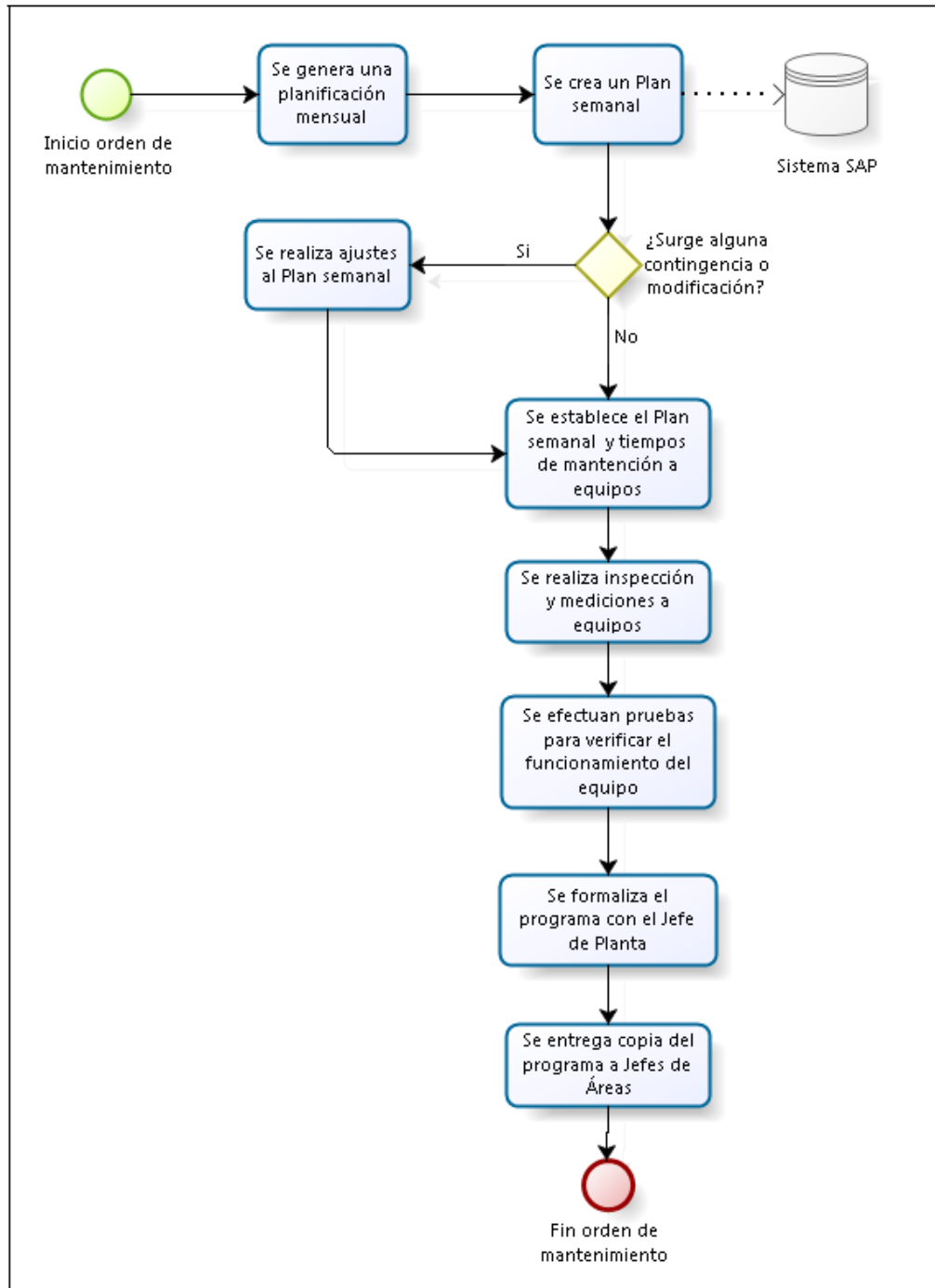
5.2 Proceso de mantenimiento

Los pasos para el proceso de mantenimiento son los siguientes:

- Se genera un plan de mantención mensual el cual se realiza en base al término del periodo de producción ya que cada período tiene una duración de 6 meses.
- La mantención se encuentra acotado con el plan semanal generado por medio del sistema SAP. Este es un plan tentativo, ya que se debe ajustar de acuerdo a los factores que ocurran durante la semana (fallas e incidentes de los equipos).
- Posteriormente se realizan ajustes al plan semanal según los incidentes, fallas o contingencias del personal.
- Se realiza un plan semanal considerando los tiempos que deben demorar al realizar mantención a cada equipo.
- Se realizan inspecciones a los equipos y mediciones para ver el rendimiento.

- Finalmente se realizan pruebas para verificar el funcionamiento de todos los equipos de la planta.

Figura 24: Diagrama de flujo del proceso de orden de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia, datos extraídos IANSA Linares

5.3 Sistema SAP

Para llevar a cabo la planificación del mantenimiento, se utiliza el sistema SAP, el cual consiste en:

- Generar una orden de pedido, la cual debe ser firmada por el jefe de área. Esta orden es entregada al colaborador para que realice el retiro del pedido desde la bodega (en el caso de no haber stock de materiales se envía una orden a los encargados de bodega, para que ellos realicen el pedido a los proveedores).
- Bodega verifica la orden de pedido y genera un vale de salida, el cual debe ser firmado por el encargado de bodega que este en ese momento.
- Jefe de Bodega debe generar un reporte, en donde se da a conocer en detalle, cuáles son los materiales que se utilizaron, en que área se solicitaron y quien fue el encargado que los solicito.

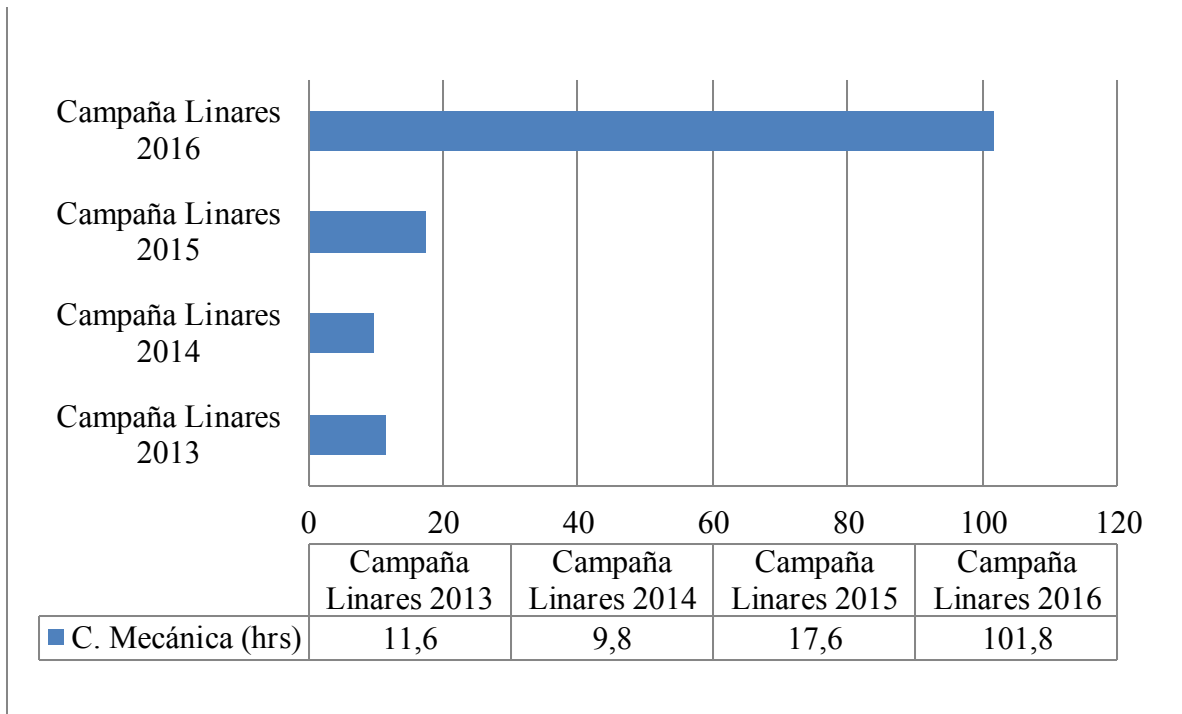
Todos estos documentos (orden de pedido, vale de salida, factura), son revisados por el Jefe de Bodega y el encargado de operaciones, quienes entregan esta información al departamento de finanzas para justificar gastos y pedir autorización para realizar pedidos a los proveedores.

5.4 Mantenciones Preventivas

La fábrica tiene un plan de mantenimiento programado, el cual comienza los primeros días de octubre y finaliza la primera semana de marzo, en este periodo se deben realizar todas las mantenciones a los equipos y no se puede aplazar su término ya que hay contratos con los agricultores y transportistas que se deben cumplir.

En la planta IANSA Linares se realiza un mantenimiento preventivo programado, el cual consiste en revisar y reparar los equipos en un determinado tiempo, puesto que alguno de los equipos se encuentra operativo hasta cierta cantidad de horas. También se debe realizar mantenimiento correctivo el cual debe reparar aquellos equipos que dejaron de funcionar o presentan fallas.

El objetivo del mantenimiento es preservar un equipo para que este siga llevando a cabo su función. Si este se realiza en el periodo de producción de la planta los costos de reparación y el tiempo que se encuentra detenida la fábrica serán muy altos, por lo cual se planifican 4 etapas de mantenimiento correctivo y preventivo en el periodo de campaña, el cual se distribuye cada 700 horas a contar desde el inicio de las operaciones de la planta.

Gráfico 13: Resumen horas Mecánicas de Menor Elaboración

Fuente Elaboración propia, datos extraídos IANSA Linares 2016.

Como se ilustra en el Gráfico 12 el área más influyente es la mecánica. Debido a que abarca el 84% de las horas de menor elaboración del año 2016. Además, se puede apreciar en el Gráfico 13 que las horas mecánicas de menor elaboración aumentaron un 478% aproximadamente con respecto al año 2015. Por lo cual, se debe informar al jefe de área mecánica y al equipo de mantención para realizar un nuevo análisis para determinar que sistemas presentan problemas recurrentes de tiempo y cantidad de detenciones en la categoría mecánica.

6.2 Método Jack Knife

Aplicando Jack Knife a los datos obtenidos de los sistemas de la Planta IANSA Linares, se determinan las fallas agudas y crónicas en simultáneo que afectan a los equipos de la Planta.

