

**Universidad de Valparaíso  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Industrial**



**“Propuesta de Renovación Tecnológica en el  
Área de Generación Eléctrica para Reducir  
Productos Defectuosos Dentro de la Línea de  
Producción”**

**Caso: Fábrica de Envases de Vidrio.**

Por

**Diego Andrés Lagos Silva  
Marcelo Fabián Silva Vera**

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

Prof. Guía: Carmen Ortiz Zaldívar

Octubre de 2017



# Índice

<b>Lista de abreviaturas y siglas</b> .....	<b>5</b>
<b>Lista de símbolos</b> .....	<b>6</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>8</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Descripción de la empresa</b> .....	<b>12</b>
2.1 La Empresa. ....	12
2.1.1 Descripción General .....	12
2.1.2 Localización .....	13
2.1.3 Descripción general.....	14
2.2 Principales productos que ofrece la compañía .....	16
<b>3. Análisis de la situación actual</b> .....	<b>18</b>
3.1 Tecnologías.....	18
3.2 Proceso de Fabricación.....	20
3.3 Producción y consumo de energía .....	22
3.4 Identificación de la problemática.....	26
3.5 Pareto de la demanda de energía eléctrica.....	31
3.6 Objetivos de la Tesis .....	34
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>37</b>
4.1 Calidad .....	37
4.2 Las 7 Herramientas básicas de la Calidad.....	41
4.3 Mantenimiento.....	44
<b>5. Propuesta de Solución</b> .....	<b>50</b>
5.1 Alternativas de Energía.....	52
5.1.1 Energía Solar .....	52
5.1.2 Energía Eólica (Aero Generadores) .....	54
5.1.3 Pilas de Combustión. ....	55
5.1.4 Solución de Generadores. ....	56
5.2.4 Aplicación del método de medición de desempeño productivo (OEE) .....	60
5.3 Propuesta de mejora .....	65
5.3.1 Criterio para selección de equipo .....	65
5.5 Propuesta de cambio en el procedimiento de inicio.....	68

5.5.1 Mantenimiento Preventivo .....	69
5.6 Caso opcional.....	70
5.6 Consideraciones finales .....	71
<b>6. Implementación. ....</b>	<b>74</b>
<b>7. Conclusión.....</b>	<b>78</b>
Anexos .....	<b>80</b>
Anexo Nº1 Consumos eléctricos anuales .....	80
Anexo Nº2 Caídas de tensión y fallas CGE.....	81
Anexo Nº3 Pareto creado por años.....	81
Anexo Nº4 Gráficos de control.....	83
Anexo Nº5 Leyes Relacionadas.....	84
Anexo Nº6 Flujos Económicos para Propuestas.....	86
Anexo Nº7 Variación Tasa de Descuento .....	94
Anexo Nº8 Explorador solar .....	96
Anexo Nº9 Tiempos de mantenimiento.....	98
Bibliografía .....	99

## Lista de abreviaturas y siglas

Electroboosting: Barras electrificadas para aumentar o mantener la temperatura del Horno.

Tons: Toneladas.

Kw: Kilo Watt

KWH: Kilo Watt Hora.

OEE: *Overall Equipment Efficiency* o Eficiencia General de los Equipos.

TPM: Mantenimiento productivo total.

SEC: Súper Intendencia de Electricidad y Combustibles, Gobierno de Chile

Lts.: Litros.

Ue: Producción Total

Scrap: Productos defectuosos

Pr: Residuos

Nº = número.

## Lista de símbolos

° = grado.

% = porcentaje.

m/s = Metros por segundo

## Lista de figuras

FIGURA 2 1: PRIMERA PLANTA, COMUNA DE PADRE HURTADO.....	13
FIGURA 2 2: NUEVA PLANTA, COMUNA DE LLAY LLAY. ....	13
FIGURA 2 3: ORGANIGRAMA FÁBRICA DE ENVASES .....	14
FIGURA 3 1: DIAGRAMA DE FÁBRICA DE VIDRIOS P.H.....	19
FIGURA 3 2: DIAGRAMA DE PROCESO DE FÁBRICA DE VIDRIOS S.A .....	20
FIGURA 3 4: PRODUCTO EN PROCESO.....	21
FIGURA 3 5: GRÁFICO DE CONSUMO ELÉCTRICOS PLANTA DE P.H.....	22
FIGURA 3 6: PRODUCCIÓN TOTAL (KWH/TONS).....	23
FIGURA 3 7: CONSUMO DE ENERGÍA. ....	25
FIGURA 3 8: DIAGRAMA DE ISHIKAWA. ....	27
FIGURA 3 9: DIAGRAMA DE ISHIKAWA (HORNO).....	29
FIGURA 3 10: DIAGRAMA DE TEMPERATURA DEL HORNO. ....	31
FIGURA 3 11: DIAGRAMA DE PARETO. ....	33
FIGURA 4 1: CICLO PDCA.....	40
FIGURA 4 2: PILARES DE TPM. ....	45
FIGURA 5 1: GENERACIÓN MENSUAL EN KWH .....	53
FIGURA 5 2: COMPARACIÓN SISTEMA DE CAPTURA SOLAR. ....	53
FIGURA 5 3: VELOCIDAD DEL VIENTO PLANTA PH. ....	55
FIGURA 5 4: TRABAJO DE LA PILA DE COMBUSTIÓN.....	56
FIGURA 5 5: CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD. ....	57
FIGURA 5 6: FLUJOGRAMA DE GENERADORES.....	58
FIGURA 5 7: GENERADOR INDUSTRIAL (TIPO).....	66
FIGURA 5 8: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA. ....	69
FIGURA 5 9: DIAGRAMA DE ORDEN DE PARTIDA DE LOS GENERADORES. ....	70
FIGURA 6 1: ESQUEMA TARJETA DE REGISTRO PARA MANTENIMIENTO. ....	75
FIGURA 6 2: CONTROLES VISUALES .....	76

## Lista de Tablas

TABLA 3 1 : PRODUCCIÓN Y PRODUCTOS DEFECTUOSO.....	23
TABLA 3 2 : CONSUMO DE ENERGÍA AÑO 2014.....	32
TABLA 3 3 : CONSUMO DE ENERGÍA AÑO 2015.....	32
TABLA 3 4 : CONSUMO DE ENERGÍA AÑO 2016.....	32
TABLA 3 5 : PRODUCTOS CON DEFECTOS.....	35
TABLA 3 6: CONSUMO DE FÓSIL POR TONELADA.....	36
TABLA 5 1: DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE ENERGÍA .....	51
TABLA 5 2: INDICADOR DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ANUAL.....	52
TABLA 5 3 : EVALUACIÓN DE GENERADORES POR TABLA DE CRITICIDAD.....	58
TABLA 5 4: FRECUENCIA DE GRADO DE CRITICIDAD.....	59
TABLA 5 6: PRODUCTOS CON DEFECTOS.....	61
TABLA 5 7: DISPONIBILIDAD.....	62
TABLA 5 8: RENDIMIENTOS.....	63
TABLA 5 9: TABLA DE DATOS DEL CÁLCULO DEL OEE.....	63
TABLA 5 10: TABLA DE CONSUMO FÓSIL.....	64
TABLA 5 11: TABLA INDICADOR FINAL.....	64
TABLA 5 12: EQUIPOS INSTALADOS Y OPERATIVOS.....	65
TABLA 5 13: RATIOS ECONÓMICOS CASO 1.....	66
TABLA 5 14: RATIOS ECONÓMICOS CASO 2.....	67
TABLA 5 15: RATIOS ECONÓMICOS CASO 3.....	67
TABLA 5 16: EQUIPOS PARA REEMPLAZO Y SUS COSTOS.....	68
TABLA 5 17: RATIOS ECONÓMICO CASO OPCIONAL.....	71
TABLA 5 18: TABLA DE ESCENARIOS DEL CASO N°2.....	72

## Resumen

Fábrica de Envases de Vidrios, es una empresa líder en la producción de envases y botellas de vidrios, dentro de sus clientes se encuentran el grupo Andina, CCU, y viña Santa Rita en otros. Inició sus operaciones en el año 1904, y desde entonces ha estado en constante evolución, para mejorar sus envases, sus procesos, y la calidad de su mano de obra. Actualmente cuenta con dos plantas de producción, una en la Quinta Región, en la provincia de Llay-Llay, inaugurada en el año 2007, instalación que cuenta con la más alta tecnología, y con un enfoque en la eficiencia energética. La otra planta se ubica en la comuna de Padre Hurtado, en la Región Metropolitana, fue inaugurada en el año 1978, y se ha mantenido en producción por más 35 años, adaptándose a las nuevas tecnologías y procesos.

Dentro del proceso productivo, se encuentran varios equipos industriales, de los cuales se destacan los hornos de cocido, que reciben la materia prima, y moldean el vidrio hasta la forma requerida por el cliente. Los procesos de la fábrica de vidrios, están validados por sus varias certificaciones ISO, y de TPM, pero, aun así, se han detectado productos defectuosos, estos ascienden a las 480 toneladas de vidrio al año, que deben volver al inicio del proceso productivo. Si bien el 100% de los productos defectuosos es recuperado y reciclado, estas pérdidas, tienen un costo de más de 63 millones de pesos, afectan los tiempos de producción y entrega de los productos terminados.

El presente proyecto de título, tiene como objetivo resolver o disminuir el problema de los productos defectuosos, presentes en una de las líneas de producción de la empresa Fábrica de Envases de Vidrios.

Esta empresa utiliza diferentes máquinas para realizar sus procesos productivos, para lo cual utiliza energía eléctrica, a la vez que sus máquinas funcionan en forma neumática, y debido a esto, se demandan grandes cantidades de energía. La planta cuenta con sus propios equipos generadores de electricidad, que permiten mantener la planta funcionando cuando el suministro principal falla. Es aquí donde se ha observado un comportamiento deficiente de los equipos.

Para afrontar el problema detectado, se ha utilizado la metodología de trabajo PDCA, y se han empleado herramientas de calidad, de Mantenimiento productivo, además de indicadores como el OEE, que permiten analizar la situación actual y proponer mejoras a partir de los datos obtenidos. Se han estudiado los equipos, y se han elaborado propuestas de mejoras.

# 1. Introducción

Un sistema productivo, es un sistema que a partir de diferentes entradas (factores de producción), generan salidas, denominados productos. Estos productos tienen un mayor valor agregado que las entradas y, por ende, el sistema o la empresa que los genera, obtiene beneficios económicos.

A diferencia de las empresas prestadoras de servicios, en que las salidas del sistema productivo no necesariamente son tangibles, en las empresas del tipo manufacturera como Fábrica de envases de vidrio, el producto si tiene una consistencia física, es decir, bienes fabricados a partir de una serie de elementos o materiales que, a lo largo de una consecución de procesos productivos, van modificando su estado hasta convertirse en productos finales para satisfacer las necesidades de los clientes.

La principal finalidad de las empresas manufactureras, es lograr este proceso de transformación de la forma más eficiente y con sus diferentes unidades organizadas y alineadas para ese propósito. Por lo tanto, la planificación, gestión y el control correcto de los factores de producción tienen un papel fundamental, factores clave como el capital humano, y la calidad y eficiencia de sus máquinas e instalaciones pueden marcar la diferencia frente a la competencia.

La Fábrica de Envases de Vidrios, es una empresa dedicada a producir envases de vidrios de la más alta calidad. Cuenta con 2 plantas productivas, una en la Quinta Región, y otra en Santiago, en la comuna de Padre Hurtado, lugar donde se desarrolla este trabajo de investigación.

En este lugar se utilizan varios tipos de máquinas tales como los hornos, las máquinas de ventilación, compresores y máquinas de vacío. Sus procesos productivos están validados por sus certificaciones ISO, y TPM, además de contar el apoyo de licencia técnica para la producción, de la multinacional Owens Illinois, que es líder a nivel mundial en la producción de envases de vidrio. A pesar de esto, se han detectado productos defectuosos por más de 480 toneladas de vidrios al año, que, si bien se recuperan en un 100% dada las propiedades del vidrio, altera los tiempos de producción, y genera retrasos en las entregas.

A través de las herramientas de calidad, y de lo propuesto por los autores líderes en este campo, y del Mantenimiento, se busca identificar los errores y fallas que están afectando la producción, aislar las causas que lo producen, y buscar a través de los indicadores, y el planteamiento de alternativas de solución, tanto económicas como de métodos, corregir los problemas y disminuir los productos defectuosos.

Mediante la utilización de diagramas Ishikawa, gráficos de Pareto, diagramas de procesos, se ha dado forma a la información histórica provista por la empresa, en busca de

las causas principales que generan estos productos defectuosos, además de la utilización de herramientas TPM, y OEE, se han elaborado propuestas de solución, preventivas y de mantenimiento, y alternativas de mayor escala, como el reemplazo de ciertos equipos que han demostrado estar bajo el rendimiento que se espera de ellos.

Para validar el trabajo realizado, y comprobar el cumplimiento de los objetivos, se van definir una serie de indicadores, que permitirán evaluar las soluciones propuestas, una vez que la compañía valide su implementación.

En este documento se presenta la empresa, se define el marco de trabajo, se presenta el problema, y los objetivos, y se proponen alternativas de solución, con su respectiva evaluación económica, y, por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## **2. Descripción de la empresa**

A continuación, se presentan los datos de la empresa para identificar el rubro, la ubicación de está y cómo se organiza.

### **2.1 La Empresa.**

#### **2.1.1 Descripción General**

La empresa inicia sus operaciones en 1904 bajo el nombre de Fábrica Nacional de Vidrios, es una Sociedad Anónima Abierta y cuenta con el Registro de Valores de la SVS.

A partir de 1930, y durante más de 40 años, la Compañía funcionó en la Planta de Av. Vicuña Mackenna, donde operaron sus más de 15 hornos de fusión.

En 1978, traslada sus actividades productivas de envases de vidrio en la Planta de Padre Hurtado, donde actualmente fabrican sus envases. En la figura 2.1 puede apreciarse un costado de la fábrica de esa comuna.

Posteriormente cambia su nombre a Fábrica de Vidrios S.A. Actualmente con más de 110 años de funcionamiento, cuenta con un gran prestigio a nivel nacional e internacional. Dedicada a la fabricación y venta de envases de vidrio, presentando una gran variedad de productos para sus clientes. Cuenta con una segunda planta de fabricación, ubicada en la comuna de Llay-Llay, en la Quinta Región, esta moderna planta se encuentra registrada en la figura 2.2. Con 6 hornos de fundición, además de maquinaria de alta tecnología, las cuales ayudan a mejorar el proceso de producción (Distribución, materia prima, mezclado, horno, gota, cocción, finalizando producto terminado y embalado), los que se realizan bajo altas normas de exigencia y cuenta con respaldos de Owen-Illinois, para lograr una calidad de excelencia en cada uno de sus productos.

La utilidad neta de la compañía durante el año 2015, fue de \$31.835 Millones de pesos, muy superior a los \$27.409 millones de Pesos del año 2014.

## 2.1.2 Localización

La empresa consta de dos plantas, la primera se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, de Chile, en la comuna de Padre Hurtado y su domicilio legal se ubica en José Luis Caro 501, Padre Hurtado, y la segunda se ubica en El Porvenir 626, Llay Llay, en el valle Aconcagua en la Quinta Región.

Su centro de operaciones en Padre Hurtado, cuenta con una superficie de 325.000 M2 de los cuales, 50.000 M2 están construidos, para el proceso productivo y administrativo.

### Plantas



**Figura 2 1: Primera Planta, comuna de Padre Hurtado**



**Figura 2 2: Segunda Planta, comuna de Llay Llay.**

### 2.1.3 Descripción general

De acuerdo al organigrama que se presenta en la Figura 2.3, el área a abordar en este trabajo de memoria es la Gerencia de Operaciones, departamento que administra la producción de la planta, así como sus máquinas y operadores.



**Figura 2 3: Organigrama Fábrica de envases**

#### **Visión:**

Ser el mejor aliado de nuestros clientes y juntos ganar la preferencia del consumidor.

#### **Misión:**

Desarrollaremos soluciones innovadoras de envases que potencien la calidad, imagen y eficiencia de los productos de nuestros clientes en un ambiente motivador, desafiante y amistoso, creando valor sustentable para nuestros accionistas, colaboradores y comunidad.

#### **Valores:**

Ser el mejor aliado de nuestros clientes y juntos ganar la preferencia del consumidor.

- La Satisfacción del cliente es nuestra motivación permanente.
- Buscamos la excelencia e innovación en todo lo que hacemos.
- Confiamos en las personas y fomentamos el desarrollo integral.
- Estamos comprometidos con la comunidad y el medio ambiente.
- Somos honestos y hacemos lo que decimos.

**Objeto Social de la sociedad:**

a) El desarrollo y explotación de uno o más establecimientos industriales del ramo envases, vajilla, contenedores, empaques y similares, sean éstos de vidrio, cristal, cartón, plástico y otros materiales susceptibles de ser utilizados para tales fines.

b) La elaboración de vidrios y cristales en todas sus formas, aplicaciones y características.

c) La exportación, importación y comercialización de productos y materias primas relacionadas con las actividades precedentes; y

d) La inversión y explotación directa o indirecta en actividades navieras, agrícolas, vitivinícolas, agroindustriales, forestales, pesqueras, mineras, químicos industriales, de la construcción, de turismo, de medios de transporte, de bienes de consumo masivo, de medios de comunicación y de exportaciones. Asimismo, podrá realizar actividades sanitarias e inmobiliarias, especialmente, aquéllas que consistan en dar y/o tomar en arrendamiento y, en general, cualquier otra forma de cesión del uso o goce temporal de inmuebles amoblados o sin amoblar. De la misma manera, podrá efectuar compraventa de acciones.

e) El desarrollo y explotación de uno o más establecimientos industriales del ramo envases, incluyendo las actividades de embotellado y envasado.

f) Producción de electricidad y actividades complementarias

**Principales Clientes**

- Compañía Cervecerías Unidas S.A.
- Embotelladora Andina S.A.
- Embotelladoras Chilenas Unidas S.A.
- Sociedad Anónima Viña Santa Rita (filial)
- Viña Concha y Toro S.A.
- Viña San Pedro S.A.

## 2.2 Principales productos que ofrece la compañía

La fábrica, ofrece diferentes configuraciones de envases para satisfacer las necesidades del mercado, en cuanto a diseño, forma y color, además de ofrecer distintos seguros y sellos para sus envases, lo que se observa en la figura 2.4. Estas características se pueden mezclar, otorgando así, una gran variedad de productos para el cliente.




<p><b>PRODUCTOS</b></p> <p><input type="checkbox"/> Todas</p> <p><input type="checkbox"/> Vino</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Burdeos</li> <li><input type="checkbox"/> Borgoña</li> <li><input type="checkbox"/> Rhin</li> <li><input type="checkbox"/> Espumantes</li> <li><input type="checkbox"/> Ecoglass</li> <li><input type="checkbox"/> Cónicas</li> <li><input type="checkbox"/> Importadas</li> </ul> <p><input type="checkbox"/> Cervezas</p> <p><input type="checkbox"/> Licores</p> <p><input type="checkbox"/> Alimentos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Frascos</li> <li><input type="checkbox"/> Aceites</li> </ul> <p><input type="checkbox"/> Analcohólicas</p>	<p><b>BOCA</b></p> <p><input type="checkbox"/> Todas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Twist Off</li> <li><input type="checkbox"/> Seguridad 31,5</li> <li><input type="checkbox"/> MCA-2</li> <li><input type="checkbox"/> Corona</li> <li><input type="checkbox"/> Corcho</li> <li><input type="checkbox"/> Screw Cap</li> </ul>	<p><b>COLOR</b></p> <p><input type="checkbox"/> Todas</p> <p><input type="checkbox"/> </p> <p><input type="checkbox"/> </p> <p><input type="checkbox"/> </p> <p><input type="checkbox"/> </p> <p><b>RANGO CAPACIDAD</b></p> <p><input type="checkbox"/> Todas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Menor 750</li> <li><input type="checkbox"/> 750</li> <li><input type="checkbox"/> Mayor 750</li> </ul>
		

Figura 2 4: Envases y configuraciones disponibles.

## **Certificaciones**

### **ISO 22.000**

Adicional al mercado de envases de vidrio, Fábrica de botellas participa en el mercado de vinos nacional y de exportación a través de Viña Santa Rita y en el mercado de las comunicaciones con Ediciones Financieras a través de Diario Financiero y la Revista Capital. Su participación en el mercado de vino le ha acercado a la certificación ISO 22000 que dice relación con la Gestión de la Seguridad Alimentaria.

Fábrica de botellas, cuenta a su haber con diferentes certificaciones, las que se mencionan a continuación:

**ISO 9001:2008** “Sistema de Gestión de la calidad”, julio 2007.

**ISO 50001** “Sistema de Gestión Energética”, diciembre 2015

**ISO 22000** “Inocuidad de los alimentos en la cadena alimentaria”, segundo semestre 2014.

**TPM2** “Método de gestión que identifica y elimina las pérdidas existentes en el proceso productivo, desde 2006 en adelante.

## **3. Análisis de la situación actual**

Como se presentó en el capítulo anterior, la empresa se dedica a la fabricación de envases de vidrio, para diferentes productoras de alimentos o bebestibles. Su cartera de productos incluye variados modelos, colores y cierres herméticos, posicionando a la empresa como líder a nivel nacional en la producción de este tipo de envases. Para fabricar productos de alta calidad, la empresa cuenta con una serie de máquinas eléctricas, que utilizan aire comprimido, además de una sala de generación eléctrica, para mantener en funcionamiento a la fábrica en caso de caída de suministro eléctrico. Dentro del proceso productivo la compañía cuenta con una serie tecnologías de nivel mundial, que se detallan a continuación.

### **3.1 Tecnologías**

En la fábrica, el desarrollo de productos de alta calidad siempre ha sido prioridad, para ello es necesario que en el proceso productivo converjan componentes indispensables, como el equipo humano especializado, tecnología de punta, y una adecuada infraestructura.

Dentro de la tecnología con que cuenta la fábrica, se pueden destacar:

#### **Hornos**

Fábrica de botellas cuenta con seis hornos de alta tecnología, que operan bajo la tecnología "End Port", diseñados por Owens-Illinois, EE.UU. Son regenerativos, lo que permite utilizar de manera eficiente la energía utilizada, además de mejorar los niveles de productividad.

