



INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

PROYECTO DE MEJORAMIENTO

**Propuesta técnica y económica de alternativas
de mejoras para disminuir el consumo de
energía eléctrica de la Planta de Hormigones de
Curicó de la Sociedad Pétreos S.A.
Grupo Polpaico**

Autor:

Christian Gabriel Rodríguez Reyes

Profesor tutor:

Gonzalo García García

CURICÓ - CHILE
PRIMER SEMESTRE 2018

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Curicó, 2019

Dedicado a mis padres y abuelos.

Agradecimientos

Comenzar agradeciendo a la empresa Pétreos S.A. por la oportunidad de llevar a cabo mi proyecto de título en sus instalaciones.

Al profesor Gonzalo García por el apoyo a lo largo del desarrollo del proyecto y fundamentalmente en las últimas etapas de éste.

A mi compañeros y amigos por los momentos de alegría, los viajes y el día a día, el apoyo en las etapas de presión y nerviosismo y sobre todo a las cervezas y experiencias compartidas.

A mi polola Caroline por el apoyo constante en estas últimas etapas de mi vida universitaria y personal.

Por último, lo más importante agradecer a mi familia por el apoyo, en especial a mi madre Mónica por su exigencia y cariño y a mi abuela Mónica por su comprensión y amor incondicional.

Gracias.

Resumen

Con el fin de mejorar la eficiencia energética de la planta y disminuir los costos en electricidad, se propone desarrollar alternativas que ayuden a reducir el gasto, por medio del desarrollo de un proyecto donde se realiza un diagnóstico de la situación actual, se buscan propuestas de mejoras, se diseñan y por último se evalúa económicamente, con el objeto de conocer que tan factible resultaría su implementación. Por medio de una auditoría energética se conoce la situación real de la planta, identificando algunas deficiencias u oportunidades de mejoras. Este proceso será bajo la norma ISO 50002:2014 (homóloga a UNE 16247-1:2012), a través de la cual se pretende conocer los consumos respectivos de los equipos, procesos y maquinaria. Para luego analizar y proponer alternativas que busquen mejorar la eficiencia energética de la planta, con el objetivo de disminuir los costos en materia de electricidad. Finalmente, se realiza una propuesta técnica de las alternativas anteriores y se aplica una evaluación económica a cada una de ellas para conocer la factibilidad y el impacto que podría generar en la planta.

Palabras claves: Consumo energía eléctrica, eficiencia energética, auditoría energética.

Abstract

In order to improve the energy efficiency of the plant and reduce costs in electricity, it is proposed to develop alternatives that help reduce spending, through the development of a project where a diagnosis of the current situation is made, proposals are sought improvements, they are designed and finally it is evaluated economically, in order to know how feasible its implementation would be. By means of an energy audit, the actual situation of the plant is known, identifying some deficiencies or opportunities for improvement. This process will be under ISO 50002: 2014 (homologous to UNE 16247-1: 2012), through which it is intended to know the respective consumption of equipment, processes and machinery. To then analyze and propose alternatives that seek to improve the energy efficiency of the plant, with the aim of reducing costs in terms of electricity. Finally, a technical proposal of the previous alternatives is made and an economic evaluation is applied to each one of them to know the feasibility and the impact that it could generate in the plant.

Keywords: Energy consumption, energy efficiency, energy audit.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Lugar de aplicación.....	3
1.2. Misión y visión	4
1.3. Valores	4
1.4. Organigrama	5
1.5. Productos y servicios	6
1.5.1. Cemento.....	6
1.5.2. Hormigones	7
1.5.3. Áridos	8
1.6. Procesos	8
1.7. Mercado y ventas anuales	10
1.7.1. Mercado.....	11
1.7.2. Ventas anuales	12
1.8. Problemática	14
1.9. Objetivo general.....	15
1.10. Objetivos específicos.....	15
1.11. Resultados tangibles esperados	16
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	17
2. Marco teórico y metodología.....	18
2.1. Marco teórico	18
2.1.1. Auditoría energética	18
2.1.2. Factor de potencia y energía reactiva	20
2.1.3. Ahorro y eficiencia energética en la industria.....	22
2.1.4. Tarifas eléctricas y restricción de invierno.....	26
2.1.5. Herramientas de análisis estadístico	28
2.1.6. Investigación Tecnológica.....	31
2.2. Metodología de solución.....	33
2.3. Alcance de la propuesta técnica y programa de trabajo.....	34
CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	37
3. Situación actual de la empresa.....	38