A continuación, se ilustra la Tabla 8 la cual corresponde a las fallas de la categoría Mecánica:

Tabla 8: Fallas categoría Mecánica Planta IANSA Linares

Descripción de la Falla	Hr. Menor Elaboración	N° de Paradas	MTTR
Reparación de mallas Torre de Difusión N°1	67,1	9	7,5
Colapso de circuito vacío	12,3	7	1,8
Reparación del Secador de Azúcar	7	3	2,3
Quemado de correas rotas de briquetadora N°1	4,2	1	4,2
Reparación de fuga de agua en sala de bombas	4	1	4
Rotura de Caldera N°3 para soldar por el tubo economizador	2	1	2
Detención de Caldera N°3 para soldar poro en tubo economizador	1,8	1	1,8
Trancado de despiedrador	1,3	1	1,3
Revisión de prensa de cosetas Stord norte	0,8	1	0,8
Reemplazo de correas rotas de briquetadora N°1	0,7	1	0,7
Cortocircuito en filtros PKF	0,5	1	0,5
TOTAL	101,8	27	26,8

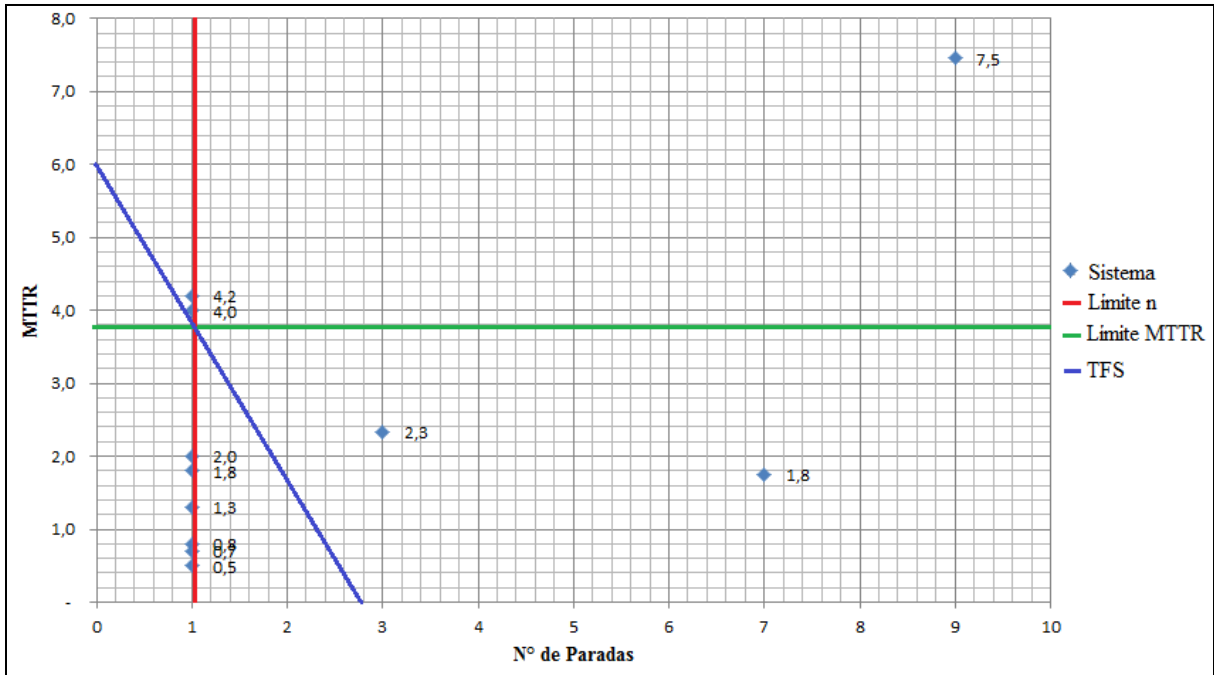
Según los datos registrados y ordenados de los equipos de la categoría Mecánica de la Planta IANSA Linares, se determinan los límites del gráfico, tipo de compartimiento que tienen las fallas y se clasifican si están bajo control o si existen problemas de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, según sea la falla dentro del cuadrante. Se enfoca el estudio en fallas que sean agudas y crónicas simultáneamente (confiabilidad y disponibilidad).

$$\text{Limite } n = \frac{27}{26,8} = 1,01$$

$$\text{Límite MTTR} = \frac{101,8}{27} = 3,77$$

$$TFS = 1,0057352 \times 3,7703704 = 3,79$$

Gráfico 14: Dispersión logarítmica de la categoría Mecánica IANSA Linares



Fuente: Elaboración Propia

En categoría Mecánica se obtiene que los equipos con fallas agudas y crónicas en simultáneas presentes en la Planta IANSA Linares son: Reparación de mallas Torres de Difusión N° 1, Colapso de circuito de vacío y Reparación a Secador de azúcar.

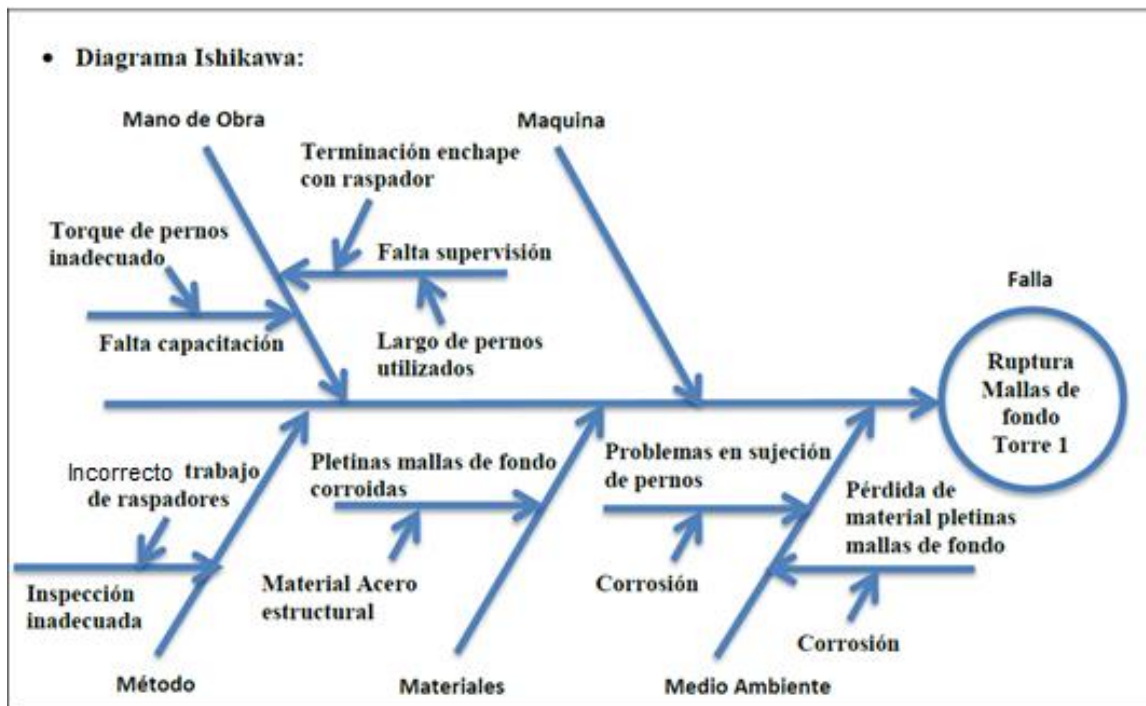
6.3. Análisis de causa y efecto (Diagrama de Ishikawa)

A través de la información entregada por los diagramas de Pareto, se identificó el área responsable que no cumple el plan de mantenimiento de la planta IANSA Linares. Con el método Jack Knifé se determinaron las fallas agudas y crónicas que afectan a la fábrica, las cuales son:

- Reparación de las mallas de la Torre de Difusión N°1
- Colapso de los circuitos de vacío
- Reparación del Secador de Azúcar

6.3.1 Falla de las mallas de la Torre de Difusión N°1

Diagrama 1: Análisis causa – efecto, ruptura de las mallas de la Torre de Difusión N°1



Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares).

Una vez identificada la principal falla, se procede a clasificar las causas que provocan esta ruptura de las mallas de la torre de difusión N°1, en donde se consideran cinco ítems de acuerdo con su categoría, estas son:

- Máquina
- Mano de Obra
- Método
- Materiales
- Medio Ambiente

Categoría Mano de Obra: Esta categoría se considera importante ya que representa a los colaboradores que efectúan las labores productivas.

- Falta de Supervisión: Al no realizarse una inspección en los trabajos que realizan los colaboradores o al no dar las adecuadas instrucciones de lo que deben hacer, estos no cumplen con las tareas que les fueron asignadas, por lo tanto, esto provoca que se realicen malas terminaciones, torques de pernos inadecuados, mal uso de los materiales, lo cual con lleva a que los equipos no funciones adecuadamente.

Categoría Método: Conjunto de operaciones que se crean para que el personal las ejecute, esta es una de las categorías más importantes y causantes de falla, puesto que no todos los colaboradores hacen lo que se le indica, esto provoca:

- Incorrecto trabajo de raspadores: En todo lugar de trabajo se debe realizar una inspección a los colaboradores y a los equipos ya que al no prestar atención al personal y dar indicaciones ellos realizan las labores según su criterio y esto trae como consecuencia la ruptura de la malla de fondo de la Torre de difusión N° 1.