#### **Líneas de Producción**

El área de producción posee 18 líneas de producción distribuidas en las plantas de Padre Hurtado y LLay-LLay, esto le otorga una gran flexibilidad para fabricar envases en cinco colores diferentes. La alta productividad de los hornos permite contar con una capacidad de producción anual de más de 1.000 millones de envases.

#### **Precipitadores Electroestáticos**

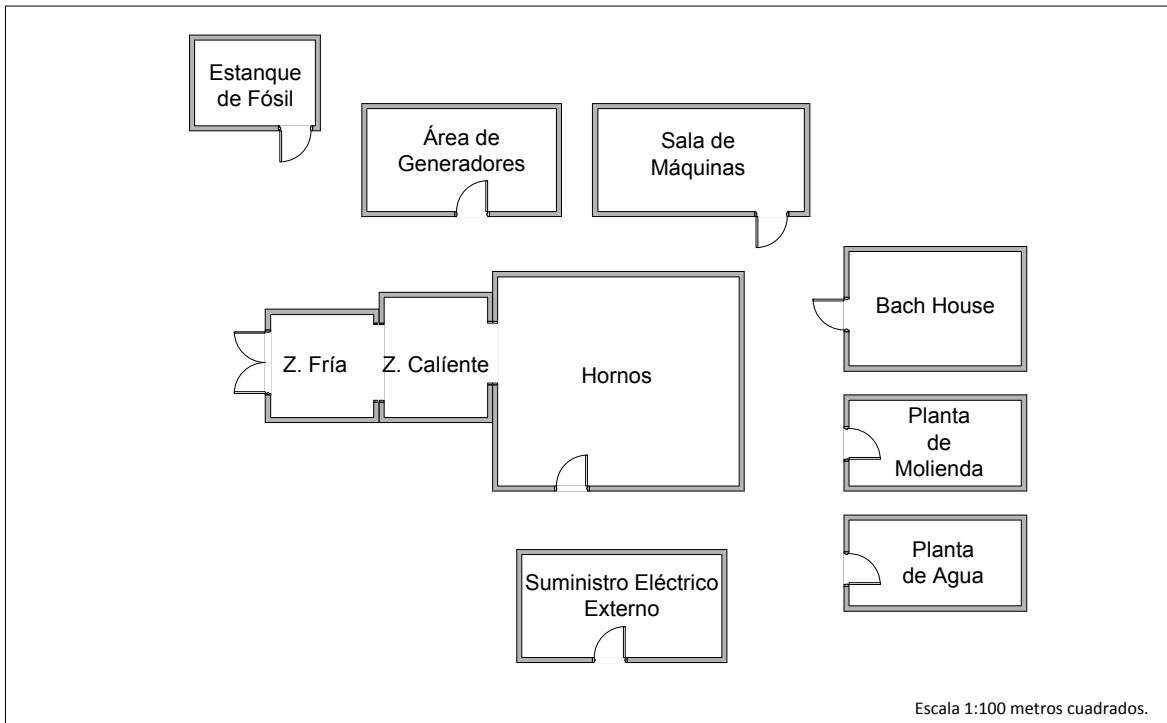
La planta está equipada con precipitadores electroestáticos, que permiten filtrar los gases producidos en los hornos como resultado de la combustión. De esta forma, se reduce en forma significativa el material particulado que llega a la atmósfera.

Dentro de la empresa, existen diferentes áreas que concentran máquinas o procesos específicos, como las que se encuentran en el diagrama contenido en la figura 3.1.

Se destaca el área de formación y horno, donde se explicará en mayor detalle el proceso de fabricación de un envase de vidrio.

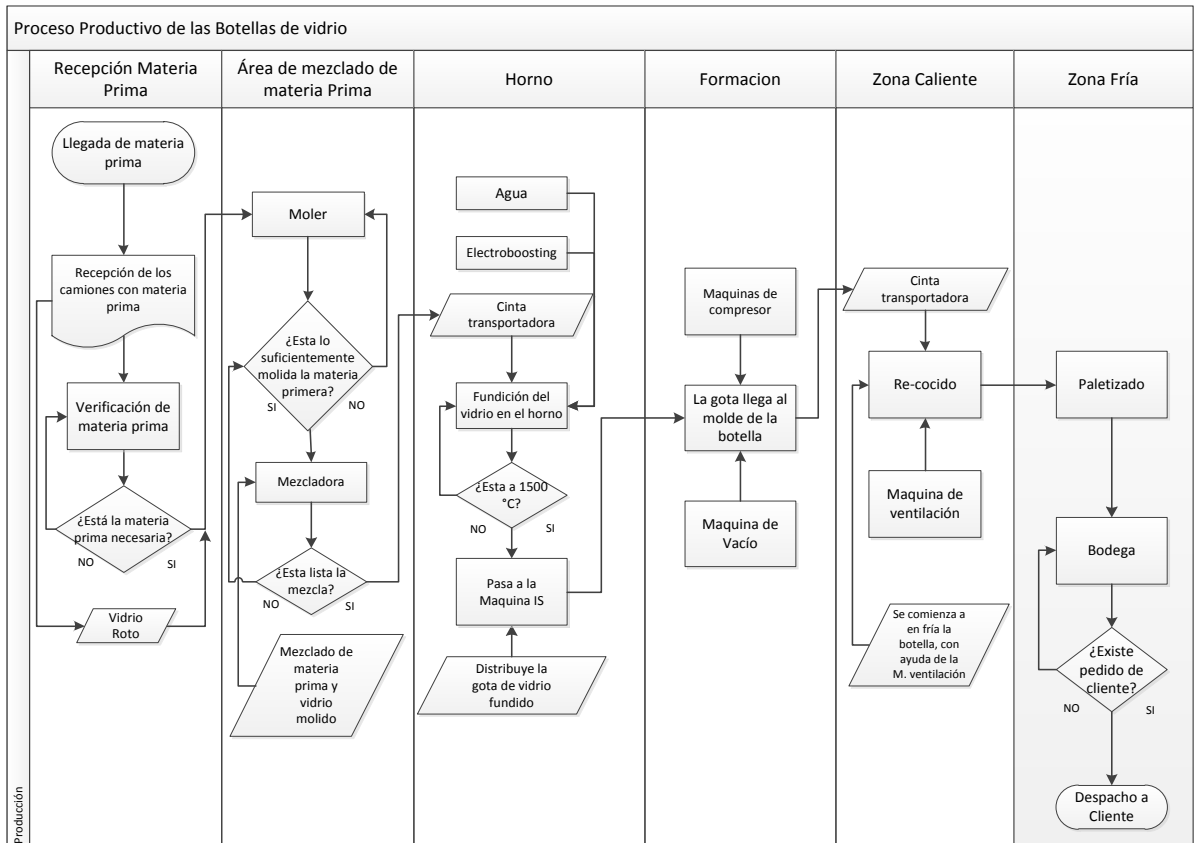
En la figura 2.3, se presentó la organización de la empresa y sus diferentes áreas, en las cuales se destaca el área de Operaciones, sección donde se desarrolla el trabajo de esta memoria. Ya que, es aquí donde se puede visualizar y entender el proceso productivo y sus diferentes aspectos a controlar o mejorar.

Como se puede observar en la figura 3.1, ésta presenta las principales áreas de la planta de fabricación de vidrio, donde se visualiza la ubicación física de cada uno de estos dentro de la empresa, además se muestra la conexión eléctrica que hay entre ellas, a continuación, se describirá algunas de las tecnologías que existen dentro de la fábrica.



**Figura 3 1: Diagrama de Fábrica de Vidrios P.H.**

### 3.2 Proceso de Fabricación



**Figura 3 2: Diagrama de Proceso de Fábrica de Vidrios S.A**

El proceso de fabricación de un envase de vidrio, como se observa en la figura 3.2, consta de las siguientes etapas: inicia por la recepción de materia prima, que puede ser vidrio molido reciclado, o arena, transportada por camiones, y una vez verificada su calidad, se procede a cuantificar la cantidad requerida para esa producción específica. En el caso del vidrio reciclado; si no cumple con las especificaciones, debe re iniciar su proceso de molienda.

Una vez la materia prima pasa al área de mezclado se le incorporan componentes químicos, que se mezclan en la planta de molienda, y se verifica la homogeneidad de la mezcla. Cuando la materia prima está en las condiciones requeridas por la planta, se ingresa al Bach House, lugar donde se mezclan las materias primas y pasa al horno, concluyendo así, la etapa de Materia Prima y área de mezclado.

Luego el producto ingresa al área del Horno, a través de una cinta transportadora, donde en conjunto con agua y acompañados de los electroboosting (que mantiene caliente el horno a través de energía eléctrica) se mantiene a una temperatura constante, para finalmente ingresar al horno para su fundición.

Es importante señalar que el horno trabaja a una temperatura de 1500° Celsius, y es refrigerado por agua, demandando grandes cantidades de ésta, por lo cual existe una planta interna, que provee la cantidad de agua necesaria para mantener constante la producción en el horno. Por otro lado, en esta etapa, la máquina IS, de *Selección Individual* (distribuye la gota de vidrio) comienza a utilizar aire comprimido con el propósito de manipular el producto en proceso, y que se mantenga en las mejores condiciones, para llegar al área de formación a través de una correa transportadora. El producto es ingresado al área de formación y gota a gota, se va llenando el molde con la figura definitiva, donde se succiona aire (máquina de vacío) e inyecta aire (máquina de compresor) para dar la forma al vidrio dentro del molde.

Una vez que el producto sale del área de formación, mediante una correa transportadora, ingresa a la Zona Caliente, y lo hace en su forma definitiva con una temperatura superior a los 700°C como se aprecia en la Figura 3.3, y en condiciones de muy poca resistencia plástica, por lo cual se somete a un recocido para darle su resistencia final. Así concluye la etapa de Zona Caliente, entregando un producto terminado, y listo para ser enfriado con la ayuda de electro ventiladores. Luego ingresa a la Zona Fría, dónde se procede a su embalaje y almacenamiento en bodega, así el producto está listo para ser transportado a su destino final.

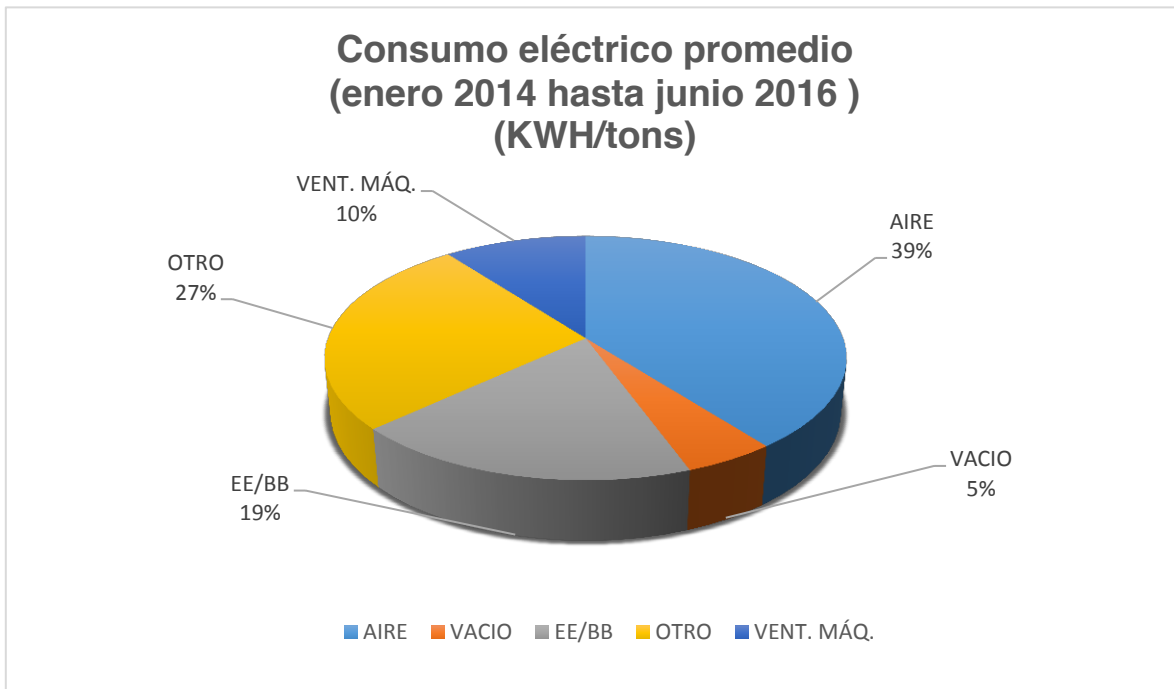


**Figura 3 3: Producto en proceso.**

### 3.3 Producción y consumo de energía

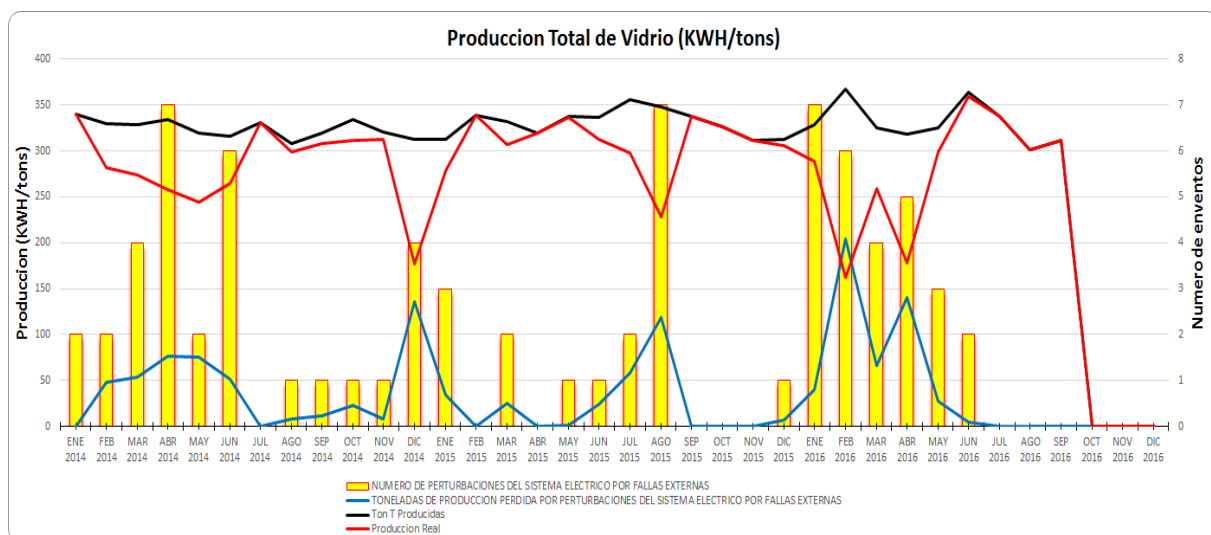
La situación actual en el área de operaciones, es que tiene una alta demanda de aire (todos los procesos se mueven con aire comprimido), entre 60 y 100 libras de presión para las máquinas y los hornos, entre otras. Este aire es proporcionado por una batería de compresores que suministra el aire comprimido a todas las áreas de la planta (sala de máquinas). Esta batería de compresores funciona con energía eléctrica, y debido a que son compresores grandes (8000 SCFM) y rotativos (axiales) y son muy sensibles a la energía (Voltaje, Frecuencia), y cuando existe algún problema de este insumo (energía) los compresores se detienen, provocando la detención de la planta.

En el gráfico contenido en la figura 3.4 de energía eléctrica, se destacan los mayores consumos para este suministro; aire comprimido (por lo tanto, compresores) con un 39%, Electroboosting con un 19%, ventiladores de máquinas con un 10% y máquinas de Vacío con un 5%. Esto refleja lo importante y crítico que es la energía eléctrica para la planta.



**Figura 3 4: Gráfico de consumos eléctricos planta de P.H.**

En la figura 3.5, se presenta un gráfico, que proporciona información relevante acerca del comportamiento de la producción, abarcando los años 2014 a 2016, donde se identifican las toneladas de producción, y su variación, la cual coincide con las interrupciones de energía como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



**Figura 3 5: Producción Total (KWH/tons).**

Se observa que la producción mínima es de 162(KWH/ton) indicada el mes de febrero del 2016, y su máxima producción es de 359,39(KWH/ton) en el mes de junio del 2016 a continuación, se presentan en detalle los 3 años de registro entregados por la empresa.

	2014	2015	2016
Producción	87,35%	93,22%	83,75%
P. Defectuoso	12,65%	6,78%	16,25%
Total	100%	100%	100%

**Tabla 3 1: Producción y productos defectuosos.**

En el año 2014 hubo una producción total de 3892,4 (KWH/tons), y los productos defectuosos generados representan un 12,65% del total de la producción, como se puede ver en la figura 3.7. Esto se debió a 21 caídas de tensión y 5 cortes de energía, cada perturbación es igual 8,32 (KWH/tons) y cada corte de energía es igual a 61,86 (KWH/tons).

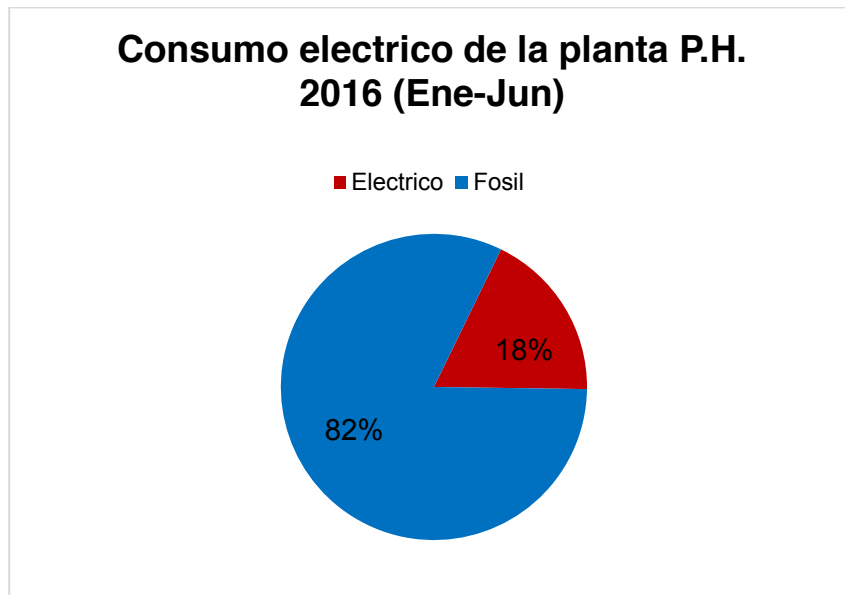
Al observar la columna del año 2015, la producción total es de 3968,6 (KWH/tons) y los productos defectuosos es de 6,78%, el número de caídas de tensión ocurridos es de 15 veces y el número de cortes de energía es de 3 durante el año, los que equivale a 12,63 (KWH/tons) por caídas y 26,55 (KWH/tons) por corte en este año.

En el año 2016 la producción total es de 2979,2 (KWH/tons) y los productos defectuosos es de 16,25%. El número de cortes de tensión ocurridos es de 28 veces y los costos de energía es de 3 veces en lo que va del año en relación al año anterior; cada caída representa un 10,91 (KWH/tons) y por corte de energía es de 62,27 (KWH/tons).

En la actualidad los operarios presentes en la línea de producción inspeccionan los productos en condiciones normales de operación, pero en caso de cortes eléctricos estos no son responsables por los productos defectuosos, ya que, son contratados para verificar los productos de la línea de producción, y su labor es retirar los productos defectuosos que se han estado produciendo en condiciones normales.

Ahora bien, cuando existe una perturbación eléctrica o un corte, los generadores comienzan a funcionar de manera automática. La empresa cuenta con una planta de generación eléctrica que consta de 5 generadores de 1,5 KW aproximadamente cada uno, también existe un generador desmantelado hace 10 años y otro que no se encuentra en funcionamiento por sus altos consumos de energía fósil, estos son equipos críticos porque si no se tiene energía, no se pueden mantener la temperatura del horno y por ende el vidrio en el horno se puede congelar y provocar la destrucción del horno. Estos generadores son activos importantes para la planta, porque desde el punto de vista de la inversión un generador tiene un costo aproximado de US\$700.000, dando un total de 3,5 millones de dólares en capital invertido y que solo entran en operación cuando hay una perturbación, pero de no contar con estos equipos, el resultado sería desastroso para la producción.

Con el propósito de entender mejor la situación actual de la empresa, las siguientes gráficas explican el uso de la energía eléctrica, en los momentos de cortes y perturbaciones de energía. La figura 3.6, muestra desde enero hasta junio del año 2016, que el 82% de energía que se consume es de origen Fósil (Diésel y gas natural) en la planta y el 18% restante energía eléctrica.



**Figura 3 6: Consumo de Energía.**

Como se puede observar en la figura 3.6, los consumos eléctricos de la planta de P.H. son en su mayoría eléctricos y los costos asociados a consumos de energía, son casi del 50% para combustible fósil (Diésel y gas Natural) y el otro 50% para electricidad.