3.1.	Registro del historial de producción	39
3.2.	Registro histórico de consumo energético	40
3.3.	Análisis de correlación.....	41
3.4.	Diagrama de Ishikawa	42
3.5.	Inspección de instalaciones y equipos eléctricos	44
3.5.1.	Iluminación.....	44
3.5.2.	Equipos del área administrativa.....	44
3.5.3.	Equipos del área industrial	45
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO		46
4.	Evaluación del consumo energético	47
4.1.	Iluminación	47
4.2.	Equipos administrativos.....	49
4.3.	Equipos industriales.....	51
4.4.	Análisis del consumo energético	52
4.5.	Variación del costo de la energía.....	55
CAPÍTULO 5: ALTERNATIVAS DE MEJORA		57
5.	Alternativas de mejora.....	58
5.1.	Análisis de literatura	58
5.2.	Selección de alternativas.....	61
5.3.	Incorporación de condensadores de potencia al sistema eléctrico de la empresa.....	64
5.3.1.	Instalación de condensadores	66
5.3.2.	Métodos de cálculo de la capacidad de los condensadores	67
5.3.3.	Método de compensación de motores eléctricos.....	69
5.3.4.	Cotización con contratista	69
5.4.	Sistema de generación eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (FV).....	71
5.4.1.	Ubicación e índices del recurso solar	71
5.4.2.	Componentes del sistema	72
5.4.3.	Dimensionado del sistema FV	73
5.4.4.	Cotización del sistema fotovoltaico.....	79
5.4.5.	Ahorro de energía y monetario.....	80
5.5.	Cambio de compresores de aire de pistón por compresor de aire de tornillo.....	80
5.5.1.	Dimensionamiento del equipo.....	82
5.5.2.	Selección de equipo	85
5.5.3.	Ahorro de energía y monetario.....	88

5.5.4. Cotización con empresa.....	88
CAPÍTULO 6: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA	89
6. Plan de implementación y evaluación económica	90
6.1. Plan de implementación.....	90
6.1.1. Plan de implementación: Condensadores de potencia.....	90
6.1.2. Plan de implementación: Sistema de generación FV	91
6.1.3. Plan de implementación: Cambio de compresor	91
6.2. Evaluación económica	92
6.2.1. Evaluación económica: Condensadores de potencia.....	93
6.2.2. Evaluación económica: Sistema de generación FV.....	94
6.2.3. Evaluación económica: Cambio de compresor	95
CONCLUSIÓN	96
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carta Gantt con principales actividades para el proyecto	35
Tabla 2. Registro del consumo de la luminaria por área	48
Tabla 3. Cantidad y potencia total de los equipos de iluminación	48
Tabla 4. Cantidad y potencia total de equipos eléctricos del área administrativa.....	50
Tabla 5. Registro del consumo de electricidad según tipo de equipo del área administrativa .	50
Tabla 6. Cantidad y potencia total de equipos eléctricos del área industrial.....	51
Tabla 7. Registro del consumo de electricidad según tipo de equipo del área industrial.....	52
Tabla 8. Estimación de precios de la energía eléctrica en \$/kWh en el sector tarifario de Curicó	56
Tabla 9. Matriz de ponderación de los criterios	61
Tabla 10. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora	62
Tabla 11. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora.....	63
Tabla 12. Listado de precio de los componentes del alternativa del banco de condensadores	70
Tabla 13. Matriz de ponderación de los criterios	75
Tabla 14. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora	75
Tabla 15. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora.....	76
Tabla 16. Características de módulo FV Eagle 72 policristalino	76
Tabla 17. Precios del sistema fotovoltaico de 12kWp.....	79
Tabla 18. Energía anual ahorrada en kWh y pesos por la planta fotovoltaica	80
Tabla 19. Características de compresores de aire de pistón	82
Tabla 20. Equipos de control del sistema de aire comprimido.....	83