Categoría Materiales: El uso de materiales no adecuados puede causar daños al estar en contacto con otra materia prima, por ejemplo:

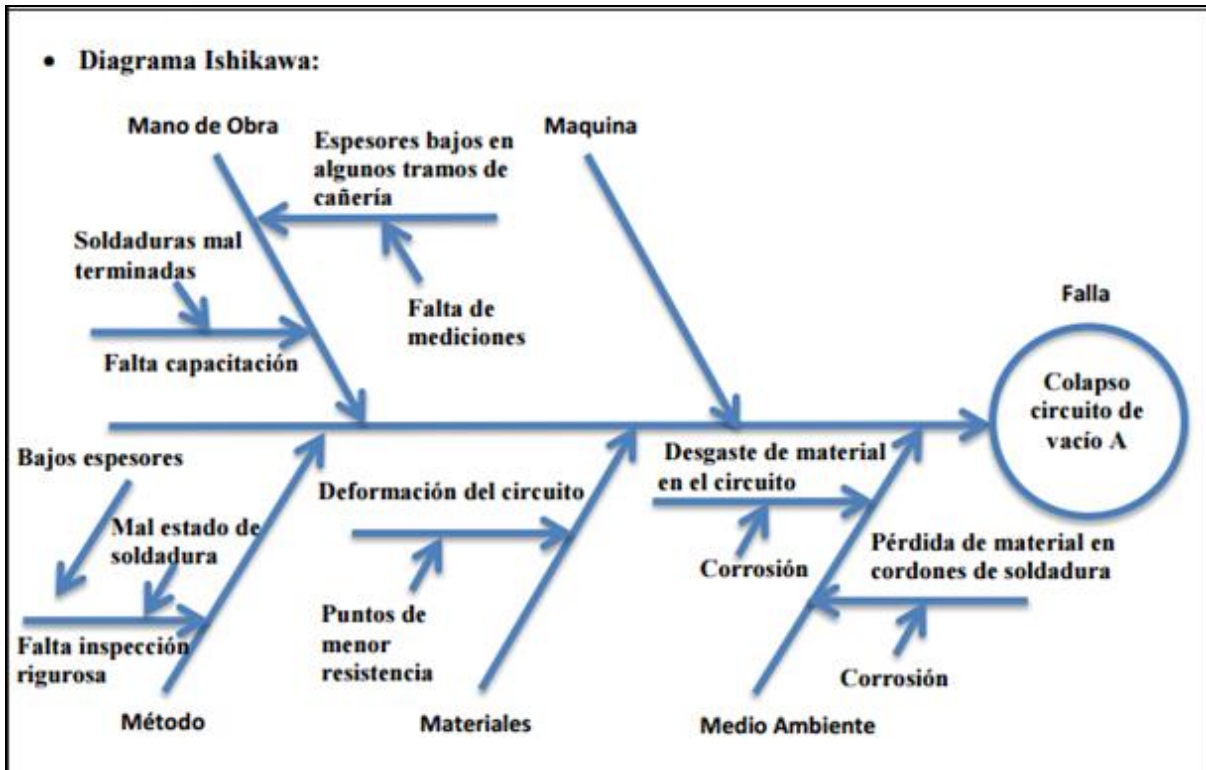
- Pletinas malla de fondo corroída: Esto indica que la malla pierde sus propiedades al estar en contacto con algún material que no es el adecuado.

Categoría Medio ambiente: Esta categoría no es considerada una de las más importantes, pero influye de manera sorpresiva en los equipos

- Corrosión: Todos los materiales tienen ciertas propiedades, algunos al estar contacto con temperaturas más bajas o más altas pierden sus características, puesto que se desgastan, son menos resistentes, se corroen, etc.

6.3.2 Colapso de circuito de vacío

Diagrama 2: Análisis causa – efecto, Colapso circuito de vacío



Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares).

Identificada la falla, se procede a clasificar las causas que provocan el colapso del circuito de vacío, donde se consideran cinco ítems de acuerdo a su categoría, estas son:

- Máquina
- Mano de Obra
- Método
- Materiales
- Medio Ambiente

Categoría Mano de Obra: Esta categoría representa el trabajo efectuado por los colaboradores en los equipos.

- Falta de Capacitación: No todas las personas se encuentran capacitadas para realizar todo tipo de labores, por lo tanto, al no haber realizado algún curso o alguna capacitación su desempeño no será el adecuado, el soldar alguna pieza es un trabajo que debe ser efectuado por una persona que tenga experiencia en el rubro.
- Espesores bajos en algunos tramos de cañería: Al no realizarse las mediciones adecuadas, esta es una de las consecuencias que se produce, ya que estas medidas deben ser exactas y precisas.

Categoría Método: Este es un conjunto de operaciones que se realiza para llevar a cabo las funciones, este es uno de los causantes de falla cuando el personal que las ejecuta hace un indebido proceder.

- Falta de inspección rigurosa: La inspecciones a los distintos equipos deben realizarse frecuentemente, realizando mediciones de espesor, flujos, etc. Al no llevar a cabo un registro de lo que se está evaluando se producen fallas graves que pueden provocar grandes pérdidas.

Categoría Materiales: El uso de materiales no apto puede ocasionar daños en los componentes del circuito en refinería, una de las causas es:

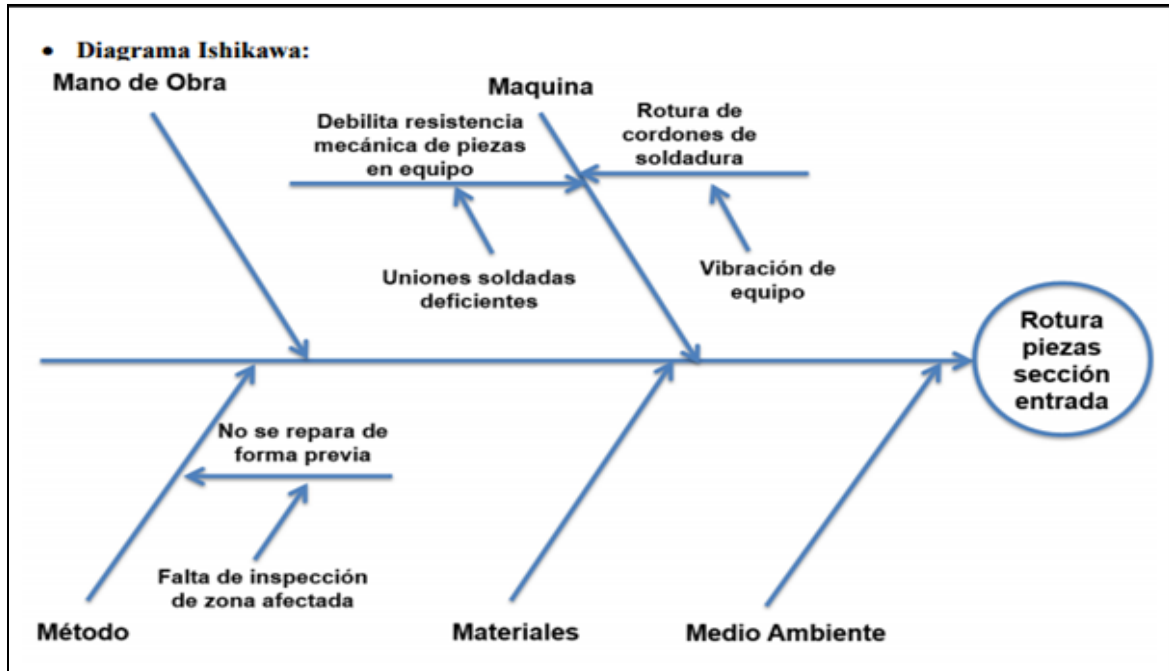
- Puntos de menor resistencia provocan deformaciones del circuito, ya que se encuentran más expuestos al desgaste y disminuye la tenacidad del material.

Medio Ambiente: Esta categoría representa a la influencia la naturaleza en algunos equipos.

- Perdidas del material en cordones de soldaduras: Todos los materiales tienen resistencias a ciertas temperaturas, pero las condiciones climáticas varían todos los días lo cual implica que estos se encuentran expuestos a distintos cambios, esto provoca que algunos se desgasten más rápido que pierdan algunas de sus características ya sea menos tenacidad, mayor desgaste, oxidación, etc.

6.3.3 Rotura de piezas sección entrada Secador

Diagrama 3: Análisis causa – efecto, Rotura piezas sección entrada secador



Fuente: Elaboración propia (datos extraídos de Planta IANSA Linares).

Una vez identificada la falla, se procede a clasificar las causas que provocan esta ruptura de piezas en la sección de entrada, en donde se consideran cinco ítems de acuerdo a su categoría, estas son:

- Máquina
- Mano de Obra
- Método
- Materiales
- Medio Ambiente

Categoría Máquina: Esta corresponde a las causas más probables relacionadas a la ruptura de la pieza.

- Rotura de cordones de soldadura: Los cordones son uniones de mucha calidad, que requieren tratamientos térmicos para darle un buen acabado con las características necesarias. Para hacer este tipo de soldaduras se deben de tener varias homologaciones especiales y aun así no es nada sencillo. Una de las principales causas por la cual se producen las roturas es porque no se mantiene una adecuada distancia y ángulo apropiado para que se realice la adecuada ejecución del cordón de soldadura.
- Uniones soldadas deficientes: Al haber este tipo de uniones produce poros externos e internos en el material, fisuras, grietas en los cordones de soldaduras, protuberancias en los materiales y escasa penetración.

Categoría Método: El conjunto de operaciones para la elaboración de funciones.

- Falta de inspección de zonas afectadas: Se considera que esta es una de las mayores falencias que puede haber en una fábrica, puesto que al no realizar una inspección adecuada a los equipos no se pueden detectar la fallas y no se reparan cuando corresponde.

6.4 Fiabilidad de los equipos

Con la aplicación de distribución de Weibull, se realizará los cálculos de parámetros para los equipos correspondientes a la categoría mecánica que se analizaron anteriormente con metodología Jack Knife, dado a que es posible modelar todos los estados en la vida de un elemento con dicha distribución.

Para aplicación de distribución de Weibull, se realizará de modo de ejemplo el paso a paso de las fallas de las Mallas de la Torre de Difusión N°1 en Excel.

Para comenzar, se determinará el tiempo entre falla (TBF), se obtiene del estado de falla que cada sistema presenta.

En la siguiente tabla se muestra el tiempo de las fallas para las mallas de la Torre de Difusión N°1:

Tabla 9: Tiempo entre fallas de las mallas de la Torre de Difusión N°1

Orden	Tiempo entre fallas (Hr.)
1	141
2	203,2
3	236,1
4	308,2
5	359
6	437
7	554,3
8	533,1
9	521
Total	3292,9

Fuente: Elaboración Propia, datos extraídos Planta IANSA Linares.

Luego calculamos el tiempo medio entre fallas (MTBF) con la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{TT - NOT}{N^{\circ} \text{ de Fallas}}$$

Dónde:

TT: es el Tiempo Total de campaña.

NOT: es el Tiempo no operacional de la Planta.

A continuación, se presentan los días de Elaboración, el tiempo operativo y no operativo y la cantidad de fallas de las mallas de la Torre de Difusión N°1 para calcular el MTBF.

Tabla 10: Resumen operacional Torre de Difusión N°1

Torre de Difusión N°1	
Días elaboración (DE)	140
Horas por día (Hr)	24
Tiempo total (TT)	3360
Tiempo no Operativo (Hr.)	67,1
Tiempo operativo (Hr.)	3292,9
Cantidad de fallas (u)	9
MTBF	365,88

Fuente: Elaboración Propia

Con los tiempos entre fallas calculados, se procederá a ordenarlos de menor a mayor, para luego crear la función rango mediana (Véase Tabla 11).

Para calcular la función rango mediana se debe aplicar la siguiente fórmula:

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

Dónde:

RM(xi): Rango de mediana.

i: Orden de falla.

n: Número total de datos de la muestra.