### 3.4 Identificación de la problemática

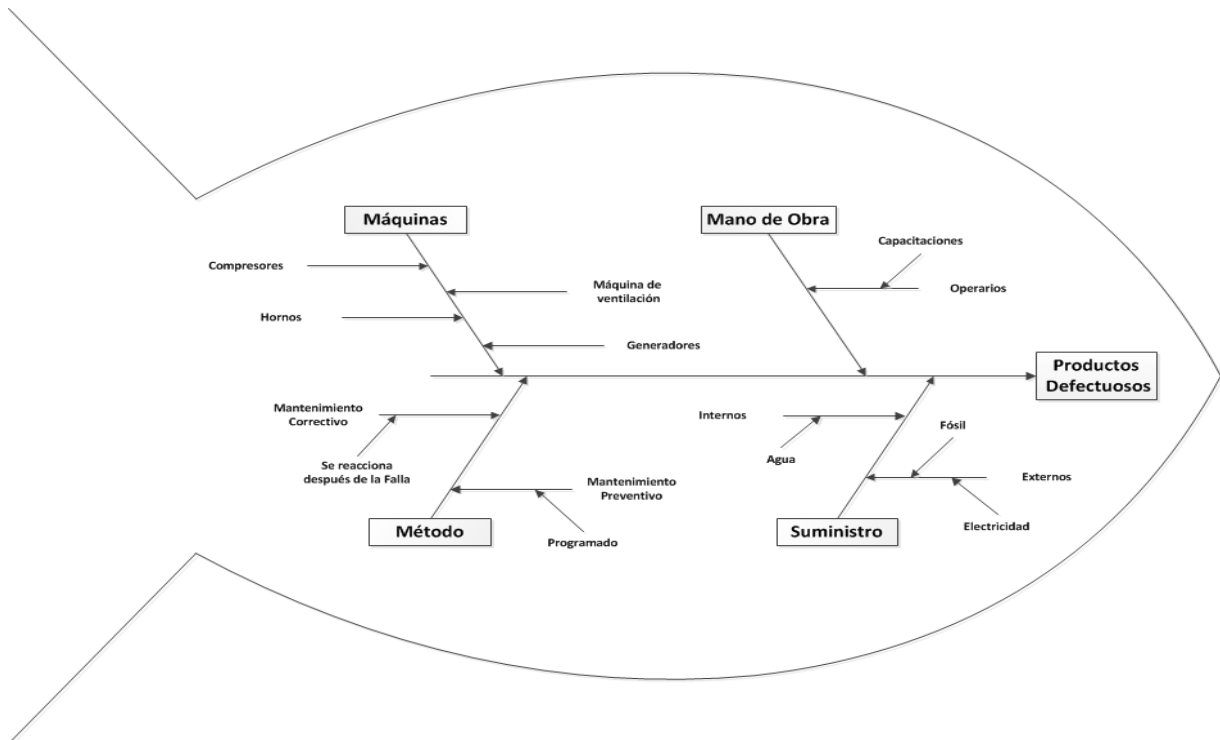
La empresa de Fábrica de envases de vidrio S.A., en su planta de Padre Hurtado, lugar donde se desarrolla este trabajo de investigación, es afectado por la caída del suministro de energía eléctrica, en el que pueden ocurrir dos situaciones, **Corte:** cuando la empresa distribuidora de energía eléctrica, en este caso CGE, por alguna razón se dejó de suministrar energía ya sea por un tema de fallas de fuerza mayor o u otro. Y **Perturbaciones:** cuando existen pequeñas (en milisegundos) variaciones de voltaje, lo que significa que esa baja de tensión, provoca que dejen de funcionar los compresores y eso lleva a detener la planta. Una vez que ocurre la caída o corte de suministro eléctrico, entran en operación los generadores de manera inmediata, pero solo el primer generador demora en sincronizar entre 30 a 60 segundos, y los siguientes que se van activando lo hacen con un retraso de 60 a 90 segundos más, y así sucesivamente, hasta lograr la activación completa de los generadores, lo que toma un total de 10 minutos aproximadamente.

Es de vital importancia mantener los hornos con un constante suministro eléctrico, ya que una baja prolongada de temperatura en los hornos, con materia prima dentro, podría producir el congelamiento del vidrio en su interior lo que causaría fallas graves a la bóveda que contiene el vidrio fundido, con resultados nefastos para la producción. Otra consecuencia de la falta de energía eléctrica en los hornos, es que estos comienzan a producir envases a una temperatura inadecuada (baja), para este tipo de productos, y además no son aireados de manera correcta por los compresores y máquinas de vacío, entregando un producto que no cumple con las especificaciones requeridas por el cliente.

Todo lo mencionado se traduce en productos defectuosos, ya que las tolerancias de temperatura en la fabricación de envases de vidrios son muy acotadas, entre 1400°C a 1500°C, y es crítico mantener el horno en ese rango de operación. Un ejemplo de estas condiciones de productos defectuosos, se da en el mes de febrero 2016 produciendo un total de 204,7 (KWH/tons).

## Análisis Causa Efecto

Con el uso de diagrama de Ishikawa determinaremos las posibles causas que provocan los productos defectuosos. [Ishikawa, 1986].



**Figura 3 7: Diagrama de Ishikawa.**

Como se puede apreciar en la imagen 3.7, las 4 principales causas que se identificaron se describen en las siguientes categorías:

### 1. Máquinas:

Los equipos dentro de la planta, son neumáticos, esto quiere decir que funcionan con aire comprimido y para que realicen su función dentro del proceso productivo necesitan energía eléctrica, entonces cuando ocurre un corte o una perturbación, estos dejan de funcionar por precaución, y deben esperar para que nuevamente sean encendidos, entonces los generadores entran en funcionamiento para encender otro grupo de compresores, con el objetivo de no detener la línea de producción y que esta se mantenga constante, pero existe un lapso de tiempo el cual afecta a línea de producción, lo cual se traduce en productos defectuosos por la respuesta tardía de los generadores, lo que también afecta a la temperatura de operación de los hornos.

## **2. Mano de Obra:**

En la mano de obra se producen productos defectuosos, ya que éstos no tienen una capacidad de reacción instantánea al momento de presentarse un acontecimiento de emergencia, una posible falta de coordinación o falta de experiencia en casos particulares, un ejemplo de esto, es el caso de personal nuevo que no ha sido 100% capacitado para una emergencia en un turno nocturno.

## **3. Método:**

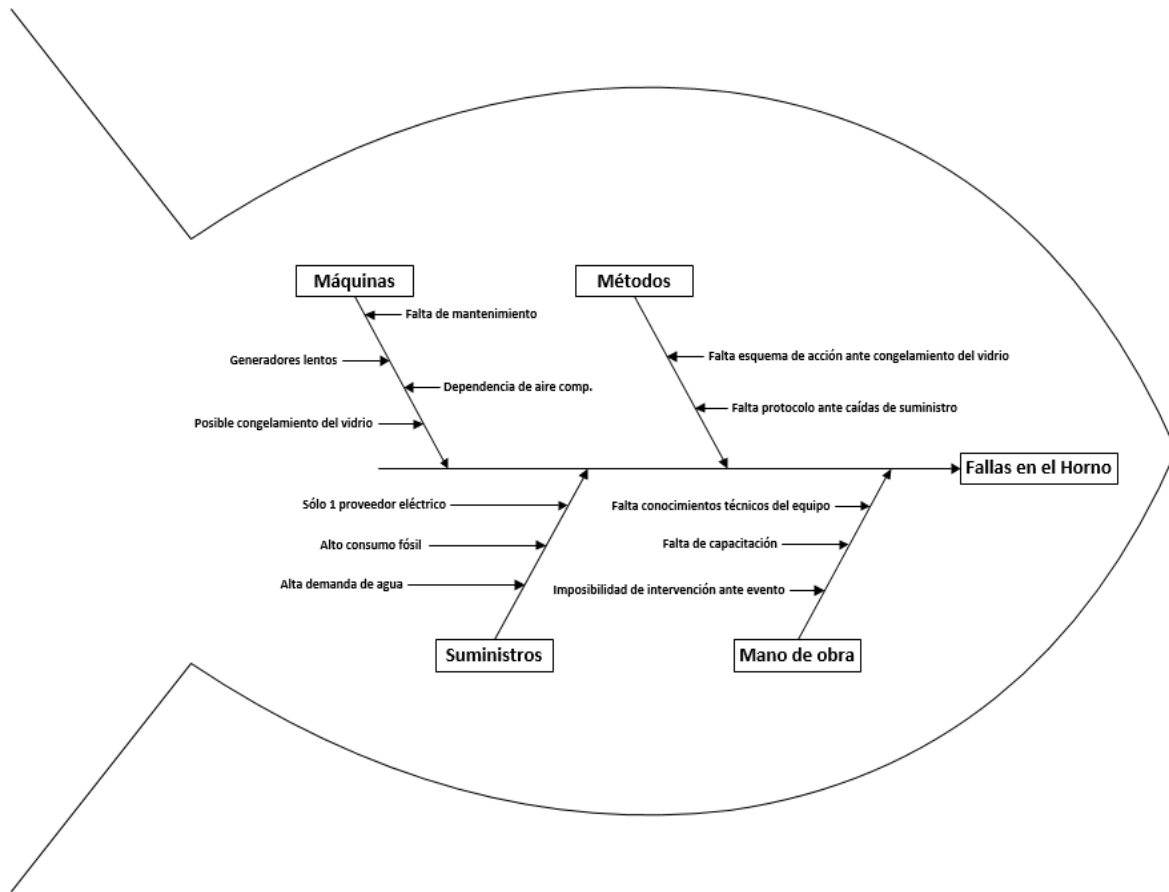
Los métodos preventivos y correctivos que aplica la planta para resolver dificultades con los equipos industriales, ya están obsoletos, porque al realizar mantenimientos preventivos periódicamente, no te asegura detectar las fallas ocultas que pueda tener éstos, el mantenimiento correctivo, es aplicado después del acontecimiento del desperfecto en el equipo, ambos métodos son perjudiciales para los equipos dentro de la planta, ya que si alguno de éstos llega a fallar, producen productos defectuosos por el tiempo de reacción ante una falla en producción y a largo plazo de mantenimiento de estos equipos, ya que existe una dificultad de mantener en condiciones de uso a los equipos (duración de la reparación).

## **4. Suministro:**

El principal proveedor de suministro eléctrico, es la compañía CGE, y no es posible contratar una segunda línea de alimentación, debido a que esta empresa distribuidora pertenece al mismo holding de la fábrica de envases. Según el ranking del año 2014 (mas reciente) elaborado por la SEC, Súper Intendencia de Electricidad y Combustibles, en relación a las quejas por servicio, CGE DISTRIBUCIÓN concentra un 44%, dentro de las empresas que operan dentro de la zona centro-sur. De acuerdo a la información detalla en el informe (SEC), un 74% de las caídas de servicio corresponde a fallas internas de las compañías. Estas reiteradas caídas de servicio, afectan a toda la planta, en especial a la temperatura de operación de los hornos, y esto afecta la calidad del vidrio en proceso. Para mayor información revisar anexo N°2.

En resumen, la compañía CGE es la única empresa que suministra energía eléctrica a la planta, ya que la fábrica de vidrio pertenece a un holding, esto provoca dependencia y fallas a la producción, ya que cuando ocurre un corte de energía o una perturbación es por un hecho fortuito y no controlado por la empresa CGE, afectado de forma directa a la producción de la planta, ya que son los equipos industriales los más perjudicados por estos sucesos.

Con el propósito de depurar aún más el origen de los productos defectuosos, se ha elaborado un segundo diagrama Ishikawa, figura 3.8, enfocado en el horno y en el servicio eléctrico interno (generadores) y externo (CGE) a la compañía.



**Figura 3 8: Diagrama de Ishikawa (Horno).**

### 1. Máquinas:

El horno es un equipo preparado para soportar altas temperaturas, pero al momento de ocurrir un corte, este se ve afectado de manera directa e indirecta, ya que los equipos como el compresor, la maquina IS, o las cintas transportadoras se detienen por este suceso y los generadores entran en funcionamiento, pero estos no tienen la potencia suficiente para mantener la planta completa en funcionamiento, entonces se producen las fallas del horno, ya que este equipo comienza a bajar su temperatura y el vidrio fundido al interior de esté, disminuye la velocidad en que transita y no permite continuar el proceso productivo.

## **2. Métodos:**

El proceso en caliente, lugar donde se dan las distintas formas al vidrio fundido, se busca mantener una temperatura estable, para la cual el horno es alimentado lentamente, en conjunto con el oxígeno que se incorpora para mejorar su rendimiento, por lo tanto, una falla en la alimentación del aire comprimido es crítica para su funcionamiento.

El área de formación o conformado carece de un sistema, protocolo o plan de acción ante un posible congelamiento del vidrio en su interior, (bajo los 1400°C), tampoco hay instrucciones claras del actuar del personal, ante caídas o cortes de servicio eléctrico.

## **3. Suministros:**

No existe posibilidad de contratar una segunda línea de alimentación eléctrica para la compañía debido a contratos, y relaciones comerciales. Cuando se pierde la energía eléctrica, el consumo de combustible fósil es altísimo debido a los generadores, y tener grandes reservas de estos insumos podría ser peligroso, además de que puede perder sus propiedades y causar daños al generador. En el caso del vidrio molido en conjunto con la arena, este debe ingresar en las proporciones adecuadas, porque si ésta mezcla ni ingresa con un flujo constante y en las porciones adecuadas, puede causar fallas al horno, dañando las paredes internas de este y generar productos defectuosos.

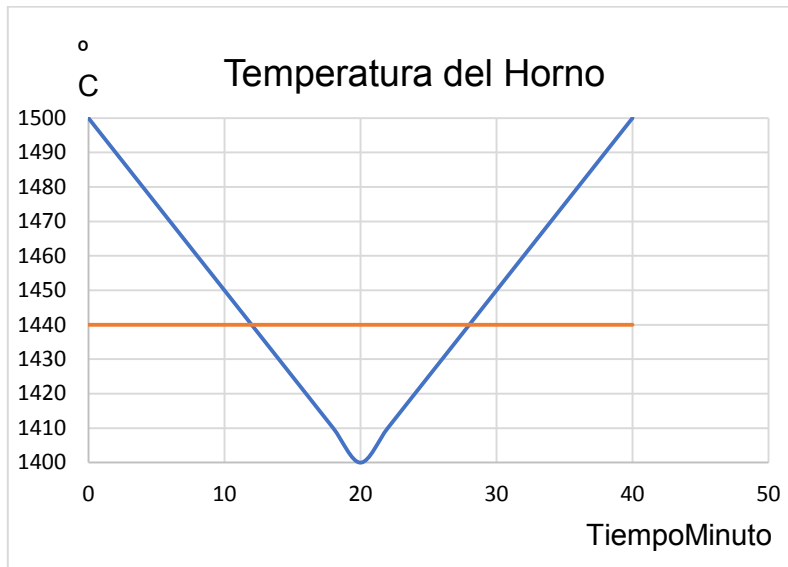
## **4. Mano de obra:**

Si bien el proceso de conformado y molde, se realiza en forma automática, ya que éstos son sistemas programados, existe falta de conocimiento técnico sobre estas máquinas, que impide al operario que supervisa el trabajo, actuar o intervenir en caso de una disminución en la alimentación de la materia prima, agua o aire comprimido, y la carencia de estos últimos, es crítica como se mencionó en el punto anterior, la primera por un posible calentamiento del horno, y la segunda por un atasco del vidrio en su interior.

Como se puede extraer de los diagramas Ishikawa, la cantidad de productos defectuosos, va directamente relacionada con la criticidad de la temperatura del horno, y su baja tolerancia a las caídas del suministro eléctrico. Por otro lado, el actual sistema de generación eléctrica de emergencia, no es capaz de reaccionar y mantener la temperatura interna del horno para evitar el descenso de temperatura, y congelamiento del vidrio dentro de éste. Otro factor importante es que los compresores demoran tiempo en reiniciarse debido a sistemas propios de seguridad, y a la demora en sincronización de los generadores y si estos no entran rápidamente en operación no es posible mover el vidrio en proceso al interior del horno.

### Criticidad del horno

Como se describió anteriormente, al horno ingresa un flujo constante de vidrio en estado líquido. Este equipo requiere de condiciones específicas de operación, donde destaca su temperatura normal de operación, que es de 1500°C, y su temperatura mínima de 1400°C. A esta temperatura mínima el vidrio se *congela*, y se atasca, situación que podría destruir componentes internos del equipo dejándolo fuera de operación por un largo periodo. A continuación, en la figura 3.10. se presenta un gráfico de comportamiento de la temperatura en relación a un corte de energía eléctrica en la planta, donde se aprecia un descenso conforme pasan los minutos, y vuelve a subir a medida que se encienden los generadores. Se ha destacado la temperatura de 1440°C como línea tope antes de generar productos defectuosos, ya que, bajo este valor el vidrio pierde sus características, las cuales son especificadas por el cliente en dicha partida de producción.



**Figura 3 9: Diagrama de temperatura del Horno.**

Del gráfico anterior, se puede desprender que la interrupción y alternación de la temperatura del horno es gradual en su descenso, pero también lo es en su recuperación, por lo tanto, el tiempo que permanece el horno fuera de su temperatura de operación es mayor a los 30 minutos, periodo en el cual se producen envases con calidad defectuosa.

### 3.5 Pareto de la demanda de energía eléctrica

El gráfico de Pareto, es una herramienta detallada, que ayuda a centrar los esfuerzos de resolución de problemas. Está basado en el trabajo de Vilfredo Pareto, economista del siglo XIX. Pero fue Joseph M. Juran quien otorgó sentido a este gráfico,

indicando que el 80% de los problemas de una empresa son el resultado del solo un 20% de causas.

Para analizar mejor la situación actual de la empresa, se ha realizado un diagrama de Pareto, como se muestra en la figura 3.10 y así se determinará cuáles de estos equipos tiene el mayor consumo energético, para calcular la energía necesaria que debe producir en la planta de generación, y mantener estable todo el proceso productivo.

Los datos utilizados en la construcción del diagrama de Pareto, corresponden a los años 2014, 2015, y 2016, como se puede observar en las tablas 3.1, 3.2, y 3.3.

Equipos	Consumo 2014											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
AIRE(KWH/tons.)	136,66	134,28	134,181	133,089	132,44	131,81	128,64	128,42	128,3	126,855	125,52	123,576
VACIO(KWH/tons.)	17,008	16,711	16,6992	16,5634	16,483	16,404	16,009	15,982	15,967	15,7875	15,621	15,3794
EE/BB(KWH/tons.)	60,301	50,81	74,0853	57,2051	54,277	60,282	49,669	60,289	58,339	37,6777	62,175	54,4106
OTRO(KWH/tons.)	91,956	90,351	90,2849	89,5506	89,115	88,687	86,554	86,408	86,327	85,3557	84,454	83,1494
VENT. MÁQ.(KWH/tons.)	34,237	33,854	36,7334	33,4234	35,471	32,301	33,647	33,264	35,03	34,4239	30,75	33,1413
PLANTA (KWH/tons.)	340,17	326,01	351,983	329,832	327,79	329,48	314,51	324,36	323,96	300,1	318,52	309,657

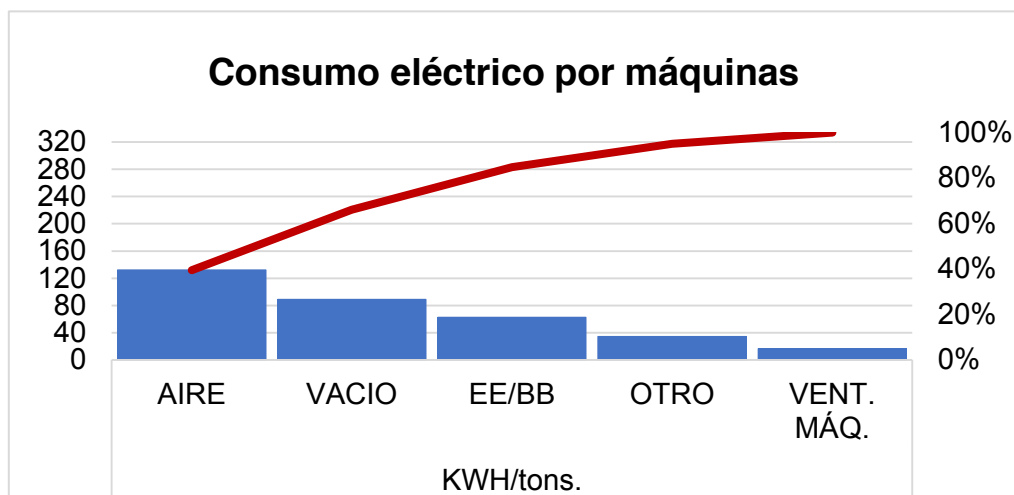
**Tabla 3 2 : Consumo de energía año 2014.**

Equipos	Consumo 2015											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
AIRE(KWH/tons.)	125,69	136,15	133,20	128,45	135,71	135,17	143,12	139,68	135,53	130,87	125,26	125,63
VACIO(KWH/tons.)	15,64	16,94	16,58	15,99	16,89	16,82	17,81	17,38	16,87	16,29	15,59	15,63
EE/BB(KWH/tons.)	35,72	53,88	61,82	56,19	60,38	66,64	78,86	75,30	68,37	58,97	41,12	52,60
OTRO(KWH/tons.)	84,57	91,61	89,62	86,43	91,31	90,95	96,30	93,99	91,19	88,06	84,28	84,53
VENT. MÁQ.(KWH/tons.)	29,52	36,52	35,62	34,34	35,69	35,27	33,81	31,64	38,98	34,26	34,59	34,69
PLANTA (KWH/tons.)	291,15	335,10	336,84	321,40	339,98	344,86	369,90	357,99	350,94	328,44	300,84	313,09

**Tabla 3 3 : Consumo de energía año 2015.**

Equipos	Consumo 2016					
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
AIRE(KWH/tons.)	132,18	147,31	130,64	127,83	130,80	146,32
VACIO(KWH/tons.)	16,45	18,33	16,26	15,91	16,28	18,21
EE/BB(KWH/tons.)	68,34	73,94	73,00	67,23	70,46	86,32
OTRO(KWH/tons.)	88,94	99,12	87,90	86,01	88,01	98,45
VENT. MÁQ.(KWH/tons.)	35,40	36,78	34,34	33,97	34,57	35,93
PLANTA (KWH/tons.)	341,31	375,48	342,14	330,95	340,12	385,23

**Tabla 3 4 : Consumo de energía año 2016.**



**Figura 3 10: Diagrama de Pareto.**

En la figura 3.10, se observa que el 80% del consumo energético de la planta está compuesto por el 40 % de las máquinas que utilizan de aire comprimido, sumado a las *máquinas de vacío* suma un 66% y por último el Electroboosting suman un total el 85% del consumo, en el anexo N°2 se puede encontrar los datos analizados para la construcción de este diagrama de Pareto.

### 3.6 Objetivos de la Tesis

#### General

Realizar una propuesta de rediseño de la planta de generación eléctrica para reducir los productos defectuosos.