Tabla 21. Características técnicas del cilindro neumático CN-10.....	84
Tabla 22. Características de compresor de aire de tornillo modelos L22 y L22RS	85
Tabla 23. Matriz de ponderación de los criterios alternativa cambio de compresor	86
Tabla 24. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora	87
Tabla 25. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora.....	87
Tabla 26. Energía anual consumida sin y con la medida de implementación del cambio de compresor	88
Tabla 27. Cotización de compresor de aire de tornillo CompAir modelo L22RS	88
Tabla 28. Indicadores de rentabilidad alternativa de instalación del banco de condensadores	94
Tabla 29. Indicadores de rentabilidad alternativa de sistema de generación FV	95
Tabla 30. Indicadores de rentabilidad alternativa de cambio de compresor	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo de la empresa.....	3
Ilustración 2. Ubicación de Planta de Hormigones Curicó	4
Ilustración 3. Valores de Sociedad Pétreos S.A.	5
Ilustración 4. Organigrama de Cementos Polpaico S.A.	5
Ilustración 5. Ingresos del Grupo Polpaico	11
Ilustración 6. Participación de mercado del hormigón 2006	12
Ilustración 7. Representación de motor de inducción sin compensación.....	21
Ilustración 8. Representación de motor de inducción con factor de potencia corregido.....	21
Ilustración 9. Diagrama representativo de generación de energía eléctrica mediante energía solar	25
Ilustración 10. Diagrama representativo de generación de energía eléctrica mediante energía eólica.....	26
Ilustración 11. Alternativas de tarifas para AT4 y BT4	28
Ilustración 12. Ejemplo de diagrama de barras	29
Ilustración 13. Ejemplo de diagrama de Pareto.....	29
Ilustración 14. Ejemplo de diagrama de Ishikawa.....	30
Ilustración 15. Desarrollo del diagrama de Ishikawa	43
Ilustración 16. Diagrama representativo de la corrección del factor de potencia.....	65
Ilustración 17. Potencia recomendada del condensador según características del motor eléctrico	69
Ilustración 18. Radiación global promedio mensual ciudad de Curicó, Chile	72
Ilustración 19. Índices de radiación solar en plano inclinado medida en kWh/m ² /día, Curicó, Chile	72
Ilustración 20. <i>Layout</i> Pétreos S.A.	74
Ilustración 21. Área de instalación de los paneles FV en la Planta de Hormigones de Pétreos S.A.	77
Ilustración 22. Garantía de rendimiento de un módulo FV	78
Ilustración 23. Ciclos de trabajo de compresor de pistón vs compresor de tornillo.....	81
Ilustración 25. Comparación de características de equipo compresor de aire modelos L- versus L-RS	86

Ilustración 25. Compresor de aire CompAir tipo tornillo modelo L22RS 87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación anual del IMACOM versus el PIB 13
 Gráfico 2. Evolución en niveles de despacho de hormigón premezclado en Chile..... 13
 Gráfico 3. Producción mensual de hormigón en m³ de Sociedad Pétreos S.A..... 39
 Gráfico 4. Consumo histórico mensual de energía eléctrica de Sociedad Pétreos S.A..... 40
 Gráfico 5. Gráfico de dispersión entre consumo (kWh) y producción m³..... 41
 Gráfico 6. Cantidad y potencia total por tipo de equipos lumínicos de la planta..... 49
 Gráfico 7. Consumo de energía eléctrica en la planta según área 52
 Gráfico 8. Consumo eléctrico del área industrial según equipos 53
 Gráfico 9. Consumo eléctrico del área de iluminación según equipos..... 54
 Gráfico 10. Consumo eléctrico del área administrativa según equipos..... 54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Puntaje de criterio para el periodo de retorno o *payback* estimado..... 62
 Ecuación 2. Puntaje de criterio para criterios de ahorro energético e interés de la empresa.... 62
 Ecuación 3. Puntaje de criterio de ahorro energético para alternativa de motores de alta eficiencia..... 62
 Ecuación 4. Fórmula para obtener el valor de kVAr del banco de condensadores (método 1) 67
 Ecuación 5. Cálculo de kVAr del banco de condensadores (método simplificado)..... 68
 Ecuación 6. Fórmula para obtener el valor de kVAr del banco de condensadores (método reducción de penalizaciones)..... 68
 Ecuación 7. Cálculo de kVAr del banco de condensadores (método 2) 69
 Ecuación 8. Estimación de la energía que debe suministrar el sistema FV..... 73
 Ecuación 9. Cálculo del tamaño de la Planta FV 74
 Ecuación 10. Cálculo del número de paneles FV en base a kWp de la instalación 77
 Ecuación 11. Cálculo del consumo de aire en (litros/minuto) para cilindros neumáticos..... 84
 Ecuación 12. Cálculo del consumo de aire en (litros/minuto) para cilindros neumáticos..... 84
 Ecuación 13. Cálculo del consumo de aire total de la planta 85
 Ecuación 14. Cálculo de la TREMA 93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo simple del proceso productivo del hormigón premezclado 104
 Anexo 2. Carta Gantt 105
 Anexo 3. Historial de consumo eléctrico de Sociedad Pétreos Planta Curicó 106
 Anexo 4. Planilla de indicadores operaciones Planta Curicó Sociedad Pétreos S.A..... 107
 Anexo 5. Registro de horas de funcionamiento de equipos de iluminación por sector..... 108
 Anexo 6. Registro detallado de equipos de iluminación 108
 Anexo 7. Registro de horas de funcionamiento de equipos del área administrativa 109