Tabla 11: Rango mediana de las mallas de la Torre de Difusión N°1

Orden	Tiempo entre falla (Hr)	RM
1	141	0,07446809
2	203,2	0,18085106
3	236,1	0,28723404
4	308,2	0,39361702
5	359	0,5
6	437	0,60638298
7	554,3	0,71276596
8	533,1	0,81914894
9	521	0,92553191

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se calculan los tiempos para eje X e Y:

$$Eje X=L(t)-0 \quad ; \quad Eje Y=LN (LN(1/(1 - RM)))$$

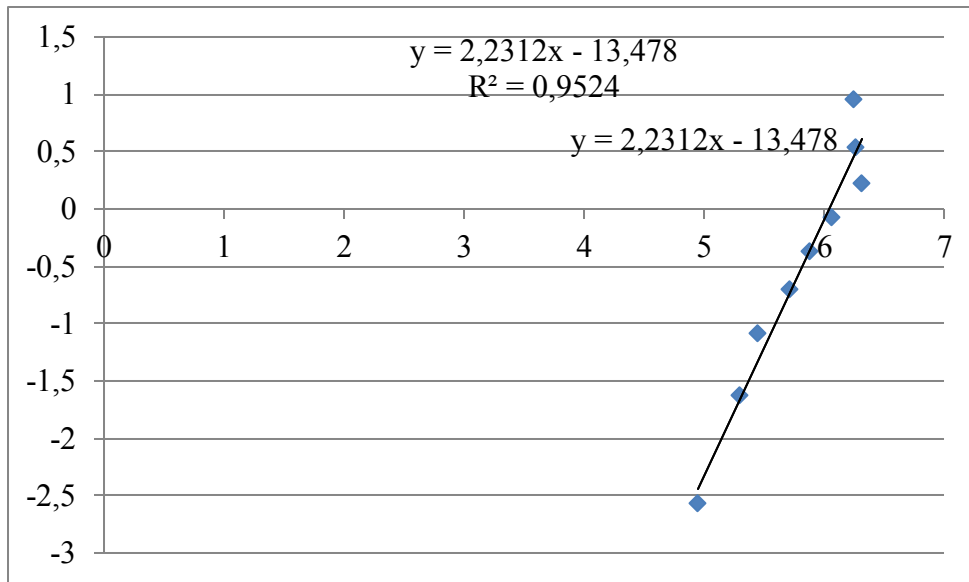
Tabla 12: Datos eje X e Y mallas de la Torre de Difusión N° 1

Orden	Tiempo entre falla (Hr)	RM	X	Y
1	141	0,07446809	4,94875989	-2,55894082
2	203,2	0,18085106	5,31419072	-1,61199438
3	236,1	0,28723404	5,46425544	-1,08292942
4	308,2	0,39361702	5,73074892	-0,69266027
5	359	0,5	5,88332239	-0,36651292
6	437	0,60638298	6,0799332	-0,07001818
7	554,3	0,71276596	6,31770606	0,221107814
8	533,1	0,81914894	6,27870902	0,536540994
9	521	0,92553191	6,25575004	0,954505028

Fuente: Elaboración Propia.

Se asume que el parámetro de localización (y) es igual a 0 horas, el cual se ira acercando al menor tiempo entre falla que presente el sistema en estudio. El parámetro de localización debe ser un número menor y a su vez lo más contiguo al tiempo entre fallas, sin ser el mismo número.

Una vez aplicado los pasos anteriores, se genera el gráfico de dispersión y la recta de regresión con los datos de las columnas X e Y.

Gráfico 15: Gráfico de dispersión de las mallas de la Torre de Difusión N°1

Fuente: Elaboración Propia

Para estimar la ecuación de la recta de regresión, se calculó la pendiente y la intersección de la recta. Luego para determinar el grado de correlación lineal de los puntos, se empleó la función: PEARSON para calcular el coeficiente de correlación R y R^2 , una vez conocidos estos valores, se realizó un ajuste a la recta de regresión. Este coeficiente de correlación indica que tan fuerte o débil es la relación lineal entre los datos; puesto que si este valor es más cercano a uno, hay una fuerte dependencia lineal. Por otro lado, el coeficiente de determinación, R^2 , indica el porcentaje de los puntos que están relacionados linealmente.

La recta de regresión es:

$$y = 2,2312x - 13,478$$

De donde:

Tabla 13: Parámetros de las mallas de la Torre de Difusión N° 1

Pendiente (β)	Intercepto (b)	R	R^2
1,7581	-10,347	0,9805	0,95242833

Fuente: Elaboración Propia

El coeficiente de correlación, R , indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno. El coeficiente de determinación, R^2 , indica que el 95,52% de los datos están relacionados linealmente. En conclusión, estos valores indican que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

Dado que el parámetro de forma es la pendiente de la recta de regresión:

$$\beta=1,7581$$

Y el valor del parámetro de escala es:

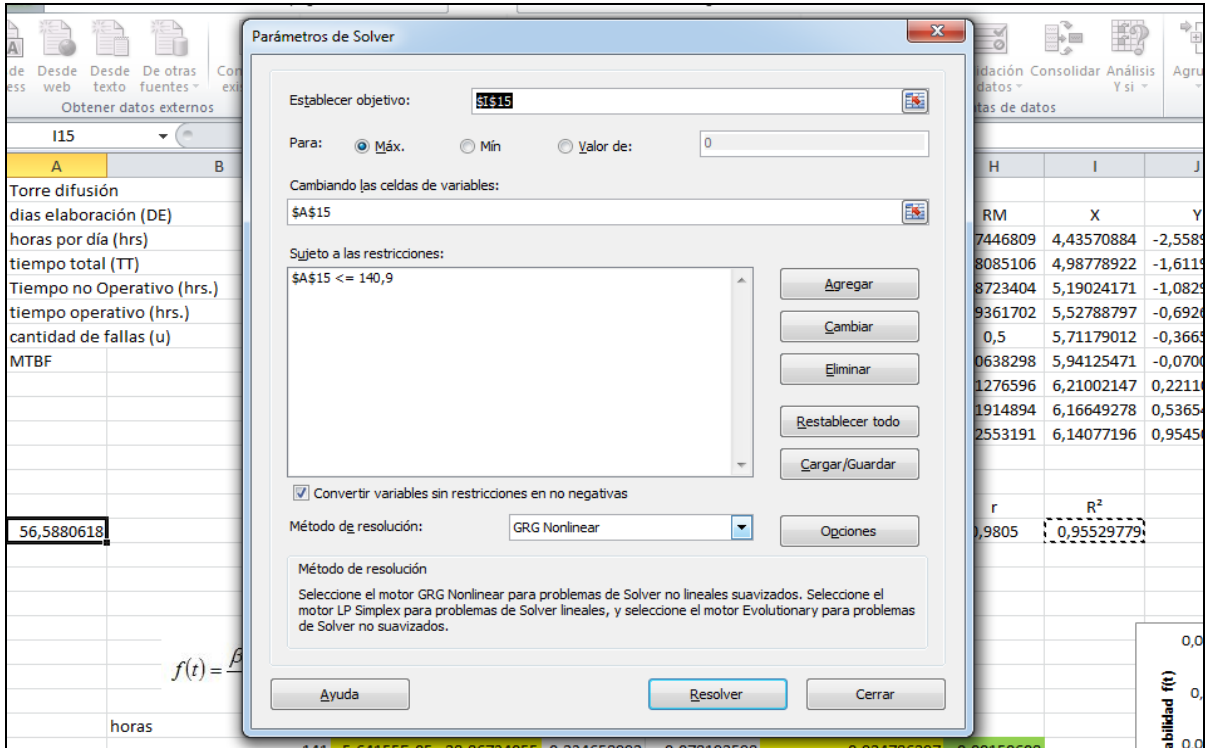
$$\alpha=e^{\frac{-b}{\beta}} = e^{\frac{-(-10,347)}{1,7581}} = 359,72$$

Para el cálculo del parámetro γ se utilizó el complemento Solver, ya que debe ser determinado por ensayo y error.

Para empezar, se debe definir la celda cambiante que debe ser la celda donde se asignó el valor cero. Esta celda debe estar involucrada en una función.

El mejor estimador de cálculo es el coeficiente de determinación R^2 , ya que éste mide la cantidad de puntos que están relacionados linealmente y, por lo tanto, la celda que contenga este valor será la celda objetivo a maximizar, pues el objetivo es mejorar el ajuste de la recta de regresión. Para iniciar el cálculo se debe indicar al programa un punto de inicio, o punto semilla, en la celda cambiante. El mejor valor de inicio de cálculo es un valor ligeramente inferior al valor más bajo del tiempo entre fallas de la muestra. Para el ejemplo, el punto semilla sería 140,9 (véase Figura 27) Esta constituye la restricción en Solver.

Figura 25: Ejemplo en Solver para calcular el parámetro de localización



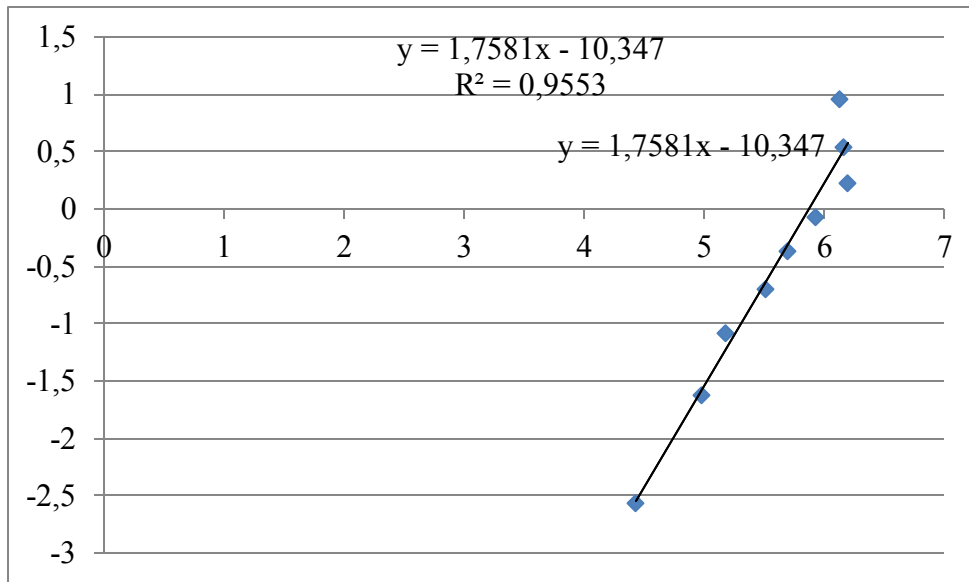
Fuente: Elaboración Propia

A través del programa Solver, $\gamma = 56,5880618$, siendo este el valor del parámetro de localización, y el coeficiente de correlación se maximiza a 0,955229; es decir, al tener en cuenta el parámetro de localización se mejora el ajuste de la recta de regresión. De igual manera, los parámetros de forma y escala, y los valores de las abscisas (X_i) y ordenadas (Y_i) se actualizan, como se muestra a continuación:

Tabla 14: Datos actualizados X e Y mallas de la Torre de Difusión N° 1

Orden	Tiempo entre falla (Hr)	RM	X	Y
1	141	0,07446809	4,43570884	-2,55894082
2	203,2	0,18085106	4,98778922	-1,61199438
3	236,1	0,28723404	5,19024171	-1,08292942
4	308,2	0,39361702	5,52788797	-0,69266027
5	359	0,5	5,71179012	-0,36651292
6	437	0,60638298	5,94125471	-0,07001818
7	554,3	0,71276596	6,21002147	0,221107814
8	533,1	0,81914894	6,16649278	0,536540994
9	521	0,92553191	6,14077196	0,954505028

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 16: Grafico de dispersión ajustado

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 16 se muestra la función de densidad de Weibull para los parámetros calculados. Obtenidos con la siguiente ecuación:

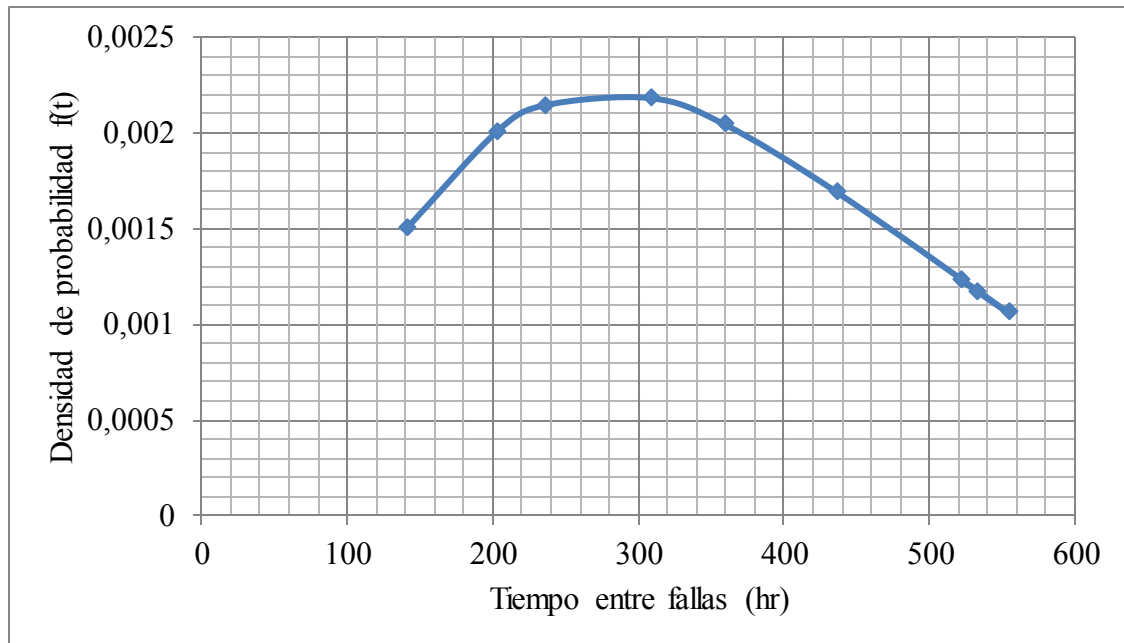
$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha^\beta}\right) \times (t - \gamma)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}; t > \gamma$$

$$f(t) = \left(\frac{1,7581}{359,721728^{1,7581}}\right) \times (t - 56,588)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-56,588}{359,721728}\right)^{1,7581}}; > 56,5880618$$

Tabla 15: Función f(t) mallas de la Torre de Difusión N° 1

Orden	Tiempo entre falla (Hr)	f(t)
1	141	0,00150608
2	203,2	0,00201343
3	236,1	0,00214917
4	308,2	0,00218638
5	359	0,00205043
6	437	0,00169171
7	554,3	0,00106509
8	533,1	0,00117403
9	521	0,00123791

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 17: Gráfico densidad de probabilidad f(t)

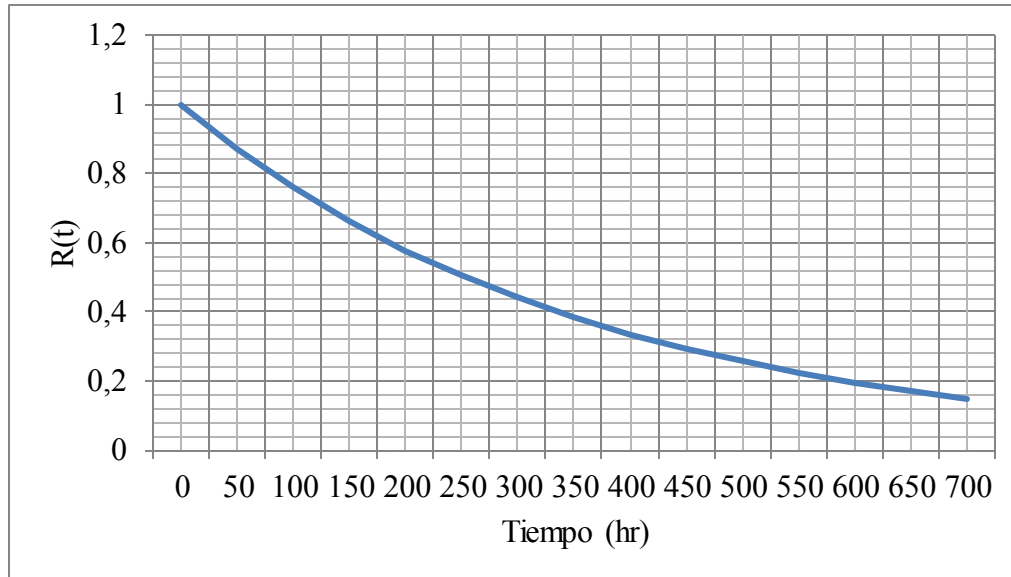
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al Gráfico 17 se concluye que el sistema de mallas de la Torre de Difusión N°1 tiene una densidad de probabilidad de 0,2% cuando el sistema alcanza las 366 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas.

Finalmente, se gráfica las funciones de confiabilidad $R(t)$, la función acumulada de falla $F(t)$ y la tasa de falla (λ) con los parámetros calculados.

La función de Confiabilidad $R(t)$ está dada por:

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

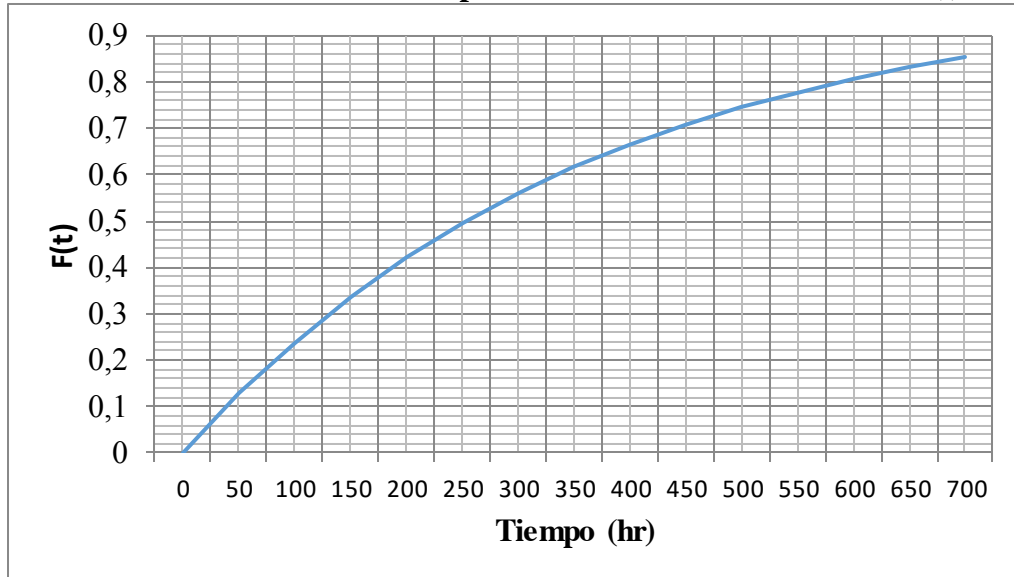
Gráfico 18: Grafico función confiabilidad R(t)

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al Gráfico 18 se concluye que el sistema de mallas de la Torre de Difusión N°1, tiene una confiabilidad del 38% cuando el sistema alcanza las 366 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una confiabilidad de 14,7 % cuando el sistema alcanza las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.

La función de probabilidad acumulada de falla (F(t)) está dada por:

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

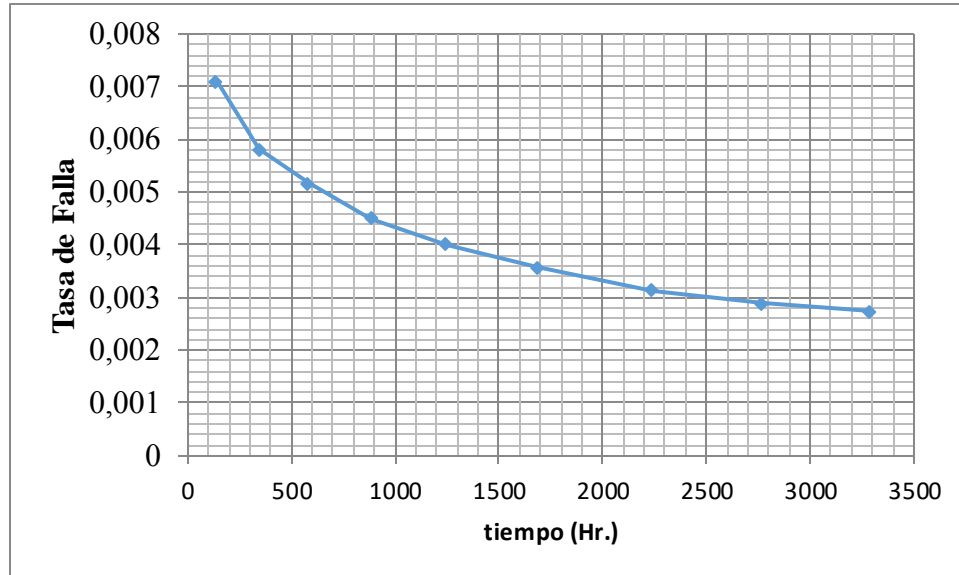
Gráfico 19: Grafico función probabilidad acumulada de falla F(t)

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al Gráfico 19 se concluye que el sistema de mallas de la Torre de difusión N°1 tiene una probabilidad de 62% de fallar antes de las 366 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una probabilidad de 85,23% de fallar antes de las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.