#### Específicos

- Reducir el tiempo de respuesta del grupo de generadores en los cortes o perturbaciones eléctricas.
- Diseñar una metodología que permita seleccionar el o los equipos que se puedan reemplazar.
- Capacitar a los encargados del área de generadores.
- Rediseñar el plan de mantenimiento preventivo

#### Indicadores

Para validar y medir el cumplimiento de los objetivos planteados, se utilizarán los siguientes indicadores, en relación a los productos defectuosos; *residuos*.

#### Indicador de porcentaje defectuosos:

En este indicador, se expresa la cantidad de productos defectuosos al momento que entran en funcionamiento los equipos generadores, con el objetivo de identificar cómo está funcionando un equipo en comparación con los otros, se hace necesario calcular el porcentaje sin defectos, para lo cual se utiliza la producción total de la planta ( $U_e$ ) menos los productos defectuosos ( $Scrap$ ) y los residuos ( $Pr$ ), para después fraccionar por la producción total ( $U_e$ ), este indicador es uno de los tres que se necesita para entender cómo está funcionando el o los equipos, en este caso particular, la siguiente ecuación, corresponde a los productos sin defectos, donde 1 es el total porcentual, a cual se resta el total de productos sin defectos, entregando el total con defectos.

$$\% Sin Defectos = 1 - \frac{(U_e - Scrap - Pr)}{U_e}$$

$U_e$ : Producción Total

$Scrap$ : Productos defectuosos

$Pr$ : Residuos

En la tabla 3.5, se expresa la cantidad de productos defectuosos generados al momento en que la planta eléctrica interna esta en funcionando, en relación a los años 2014, 2015 y parte del año 2016 debido a que la información proporcionada fue hasta el mes de junio, ejemplo del cálculo

Productos	Productos con defectos por año		
	2014	2015	2016
Ue	3892,4	3968,6	2979,2
Scrap	492,24	269,07	483,98
Pr	492,24	269,07	483,98
Productos con defectos (%)	25,29%	13,56%	32,49%

**Tabla 3 5: Productos con defectos.**

Los generadores son responsables de un porcentaje de los productos defectuosos. Estos equipos trabajan justo en los momentos de cortes o perturbaciones, donde aumentan los productos defectuosos mientras se estabiliza la planta, periodo en el que se recupera la temperatura del horno, y el flujo de aire comprimido, desde los compresores. Es debido a estos que se le adjudica un porcentaje de productos defectuosos.

La demora en recuperar la operatividad normal de la planta, se debe a la dificultad de los generadores de sincronizarse, esto puede ser causado por algún retraso de la reacción humana o porque simplemente el generador no se encontraba en óptimas condiciones.

#### **Consumo fósil de los generadores:**

Este indicador solo registra cambios, cuando existen de cortes de energía o perturbaciones, generando residuos (productos defectuosos), los cuales comienzan a aumentar cuando el consumo fósil es mínimo, y en el momento que comienza a aumentar el consumo fósil producto del trabajo de los generadores, los residuos disminuyen, por lo cual tiene una relación inversamente proporcional, entonces este indicador muestra la correspondencia entre el consumo fósil de los generadores en relación a los residuos.

Además, permite hacer una comparación entre los generadores para los años (2014, 2015, 2016), lo que sostiene la propuesta de re-diseños de mejora.

$$\text{Indicador de Consumo Fósil } \left( \frac{\text{Lts}}{\text{tons}} \right) = \frac{\text{Productos Defectuosos } \left( \frac{\text{KWH}}{\text{tons}} \right)}{\text{Rendimiento } \left( \frac{\text{KWH}}{\text{Lts}} \right)}$$

En la tabla 3.6, se indica el consumo fósil, los Generadores 6 y 7, poseen las mismas características, es por esto que en la tabla son considerados juntos, al igual que los 2 y 3.

Generador	Consumo Fósil (Lts/tons)		
	2014	2015	2016
1	752,66	412,18	741,39
5	502,70	274,79	494,26
6-7	301,62	164,87	296,56
2-3	301,62	164,87	296,56

**Tabla 3 6: Consumo de Fósil por tonelada.**

La información presentada en este capítulo, engloba el resultado del análisis realizado en las diferentes áreas que intervienen en la producción, las tecnologías utilizadas, y sus consumos dentro de la fábrica. Es importante señalar, que el proceso de formación de envases de vidrio por el método de soplado, requiere de máquinas eléctricas y de aire comprimido para llevar a cabo la tarea de conformado, y su funcionamiento necesita de condiciones específicas que la planta debe tener y mantener, aun cuando existan problemas como la caída de suministro eléctrico. Se puede desprender del capítulo la criticidad de la temperatura del horno, y la estrecha relación entre las caídas del suministro eléctrico externo, con la producción defectuosa de envases debido a la lenta respuesta de los equipos generadores, que alimentan el horno, y los compresores.

Se han tomado en cuenta en esta memoria, las características del proceso fabricación, siendo un factor clave las máquinas, y los equipos generadores eléctricos, ya que permiten el desarrollo de los productos. Los equipos que se va a evaluar son del tipo industrial, estos cumplen distintos objetivos dentro de la empresa y todas tienen un grado de importancia para la línea de producción, por lo cual, se deben tener en consideración que estas se mantienen en constante funcionamiento.

En cuanto a las máquinas que participan directamente en el proceso productivo, si se han dañado en los cortes o perturbaciones, o en otras circunstancias, mientras puedan ser reparadas o puedan mantener su rendimiento, no se invertirán en nuevas, de acuerdo a lo que ha señalado la compañía, ya que tiene un acuerdo con Owen Illinois, productor mundial de envases de vidrio, respecto al proceso productivo, y de apoyo técnico.

## 4. Marco teórico

En este capítulo se presentan las herramientas, que permitirán resolver los problemas encontrados en el apartado anterior. Se aborda el importante tema de la calidad y sus herramientas más destacadas, así como sus metodologías.

Esto permitirá aislar los problemas, para proponer una solución al problema de los productos defectuosos, debido a las interrupciones de suministro eléctrico. Haciendo un recuerdo de los objetivos, se requiere rediseñar la planta de generación eléctrica interna, disminuir el consumo de combustible fósil, y diseñar una propuesta para reemplazar estos equipos en caso de ser necesario.

Otro punto importante tiene relación con los mantenimientos preventivos, se busca mejorar la política actual en relación a este tema, ya que normalmente se realizan mantenimientos correctivos, una vez que fallan los equipos, lo que alarga considerablemente los periodos fuera de producción.

### 4.1 Calidad

Un sistema de gestión de la calidad, se basa en las definiciones y satisfacciones de las necesidades del cliente. El cliente puede ser interno o externo, pero para ambos casos aplica la definición de calidad enunciada por la Sociedad Americana de la Calidad, que define este concepto, como “La totalidad de prestaciones y características de un producto o servicio que son la base de su capacidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas”. [American Society for Quality, 2006]. Otra definición de calidad, que entrega Heizer [Heizer, 2006], “Capacidad que tiene un producto o un servicio de satisfacer las necesidades del cliente”. En términos generales, la calidad va directamente relacionada con la capacidad que posee un producto o servicio de satisfacer las necesidades del consumidor final, ya que este determinará si se ha cumplido con lo ofrecido por el productor. Cuando las expectativas sobre el producto o servicio se han cumplido, el cliente se encuentra satisfecho en relación a lo prometido.

La fábrica de vidrio, es una empresa que ofrece productos tangibles, los que poseen atributos e imagen, características que van de la mano, y que proporcionan las propiedades para su presentación final. Estas cualidades son fundamentales en la percepción que el cliente tendrá sobre el producto y la empresa, por lo tanto, una empresa, siempre debe tener una orientación hacia el cliente, cuidando que sus funciones y procesos estén orientados al mayor valor agregado para él.

Es importante que el cliente sienta que está obteniendo el mejor producto que su dinero puede comprar, y para cumplir con este anhelo, es fundamental que el sistema de calidad esté constantemente preocupado de desarrollar nuevos productos (y procesos), y controlar el desarrollo de la actividad productiva.

La calidad además de ser un elemento crítico de las operaciones, tiene otras implicaciones, como;

- La reputación de la empresa
- Responsabilidad sobre el producto
- Implicaciones globales

### **Autores y líderes del campo de la gestión de la calidad**

**W. Edwards Deming:** (14 de octubre de 1900 - 20 de diciembre de 1993) fue un estadístico estadounidense, profesor universitario de la universidad de Wyoming, autor de textos, consultor y difusor del concepto de calidad total. Su nombre está asociado al desarrollo y crecimiento de Japón después de la segunda guerra mundial.

Deming se interesó en el control de la calidad, y en un sistema conocido como control estadístico de la calidad. Fue reconocido en Japón en la década de los 50, y entre junio y agosto de ese año Deming formó a cientos de ingenieros, directivos y estudiantes en el control estadístico de los procesos (SPC) y los conceptos de calidad. También fue reconocido en Estados Unidos 30 años después, donde sus propuestas mostraron cambios radicales en las corporaciones de ese país. En 1986, en su libro *Out of the Crisis* [Deming, 1989], Deming expresa los 14 principios para impulsar la calidad y las “siete enfermedades” que lo impide.

## Metodología de PDCA

El Ciclo PDCA también es conocido como "Círculo de Deming", [Deming, 1989] ya que fue el Dr. Williams Edwards Deming uno de los primeros que utilizó este esquema lógico en la mejora de la calidad y le dio un fuerte impulso, el Ciclo PDCA constituye una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, también se lo denomina "espiral de mejora continua" y es muy utilizado por los diversos sistemas en las organizaciones para gestionar aspectos tales como calidad (ISO 9000), medio ambiente (ISO 14000), salud y seguridad ocupacional (OHSAS 18000), o inocuidad alimentaria (ISO 22000). En la figura 4.1, se puede apreciar un esquema de este círculo de mejora continua, creado por Walter Shewhart.

Las siglas PDCA son el acrónimo de las palabras inglesas Plan, Do, Check, Act, equivalentes en español a Planificar, Hacer, Verificar, y Actuar, se pretende emplear esta metodología para el desarrollo de la solución del problema planteado.

**Planificar (Plan):** Se buscan las actividades susceptibles de mejora y se establecen los objetivos a alcanzar. Para buscar posibles mejoras se pueden realizar grupos de trabajo, escuchar las opiniones de los trabajadores, buscar nuevas tecnologías mejores a las que se están usando ahora, etc.

**Hacer o Realizar (Do):** Se realizan los cambios para implantar la mejora propuesta. Generalmente conviene hacer una prueba piloto para probar el funcionamiento antes de realizar cambios a gran escala.

**Controlar o Verificar (Check):** Una vez implantada la mejora, se deja un periodo de prueba para verificar su correcto funcionamiento. Si la mejora no cumple las expectativas iniciales habrá que modificarla para ajustarla a los objetivos esperados.

**Actuar (Act):** Por último, una vez finalizado el periodo de prueba se deben estudiar los resultados y compararlos con el funcionamiento de las actividades antes de haber sido implantada la mejora. Si los resultados son satisfactorios se implantará la mejora de forma definitiva, y si no lo son habrá que decidir si realizar cambios para ajustar los resultados o se desecharla. Una vez terminado el paso 4, se debe volver al primer paso periódicamente para estudiar nuevas mejoras a implantar.



**Figura 4 1: Ciclo PDCA.**

**Joseph M. Juran:** (Braila, Rumania, 24 de diciembre de 1904 - New York, 28 de febrero de 2008). Juran es considerado como uno de los gestores de la revolución de la calidad en Japón, donde desde 1954 dictó conferencias y asesoró a empresas. No obstante, Juran cree que los principales responsables de la revolución de la calidad en Japón han sido los propios gerentes de operaciones y los especialistas japoneses. Juran indicó que el compromiso, apoyo y participación de la alta dirección, son fundamentales para la calidad, poniendo énfasis en el trabajo en equipo.

Juran descubrió en 1941 la obra de Vilfredo Pareto y fue entonces cuando amplió la aplicación del llamado principio de Pareto a cuestiones de calidad (por ejemplo, el 80% de un problema es producido por el 20% de las causas), [Juran, 1990].

### **Calidad Total en la manufactura**

De los autores expuestos anteriormente, se puede definir la *Calidad Total* como la integración de todas las funciones y procesos de una organización, con el fin de lograr un mejoramiento continuo de la calidad de los bienes y servicios que se producen [Gutiérrez, 2010]. El objetivo es proporcionar un producto o servicio en el cual su calidad haya sido diseñada, producida y sostenida a un costo que satisfaga por entero al consumidor final. Este es un enfoque sistémico, en el cual la eficacia total del sistema es mayor que la suma individual de los aportes de los sistemas menores.

### **Calidad en la fuente, cero defectos**

Las características inherentes al producto o sistema promueven la elevación de los niveles de calidad. Es así, como la producción en pequeños lotes permite que los operarios de planta detecten mejor los defectos e identifiquen sus causas. El propósito es alcanzar los “cero defectos”, para lo que es necesario identificar los problemas de calidad en el origen

(fuente), para resolverlos, y no dejar pasar un producto defectuoso. Por lo cual, la responsabilidad sobre la calidad de los productos cae de los inspectores a los operarios, lo que significa que tienen la autoridad para detener toda la cadena de montaje si se encuentran problemas de calidad.

## **4.2 Las 7 Herramientas básicas de la Calidad**

En la producción de bienes tangibles, existen características críticas que permiten establecer la calidad de un producto. Es común realizar mediciones de estas características, para obtener datos numéricos, los que entregan información que puede ser valiosa, una vez que se ha sido sometida a estudio e interpretación, para lo cual existen 7 herramientas de calidad [Heizer,2009], que permiten estratificar y manejar la información obtenida.

### **Diagrama de flujo**

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de la secuencia de etapas, operaciones, movimientos, esperas, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso. Su importancia consiste en la simplificación de un análisis preliminar del proceso y las operaciones que tienen lugar al estudiar características de calidad. Ésta representación se efectúa a través de formas y símbolos gráficos usualmente estandarizados, y de conocimiento general.

### **Control Estadístico de procesos**

El control de los procesos es una actividad muy importante para cualquier organización, ya que le permite visualizar su posición respecto a la planificación inicial de sus actividades y en función de esta tomar las mejores decisiones para atender las necesidades del cliente.

Con base en esta necesidad se han creado variadas herramientas que permiten el control y análisis de los procesos, con el propósito de optimizarlos y asegurar la satisfacción del cliente. La palabra control, engloba varias definiciones, pero la más común es *Proceso para asegurar que las actividades reales se ajusten a las actividades planificadas. Permite mantener a la organización o sistema en buen camino.*

Cuando un proceso se encuentra bajo control, el proceso es predecible y su capacidad de operación es conocida, sus costos son predecibles, se simplifican las relaciones con los proveedores y clientes, y mejora la atención al cliente. [Gutiérrez, 2010].

## **Gráficos de control**

Los gráficos o cartas de control son diagramas preparados, donde se van registrando valores sucesivos de la característica de calidad que se está estudiando. Estos datos se registran durante el proceso de elaboración o prestación del producto o servicio.

Cada gráfico de control se compone de una línea central que representa el promedio histórico, y dos límites de control (superior e inferior). En el anexo N°4 se puede observar una tabla, que contiene las constantes para desarrollar estas gráficas control.

## **Diagrama de Dispersión**

Un diagrama de dispersión, muestra la relación entre dos variables numéricas, que son graficadas en coordenadas cartesianas,  $(x_i, y_i)$ . Cada punto en el gráfico, permite establecer mediante una inspección visual, si existe o no, una relación entre las variables. Este grafico no indica el origen ni el grado de la relación que pudiera existir.

## **Estratificación**

Es una tabla de registro estadístico, que muestra el comportamiento de una característica o variables, y que permite a la vez sub clasificar esta variable en un nuevo grupo o estrato. Es posible registrar resultados, tendencias y dispersiones, con una buena organización y registro de los datos en una tabla.

## **Histograma**

Es una representación gráfica de una variable en forma de barras, indicando sus frecuencias. Es una herramienta visual, que permite mantener control sobre todas las variables.

## **Diagrama Causa – Efecto**

Es un diagrama con forma de pez, donde en su línea central o columna se describe un efecto, y en sus espinas laterales se muestran sus causas, con un sub nivel de descripción. Esta herramienta clasifica las posibles causas en: Mano de obra, Máquina, Medio ambiente, Material, Método y Medida.

### **Diagrama de Pareto**

El Diagrama de Pareto, es una herramienta gráfica que permite organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Este diagrama permite visualizar lo enunciado por Pareto, indicando que el 80% de los problemas de una empresa son el resultado del solo un 20% de causas.

De las herramientas expuestas en esta sección, se han utilizado aquellas que se han permitido despejar y aislar el problema propuesto. El propósito de estas herramientas es facilitar el manejo de la información provista por la compañía, y convertirla en información relevante para tomar la mejor decisión.

### **Matriz de criticidad:**

También conocido como análisis de criticidad, es una metodología que permite establecer jerarquías entre Instalaciones, Sistemas, Equipos y Elementos de un equipo. Se obtiene producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en el personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación. Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos. Este método fue introducido en 1940, por las fuerzas militares de EEUU, dentro del *Failure mode, effects and criticality analysis* (FMECA), Análisis de Criticidad de Modo de Falla y Efectos. [Parra, 2012].

## 4.3 Mantenimiento

En una empresa de manufactura, se considera el mantenimiento como el conjunto de actividades que se realizan para cuidar y restaurar hasta un nivel óptimo de los equipos productivos, es decir que máquinas y equipos estén siempre disponibles para realizar las tareas necesarias y por tanto la producción nunca se vea afectada por paros ocasionados por fallas, reducciones de velocidad, defectos ocasionados por desperfectos en las máquinas o equipos, así como accidentes ó condiciones inseguras en los mismos. Para todo proceso de mantenimiento, es necesario contar con personal calificado, que conozcan las máquinas y puedan realizar las tareas que requiere un evento de este tipo.

### Mantenimiento Productivo Total

El origen del término “Mantenimiento Productivo Total” (TPM) se ha discutido en diversos escenarios. Mientras algunos afirman que fue iniciado por los fabricantes americanos hace más de cuarenta años, otros lo asocian al plan que se usaba en la planta Nipponenso, una manufacturera de partes eléctricas automotrices de Japón a fines de la década de los 60. Seiichi Nakajima, un alto funcionario del Instituto Japonés de Mantenimiento de la Planta (JIPM), recibe el crédito de haber definido los conceptos de TPM y de ver por su implementación en cientos de plantas en Japón. [Nakajima, 1992]

El mantenimiento productivo Total, *Total Productive Maintenance* es una técnica que aprovecha toda la fuerza laboral para obtener el uso óptimo del equipo, se trata de mejorar, continuamente las actividades de mantenimiento. Es indispensable la interacción entre los operadores, y el mantenimiento para maximizar el tiempo de funcionamiento. Las actividades técnicas del TPM son, revisión del equipo, inspección de la maquinaria, ajuste fino de la misma, lubricación, localización de fallas y reparación, todo realizado diariamente.

Por otro lado, el TPM enfoca sus objetivos hacia la mejora de la eficiencia de los equipos y las operaciones mediante la reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, y se relaciona, de igual forma, con actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema. Además, el TPM presenta las siguientes ventajas:

- Mejoramiento de la calidad: Los equipos en buen estado producen menos unidades no conformes.
- Mejoramiento de la productividad: Mediante el aumento del tiempo disponible.
- Flujos de producción continuos: El balance y la continuidad del sistema no solo benefician a la organización en función a la disponibilidad del tiempo, sino también reduce la incertidumbre de la planeación.
- Aprovechamiento del capital humano.

- Reducción de gastos de mantenimiento correctivo: Las averías son menores, así mismo se reduce el rubro de compras urgentes.
- Reducción de costos operativos.

En la figura 4.2 se ilustra la estructura que sostiene el TPM. La sigla 5S, hace referencia al sistema creado por Toyota en los años 1960, con el objetivo de lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente para lograr una mayor productividad y un mejor entorno laboral.



**Figura 4 2 : Pilares de TPM.**

### **Pilares**

Para comprender mejor el significado del TPM hay que entender que éste se sustenta en 8 pilares:

**Pilar 1:** Mejora Enfocada o “eliminar las grandes pérdidas del proceso productivo”. Así como en el *Lean Manufacturing* se identificaban 8 tipos de uso ineficiente de los recursos (pérdidas). El sistema TPM habla de 6 tipos de pérdidas a eliminar de nuestros procesos productivos:

- Fallos en los equipos principales
- Cambios y ajustes no programados
- Ocio y paradas menores
- Reducción de velocidad
- Defectos en el proceso
- Pérdidas de arranque

**Pilar 2:** Mantenimiento autónomo o “hacer partícipe al operario en la conservación, mantenimiento y/o mejora de la máquina donde trabaja de manera que pueda detectar a tiempo las fallas potenciales”. El mantenimiento autónomo puede prevenir la Contaminación por agentes externos, las Rupturas de ciertas piezas, los Desplazamientos y los Errores en la manipulación con sólo instruir al operario en Limpiar, Lubricar y Revisar.

**Pilar 3:** Mantenimiento planificado o “lograr mantener el equipo y el proceso en estado óptimo por medio de actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente”. Se trata de que el operario diagnostique la falla y la indique convenientemente para facilitar la detección de la avería al personal de mantenimiento encargado de repararla.

**Pilar 4:** Capacitación de los empleados (desarrollo de habilidades), de ser posible entre el personal de la propia empresa.

**Pilar 5:** Control inicial. Reducir el deterioro de los equipos y mejorar los costos de su mantenimiento en el momento que se compran y se incorporan al proceso productivo.

**Pilar 6:** Mantenimiento de calidad o tomar acciones preventivas para obtener un proceso y equipo cero defectos. Aquí la meta es fabricar un producto con cero defectos gracias a los cero defectos de la máquina.

**Pilar 7:** TPM en los departamentos de apoyo o eliminar las pérdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia

En estos departamentos las siglas del TPM toman estos significados

T.- Total Participación de sus miembros

P.- Productividad (volúmenes de ventas y órdenes por personas)

M.- Mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos

**Pilar 8:** Seguridad, Higiene y medio ambiente o Crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación. La contaminación en el ambiente de trabajo puede llegar a producir un mal funcionamiento de una máquina y muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

Una herramienta complementaria al TPM, es el método OEE que, bajo tres principios básicos, logra calcular el desempeño productivo del equipo a evaluar.