Anexo 8. Registro detallado de equipos administrativos	110
Anexo 9. Registro de horas de funcionamiento de equipos del área industrial.....	111
Anexo 10. Registro detallado de equipos industriales.....	112
Anexo 11. Registro detallado del consumo estimado de energía eléctrica de la planta según evaluación.....	113
Anexo 12. Tabla de especificación de los kVAr que se deben instalar por kW de carga	114
Anexo 13. Factura eléctrica marzo 2018 de Sociedad Pétreos S.A.....	115
Anexo 14. Consumo real del último año de Pétreos S.A.	115
Anexo 15. Plan de implementación del banco de condensadores	116
Anexo 16. Plan de implementación de sistema de generación eléctrica mediante paneles FV	117
Anexo 17. Plan de implementación del cambio de compresores	118
Anexo 18. Estimación del ahorro de energía de alternativa de banco de condensadores	119
Anexo 19. Estimación del ahorro energético del sistema FV en los diferentes escenarios de evaluación.....	119
Anexo 20. Estimación del ahorro energético del cambio de compresor en los diferentes escenarios de evaluación	120
Anexo 21. Flujo de caja de instalación del banco de condensadores	120
Anexo 22. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro de instalación del banco de condensadores	121
Anexo 23. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV escenario pesimista.....	122
Anexo 24. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV normal	123
Anexo 25. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV optimista.....	124
Anexo 26. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro del sistema FV	124
Anexo 27. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario pesimista.....	126
Anexo 28. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario probable.....	127
Anexo 29. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario optimista.....	128
Anexo 30. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro de la alternativa del cambio de compresor	128
Anexo 31. Manual de mantenimiento del sistema FV	130
Anexo 32. Cotización alternativa banco de condensadores	133
Anexo 33. Cotización alternativa sistema FV	134
Anexo 34. Cotización alternativa cambio de compresor.....	135

INTRODUCCIÓN

El ahorro energético y la eficiencia energética son temas de gran interés a nivel global hoy en día. Los recursos energéticos de una empresa tienen un rol protagónico dentro de los insumos para la elaboración de bienes y servicios en cualquier sector empresarial, las que se transforman en un punto clave de análisis para ir en busca de la eficiencia.

Sociedad Pétreos S.A. es una empresa chilena dedicada a la elaboración, distribución y comercialización de hormigón premezclado, además de la explotación de depósitos de áridos. Este proyecto de mejoramiento se realiza en la planta de hormigón ubicada en la ciudad de Curicó, la que en los últimos meses el consumo de energía eléctrica se ha incrementado con respecto al año anterior, acarreado un desembolso económico mayor.

Con el fin de mejorar la eficiencia energética de la planta y disminuir los costos en electricidad, se propone desarrollar alternativas que ayuden a reducir el gasto, por medio del desarrollo de un proyecto donde se realiza un diagnóstico de la situación actual, se buscan propuestas de mejoras, se diseñan y por último se evalúa económicamente, con el objeto de conocer que tan factible resultaría su implementación.