La función de tasa de falla está dada por la siguiente fórmula:

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \times \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

Gráfico 20: Gráfico de la función tasa de falla (λ)

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al Gráfico 20 se concluye que el sistema de mallas de la Torre de Difusión N°1, tiene una tasa de falla de 0,27% cuando el sistema alcanza las 3293 horas, correspondiente a las horas totales de operación de las mallas de la Torre de Difusión N°1.

Sistema de Circuito de vacío

A continuación, se presenta el MTBF, la tasa de falla (λ) y los parámetros del Circuito del vacío:

Tabla 16: Resumen operacional Circuito de vacío

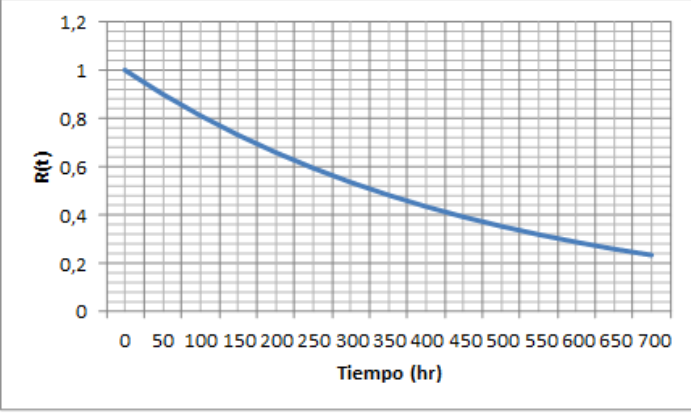
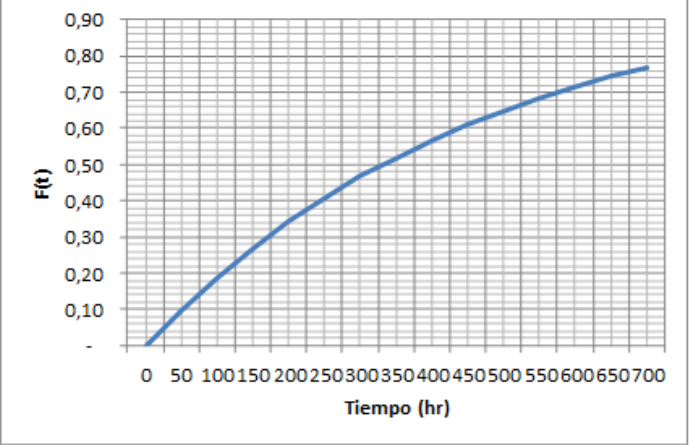
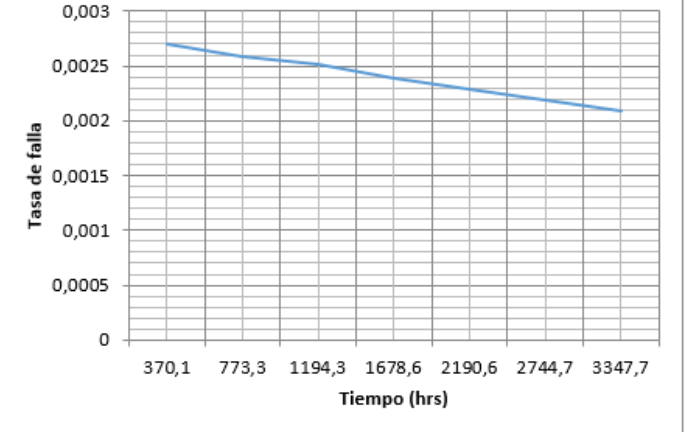
Circuito de vacío		
Días elaboración (DE)		140
Horas por día (Hr)		24
tiempo total (TT)		3360
Tiempo no Operativo (Hr)		12,3
tiempo operativo (Hr)		3347,7
cantidad de fallas (u)		7
MTBF		478,242857
Tasa de falla (λ)		0,002090988

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros del sistema de Circuito de vacío corresponden a:

$$\alpha=140,057 h; \quad \beta=1,237; \quad \Upsilon=348,459 h$$

Gráfico 21: Funciones Circuito de Vacío

Función Confiabilidad $R(t)$	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de confiabilidad $R(t)$ en función del tiempo en horas. El eje vertical representa $R(t)$ y varía de 0 a 1.2. El eje horizontal representa el tiempo en horas, variando de 0 a 700. La curva comienza en (0, 1.0) y decrece exponencialmente, alcanzando un valor de 0.23 a las 700 horas.</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el sistema de Circuito de vacío tiene una confiabilidad del 37% cuando el sistema alcanza las 478 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una confiabilidad de 23 % cuando el sistema alcanza las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.</p>
Función de probabilidad acumulada de falla ($F(t)$)	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de probabilidad acumulada de falla $F(t)$ en función del tiempo en horas. El eje vertical representa $F(t)$ y varía de 0 a 0.90. El eje horizontal representa el tiempo en horas, variando de 0 a 700. La curva comienza en (0, 0) y aumenta exponencialmente, alcanzando un valor de 0.77 a las 700 horas.</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el sistema de Circuito de vacío tiene una probabilidad de 63% de fallar antes de las 478 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una probabilidad de 77% de fallar antes de las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.</p>
Función de tasa de falla (λ)	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de tasa de falla λ en función del tiempo en horas. El eje vertical representa la tasa de falla y varía de 0 a 0.003. El eje horizontal representa el tiempo en horas, con marcas específicas en 370,1, 773,3, 1194,3, 1678,6, 2190,6, 2744,7 y 3347,7. La curva muestra una disminución gradual de la tasa de falla a lo largo del tiempo.</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el sistema de Circuito de vacío, tiene una tasa de falla de 0,209% cuando el sistema alcanza las 3347,7 horas, correspondiente a las horas totales de operación del Circuito de vacío.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Sistema Secador de azúcar

A continuación, se presenta el MTBF, la tasa de falla (λ) y los parámetros del Circuito del vacío:

Tabla 17: Resumen operacional Secador de azúcar

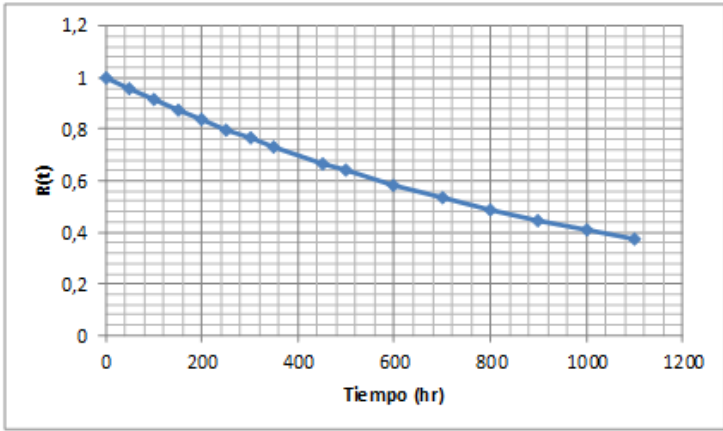
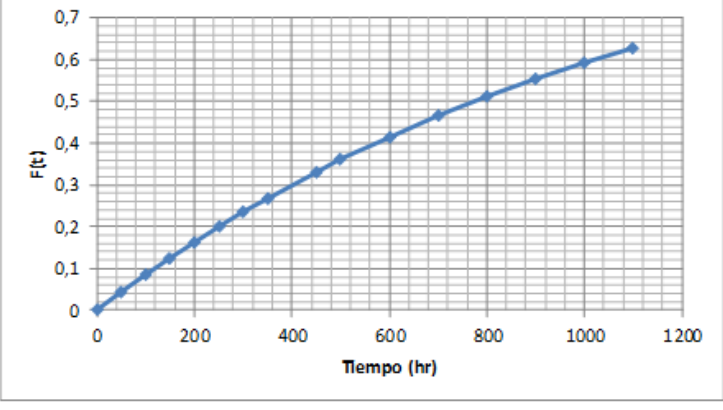
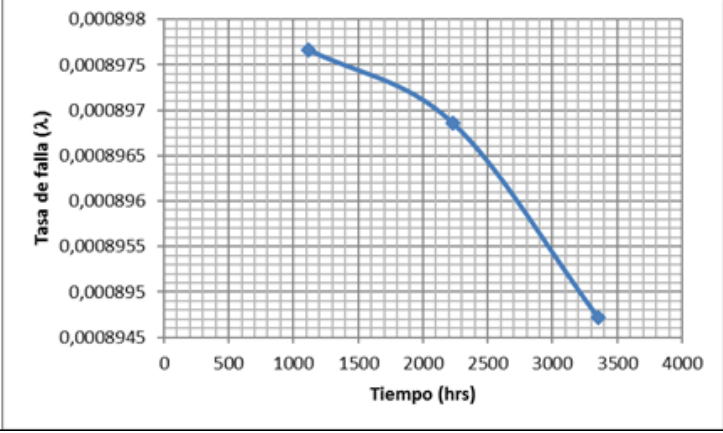
Secador de azúcar	
Días elaboración (DE)	140
Horas por día (Hr)	24
tiempo total (TT)	3360
Tiempo no Operativo (Hr)	7
tiempo operativo (Hr)	3353
cantidad de fallas (Hr)	3
MTBF	1117,66667
Tasa de falla (λ)	0,00089472

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros del sistema de Circuito de vacío corresponden a:

$$\alpha = 1128,994 \text{ h}; \quad \beta = 15,783; \quad \gamma = 0 \text{ h}$$

Gráfico 22: Funciones Secador de azúcar

Función Confiabilidad $R(t)$	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de confiabilidad $R(t)$ del secador de azúcar. El eje horizontal representa el tiempo en horas (0 a 1200), y el eje vertical representa la confiabilidad $R(t)$ (0 a 1.2). La curva comienza en (0, 1.0) y decrece exponencialmente hasta aproximadamente (1117.7, 0.39).</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el Secador de azúcar tiene una confiabilidad del 39% cuando el sistema alcanza las 1117,7 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una confiabilidad de 53 % cuando el sistema alcanza las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.</p>
Función de probabilidad acumulada de falla $F(t)$	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de probabilidad acumulada de falla $F(t)$ del secador de azúcar. El eje horizontal representa el tiempo en horas (0 a 1200), y el eje vertical representa la probabilidad acumulada $F(t)$ (0 a 0.7). La curva comienza en (0, 0.0) y aumenta exponencialmente hasta aproximadamente (1117.7, 0.61).</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el Secador de azúcar tiene una probabilidad de 61% de fallar antes de las 1117,7 horas, correspondiente al tiempo medio entre fallas. Además, tiene una probabilidad de 37% de fallar antes de las 700 horas, correspondiente al tiempo de la primera mantención programada.</p>
Función de tasa de falla (λ)	Comentarios
 <p>Este gráfico muestra la función de tasa de falla λ del secador de azúcar. El eje horizontal representa el tiempo en horas (0 a 4000), y el eje vertical representa la tasa de falla λ (0.0008945 a 0.000898). La curva comienza en (1117.7, 0.0008975) y decrece hasta (3353, 0.0008945).</p>	<p>De acuerdo al Gráfico se concluye que el Secador de azúcar, tiene una tasa de falla de 0,089% cuando el sistema alcanza las 3353 horas, correspondiente a las horas totales de operación.</p>

Fuente: Elaboración Propia

6.5 Costos del Ciclo de vida de los equipos

Esta metodología es un análisis que identifica los costos globales de los equipos durante su vida útil. Es necesario considerar esta evaluación para una óptima adquisición de nuevos equipos (reemplazo de equipos).

$$\text{Costo Global} = \text{Costo capital fijo} + \text{Costo Operacional} + \text{Costo de Ineficiencia}$$

➤ Costo Operacional

El costo operacional se encuentra definido por todos aquellos elementos propios de la operación de mantenimiento, como materiales y servicios asociados.