## Método de OEE

La efectividad del equipamiento de una planta o de un proceso productivo, desarrollada por Seiichi Nakajima, es el primer abordaje de realidades industriales como sistema complejo. El OEE *Overall Equipment Effectiveness*, es un método de medición de desempeño productivo que integra datos disponibilidad del equipamiento, de la eficiencia de la performance y de la tasa de calidad que se logra. OEE (eficiencia global de equipos productivos), ya que al entrar en los aspectos esenciales de esta tecnología permite su utilización en diferentes culturas y su adaptación en función de ellas. [Belohlavek, 2006]

### Características:

-Uno de los mayores beneficios de utilizar el método OEE, es que el rendimiento de las máquinas aumenta rápidamente desde su despliegue. Su aplicación se adapta perfectamente tanto para obtener el mayor rendimiento de una nueva maquinaria desplegada en una línea de producción, como para implementarlo en otras máquinas con las que ya se esté trabajando.

-Los costos asociados a producto defectuoso, suponen que, en empresas de todo el mundo, una de las causas que generan mayor pérdida económica. Uniendo OEE y tecnología se consiguen sistemas de trazabilidad más eficaces, que permiten hallar el origen de los descensos de calidad. Conseguir minimizar re trabajos y productos defectuosos es clave y genera un enorme ahorro de costos.

-Las empresas realizan grandes inversiones en maquinaria y necesitan obtener el máximo retorno de su inversión en el menor tiempo posible. El objetivo del OEE precisamente es obtener la máxima productividad posible de estos procesos, y el retorno de inversión desde su implantación es elevado. Además, el periodo medio de maduración (payback) es muy rápido.

-Si llegase a fallar el equipo intervenido, puede producir una falla sistémica y se tendrá que reiniciar la planta.

-Se puede comenzar utilizando un método OEE, en una única máquina o proceso, e ir ampliando su implementación hasta llegar a utilizarlo en múltiples plantas productivas. Esta escalabilidad hace que se convierte en un sistema muy versátil y se pueda adaptar a cualquier tipo de empresa, independientemente de su tamaño.

Se deben analizar los costos de mantenimiento, ya que estos se verán afectados por el método OEE, ya que este evalúa a los equipos por su desempeño.

Estos costos serán tomados en cuenta según los precios de estas mantenciones, tiempo de pérdida de producción y duración de la mantención. Ahora bien, el enfoque estará en los mantenimientos de mínimo costo global, este está dado por el costo de mantención, costo de mano de obra y costo de no producción, estos 3 aspectos permitirán una tener una visión global al momento de realizar este análisis.

Es necesario realizar un análisis del costo de mantención en el cual se está incurriendo para que el equipo siga en funcionamiento y que esté operativo para los servicios requeridos por los clientes.

$$Cm_y = C_{rep} + C_{hh} + C_{no\ producción}$$

Para esto, existen 5 estrategias de mantención, a continuación, se detallan sus características, a modo de ejemplificar la fórmula de Costo de mantenimiento ( $Cm_y$ ) es la suma de Costo de repuesto ( $C_{rep}$ ), mas Costo de mano de obra ( $C_{hh}$ ) y más el Costo de no producción con el equipo ( $C_{no\ producción}$ )

### 1. **Mantenimiento correctivo:**

Este mantenimiento tiene por objetivo restaurar el funcionamiento de los equipos. Para esto se requiere hacer una evaluación integral de los daños, en algunas ocasiones es necesario retirar los equipos para revisarlos en el departamento de servicio, en estos casos se cuenta con equipo de arriendo. Este mantenimiento se aplica cuando el equipo se encuentra fuera de servicio por daños en sus componentes o presenta funcionamiento anormal.

### 2. **Mantenimiento Preventivo:**

Conocido bajo el nombre de Mantenimiento Planificado, se realiza previo a que ocurra algún tipo de falla en el sistema. Se realiza de forma planificada, a diferencia del anterior, y se aprovechan las horas ociosas para llevarlo a cabo. Este mantenimiento sí es predecible con respecto a los costos que implica, así como también el tiempo que demandará.

### 3. **Mantenimiento sintomático:**

Consiste en identificar y medir síntomas que presentan las máquinas antes de fallar. Cuando los síntomas llegan a valores críticos se debe planificar acciones de mantenimiento sobre la máquina, que corresponde al mantenimiento preventivo. También es conocido como mantenimiento por condición. Hay máquinas que no se puede aplicar este tipo de mantenimiento, debido a que no presentan síntomas antes de fallar.

#### **4. Mantenimiento predictivo:**

Con este mantenimiento se busca determinar la condición técnica, eléctrica, y mecánica de la máquina mientras que está en funcionamiento. Para que este mantenimiento pueda desarrollarse se recurre a recursos tecnológicos que permitan establecer las condiciones en qué se encuentra el equipo. Gracias a este tipo de mantenimientos se disminuyen las pausas que generan en la producción los mantenimientos correctivos. Así, se disminuyen los costos por mantenimiento y por haber detenido la producción.

#### **5. Mantenimiento modificativo:**

Consiste en modificar la instalación para evitar que sucedan determinadas averías. Es cuestionable si realmente se trata de tareas de mantenimiento u otro tipo de actividad. En muchas instalaciones, no obstante, para conseguir los objetivos de disponibilidad y fiabilidad, es imprescindible modificar la instalación para corregir o mejorar un diseño.

De las herramientas presentadas en este capítulo, se han seleccionado un conjunto de ellas que permiten, registrar, analizar e interpretar el comportamiento de los equipos que intervienen en el proceso productivo, específicamente en el área de producción eléctrica de la planta de Padre Hurtado de la fábrica de envases de vidrio. En un principio, se identificó el problema y se analizó utilizando las herramientas de calidad como Diagrama Causa efecto, diagrama de Pareto, y diagramas de procesos entre otros. Datos históricos entregados por la compañía han permitido desarrollar este análisis, y depurar las causas de la problemática mayor.

Posteriormente y mediante el uso de herramientas de mantenimiento productivo total, se buscará generar una propuesta para recuperar el nivel de los equipos, y mantenerlos en óptimas condiciones. Indicadores como el OEE, y la metodología PDCA, permiten desarrollar mejor un plan de trabajo, y lograr el objetivo de disminuir los productos defectuosos debido a la falla de equipos generadores.

## 5. Propuesta de Solución

Para la industria del vidrio, las condiciones y factores de producción son críticas, desde la obtención de la arena como materia prima o el vidrio reciclado, hasta la temperatura de operación de sus hornos, son fundamentales para obtener un producto de excelente calidad. Cuando ocurren accidentes o fallas externas que afecten la producción, específicamente el funcionamiento del horno de cocido, el resultado es directamente una producción defectuosa, debido a que no se cumplen las especificaciones requeridas por el cliente, a la vez que representa un enorme riesgo para el propio horno. Una baja prolongada de la temperatura del vidrio que se encuentra al interior del horno, produciría un estado de *congelamiento*, que podría destruir este valioso equipo. Las fallas en el sistema eléctrico, que abastece a los hornos no se pueden predecir, pero es posible estar preparados, y tener una mejor capacidad de reacción frente a este suceso.

Se realizará una propuesta para el cambio de equipos generadores, para seleccionar uno o dos equipos de los 7 que existen en la planta, y en estos momentos un equipo está fuera de línea y no es posible recuperarlo, y los otros 6, no están funcionando correctamente. Además, se buscará para reducir el consumo de combustible fósil.

Junto a esto se quiere re-diseñar el “procedimiento de uso de los generadores” con el objetivo de reducir el tiempo de reacción del grupo de generadores, para llegar a “punto mínimo de energía que requiere la planta que es de 7.000Kw”. El propósito de estos cambios, es disminuir los productos defectuosos en los momentos de cortes y perturbaciones eléctricas.

En la tabla 5.1, se presenta los tipos de energía que podrían sustentar la demanda energética que requiere la planta y la velocidad de respuesta, además se describe algunas ventajas y desventajas de estas para tener en consideración, al momento de seleccionar una de estas y realizar una evaluación económica.

Tipo de Energía	Potencia Energética	Velocidad de Respuesta	Ventajas	Desventajas
Solar	6.000Kw <7.000Kw	25min >10min	Energía limpia, permite vender excedente, no emite CO2.	Requiere una gran superficie para instalación, no funciona en la noche, no permite almacenar energía.
Eólica	2.000Kw <7.000Kw	15min >10min	Vida útil de 25 años, energía limpia y renovable, no contamina, permite utilizar terreno a su alrededor.	Depende de la ubicación, de gran altura, contaminación visual, requiere de mantenimiento mecánico especializado y de gran altura.
Pila de combustión (SOFC)	50.000Kw >7.000Kw	40min >10min	Debido a la alta temperatura, tiene alta eficiencia. Son limpias en el sentido que no emiten CO2.	Baja vida útil por la corrosión a alta temperatura. Gran tamaño de la instalación del equipo Alto costo del equipo
Generador	8.253Kw >7.000Kw	8min <10min	Menos contaminantes de CO2. Menos costo de mantenimiento y mayor vida útil.	Alto costo del equipo. Alto niveles de contaminación acústica.

**Tabla 5 1: descripción de tipos de energía**

## 5.1 Alternativas de Energía.

### 5.1.1 Energía Solar

Con la introducción de la nueva Ley 20.571, conocida como Generación Distribuida, en septiembre del 2014, la SEC promueve la generación de energía eléctrica renovable no convencional, y la venta del excedente producido por domicilios y empresas.

Esto permite tener una instalación de generación eléctrica de tipo solar, y vender al sistema el excedente producido. Con esto se dispone de una nueva alternativa a la problemática planteada en los capítulos anteriores de esta memoria. Como se mencionó en los primeros capítulos, la planta de Padre Hurtado dispone de más de 300.000M<sup>2</sup> de terreno, que hace factible la instalación de paneles solares fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.

Actualmente existen dos tipos de instalaciones solares en el mercado, unas de tipo fijo y otras móviles (Hsat), estas últimas son capaces de seguir la trayectoria del sol, y aprovechar de una manera más eficiente la luz (fotones) emitida por sol. A continuación, en la tabla 5.2 se presentan los valores en KWH, para la producción anual de energía solar\*, para la planta de Padre Hurtado, esta información es entregada por el programa, Explorador Solar de la Universidad de Chile, y corresponde a un promedio obtenido desde el año 2004 al 2015, a una altura satelital de 90m.

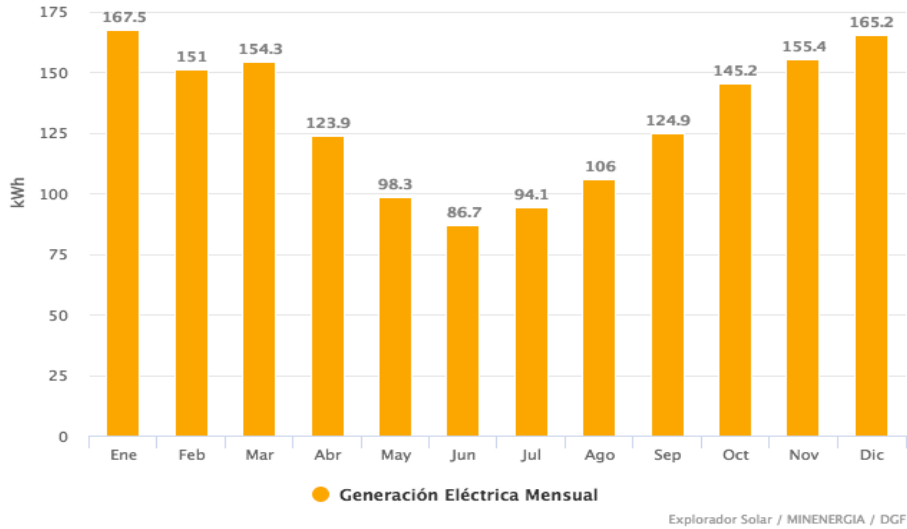
#### Ubicación geografía

Coordenadas geográficas	Latitud: -33. 57°	Longitud: -70. 81°	Altura: 424 msnm
Sistema Fijo		Sistema con seguimiento Hsat	
KWh anual: 1570 Factor de planta 17.92		KWh anual: 1947 Factor de planta: 22.22	

**Tabla 5 2: Indicador de generación eléctrica anual.**

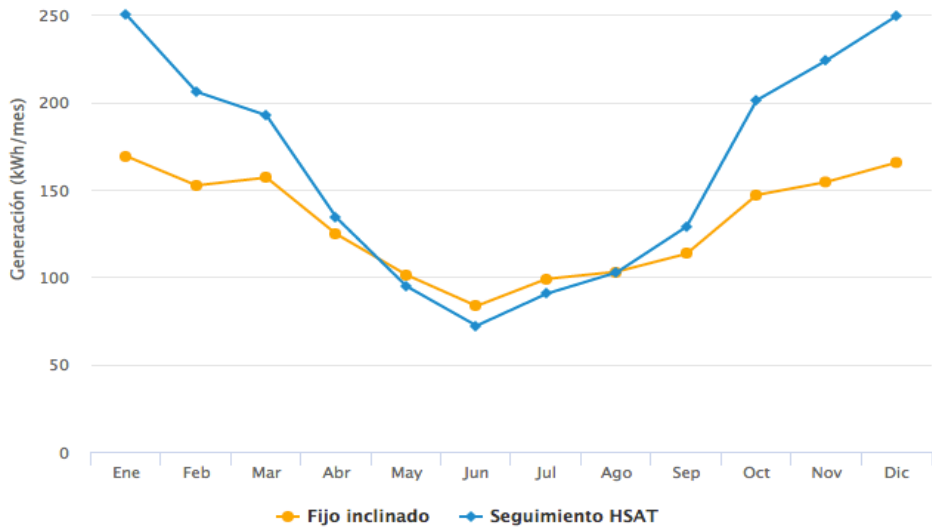
*\*Considera un panel fotovoltaico de capacidad de 1kw, cobertura de vidrio y coeficiente de temperatura -0,45%/C, montado de forma aislada. Factor de pérdidas de 14% y eficiencia del inversor del 96%.*

A continuación, en la figura 5.1 se presenta en detalle, la generación eléctrica mensual esperada para la zona geográfica en que se localiza la planta de P.H. en Santiago, con un sistema fijo de captación fotovoltaica.



**Figura 5 1: Generación mensual en KWH**

En la siguiente figura 5.2, es posible apreciar las diferencias en los sistemas de captación de energía solar, fija versus el sistema móvil, en iguales condiciones climáticas, y para esa determinada zona geográfica.



**Figura 5 2: Comparación sistema de captura solar.**

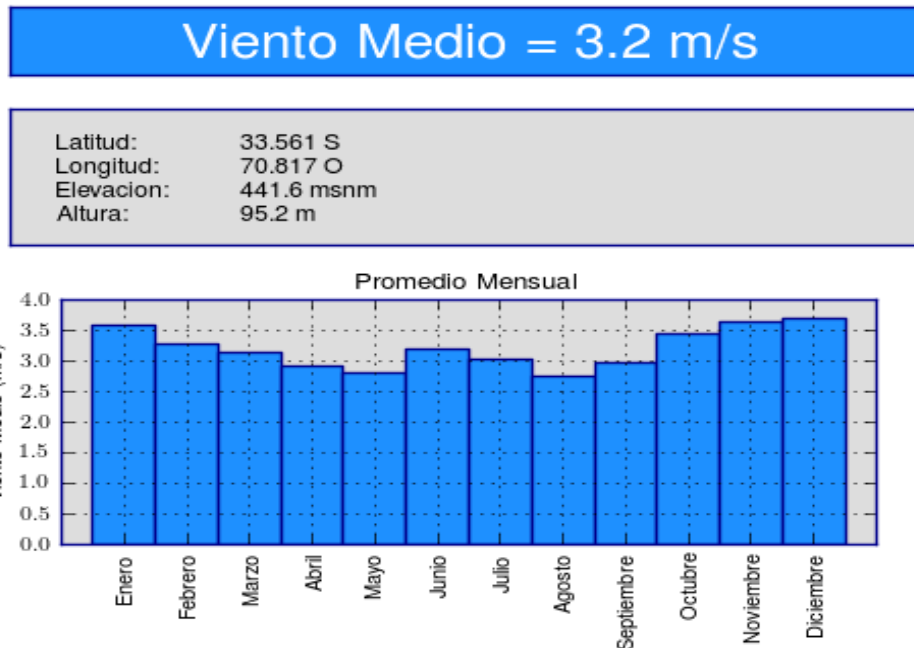
Cabe mencionar, que si bien el sistema con seguimiento HSAT, es visiblemente más eficiente que el sistema fijo inclinado, también es más costoso en términos de instalación y mantención, y dada la ubicación geográfica de la planta, los kWh posibles de producir bajo condiciones óptimas, son bajos y más aún en los meses en que más se presentan fallos en la planta de producción de envases de vidrios. Coincidentemente los meses con menor producción de energía solar, figura 5.2, corresponden a los meses en que más se requiere de un sistema alternativo o de apoyo a los generadores eléctricos. Otro dato a tener en cuenta es el consumo de la planta de PH, que es del orden de los 70.000Mw, para el año 2014.

### **5.1.2 Energía Eólica (Aero Generadores)**

Los aerogeneradores, son turbinas que utilizan la energía eólica producida por el viento, al mover las palas, por lo general 3, ubicadas en un centro horizontal, y transforman este movimiento mecánico de las palas en energía eléctrica. En su centro se encuentra una caja de cambios, y un generador eléctrico.

Los aerogeneradores comienzan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de 3 a 4 metros por segundo, y llega a la máxima producción con un viento de unos 13 a 14 metros por segundo. Si el viento es muy fuerte, y supera los 25 metros por segundo como velocidad media durante 10 minutos, los aerogeneradores se detienen por seguridad.

Un pequeño parque eólico, de unos 20 aerogeneradores requiere de una superficie mínima de 1km cuadrado, aunque solo se utilice un 2% de esta superficie. Sus aspas tienen un diámetro que fluctúa entre 30 y 110 metros de diámetro y sus torres tienen una altura desde 26 a los 100 metros o más. Para el caso de la planta de PH, se realizaron los cálculos de rendimiento de este tipo de sistema, teniendo en cuenta el registro de los vientos (velocidad m/s) y su ubicación geográfica como se observa en la figura 5.4. Esta información es provista por el Explorador Eólico, de la Universidad de Chile, con registros vigentes hasta el año 2010, y pronosticables para los próximos años.



**Figura 5 3: Velocidad del viento planta PH.**

Como se puede observar en la figura 5.3, la velocidad media del viento para la planta de Padre Hurtado, es de 3.2m/s, un valor muy bajo, considerando que se requiere vientos que superen los 13m/s, para obtener un rendimiento de planta de 60%. Este cálculo se realizó con un aerogenerador de 26 metros de diámetro, que genera una potencia de 250KW. Teniendo en cuenta que la planta dispone de una superficie de 325.000 metros cuadrados, solo es posible instalar 8 de estos equipos, obteniendo una potencia cercana a los 1500KW con vientos de más 13m/s.

Considerando el valor promedio del viento, y la baja energía eléctrica producida, se descarta una alternativa de este tipo, por el bajo y nulo rendimiento que tendría una solución eólica.

### **5.1.3 Pilas de Combustión.**

La pila de combustión que se analizó en este caso es la SFOC (oxido de solido), usan electrodos cerámicos que funcionan a altas temperaturas y no requieren catalizadores. La eficiencia es buena, pero tienen un arranque lento. Por eso se usan básicamente en producción estacionaria de energía o como cogeneración.

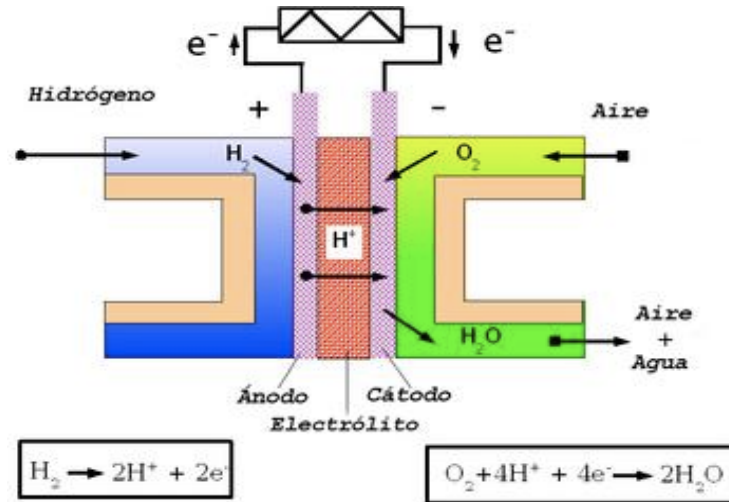


Figura 5 4: Trabajo de la pila de combustión.

En la figura 5.4, muestra cómo funciona la pila de combustión, trabaja con un proceso químico que al terminar libera vapor de agua, ingresando a una turbina para generación de energía, puede llegar a 50.000Kw. La cantidad de energía generada por la pila de combustión es para una planta de generación eléctrica, no para el problema que presenta la fábrica de envases de vidrio, ya que supera ampliamente la energía que necesita, los costos de esta tecnología son de 1.000M de dólares aproximados, la vida útil es máxima de 6 años.

Considerando su nivel de eficiencia y su alto nivel de generación eléctrica, se descarta una alternativa de este tipo, por el alto y excelente rendimiento que tendría una solución de pila de combustión (SFOC).

#### 5.1.4 Solución de Generadores.

Dentro de la planta de fabricación de vidrio, específicamente en el área de generación eléctrica, existen 6 generadores, los cuales serán evaluados de forma cualitativa (matriz de criticidad) y cuantitativa (considerando el OEE e indicador de consumo).

##### Paso 1 análisis global (selección de la línea) (Planificar)

En este paso se seleccionarán el o los equipos que se encuentran en la planta de generación eléctrica, cada equipo será evaluado por su criticidad, justificando esta elección con datos provistos por el método de medición de desempeño productivo (OEE) y por el indicador de consumo fósil.