Por medio de una auditoría energética se conoce la situación real de la planta, identificando algunas deficiencias u oportunidades de mejoras. Este proceso será bajo la norma ISO 50002:2014 (homóloga a UNE 16247-1:2012), a través de la cual se pretende conocer los consumos respectivos de los equipos, procesos y maquinaria. Para luego analizar y proponer alternativas que busquen mejorar la eficiencia energética de la planta, con el objetivo de disminuir los costos en materia de electricidad. Finalmente, se realiza una propuesta técnica de las alternativas anteriores y se aplica una evaluación económica a cada una de ellas para conocer la factibilidad y el impacto que podría generar en la planta.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Se realiza una descripción de la empresa donde se desarrollará el proyecto de mejoramiento, presentando la problemática u oportunidad de mejora y los resultados que se esperan obtener.

1. Introducción

A continuación se presentan antecedentes de la empresa, sus productos y procesos, mercado y ventas anuales del sector, además de la problemática, objetivos y resultados esperados del proyecto.

1.1. Lugar de aplicación

Sociedad Pétreos S.A. es una empresa chilena especializada en materiales para la construcción. En esta se realiza la explotación de depósitos de arena, ripios, bolones y pétreos en general, realizando un tratamiento adecuado para su respectiva comercialización como productos. Además consta con la fabricación, distribución y comercialización de hormigones premezclados.

Ilustración 1. Logo de la empresa



Fuente: (Polpaico, 2017)

La oficina central de la empresa está ubicada en Avda. El Bosque Norte 0177, piso 5º, Las Condes, Santiago. Mientras que la planta en la cual se llevará a cabo el proyecto está ubicada en Ruta 5 Sur Km. 188, Cruce Romeral - Curicó, Región del Maule, ver Ilustración 2.

En 1982, según (Polpaico, 2017), la sociedad fue adquirida por Cemento Polpaico S.A. Además, también se señala que la principal relación que mantiene Pétreos con la sociedad matriz es la compra de cemento para la elaboración de hormigones.

Hoy en día, el Grupo Polpaico cuenta con gran presencia a nivel nacional, desde la II hasta la IX Región, con 23 plantas de hormigón, 3 plantas de producción de cemento, 3 plantas propias de áridos, 3 oficinas comerciales y 1 planta de co-procesamiento.

Ilustración 2. Ubicación de Planta de Hormigones Curicó



Fuente: (Google Maps, 2018)

Gracias a la trayectoria y excelencia de los productos elaborados, Polpaico a lo largo de su historia ha logrado levantar obras emblemáticas en Chile. También se ha ampliado geográficamente a nivel nacional, manteniendo una cultura de seguridad hacia las personas con el lema “Cero Daño a las Personas” (Polpaico, 2017).

1.2. Misión y visión

La misión y visión de la compañía son breves y concisas, por lo que se puede apreciar que se tiene los objetivos y las metas claras que la empresa pretende alcanzar.

Misión. “Establecer bases sólidas para el futuro de la sociedad”.

Visión. “Ser la compañía más respetada y atractiva de nuestra industria, creando valor para todos nuestros grupos de interés”.

1.3. Valores

Los valores de la empresa son la base de la cultura corporativa, es por esto que todos los trabajadores de la compañía deben actuar responsablemente, respetando a las personas y el

medioambiente. Mientras que los altos ejecutivos deben mostrar una conducta íntegra en los negocios. Los valores por los que se rige la empresa se presentan en la Ilustración 3.

Ilustración 3. Valores de Sociedad Pétreos S.A.