Tabla 18: Costos Operacionales

	Materiales (US\$)	Servicios (US\$)	Total (US\$)
Reparación de mallas Torre de Difusión N°1	4.127	4.198	8.325
Reparación de circuito de vacío	3.252	1.350	4.602
Reparación secador de azúcar	522	1.886	2408

Fuente: Elaboración Propia

➤ Costo de Capital Fijo

El costo de capital fijo (o de inversión) queda determinado por el costo de los equipos e instalaciones.

Tabla 19: Costos de Capital Fijo

	Costo de inversión
Malla Torre de Difusión N°1	US\$ 70.000
Circuito al vacío	US\$ 90.000
Piezas sección entrada Secador de Azúcar.	US\$ 60.000

Fuente: Elaboración Propia

Para calcular el costo de ineficiencia es necesario conocer el costo de falta y el período de detención.

6.5.1 Costo Global para las mallas de la torre de Difusión N°1.

Período de detención (T)	Costos Variables (CV*)	Facturación (F)
67,1 (Hr.)	900(US\$/Hr)	3100 (US\$/Hr)

El período de detención (T), indica la cantidad de horas que se necesitaron para reparar las mallas de la torre de difusión N°1. Los costos variables (CV*), indican cuanto es lo que se deja de gastar durante el período de detención. Y (F), indica lo que se deja de facturar.

Con la siguiente ecuación se determinará el costo de ineficiencia:

$$\text{Costo Ineficiencia} = Cf \times T$$

$$Cf = F - CV$$

Reemplazamos en las ecuaciones con los valores obtenidos anteriormente:

$$Cf = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right)$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right) \times 67.1 (\text{Hr})$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 147.620 (\text{US\$})$$

Costo Capital Fijo	Costo Operacional
70.000 (US\$)	8.325 (US\$)

Finalmente se reemplazan los costos en la ecuación y se calcula el Costo Global:

$$\text{Costo Global} = 60.000 (\text{US\$}) + 8.325 (\text{US\$}) + 147.620 (\text{US\$})$$

$$\text{Costo Global} = 225.945 (\text{US\$})$$

➤ Circuito de vacío

Para calcular el Costo Global se deben considerar los siguientes datos:

Período de detención (T)	Costos Variables (CV*)	Facturación (F)
12,3 (Hr.)	700(US\$/Hr)	2.900 (US\$/Hr)

El período de detención (T), indica la cantidad de horas que se necesitaron para reparar el colapso de circuito de vacío. Los costos variables (CV*), indican cuanto es lo que se deja de gastar durante el período de detención. Y (F), indica lo que se deja de facturar.

Con la siguiente ecuación se determinará el costo de ineficiencia:

$$\text{Costo Ineficiencia} = Cf \times T$$

$$Cf = F^* - CV^*$$

Reemplazamos en las ecuaciones con los valores obtenidos anteriormente:

$$Cf = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right)$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right) \times 12.3 (\text{Hr})$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 27.060 (\text{US\$})$$

Costo Capital Fijo	Costo Operacional
90.000 (US\$)	4.602 (US\$)

Finalmente se reemplazan los costos en la ecuación y se calcula el Costo Global:

$$\text{Costo Global} = 90.000 (\text{US\$}) + 4.602 (\text{US\$}) + 27.060 (\text{US\$})$$

$$\text{Costo Global} = 121.662 (\text{US\$})$$

➤ Reparación del Secador de azúcar

Para calcular los Costos Globales se debe considerar la siguiente información:

Período de detención (T)	Costos Variables (CV*)	Facturación (F)
7,0 (Hr.)	1000 (US\$/Hr)	3200 (US\$/Hr)

El período de detención (T), indica la cantidad de horas que se necesitaron para reparar el Secador de azúcar. Los costos variables (CV*), indican cuanto es lo que se deja de gastar durante el período de detención. Y (F), indica lo que se deja de facturar.

Con la siguiente ecuación se determinará el costo de ineficiencia:

$$\text{Costo Ineficiencia} = Cf \times T$$

$$Cf = F - CV$$

Reemplazamos en las ecuaciones con los valores obtenidos anteriormente:

$$Cf = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right)$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 2200 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Hr}} \right) \times 7.0 (\text{Hr})$$

$$\text{Costo Ineficiencia} = 15.400 (\text{US\$})$$

Costo Capital Fijo	Costo Operacional
60.000 (US\$)	2.408 (US\$)

Finalmente se reemplazan los costos en la ecuación y se calcula el Costo Global:

$$\text{Costo Global} = 60.000(\text{US\$}) + 2.408(\text{US\$}) + 15.400(\text{US\$})$$

$$\text{Costo Global} = 77.808(\text{US\$})$$

6.6 Cálculo VAN Y TIR

A continuación, se presentará el cálculo del VAN y TIR de cada proyecto considerando los siguientes parámetros:

- La inversión inicial del cambio o reparación del equipo:

Tabla 20: Inversión del proyecto

	Reemplazo Mallas torre difusión N°1	Circuito de Vacío	Reparación Secador de Azúcar
Inversión del proyecto (US\$)	70.000	90.000	60.000

Fuente: Elaboración Propia

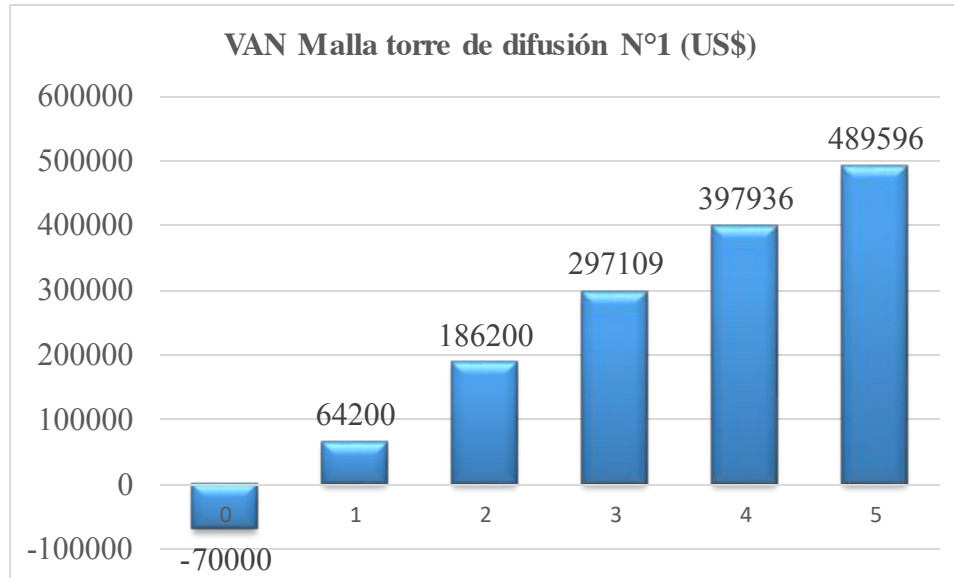
- Una tasa de descuento del 10% dada por IANSA Linares.
- Un horizonte de 5 años, considerando la vida útil de los equipos.
- Un costo anual por falla mayor de US\$ 147.620, US\$27.060 y US\$15.400 respectivamente, el que se considera positivo, dado que será lo que IANSA se ahorrará cada año al no tener que parar la fábrica por alguna falla mayor (costo de ineficiencia).

6.6.1 Reemplazo de Mallas de la Torre de Difusión N°1

Tabla 21: Cálculo del VAN y TIR de las Mallas de la Torre de Difusión N°1

AÑO	0	1	2	3	4	5
Flujo (US\$)	-70.000	147.620	147.620	147.620	147.620	147.620
VAN Malla torre difusión N°1 (US\$)	-70.000	64.200	186.200	297.109	397.936	489.596
TIR	210%					

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 23: VAN de las Mallas de la Torre de Difusión N°1

Fuente: Elaboración Propia

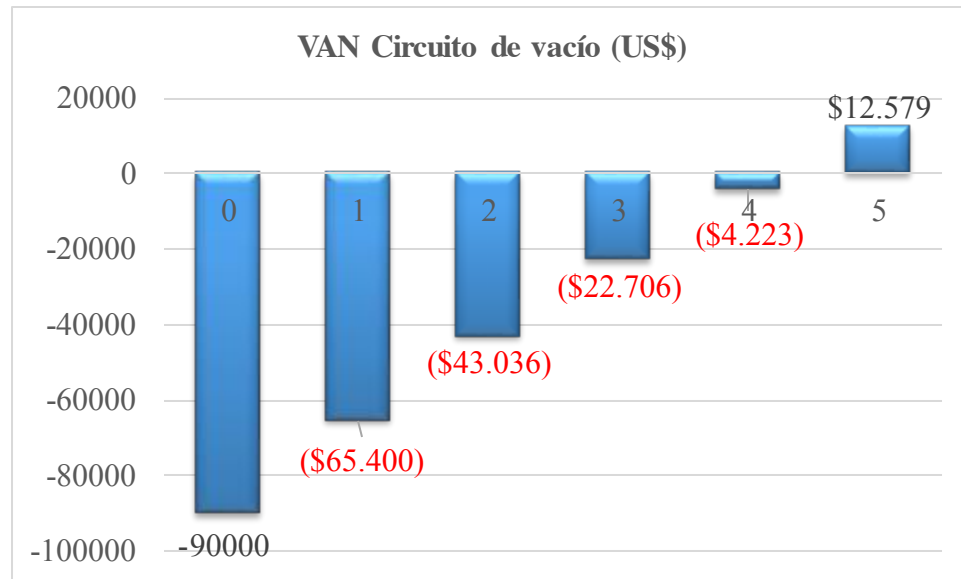
Se puede apreciar que la inversión se recuperará al primer año, la tasa de interés de retorno (TIR) fue de 210% y el VAN al quinto año fue de US\$489.596, por lo cual es recomendable ejecutar el proyecto.