### Matriz de Criticidad.

Se utilizará un flujograma, para determinar de manera visual la instalación del o los equipos seleccionados y como se relacionan entre ellos, y en conjunto a la matriz de criticidad se evaluará cada uno de estos equipos, con el objetivo de establecer una escala de prioridad cuantitativa. Para la aplicación de la matriz de criticidad en conjunto con el flujograma, se tiene un conjunto de letras, las cuales provienen de los estándares establecidos por la planta de fabricación de vidrio, para evaluar cada uno de sus equipos. En este caso se utilizará en los equipos generadores, a continuación, en la figura 5.5, se muestra la tabla de criterios de evaluación.

<b>Criterio para evaluación a nivel de componentes y partes</b>				
<b>Diagrama de flujo para decisión</b>				
Clasificación	Factores para Evaluación	CRITERIO PARA EVALUACION		
		A	B	C
L	Reglamentado por ley	Esta sujeto a la legislación y es obligatorio cumplir normas	No esta sujeto a legislación	-
S	Seguridad Orden Público y Medio Ambiente	Si sufre daños, provoca problemas o accidentes graves en término de seguridad, orden público y medio ambiente a la comunidad (genera reclamos, por ejem.)	Si sufre daños, puede provocar accidente en términos de seguridad, orden público y medio ambiente, y ejerce gran influencia en la comunidad.	No hay problemas
Q	Calidad y Rendimiento de Material	Si sufre daños habra gran número de defectos, o impacta significativamente el rendimiento de material y reclamos de clientes	Si sufre daños habrá defectos y disminución en rendimiento del material	No ejerce influencia en la calidad y rendimiento de materiales.
W	Condición de Operación	Operación plena durante las 24 horas del día	Operación por cargas o lotes	Operación ocasional, equipo de respaldo
D	Perdida de oportunidad	Si sufre daños para toda la planta y/o una línea completa	Si sufre daños para la línea que esta vinculado por menos de 12 horas	Existe equipo de repuesto o no hay pérdidas por parada
P	Frecuencia de fallas	Graves si tiene 2 o mas fallas diarias		Leve si tiene 1 falla al día
M	Mantenibilidad	Graves si tiene fallas mayores a 30 minutos	Media si tiene falla entre 15 y 29 minutos.	Leves Si tiene fallas menores a 15 minutos

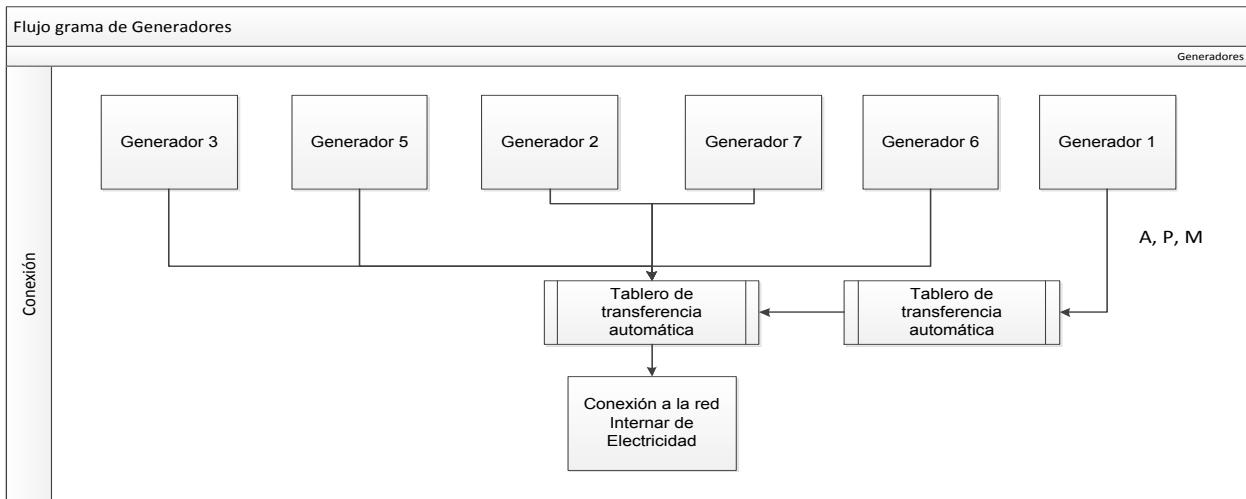
**Figura 5 5: Clasificación de criticidad.**

En la figura 5.5. se muestran los criterios con los cuales se clasifican los equipos. Algunos de éstos son:

1. Reglamento por ley, esto lo establecen las leyes chilenas, en la Ley General de Servicios Eléctricos, Decreto 327. Anexo N°5.
2. Seguridad, orden público y medio ambiente, contenidos en los capítulos X de la constitución, y la Ley 19300, Sobre Bases Generales Del Medio Ambiente.
3. Condición de operación: con qué frecuencia se está usando el equipo.

- Mantenimiento: la evaluación de esta es en base al tiempo que dure su mantenimiento. Ver anexo N°9.

El flujograma presentado en la figura 5.6, enseña cómo están conectados los generadores dentro de la planta eléctrica, donde se visualiza que el generador 1 (G1) está conectado a otro tablero de transferencia y los siguientes 5 equipos están conectados a un tablero diferente, el cual posee las características de determinar el orden de la partida y sincronización entre ellos.



**Figura 5 6: Flujograma de generadores.**

Con fundamento en la tabla de criticidad mostrada en la figura 5.6, se evaluó cada uno de los generadores como se muestra en la tabla 5.3.

Clasificación	Factores para evaluación	Equipos					
		G1	G2	G3	G5	G6	G7
L	Reglamentado por ley	-	-	-	-	-	-
S	Seguridad orden público y medio ambiente	C	C	C	C	C	C
Q	Calidad y rendimiento de material	A	B	A	B	A	A
W	Condición de operación	C	C	C	C	C	C
D	Perdida de oportunidad	A	C	C	A	C	C
P	Frecuencia de fallas	-	-	-	-	-	-
M	Mantenimiento	A	A	A	A	A	A

**Tabla 5 3 : Evaluación de Generadores por Tabla de Criticidad.**

Basados en la tabla 5.3, se genera la tabla 5.4, donde se selecciona el G1 y G5 dentro de la planta de generación eléctrica, por la cantidad de repetición de criticidad de categoría "A" (A= Nivel alto, B=Nivel Intermedio, C=Nivel Bajo).

Criterios para evaluación	Equipos y Frecuencia					
	G1	G2	G3	G5	G6	G7
A	3	1	1	3	1	1
B	0	1	1	0	1	1
C	2	3	3	2	3	3

**Tabla 5 4: Frecuencia de grado de criticidad.**

La tabla 5.5, presenta de manera organizada los 6 equipos evaluados, priorizando por nivel de criticidad, establecido en la tabla 5.4, con el objetivo de evidenciar la elección cualitativa de los equipos.

Descripción	Marca Generador	Modelo Generador	Potencia Motor (kW)	Unidad Potencia	Voltaje (V)	Año
Generador 1	SIEMENS	1DK 4915-5 DE 06-Z	2.100	kVA	3150	1970
Generador 5	DMT	MVSI824D2	1.758	kW	2400	1999
Generador 6	KOHLER	2000 REQZDB	1.760	kW	120/240	2004
Generador 7	KOHLER	2000 REQZDB	1.760	kW	120/240	2004
Generador 2	SDMO	1SA51.2 M60-4P	1.640	kW	400	2007
Generador 3	SDMO	1SA51.2 M60-4P	1.640	kW	400	2007

**Tabla 5 5: Datos de Equipos.**

Características técnicas de los equipos seleccionados, el primer equipo seleccionado es el generador número 1, que tiene una partida independiente, ya que esta se debe hacer en forma manual debido a su antigüedad (46 años de funcionamiento), pero este tiene una potencia de 2100 (Kw) y su eficiencia energética es de 66%, entregado un total de 1386 (KWH), el tipo de mantenimiento es solo correctiva y su rendimiento es de 0,109 (Lts/KWH).

El segundo seleccionado fue el generador número 5, el cual está en paralelo con los otros 4 generadores, posee una antigüedad de 17 años, tiene una potencia de 1758 (Kw) y una eficiencia del 80%, entregando un total de 1406 (KWH), además de tener un mantenimiento anual tipo preventiva, que consiste en cambio de aceite, cambio de refrigerante, regulación de válvula y limpieza de inyectores, y su rendimiento es de 0,163 (Lts/KWH).

Ya determinados los generadores con mayor obsolescencia, se aplica el indicador de consumo fósil y posteriormente el método OEE, con el objetivo de obtener un solo indicador cuantitativo. A continuación, se procederá a realizar una evaluación de estos equipos generadores de acuerdo a su consumo de combustible fósil, en condiciones de operación ante una caída de electricidad y su relación con los productos defectuosos.

### **Indicador de Consumo fósil**

Para calcular el consumo anual de combustible fósil en los generadores, es necesario tener en consideración los productos defectuosos y el rendimiento de estos equipos. Para ello se evalúan todos los generadores de la planta, para realizar una comparación entre ellos, y aplicar el indicador de consumo fósil. Esta información anual se indica en la figura 5.6 donde se aprecian los consumos anuales en relación a los productos defectuosos.

## **5.2.4 Aplicación del método de medición de desempeño productivo (OEE)**

Una vez seleccionado el o los equipos y conociendo el indicador de consumo fósil, se procede a medir y analizar información sobre estos. Como se mencionó anteriormente se utilizará el método de medición de desempeño productivo (OEE) para cuantificar cómo está funcionando el equipo, con el objetivo de argumentar la selección del equipo y poder realizar el cambio en caso de ser necesario. El método OEE permite determinar la disponibilidad, rendimiento y productos sin defectos de este, la aplicación de este sistema se puede apreciar en la figura 5.5

### **1. Porcentaje de productos con defectos.**

Definido con anterioridad, los productos con defectos son el porcentaje de piezas con defectos que se han fabricado, la cual se define como la producción total menos productos defectuosos y residuos de la producción, después de haber realizado el cálculo anterior se resta a uno para obtener los productos con defectos. La siguiente ecuación resume lo expresado anteriormente.

$$\text{Porcentaje de productos con defectos} = \left(1 - \frac{(Ue - Scrap - Pr)}{Ue}\right)$$

Ue: Producción Total

Scrap: Productos defectuosos

Pr: Residuos

En el siguiente cuadro (tabla 5.6), se detallan los valores de los productos con defectos, elaborados en el momento que los generadores están sosteniendo los equipos productivos de la fábrica.

Equipos	Productos con defectos por año		
	2014	2015	2016
G1	12,58%	14,55%	11,37%
G2	11,91%	13,78%	10,76%
G3	11,91%	13,78%	10,76%
G5	12,76%	14,77%	11,53%
G6	12,78%	14,78%	11,55%
G7	12,78%	14,78%	11,55%

**Tabla 5 5: Productos con defectos.**

En la Tabla 5.6., se muestra que los generadores 5, 6 y 7, tienen un alto porcentaje de productos defectuosos, destacando por sobre los demás equipos, dando a entender que la mayor cantidad de productos defectuosos se puede atribuir a ellos. En este caso el “Pr” se considera también como los productos defectuosos, ya que la planta recicla los vidrios.

## 2. Disponibilidad

La disponibilidad de los generadores, es medida en segundos, debido a que el tiempo de corte y de perturbaciones ocasionados son de corta duración, es por esto que en este indicador se encuentra comprometido al tiempo operativo ( $T_o$ ), el cual es el tiempo que se encuentra en funcionamiento el generador y el tiempo disponible ( $T_d$ ), es la cantidad de tiempo que se puede disponer de este, como de describe en la siguiente ecuación:

$$Disponibilidad = \frac{T_o}{T_d} * 100$$

$T_o$ : Tiempo Operativo (segundos)

$T_d$ : Tiempo Disponible (segundos)

En el siguiente cuadro, se detallan los porcentajes de disponibilidad de los generadores seleccionados anualmente para los años 2014, 2015 y 2016. (Tabla 5.7)

Equipos	Disponibilidad por año		
	2014	2015	2016
G1	9,38%	0,82%	4,54%
G2	8,88%	0,78%	4,30%
G3	8,88%	0,78%	4,30%
G5	9,52%	0,84%	4,61%
G6	9,53%	0,84%	4,62%
G7	9,53%	0,84%	4,62%

**Tabla 5 6: Disponibilidad.**

En la tabla 5.7, se exhiben los indicadores por cada generador seleccionado, dejando en evidencia su bajo porcentaje de disponibilidad, debido a su alto tiempo en desuso, ya que estos entran en funcionamiento solo cuando ocurren los cortes o las caídas de tensión, el porcentaje del año 2016 es bajo porque los datos están hasta junio.

### 3. Rendimiento

Este indicador presenta una gran importancia, ya que nos permite medir el momento exacto en que se utilizan los generadores y permite conocer la efectividad que posee cada generador, además se mide el Tiempo de ciclo (tciclo) multiplicado por la producción real (TOr) y para después dividirlo por Tiempo Operativo (To), para un periodo de producción determinado, expresado con la siguiente fórmula:

$$Rendimiento = \left( \frac{t \text{ ciclo} * TOr}{Tiempo Operativo} \right)$$

t ciclo: Tiempo de Ciclo.

TOr: total de productos real producidos.

To: Tiempo Operativo

En la tabla 5.8, muestra los indicadores por cada generador seleccionado, dejando en evidencia cuánto aportó al rendimiento total, ya que estos tienen como objetivo mantener la planta y reducir los productos defectuosos en las interrupciones o cortes. El porcentaje correspondiente al año 2016 es según el aporte que realizaron por cada uno de estos.

Equipos	Rendimiento por año		
	2014	2015	2016
G1	16,60%	15,35%	16,35%
G2	15,71%	14,53%	15,48%
G3	15,71%	14,53%	15,48%
G5	16,84%	15,58%	16,59%
G6	16,86%	15,59%	16,61%
G7	16,86%	15,59%	16,61%

**Tabla 5 7: Rendimientos.**

### Calculo del OEE

Tras haber aplicado los 3 aspectos requeridos, se realiza el cálculo del OEE de acuerdo con estos valores como se aprecia en la tabla 5.9. Se puede observar cuánto fue la participación de estos equipos en relación al grupo de los generadores.

Equipos	Calculo del OEE por año		
	2014	2015	2016
G1	19,58%	1,84%	8,44%
G2	16,61%	1,56%	7,16%
G3	16,61%	1,56%	7,16%
G5	20,46%	1,93%	8,82%
G6	20,53%	1,93%	8,85%
G7	20,53%	1,93%	8,85%

**Tabla 5 8: Tabla de datos del cálculo del OEE.**

En la tabla 5.9, se observa que los generadores G6 y G7, tienen un mejor desempeño productivo dentro del grupo de generadores, los generadores G2 y G3 son los que tienen una baja medición de desempeño productivo, la diferencia que existe entre los generadores es la potencia entregada por cada uno, ya que estos son diferentes y poseen características distintas es por esto, que el indicador de consumo fósil nos aclara el comportamiento de los generadores, porque este mide la relación entre potencia y consumo.

La tabla 5.10, exhibe el consumo de combustible fósil que requiere cada generador y está compuesto por residuos producidos (KWH/tons), ya que los generadores solo actúan en los momentos de cortes y perturbaciones eléctricas, y rendimiento (lts/KWH) es el teórico estipulado por el equipo.

Generador/Años	Consumo Fósil (Lts/tons)		
	2014	2015	2016
G1	752,66	412,18	741,39
G2	301,62	164,87	296,56
G3	301,62	164,87	296,56
G5	502,70	274,79	494,26
G6	301,62	164,87	296,56
G7	301,62	164,87	296,56

**Tabla 5 9: Tabla de consumo fósil.**

La tabla 5.11, en el indicador final se observa que el G1 y G5, son los dos más alto dentro del grupo de generadores, y al organizarla por prioridad coincide con la tabla de nivel de criticidad.

Equipos	Indicador final (Consumo Fósil x Indicador OEE)
G1	147,36
G2	50,09
G3	50,09
G5	102,83
G6	50,09
G7	50,09

**Tabla 5 10: Tabla indicador final.**

De acuerdo a la información cualitativa y cuantitativa presentada en este capítulo, los generadores seleccionados, tras ser evaluados bajo estos criterios, dan como resultado que, por obsolescencia, falta de repuestos, por altos costos de mantenimiento y la necesidad de mejora continua, es necesario realizar una evaluación económica para ayudar a la toma de decisión para el cambio del equipo.

Se hace evidente un rediseño de la planta de energía, además de crear una nueva política de mantenimiento, y realizar una comparación entre los generadores seleccionados y un nuevo generador, para evidenciar la viabilidad de realizar un cambio de este tipo y sus ventajas y desventajas. En el anexo N°6, Flujo Económico de Propuestas, se presenta información más detallada de esta evaluación.

### 5.3 Propuesta de mejora

Considerando todas las alternativas, se ha optado por la viabilidad del nuevo generador, será instalado en la ubicación del generador número 4, dentro de la sala de generación, ya que, como se mencionó anteriormente ese equipo se encuentra desmantelado.

#### Evaluación económica.

Actualmente la planta de generación interna cuenta con 6 equipos, cuyas antigüedades fluctúan entre 9 y 46 años, tal como se detalla a continuación en la tabla 5.12.

Descripción	Marca Generador	Modelo Generador	Potencia Motor (kW)	Unidad Potencia	Voltaje (V)	Año
Generador 1	SIEMENS	1DK 4915-5 DE 06-Z	2.100	kVA	3150	1970
Generador 5	DMT	MVSI824D2	1.758	kW	2400	1999
Generador 2	SDMO	1SA51.2 M60-4P	1.640	kW	400	2007
Generador 3	SDMO	1SA51.2 M60-4P	1.640	kW	400	2007
Generador 6	KOHLER	2000 REQZDB	1.760	kW	120/240	2004
Generador 7	KOHLER	2000 REQZDB	1.760	kW	120/240	2004

**Tabla 5 11: Equipos instalados y operativos.**

Como se concluyó anteriormente los equipos seleccionados para reemplazo son los generadores número 1 y número 5, cuyas potencias son de 2100 KVA y 1758 KW respectivamente. Debido a esto, el o los equipos nuevos deben cumplir con las siguientes especificaciones; potencia total 3711 KW, para reemplazo de ambos equipos con un solo generador o potencias de 1953 KW y 1758 KW para reemplazo por separado.

#### 5.3.1 Criterio para selección de equipo

De acuerdo a una investigación del mercado chileno, se presentan valores con los costos de los equipos instalados, los cuales tiene características similares, equipos trifásicos diésel, de 1900 KW a 2000 KW, con 380v a 400V *volts* y con especificaciones de medidas de 6x2x3 metros. En la figura 5.7 se puede visualizar un equipo de estas características. Se presentan 3 propuesta para reemplazar estos equipos, con sus características más destacables.



**Figura 5 7: Generador Industrial (tipo).**

### **Caso 1: Solo un equipo de 3711 KW**

Se analiza la situación de un solo equipo de 3711 KW, para reemplazar los 2 equipos mencionados. En este caso como se observa en la tabla 5.13, tenemos una VAN positivo, lo cual indica que es muy viable el proyecto, en el anexo N°6 se observa la evaluación económica.

Tasa de descuento	15%
VAN	\$338.838.194
TIR	44,03%
B/C	\$1,62
PayBack	2,2 años

**Tabla 5 12: Ratios económicos Caso 1.**

Escoger un solo equipo para reemplazar 2, propone varias ventajas, se disminuyen los tiempos y cantidades de los mantenimientos preventivos (y correctivos), se reduce el tiempo de inicio en caso de falla de energía (tiempo de sincronización), y menor personal de operación. Por otro lado las desventajas son, primero, su alto costo, es más costoso un equipo grande (mayor KW) que 2 más pequeños, segundo, el espacio físico que ocupa es mayor, por lo cual se puede requerir construir otra sala de generación o adaptar si es posible la actual, tercero, en caso de fallar este equipo de mayor KW, la criticidad del sistema se verá afectada en una mayor medida, que si fallara uno de los dos equipos más pequeños, ya que este concentra una mayor potencia de generación, y es difícil para el resto de los equipos sostener una caída como esa. Por lo cual, se descarta la implementación de un solo equipo, como reemplazo de ambos equipos más pequeños.

### Caso 2: Equipos de 1758 KW.

En este caso, la propuesta es renovar por 2 equipos de 1758 KW, como se observa en la tabla 5.14, en esta situación el VAN es positivo e indica que el proyecto es viable, en el anexo N°6 se observa la evaluación económica de esta propuesta.

Tasa de descuento	15%
VAN	\$321.615.168
TIR	41,57%
B/C	\$1,59
PayBack	2,1 años

**Tabla 5 13: Ratios económicos Caso 2.**

El ideal de potencia en una planta de generación, en un caso como este, es instalar dos generadores de la misma capacidad, cuya potencia por separado cumpla con el total requerido, así cuando falla un equipo, el otro es capaz de mantener activo el sistema sin mermar el funcionamiento de la planta. Pero una solución de estas características, es utópica desde el punto de vista económico, por cual regularmente se instalan generadores que la menos cumplan por separado con la mitad de la potencia requerida.

### Caso 3: Equipos de 1953 KW.

En esta última propuesta, se han seleccionado 2 equipos de mayor potencia; 1953 KW cada uno, para cumplir con la demanda de energía, y así evaluar con más información el reemplazo de los generadores. Esta propuesta tiene similares características a las mencionadas en el caso 2. En la tabla 5.15, se aprecia el resumen de su evaluación, y en el Anexo N°6, se expone su flujo económico.

Tasa de descuento	15%
VAN	\$220.681.935
TIR	31,28%
B/C	\$1,31
PayBack	2,3 años

**Tabla 5 14: Ratios económicos Caso 3.**

Las características de los generadores indicados en los casos anteriores, quedan expuestos en la tabla 5.16, donde se resume la información relevante para la valoración de su reemplazo.