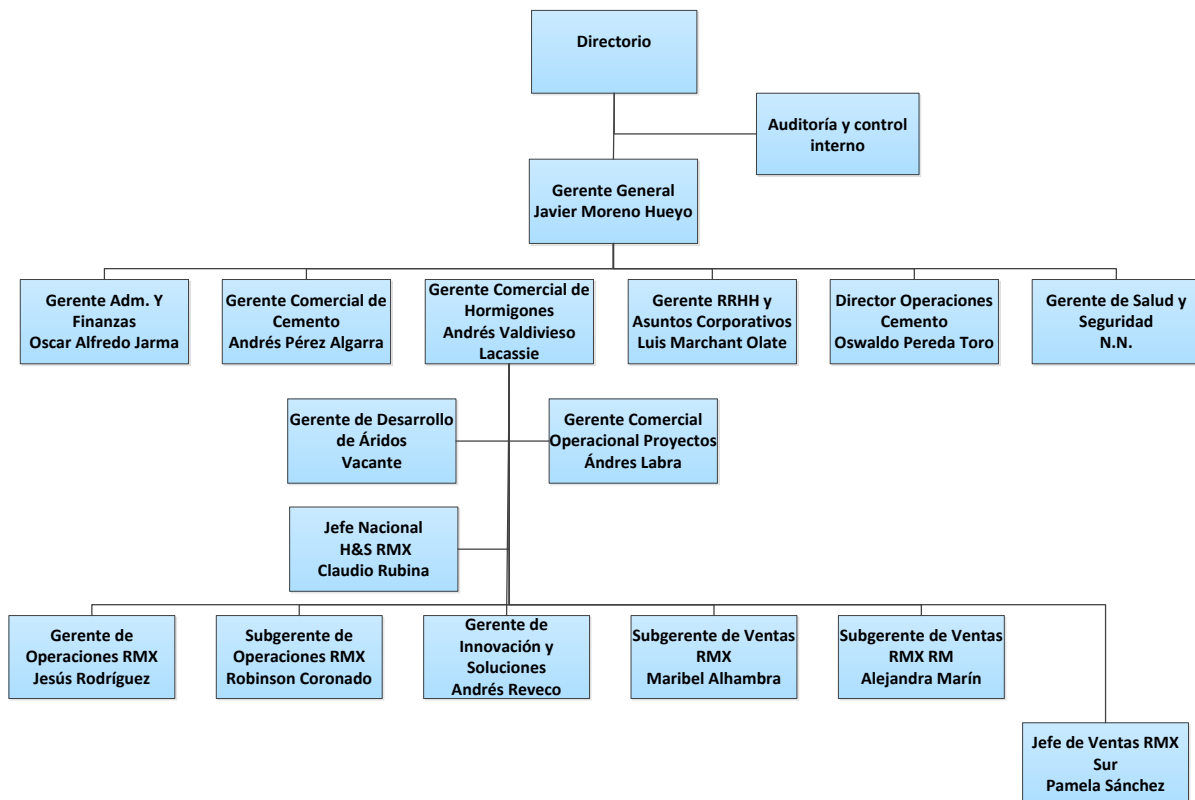


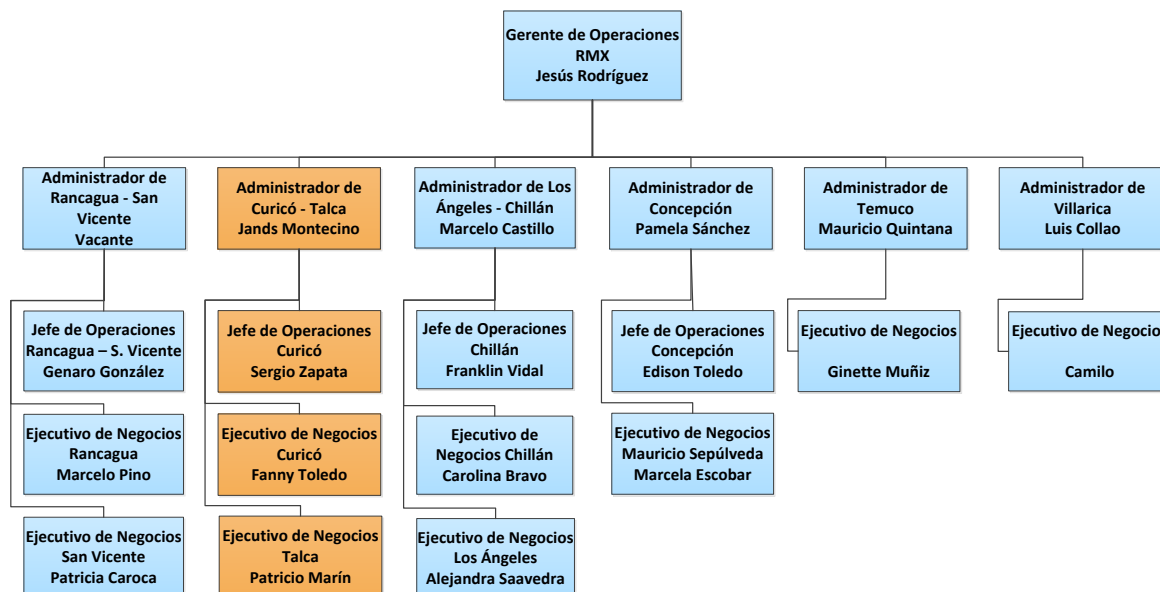
Fuente: (Polpaico, 2017)

1.4. Organigrama

Cementos Polpaico S.A. es una compañía grande la cual cuenta con más de 1.000 colaboradores a nivel nacional, los cuales están divididos en seis grandes gerencias.