6.6.2 Colapso Circuito de Vacío

Tabla 22: Cálculo VAN y TIR del Circuito de Vacío

AÑO	0	1	2	3	4	5
Flujo (US\$)	-90.000	27.060	27.060	27.060	27.060	27.060
VAN Circuito de vacío (US\$)	-90.000	-65.400	-43.036	-22.706	-4.223	12.579
TIR	15%					

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 24: VAN del Circuito de Vacío

Fuente: Elaboración Propia

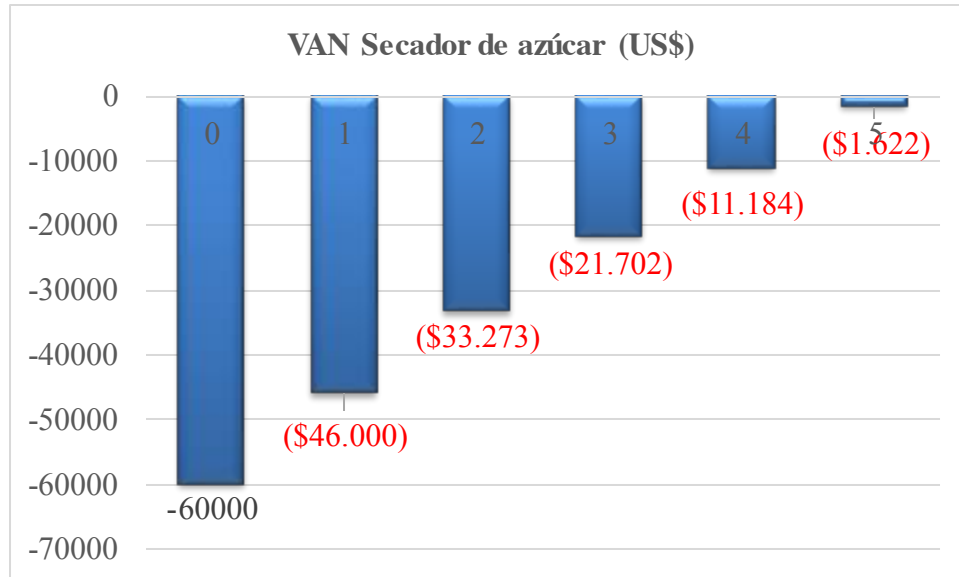
Se puede apreciar que la inversión se recuperará al quinto año, la tasa de interés de retorno (TIR) fue de 15% y el VAN al quinto año fue de US\$12.579, por lo cual igual es recomendable ejecutar el proyecto.

6.6.3 Reparación al Secador de azúcar

Tabla 23: Cálculo del VAN y TIR del Secador de Azúcar

AÑO	0	1	2	3	4	5
Flujo (US\$)	-60.000	15.400	15.400	15.400	15.400	15.400
VAN Secador de azúcar (US\$)	-60.000	-46.000	-33.273	-21.702	-11.184	-1.622
TIR	9%					

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 25: VAN del Secador de Azúcar

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que la inversión no se recuperará en el transcurso de los 5 años, la tasa de interés de retorno (TIR) fue de 9% y el VAN al quinto año fue de US\$-1.622, por lo cual no es recomendable ejecutar el proyecto.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

Los aumentos significativos de las fallas de los equipos de la Planta IANSA Linares en el año 2016 han generado un problema de gran magnitud. Esto según los datos obtenidos nos indica que las fallas de los equipos han aumentado un 23% en relación con el año anterior. Mientras las mantenciones correctivas han aumentado un 39%.

Al aplicar Principio de Pareto se concluyó que, dentro de las 4 categorías de los estados de falla registrados, la categoría con mayor incidencia fue la Mecánica con un 84%.

Al aplicar método Jack-Knife en categoría Mecánica, se obtuvieron los equipos que presentaron fallas crónicas y agudas en simultaneo. Estos fueron: Malla de Torre de Difusión N°1, Colapso circuito de vacío y Reparación a Secador de azúcar.

Al aplicar distribución de Weibull a los equipos con fallas crónicas y agudas en simultaneo, se obtuvo el tiempo medio entre falla (MTBF), la confiabilidad (R(t)) y la tasa de falla ($\lambda(t)$), lo que corresponde a:

MTBF (Hr.)	365,88
$\lambda(t)$	0,27%
R (366 Hr.)	38%
R (700 Hr.)	14,7%

Fuente: Elaboración Propia

MTBF (Hr.)	478,24
$\lambda(t)$	0,209%
R (478 Hr.)	37%
R (700 Hr.)	23%

Fuente: Elaboración Propia

MTBF (Hr.)	1117,66
$\lambda(t)$	0,089%
R (1117,66 Hr.)	39%
R (700 Hr.)	53%

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el análisis de datos anteriormente visto, para disminuir las fallas y las mantenciones correctivas, recomendamos las siguientes medidas correctivas y preventivas:

Tabla 27: Falla de las Mallas de la Torre de Difusión N°1		
Medida	Responsable	Plazo
Confecionar procedimiento para torque correcto de perno y largo (10 cm)	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Realizar prueba de raspadores luego de su montaje	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Estudiar la posibilidad de cambiar el material del marco y pletinas de las mallas de la torre 1 a acero inoxidable 316 L	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Inspección y mejora en la fijación entre las mallas de fondo de Torre 1	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Dimensionar y confeccionar mallas de fondo para torre 1 de acero inoxidable	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Mejorar el sistema que impide el roce entre las mallas de fondo y los raspadores externos	Jefe del área Operacional	Intercampaña 2016-2017

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28: Colapso Circuito de vacío

Medida	Responsable	Plazo
En base a análisis de espesores, determinar e implementar puntos de refuerzos a efectuar campaña 2016	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Mayo 2017
Efectuar capacitación a personal de área mecánica-eléctrica, sobre la correcta terminación de soldadura	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Incorporar a hoja de ruta medición de espesores del circuito de vacío.	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Mejorar inspección a trabajos de soldadura y estado de espesores.	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Cambio de tramos con espesores menores al valor admisible	Jefe del área Mecánica-eléctrica	Intercampaña 2016-2017
Inspeccionar estado de soldaduras realizados en circuito de vacío	Jefe del área Operacional	Intercampaña 2016-2017

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29:Falla Secador de azúcar

Medida	Responsable	Plazo
Control semanal de vibración tambor de secador	Jefe del área Mecánica	Campaña 2016
Seteo de alarma de vibración para sensores instalados	Jefe del área Mecánica	Campaña 2016
Cambios de consolas dañadas de unión entre anillo interior y manto secador de azúcar.	Jefe del área Mecánica	Intercampaña 2016-2017
Inspección de uniones soldadas en interior de secador de azúcar	Jefe del área Mecánica	Intercampaña 2016-2017

Fuente: Elaboración Propia

En el análisis económico se concluye que el compartimiento de la disponibilidad de los equipos tiene una tendencia a la baja, si no se realizan la implementación de las mejoras de mantenimiento sugeridas se estima un costo de ineficiencia total de US\$ 190.080 anual. Por lo cual, es recomendable realizar los proyectos sugeridos, dado a que el VAN y TIR de 2 de los 3 proyectos es positivo, y la inversión se recuperaría en un horizonte de 1 y 5 años respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30: VAN Y TIR de los 3 reemplazos de equipos

	Reemplazo de Mallas de Torre de difusión N°1	Reemplazo Circuito de vacío	Reparación de Secador de azúcar.
Inversión Inicial	US\$ 70.000	US\$ 90.000	US\$ 60.000
VAN (a 5 años)	US\$ 489.596	US\$ 12.579	US\$ -1.622
TIR	210%	15%	9%
Recuperación inversión (años)	1	5	-

Fuente: Elaboración Propia

Referencias

- [Amendola11]. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Luis Amendola, 2011 (disponible vía Web en <http://www.mailxmail.com/curso-confiabilidad-operacional/mantenimiento-centrado-confiabilidad-rcm-introduccion> visitada en Octubre del 2016).
- [Arata09]. Adolfo, Arata. Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. Santiago: RIL, editores, 2009.
- [Gonzalez12]. La mejora continua. Diagrama de Pareto. Hugo González, 2012 (disponible vía Web en <https://calidadgestion.wordpress.com/?s=la+mejora+continua> visitada en Septiembre del 2016).
- [IANSA15]. Memoria Anual IANSA 2015 (disponible vía Web en http://www.iansa.cl/memoria-2015/documentacion/Memoria_Iansa_2015.pdf visitada en Agosto del 2016).
- [IANSA14]. Memoria Anual IANSA 2014. IANSA, 2014 (disponible vía Web en http://www.iansa.cl/memoria-2014/documentacion/Memoria_Iansa_2014.pdf visitada en Agosto del 2016).
- [IANSA14]. Reporte de sostenibilidad 2014. IANSA, 2014 (disponible vía Web en <http://www.iansa.cl/wp/wp-content/uploads/2015/07/reporte-de-sustentabilidad-iansa-2014.pdf> visitada en Agosto del 2016).
- [IANSA13]. Memoria Anual IANSA 2013. IANSA, 2013 (disponible vía Web en http://www.iansa.cl/wp/wp-content/uploads/2015/01/Memoria_Iansa_20131.pdf visitada en Agosto del 2016).
- [Mazzucco16]. Economía y Negocios. IANSA cierra planta en Curicó y limita producción a solo dos recintos en Chile. Julián Mazzucco, 2016 (disponible vía Web en <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=236499> visitada en Septiembre del 2016).
- [Sotuyo05]. Gestión de Activos y Ciclo de Vida. Santiago Sotuyo Blanco, 2005 (disponible vía Web en <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-de-activos-y-ciclo-de-vida/> visitada en Octubre del 2016).
- [Villarroel14]. Aplicaciones a la Ingeniería de Mantenimiento. Henry Villarroel, 2014 (disponible vía Web en <http://es.slideshare.net/henry44/distribuciones-de-probabilidad-para-ingenieria-de-mantenimiento> visitada en Octubre del 2016).