Equipo	Proveedor	Marca Generador	Modelo Generador	Potencia Motor (KW)	Unidad Potencia	Costo
Generador	Lureye	SDMO	MTUX1640	1758	KW	\$215.475.000
Generador	Lureye	SDMO	MTUX1640	1758	KW	\$215.475.000
Generador	Vielco	PERKINS	APD1760P	1953	KW	\$248.625.000
Generador	Vielco	PERKINS	APD1760P	1953	KW	\$248.625.000
Generador	Electropower	MITSUBICHI	MGS3100B	3711	KW	\$397.800.000

**Tabla 5 15: Equipos para reemplazo y sus costos.**

Una vez analizados los aspectos requeridos para realizar la propuesta de reemplazo de los equipos generadores, en conjunto con las evaluaciones económicas, queda en evidencia que el caso 2, consistente en dos nuevos generadores es el más recomendable para la empresa, ya que presenta una mayor rentabilidad en comparación a los otros dos casos, (comparaciones entre generadores), por lo cual, se recomienda la opción de instalar dos nuevos generadores que tenga una capacidad similar a los generadores 1 y 5. Las características más relevantes de los nuevos generadores son: rendimiento del 80%, potencia igual a 1758 (Kw), disponibilidad de 15 segundos y mantención de tipo predictiva, además de un consumo fósil 0,272 litros/K.

La implementación de estos equipos, propone una disminución de las interrupciones por mantenimiento, y fallas ocasionadas por el mal funcionamiento entre otras, lo que se traduce, en una rebaja en la cantidad de productos defectuosos.

## **5.5 Propuesta de cambio en el procedimiento de inicio**

Para mejorar el sistema de inicio, o partida de los generadores que actualmente es manual, es importante contar con un equipo llamado, Tablero de Transferencia Automática, equipo que realiza un monitoreo constante de las condiciones de la red eléctrica, poniendo en marcha el sistema de generación, y midiendo la energía requerida por la planta. En caso de no existir una gran demanda de energía es posible incluso detener un generador para ahorrar combustible. Este equipo también se encarga del sistema de enfriamiento de los generadores para evitar sobrecalentamientos de la sala eléctrica. En la figura 5.8 se expone un equipo con esas propiedades.



**Figura 5 8: Tablero de transferencia automática.**

Este equipo tiene un costo aproximado de 33 millones de pesos chilenos, y aporta mayor control al conjunto de generadores, además es posible conectarlo a otros sistemas de monitoreo, como los llamados BMS, *Building Management System* o sistema de gestión de edificaciones y a su vez integrarlo a una red de incendios, que proteja el sistema en caso de generarse un incendio eléctrico.

### **5.5.1 Mantenimiento Preventivo**

Un plan de mantenimiento preventivo es fundamental, para mantener los equipos en óptimas condiciones. Para desarrollar este tipo de mantenimientos, es necesario realizar pruebas a los equipos de generación, con y sin carga. Se llama carga, al sistema completo (máquinas de la fábrica e iluminación), que el conjunto de generadores debe mantener en funcionamiento, es decir todos los equipos eléctricos conectados al sistema de respaldo de energía. Una prueba sin carga consiste en encender los generadores sin alimentar a la planta, es decir, no conectar ningún aparato o máquina eléctrica.

#### **Prueba sin carga**

Frecuencia: Semanal  
Esfuerzo: 1HH

- Prueba en Vacío.
- Registro de tiempo de funcionamiento.
- Registro de Horas de funcionamiento.
- Temperatura del agua.
- Registro de niveles de agua y aceite.
- Registro de voltaje de Baterías.
- Registro de Presión de Aceite.

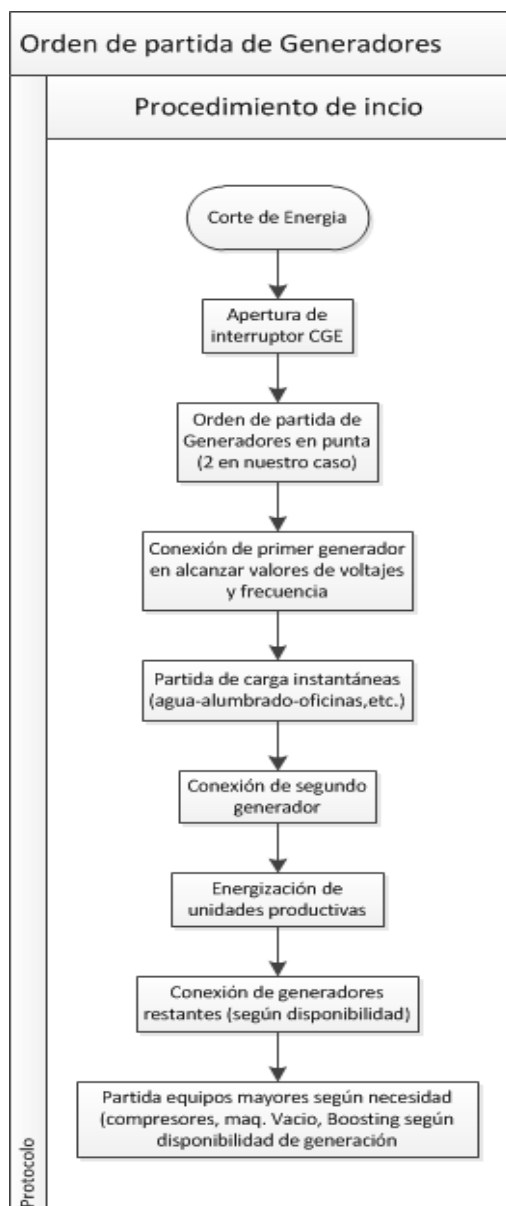
#### **Prueba con carga**

Frecuencia: Cada 3 meses  
Esfuerzo: 1HH

- Prueba con Carga.
- Registro de tiempo de funcionamiento.
- Registro de horas funcionamiento.
- Temperatura del agua.
- Registro de niveles de agua y aceite.
- Registro de voltaje de baterías.
- Registro de presión de aceite.

## 5.6 Caso opcional

En el caso de adquirir un generador capaz de reemplazar al G1-G5, este debiese implementarse como el primer generador en partir, ya que entregara más energía a la planta, reactivando procesos a mayor velocidad, reduciendo la cantidad de productos defectuosos. En la figura 5.10 se exhibe el orden de partida actual de los generadores.



**Figura 5 9: Diagrama de orden de partida de los generadores.**

En la siguiente alternativa, se propone un solo equipo de 3711 KW, como se observa en la tabla 5.17, en esta situación el VAN es positivo e indica que el proyecto es viable. Además, se contempla el valor de un nuevo tablero de transferencia para optimizar el monitoreo y control de la planta de generación. Para mayor información de la evaluación económica, refiérase al anexo N°6.

Tasa	15%
VAN	\$297.242.774
TIR	39,05%
B/C	\$1,49
PayBack	2 años

**Tabla 5 16: Ratios Económico Caso Opcional.**

Debido a la criticidad del equipo, es necesario mejorar las políticas de mantenimiento preventivo, ya que concentrar tanta potencia en un solo equipo, se traduce en una dependencia mayor de la planta de generación sobre ese generador.

## 5.6 Consideraciones finales

Como se mencionó, el uso de paneles solares, está limitado por su capacidad de generación eléctrica, y dada la ubicación geográfica específica, esta no entrega los niveles esperados, en comparación a alguna ubicación del norte grande del país, y más aún, no serían capaz de entregar la energía necesaria, para solucionar la problemática planteada en este trabajo de investigación, que son precisamente los meses de invierno.

Misma situación que afecta a una solución eólica, ya que, por su ubicación geográfica, no cumple con las condiciones ideales de velocidad del viento para su instalación. Otro aspecto relevante es el gran esfuerzo que se ha realizado en disminuir el consumo general de la compañía, y logran alcanzar a la planta de Llay Llay, por estas dos razones técnicas es que se descarta una solución de energía renovable, ya que el nivel de producción eléctrico de origen solar y eólico, no permitiría apoyar la planta en el área de producción, y menos aún vender un excedente energético considerando el alto consumo de la misma.

Las diferentes alternativas presentadas en este capítulo, han sido sometidas a un análisis de escenarios. La premisa de una disminución en los costos de producción, por una reducción de los productos defectuosos (un 5%), debido a la implementación de los nuevos generadores eléctricos, permite variar los costos, y por ende la cantidad de producción, manteniendo fijo el precio, y así plantear diferentes escenarios; optimista, pesimista, (mayor

o menor costo) y compararlo con la situación actual, en cada uno de los casos propuestos como solución al problema planteado.

La tabla 5.18, indica que al instalar 2 generadores de una potencia de 1758 (Kwh), en el escenario optimista disminuye los costos en un \$0,15.- eso significa que se disminuye en un 5% los productos defectuosos y el VAN, TIR, B/C aumentan considerablemente en comparación al actual. Es por esto que se selecciona el caso dos, ya que cumple con las expectativas de reducir los costos y los productos defectuosos, y por otro lado aumenta la producción de la empresa y sus ingresos. En el anexo N°6, se detallan los demás escenarios para los casos no seleccionados.

Resumen del escenario	Valores actuales:	OPTIMISTA	PESIMISTA
Celdas cambiantes:			
Precio	10	10	9
Costo	5	4,85	6
Producción	3198	3500	3300

Celdas de resultado:			
VAN	\$321.615.168	\$480.342.851	<b>-\$111.681.890</b>
TIR	41,57%	54,40%	4,27%
B/C	\$1,59	\$1,92	\$0,67
PayBack	2,1 años	2,5 años	4,6 años

**Tabla 5 17: Tabla de Escenarios del Caso N°2**

Para comprar el proyecto de inversión se ocuparon distintos tipos de indicadores como el Van (valor neto actual), Tir (tasa interna de rentabilidad), B/C (relación beneficio a costo) y PayBack (plazo de recuperación) que indican lo rentable que es el proyecto.

Esta alternativa permite dar solución al problema planteado en el capítulo 2. Se han descartado otras soluciones propuestas, como un nuevo tablero de transferencia, y la implementación de una solución solar, debido a que la compañía ya cuenta con un tablero de este tipo, y no tienen contemplado modernizarlo, además la empresa a dejado de manifiesto descartar una alternativa solar, por el alto costo de implementación y mantenimiento, asimismo por los factores técnicos ya expuestos en ese apartado.

Las tablas de resultados presentadas en este capítulo, provienen de la elaboración de variados flujos económicos, contenidos en el anexo N°6, en base a una Tasa de descuento del 15% propuesta por la compañía. En el anexo N°7, se encuentran los flujos económicos y resultados a una tasa de descuento menor, del 8%, 10%, y 13%, respectivamente.

Las diferentes propuestas señaladas en este capítulo, proveen de herramientas que facilitan el mantenimiento de los equipos actuales, ya sea mediante un plan de mantenimiento preventivo, o mediante el uso de un tablero de transferencia automática. Una solución aún más completa consiste en el reemplazo de dos equipos generadores, aunque con un costo económico mayor.

Otro instrumento, para ser utilizado por el personal de la planta, es el uso de un diagrama de flujo de producción, acompañado por la matriz de priorización, ya que permiten evaluar los equipos, y asignarles una clasificación por los grados de antigüedad de los mismos, y así facilitar su mantenimiento.

El impacto que actualmente tiene el mal funcionamiento de los equipos generadores, deja pérdidas anuales por más de 63 millones de pesos en re proceso de materia prima, y un uso excesivo de combustible fósil que asciende a los 57 millones de pesos anualmente.

## 6. Implementación.

Tras el análisis realizado en el capítulo 5, donde se presentaron las diferentes propuestas de solución, la alternativa “caso N°2” fue elegida, y para implementarla es necesario realizar un contacto con la empresa de generadores, ya que con ellos se realizó la evaluación económica, además será necesario contratar especialistas que implementen este tipo de tecnología en el área seleccionada dentro de la compañía. La sala de máquinas es el lugar donde se implementarán los dos generadores propuestos (G4, G5), además se continúa con el mantenimiento para el grupo de generadores que tiene la empresa.

### **Mantenimiento Autónomo**

Antes de implementar un proceso de mantenimiento programado o preventivo, es necesario verificar el estado actual de los equipos, para lo cual es fundamental realizar un mantenimiento autónomo, que consiste en un evento, donde se lleva a cabo una revisión más a fondo de la situación actual del equipo, se deja limpia y en condiciones óptimas de uso a la máquina, en este caso el equipo generador. Para realizar un mantenimiento autónomo, de deben cumplir las siguientes condiciones:

- Capacitar al personal sobre la máquina
- Realizar una limpieza profunda
- Identificar oportunidades
- Analizar las oportunidades registradas
- Establecer un Checklist con puntos importantes
- Generar un calendario de mantenimiento
- Verificar los controles visuales del equipo, y tener conocimientos de sus límites

Una manera práctica de llevar a cabo un mantenimiento autónomo, consiste en usar una tarjeta que permita saber cuáles son las piezas básicas de revisión, limpieza, o mantenimiento que se va a realizar, además permite llevar un registro mensual, para futuras consultas, y con la información provista se pueden generar pautas de mantenimientos que se ajusten a los equipos de manera individual, atendiendo las necesidades específicas que se requieren. A continuación, en la figura 6.1, se presenta una esquema del contenido de esta tarjeta.

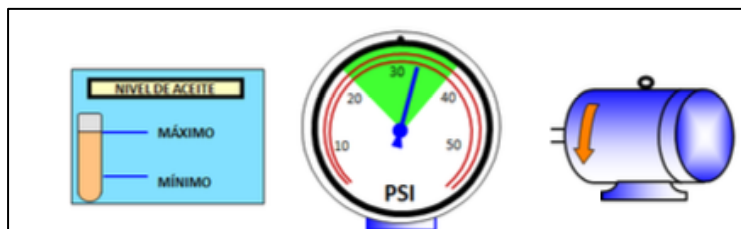
<b>Tarjeta de Oportunidad</b>		
Fecha		
Linea/equipo:		
Ubicación física		
Ubicación plano		
Descripción de la mejora/limpieza:		
Frecuencia:		
Semanal	Mensual	Anual
Medición de niveles:		
Voltajes:		
Niveles de consumibles		
Revisión de conectores		
Prueba de continuidad eléctrica		
Vibración		
Apriete de terminales		
Control Visual		
Observaciones:		

**Figura 6 1: Esquema tarjeta de registro para mantenimiento.**

Una buena limpieza consiste en eliminar el polvo y la mugre de la máquina, llegando más allá de la superficie del equipo, quitar cubiertas, limpiar lugares escondidos, lubricar, ajustar y pintar si es necesario. Si no se mantienen equipos limpios y ordenados, aumenta la probabilidad de tener fallas en los equipos, debido a que pueden fallar piezas que no se ven, o pueden existir fugas de fluidos que son indispensables para el funcionamiento de la máquina y que no se perciben a simple vista debido a la suciedad existente, esto permite mantener condiciones operativas los diferentes sistemas que componen el equipo, sean de tipo eléctrico, mecánico, e hidráulico, entre otros.

Para realizar estas actividades, es necesario que el personal a cargo de realizar estos eventos, este debidamente capacitado, tanto en información técnica sobre el equipo, y conocimientos de electricidad para evitar accidentes, conocimientos de lectura de los diferentes indicadores de niveles con que cuentan los equipos, así como las unidades en las que se presenta la información. También es necesario conocer las limitaciones del mantenimiento, y tomar las precauciones necesarias, para desarrollar la actividad con la máxima seguridad posible, además se hace indispensable contar con los EPP necesarios (Elementos de Protección Personal), y con la supervisión de un prevencionista de riesgos.

Un correcto monitoreo de los indicadores presentes en los equipos, permite estar al tanto de su funcionamiento, alertar ante una alteración en el equipo, y así prevenir una falla grave. Estos indicadores de niveles, se pueden apreciar de manera esquemática, en la figura 6.2.



**Figura 6 2: Controles visuales**

Un correcto proceso de limpieza permite visualizar piezas con desgaste, atascos de tipo mecánicos, pérdidas de velocidad, y mantener a la vista posibles anomalías ocultas. De ahí la importancia de realizar estos sencillos procedimientos.

Como se describió en el capítulo anterior, se busca mejorar las políticas de mantenimientos de los equipos, especialmente la que está relacionada con los generadores, ya que estos equipo intervienen en el proceso productivo de manera intermitente, por cual pasan largos periodos sin funcionar, y por tanto su mantenimiento preventivo, no afecta a la producción, pero si lo hace cuando deben funcionar y no lo hacen a su plena capacidad, influyendo en la respuesta de los generadores de aire comprimido, y en la temperatura del horno, afectando la calidad del vidrio en el proceso de conformado.

Este mantenimiento propuesto es para controlar de una mejor forma los generadores, ya que la pérdida de uno de estos implica un alto costo para la empresa, en términos de producción. Este mantenimiento consiste en poner en funcionamiento cada tres semanas los generadores para evaluar sus condiciones de uso y rendimiento, este mantenimiento es de tipo preventivo, por qué se estará anticipando a cualquier tipo de falla que estos presenten durante una emergencia y así la empresa disminuye los mantenimientos correctivos, los cuales aumentan los gastos y pueden dañar los hornos que es el corazón de la planta fabricadora de envases de vidrio.

El mantenimiento autónomo, debe ser ejecutado por un técnico especialista, y después será realizado por el operador a cargo del equipo generador, una vez finalizada la capacitación de este. Es importante generar un *checklist*, con el propósito de estandarizar el proceso de mantenimiento, y contar con los instrumentos de medición necesarios, y registrar estos en una planilla para futuras consultas.

Equipos limpios y lubricados, permiten disminuir los costos de mantención, mantener la productividad de la empresa, reducir la cantidad de defectos, y tener equipos siempre disponibles.

## 6.1 implementación en mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo consta de registrar los siguientes datos de importancia que permitirán evaluar la condición del generador, en este caso son 3:

**Disponibilidad:** Este dato permitirá identificar la disponibilidad del posible uso de este generador.

**Rendimiento:** Consiste en evaluar el consumo fósil y la producción de energía utilizada en aquellos momentos que se dispuso de este generador.

**Calidad:** Mide la cantidad de productos fabricados en aquellos momentos de uso del generador.

Estos datos serán ingresados en una planilla de cálculo Microsoft Excel que incluirá la fórmula del indicador OEE, la cual permite determinar el estado de los generadores en comparación de estos mismos, ya que estos deben estar dentro de los parámetros establecidos por la empresa, debido a que necesitan generar la energía suficiente para que los hornos no se enfríen. Esto se debe realizar la tercera semana de cada mes, porque son generadores industriales, los cuales emanan una gran cantidad de material particulado, y deben cumplir con la norma ambiental vigente.

## 6.2 Implementación del generador.

La implementación del generador consta de dos partes:

Primero consistente en el traslado del generador, que lo realiza la compañía con la que se adquiere el equipo, y son ellos mismos quienes realizan la instalación en la sala de generación, para mantener las garantías sobre el equipo.

La segunda parte trata, que los especialistas que ejecutaron la instalación e implementación de estos generadores capaciten a los operarios de la planta, específicamente los empleados del área de maquinaria y de electricidad, con el fin de adquieran los conocimientos necesarios para realizar la mantención y manipulación correcta de estos generadores a futuro.

## 7. Conclusión

La memoria presentada en este documento, consistió en generar una propuesta desde el punto de vista técnico y económico, para disminuir los productos defectuosos generados en la planta de envases de vidrio, en la comuna de Padre Hurtado, en Santiago de Chile.

Dadas las características de los productos, como envases de vidrios, no existen pérdidas de material por una producción defectuosa, ya que el 100% de este producto es reciclado en la misma planta, pero existe un costo de reproceso, y un tiempo de atraso que si genera pérdidas a la compañía. De acuerdo a la información analizada, se concluyó que existía una relación directa entre las caídas de suministro eléctrico externo, además del mal funcionamiento de la planta interna de energía, con la generación de productos defectuosos en los periodos en que la planta, se encontraba funcionando con energía de origen fósil debido a los generadores eléctricos.

La propuesta de mejora, considera renovar 2 equipos generadores, mejorar las políticas de mantenimiento, y los registros de esos procedimientos, y en general capacitar al personal que trabaja supervisando a los equipos más críticos del área de producción, como son el horno de cocido y los compresores, para estar mejor preparados ante una eventualidad. Se busca mantener la producción y disminuir los riesgos de congelamiento del vidrio en el horno, cuidando así este valioso equipo, y disminuyendo el riesgo de tener que realizar un mantenimiento correctivo, que demora más tiempo.

El costo de inversión de esta propuesta tiene un valor de \$474 millones de pesos, con un retorno aproximado de poco más de 2 años. En un escenario optimista se reducen los productos defectuosos en un 5%, y se refleja en los costos de producción en \$0,15.-. por unidad. El impacto que actualmente tiene el mal funcionamiento de los equipos generadores, deja pérdidas anuales por más de \$63 millones de pesos en re proceso de materia prima, y un costo por uso de combustible fósil que asciende a los \$57 millones de pesos.

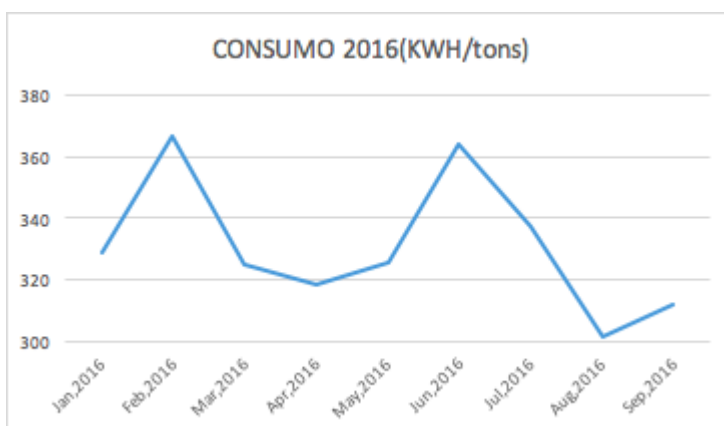
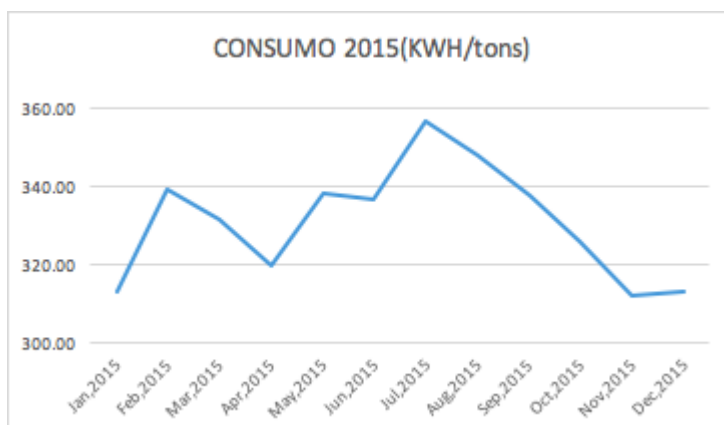
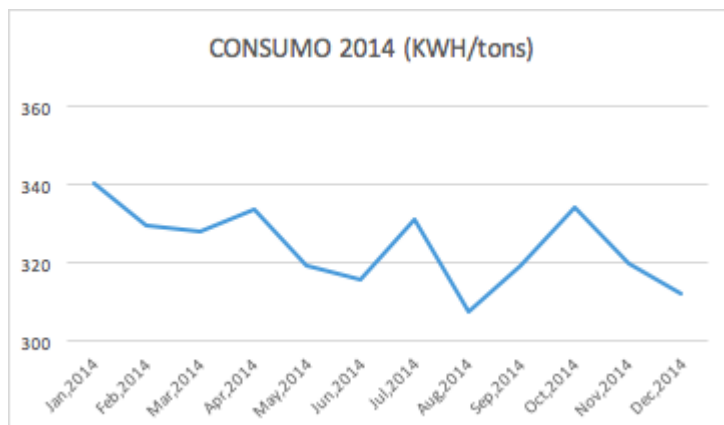
Una vez instalados estos generadores, es necesario controlar de manera constante su desempeño a través del método OEE, que se recomienda ejecutar una vez al mes, estandarizando los niveles de cada generador y esto permitirá la correcta evaluación de estos, además gracias al mantenimiento preventivo es factible identificar los posibles problemas que puede afectar a la planta y las fallas ocultas, que ocurren en su mayoría entre las perturbaciones eléctricas que en este caso no son controlables, ya que la planta pertenece a un holding que tiene un consumo determinado y este debe ser entregado por la empresa CGE, sin posibilidad de contratar una segunda compañía eléctrica.

Los resultados económicos entregados permiten determinar si se realizará el cambio de los generadores propuestos, y entregan a la compañía una mayor información técnica y económica, para que pueda evaluar la implementación de esta propuesta.

En conclusión, se recomienda a la compañía, aplicar mejoras a las políticas de mantenimientos preventivos, correctivos y de mejora, y evaluar detenidamente la renovación de sus equipos en la planta de generación, ya que se encuentran equipos con más de 46 años de antigüedad, que presentan una gran dificultad para su mantenimiento, y reparación, y dificultan aún más la sincronización de estos equipos, para una rápida respuesta ante una caída de tensión, generando retardos en la reactivación de la planta de aire comprimido, a la vez que disminuye la temperatura del horno, y con esto aumentan los productos defectuosos.

# Anexos

## Anexo N°1 Consumos eléctricos anuales



## Anexo N°2 Caídas de tensión y fallas CGE

[http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/RANKING%20ELECTRICAS/PRESENTACION\\_RANKING\\_2014.PDF](http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/RANKING%20ELECTRICAS/PRESENTACION_RANKING_2014.PDF)



## Anexo N°3 Pareto creado por años

2014			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
KWH/tons.	AIRE	130,31	130,31	40,1%	40%
KWH/tons.	VACIO	16,22	87,68	27,0%	67%
KWH/tons.	EE/BB	56,63	56,63	17,4%	85%
KWH/tons.	OTRO	87,68	33,86	10,4%	95%
KWH/tons.	VENT. MÁQ.	33,86	16,22	5,0%	100%
KWH/tons.	PLANTA	324,70			

2015		Total	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
KWH/tons.	AIRE	132,87	132,87	40,0%	40%
KWH/tons.	VACIO	16,54	89,40	26,9%	67%
KWH/tons.	EE/BB	59,16	59,16	17,8%	85%
KWH/tons.	OTRO	89,40	34,58	10,4%	95%
KWH/tons.	VENT. MÁQ.	34,58	16,54	5,0%	100%
KWH/tons.	PLANTA	332,54			

2016		Total	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
KWH/tons.	AIRE	132,99	132,99	38,5%	38%
KWH/tons.	VACÍO	16,55	89,48	25,9%	64%
KWH/tons.	EE/BB	71,46	71,46	20,7%	85%
KWH/tons.	OTRO	89,48	34,96	10,1%	95%
KWH/tons.	VENT. MÁQ.	34,96	16,55	4,8%	100%
KWH/tons.	PLANTA	345,44			

#### Pareto promedios anuales

Promedio de los Paretos		Total	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
KWH/tons.	AIRE	132,06	132,06	39,5%	40%
KWH/tons.	VACIO	16,43	88,86	26,6%	66%
KWH/tons.	EE/BB	62,41	62,41	18,7%	85%
KWH/tons.	OTRO	88,86	34,47	10,3%	95%
KWH/tons.	VENT. MÁQ.	34,47	16,43	4,9%	100%
KWH/tons.	PLANTA	334,23			

### Anexo N°4 Gráficos de control

Tabla de constantes para Gráficos

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

**Anexo N°5 Leyes Relacionadas****Decreto 327**

Reglamento que regula las instalaciones eléctricas y plantas de generación.

Núm. 327.- Santiago, 12 de diciembre de 1997.- Vistos: Lo informado por la Comisión Nacional de Energía, con fecha 21 de noviembre de 1997; lo dispuesto en el Decreto con Fuerza de Ley No1, de 1982, del Ministerio de Minería; en el Decreto Supremo No 6, de 22 de enero de 1985 en el Decreto Supremo No 34, de 08 de Marzo de 1994; la Resolución No 55 de 1992, de la Contraloría General de la República, su texto refundido, la Resolución No 520 de 1996 y sus modificaciones posteriores; y en uso de las facultades que me confiere el N°8 del artículo 32 de la Constitución Política de la República.

D e c r e t o:

Apruébese el siguiente Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos.

TITULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Las disposiciones del presente reglamento se aplicarán, en lo pertinente, a:

- a) Las empresas de generación de electricidad; las empresas de transporte de electricidad; las empresas concesionarias que efectúen servicio público de distribución; los Centros de Despacho Económico de Carga, en adelante CDEC; y a los usuarios de energía e instalaciones eléctricas. Para los efectos de este reglamento, se entenderá como conceptos sinónimos el transporte y la transmisión de energía eléctrica.
- b) Las instalaciones de generación, de transporte, subestaciones de transformación e instalaciones de distribución.

**LEY 19300** (Extracto)

**APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE**

Teniendo presente que el H. Congreso Nacional ha dado su aprobación al siguiente Proyecto de ley:

**"TITULO I**

**Disposiciones Generales**

Artículo 1°.- El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.

## Anexo N°6 Flujos Económicos para Propuestas

Flujo económico de Equipo nuevo Caso N° 1

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$39.780.000	-\$39.780.000	-\$39.780.000	-\$39.780.000	-\$39.780.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$271.626.465	\$269.541.313	\$234.074.156	\$258.413.978	\$254.009.816
IMPUESTO		-\$65.190.352	-\$64.689.915	-\$56.177.797	-\$62.019.355	-\$60.962.356
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$206.436.113	\$204.851.398	\$177.896.359	\$196.394.623	\$193.047.460
DEPRECIACIÓN MAQUINAS						
INVERSION			\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
VALOR DESECHO						
CP			-\$397.800.000			
			-\$56.355.000			
FLUJO DE CAJA		-\$454.155.000	\$246.216.113	\$217.676.359	\$236.174.623	\$232.827.460
VALOR PRESENTE ACUMULADO		-\$454.155.000	-\$207.938.887	\$36.692.512	\$254.368.870	\$490.543.494
						\$723.370.954

Tasa descuento	15%
VA	\$792.993.194
Inversion	-\$454.155.000
VAN	\$338.838.194 >0
TIR	44,03% >15
B/C	\$1,62 >1
PayBack	2,2

## Anexo de análisis de escenarios

Resumen del escenario	Valores actuales:	OPTIMISTA	PESIMISTA
Celdas cambiantes:			
Precio	10	10	9
Costo	5	4,95	6
Producción	3198	3500	3300
Celdas de resultado:			
VAN	\$338.838.194	\$471.338.093	-\$94.458.865
TIR	44,03%	55,32%	5,58%
B/C	\$1,62	\$1,91	\$0,67
PayBack	2,2 años	2,5 años	4,5 años

Flujo económico de Equipo nuevo Caso N° 2

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$268.311.465	\$266.226.313	\$230.759.156	\$255.098.978	\$250.694.816
IMPUESTO		-\$64.394.752	-\$63.894.315	-\$55.382.197	-\$61.223.755	-\$60.166.756
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$203.916.713	\$202.331.998	\$175.376.959	\$193.875.223	\$190.528.060
DEPRECIACIÓN MAQUINAS			\$43.095.000	\$43.095.000	\$43.095.000	\$43.095.000
INVERSION						
VALOR DESECHO						
CP						
FLUJO DE CAJA		\$247.011.713	\$245.426.998	\$218.471.959	\$236.970.223	\$233.623.060
VALOR PRESENTE ACUMULADO		-\$474.045.000	-\$227.033.287	\$18.393.712	\$236.865.670	\$473.835.894
						\$707.458.954

Tasa descuento	15%
VA	\$795.660.168
Inversion	-\$474.045.000
VAN	\$321.615.168 >0
TIR	41,57% >15
B/C	\$1,59 >1
PayBack	2,1

Resumen del escenario	Valores actuales:	OPTIMISTA	PESIMISTA
Celdas cambiantes:			
Precio	10	10	9
Costo	5	4,85	6
Producción	3198,30	3500,00	3300,00
Celdas de resultado:			
VAN	\$321.615.168	\$480.342.851	-\$111.681.890
TIR	41,57%	54,40%	4,27%
B/C	\$1,59	\$1,92	\$0,67
PayBack	2,1 años	2,5 años	4,6 años

Flujo económico de Equipo nuevo Caso N° 3

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$261.681.465	\$259.596.313	\$224.129.156	\$248.468.978	\$244.064.816
IMPUESTO		-\$62.803.552	-\$62.303.115	-\$53.790.997	-\$59.632.555	-\$58.575.556
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$198.877.913	\$197.293.198	\$170.338.159	\$188.836.423	\$185.489.260
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
INVERSION		-\$497.250.000				
VALOR DESECHO		-\$49.725.000				
CP						
FLUJO DE CAJA		\$238.657.913	\$237.073.198	\$210.118.159	\$228.616.423	\$225.269.260
VALOR PRESENTE ACUMULADO		-\$546.975.000	-\$308.317.087	-\$71.243.888	\$138.874.270	\$592.759.954

Tasa descuento	15%
VA	\$767.656.935
Inversion	-\$546.975.000
VAN	\$220.681.935 >0
TIR	31,28% >15
B/C	\$1,31 >1
PayBack	2,3

Resumen del escenario	Valores actuales:	OPTIMISTA	PESIMISTA
Celdas cambiantes:			
Precio	10	10	9
Costo	5	4,85	6
Producción	3198,30	3500,00	3300,00
Celdas de resultado:			
VAN	\$220.681.935	\$379.409.618	-\$212.615.123
TIR	31,28%	42,67%	-3,45%
B/C	\$1,31	\$1,60	\$0,52
PayBack	2,3 años	2,1 años	6,0 años

Flujo económico de Equipo nuevo Caso Opcional

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000	-\$43.095.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$268.311.465	\$266.226.313	\$230.759.156	\$255.098.978	\$250.694.816
IMPUESTO		-\$64.394.752	-\$63.894.315	-\$55.382.197	-\$61.223.755	-\$60.166.756
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$203.916.713	\$202.331.998	\$175.376.959	\$193.875.223	\$190.528.060
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
INVERSION		-\$430.950.000				
VALOR DESECHO		-\$56.355.000				
CP						
FLUJO DE CAJA		-\$487.305.000	\$243.696.713	\$242.111.998	\$215.156.959	\$230.308.060
VALOR PRESENTE ACUMULADO		-\$487.305.000	-\$243.608.287	-\$1.496.288	\$213.660.670	\$447.315.894
						\$677.623.954

Tasa descuento	15%
VA	\$784.547.774
Inversion	-\$487.305.000
VAN	\$297.242.774 >0
TIR	39,05% >15
B/C	\$1,49 >1
PayBack	2,0

Resumen del escenario	Valores actuales:	Optimista	PESIMISTA
Celdas cambiantes:			
Precio	10	10	9
Costo	5	4,9	6
Producción	3198	3500	3300
Celdas de resultado:			
VAN	\$297.242.774	\$442.856.565	-\$136.054.284
TIR	39,05%	50,63%	2,14%
B/C	\$1,49	\$1,79	\$0,61
PayBack	2,0 años	2,4 años	5,0 años

## Anexo N°7 Variación Tasa de Descuento

Flujo económico con tasa de descuento al 8%

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.399
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$261.681.465	\$259.596.313	\$224.129.156	\$248.468.978	\$244.064.816
IMPUESTO		-\$62.803.552	-\$62.303.115	-\$53.790.997	-\$59.632.555	-\$58.575.556
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$198.877.913	\$197.293.198	\$170.338.159	\$188.836.423	\$185.489.260
DEPRECIACIÓN MAQUINAS						
INVERSION		\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
VALOR DESECHO		-\$497.250.000				
CP		-\$49.725.000				
FLUJO DE CAJA		-\$546.975.000	\$238.657.913	\$237.073.198	\$210.118.159	\$228.616.423
VALOR PRESENTE ACUMULAD		-\$546.975.000	-\$308.317.087	-\$71.243.888	\$138.874.270	\$367.490.694

Tasa descuento	8%
VA	\$912.384.543
Inversion	-\$546.975.000
VAN	\$365.409.543 >0
TIR	31,28% >15
B/C	\$1,58 >1
PayBack	2,3

Flujo económico con tasa de descuento al 10%

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.098.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		\$261.681.465	\$259.596.313	\$224.129.156	\$248.468.978	\$244.064.816
IMPUESTO		-\$62.803.552	-\$62.303.115	-\$53.790.997	-\$59.632.555	-\$58.575.556
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		\$198.877.913	\$197.293.198	\$170.338.159	\$188.836.423	\$185.489.260
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
INVERSION	-\$497.250.000					
VALOR DESECHO	-\$49.725.000					
CP						
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-\$546.975.000</b>	\$238.657.913	\$237.073.198	\$210.118.159	\$228.616.423	\$225.269.260
<b>VALOR PRESENTE ACUMULAD</b>	<b>-\$546.975.000</b>	<b>-\$308.317.087</b>	<b>-\$71.243.888</b>	\$138.874.270	\$367.490.694	\$592.759.954

Tasa descuento	10%
VA	\$866.777.465
Inversion	-\$546.975.000
VAN	\$319.802.465 >0
TIR	31,28% >15
B/C	\$1,49 >1
PayBack	2,3

Flujo económico con tasa de descuento al 13%

	0	1	2	3	4	5
AÑOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INGRESOS		\$841.153.777	\$823.457.676	\$773.618.104	\$812.743.185	\$803.272.988
COSTOS FIJOS		-\$475.162.100	-\$462.932.600	-\$443.286.500	-\$460.460.400	-\$455.559.833
COSTOS VARIABLES		-\$54.585.212	-\$51.203.762	-\$56.477.448	-\$54.088.807	-\$53.923.339
DEPRECIACIÓN MAQUINAS		-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000	-\$49.725.000
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$261.681.465	\$259.596.313	\$224.129.156	\$248.468.978	\$244.064.816
IMPUESTO		-\$62.803.552	-\$62.303.115	-\$53.790.997	-\$59.632.555	-\$58.575.556
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$198.877.913	\$197.293.198	\$170.338.159	\$188.836.423	\$185.489.260
DEPRECIACIÓN MAQUINAS			\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000	\$39.780.000
INVERSION		-\$497.250.000				
VALOR DESECHO		-\$49.725.000				
CP						
FLUJO DE CAJA	-\$546.975.000	\$238.657.913	\$237.073.198	\$210.118.159	\$228.616.423	\$225.269.260
VALOR PRESENTE ACUMULAD	-\$546.975.000	-\$308.317.087	-\$71.243.888	\$138.874.270	\$367.490.694	\$592.759.954

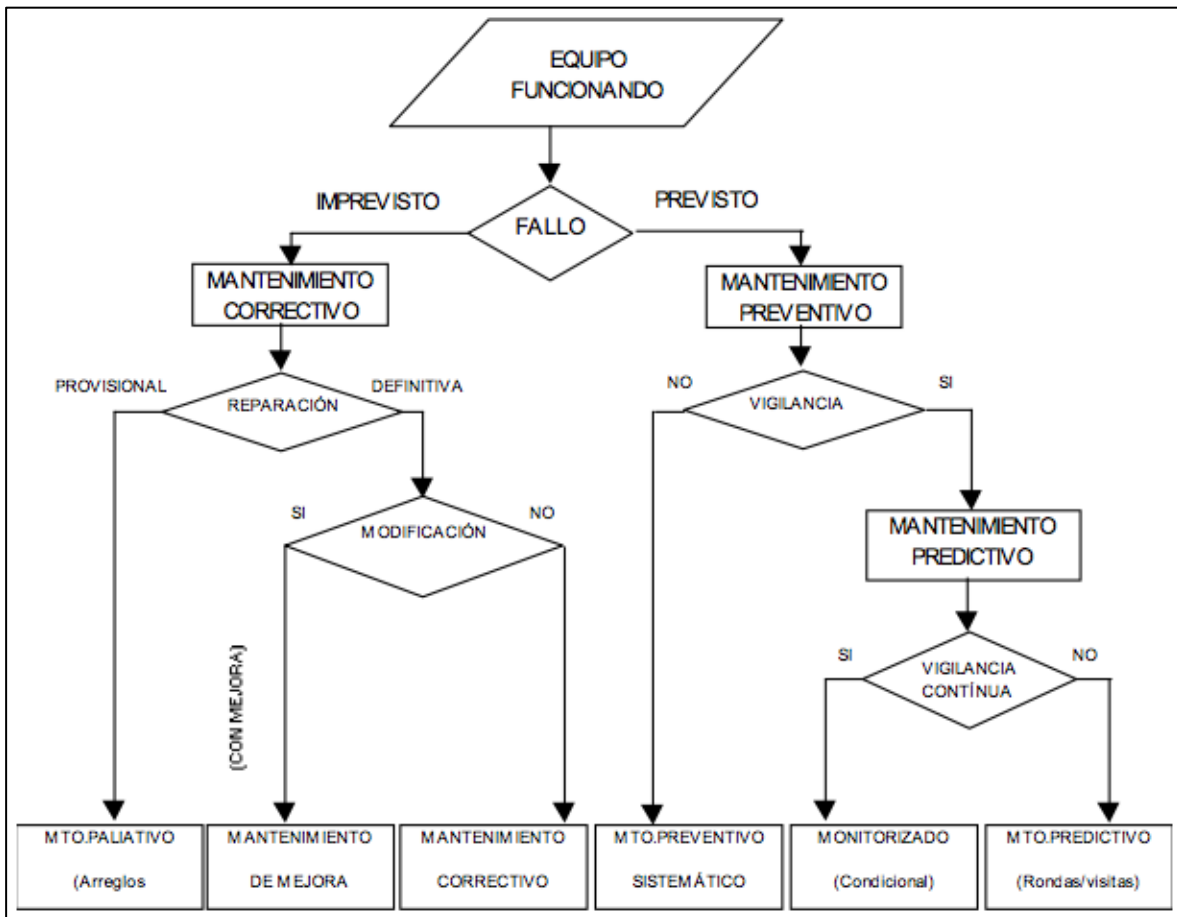
Tasa descuento	13%
VA	\$804.969.069
Inversion	-\$546.975.000
VAN	\$257.994.069 >0
TIR	31,28% >15
B/C	\$1,38 >1
PayBack	2,3

Ubicación Geográfica de la planta y su rendimiento promedio para la generación de energía fotovoltaica.

<b>Latitud</b>	-33.5651°	<b>Longitud</b>	-70.8192°	<b>Altura</b>	441 msnm
<b>Tipo de Panel:</b>	Orientacion Fija	<b>Inclinación:</b>	34°	<b>Acimut:</b>	0°
<b>Resumen de la Generación Fotovoltaica</b>					
<b>Total Diario</b>		<b>Total Anual</b>		<b>Factor de Planta</b>	
4.31 kWh		1573 kWh		17.9%	

**Anexo N°9 Tiempos de mantenimiento**

Se consideran tiempo de mantenimiento a los periodos en que se encuentra fuera de servicio una máquina, ya sea por mantenimientos preventivo, correctivo, o por mejoras, el siguiente diagrama permite seleccionar cuál mantenimiento utilizar según corresponda.



[F. Monchy. MASSON, S. A.,1990]

## Bibliografía

[Juran, 1990] Juran J.A. Juran y el liderazgo para la calidad. Díaz de Santos. Madrid. 1990.

[Deming, 1989] Deming W.E. Calidad, productividad y competitividad. Madrid. 1989.

[Gutiérrez, 2010] Humberto Gutiérrez Pulido. Calidad Total y Productividad. 3ra. Edición. Mc Graw Hill. México. 2010.

[Heizer&Render, 2009] Jay Heizer; Barry Render. Principios de Administración de Operaciones. 7ma Edición. Pearson Prentice Hall. México. 2009. Cap. 6 Administración de la calidad. Sup. 6: Control estadístico del proceso.

[Ishikawa, 1986] Ishikawa K. ¿Qué es el control total de calidad? Norma. Bogotá. 1986.

[Nakajima, 1992] Seiichi Nakajima. Introducción al TPM. 3ra Edición. Tecnologías de Gerencia y Producción S.A. Madrid. 1992.

[Belohlavek, 2006] Peter Belohlave. OEE Overall Equipment Effectiveness

[F. Monchy. MASSON, S. A.,1990] Teoría y Práctica del Mantenimiento industrial. Barcelona.

[Parra, 2012] Métodos de análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos, Parra, C. & Crespo, A. Vol. 5 septiembre 2012.