Ilustración 4. Organigrama de Cementos Polpaico S.A.





Fuente: elaboración propia en base a información de (Polpaico, 2017)

El sector de desempeño del proyecto es el área de operaciones de la Planta de Curicó, bajo la supervisión de la Gerencia Comercial de Hormigones de la empresa y la Gerencia de Operaciones RMX. El proyecto está supervisado por Sergio Zapata, Jefe de Operaciones de Curicó. En la Ilustración 4 se puede ver en color naranja los principales personajes de la Planta Curicó.

1.5. Productos y servicios

El Grupo Polpaico tiene a nivel nacional tres actividades de negocios: cemento, hormigón y áridos. A continuación se presentan todos los productos elaborados. Cabe mencionar que la planta donde se desarrollará el proyecto cuenta con la fabricación de hormigón premezclado y con un centro de distribución de cemento.

1.5.1. Cemento

Dentro del negocio de cemento, la empresa comercializa distintos tipos de productos que se diferencian principalmente en el grado de resistencia y tipo de envasado. Según información obtenida en (Polpaico, 2018) este producto “es fabricado bajo la NCh 148.Of88 mediante la molienda conjunta de clínquer, yeso y materiales puzolánicos en diferentes proporciones dependiendo el tipo de cemento a fabricar”.

Existen dos tipos de cemento en formatos de sacos de 25 kg., a granel en camión de 28 ton. y *Big Bags* de 1 ton. Cabe mencionar que la planta de Curicó comercializa y distribuye cemento Polpaico especial y 400 en formato de sacos de 25kg y *Big Bags* de 1ton.

- **Cemento Polpaico Especial:** es un cemento de grado corriente, utilizado para construcción en general y con resistencia moderada (Polpaico, 2018).
- **Cemento Polpaico 400:** es un cemento de grado de alta resistencia, principalmente utilizado para obras industriales, edificios en altura y estructuras con grandes masas de hormigón, que requieren una gran resistencia (Polpaico, 2018).

1.5.2. Hormigones

Las plantas de hormigón premezclado, ubicadas desde la región de Antofagasta a la región de la Araucanía, elaboran un producto con valor agregado el cual es el resultado de la mezcla de cemento, áridos, agua, y aditivos en caso de ser necesario. (Polpaico, 2018)

La empresa fabrica diversos tipos de hormigones los cuales se diferencian por sus características específicas y especialmente para el uso requerido del producto. La planta de hormigón Curicó tiene un registro de más de 100 diferentes productos fabricados para los diversos clientes, es por esto que se hace imposible detallar cada uno de ellos.

Sin embargo, a continuación se entrega un listado de los principales tipos de hormigón premezclado que Polpaico elabora, según (Polpaico, 2018) éstos son algunos de los hormigones fabricados por la empresa:

- Hormigón autocompactante,
- Hormigón color,
- Hormigón de dosis exigida,
- Hormigón drenante,
- Hormigón de extrusión,
- Hormigón de resistencia temprana,
- Hormigón impermeable,
- Hormigón visto,
- Hormigón Pavimento SERVIU,
- Mortero de relleno, etc.

1.5.3. Áridos

La empresa cuenta con 3 plantas de áridos, las cuales se encuentran ubicadas en las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Metropolitana. En su conjunto poseen una capacidad de extracción de áridos que alcanzan a los 2,1 millones de toneladas al año (Polpaico, 2018).

Los principales áridos que son elaborados por la compañía son los siguientes:

- **Fino o arena fina:** este producto es el más refinado de todos, el cual presenta una combinación de diferentes tamaños en su grano. Lo anterior es para asimilar la curva granulométrica del cemento y así convertir este producto en la mejor opción para aplicaciones como por ejemplo las terminaciones superficiales de hormigón (Polpaico, 2018).
- **Arena:** este producto es elaborado a partir de la extracción de material de ríos. En cuanto al tamaño de sus granos es más gruesa que el fino, sin embargo su dimensión la hace óptima para el uso en plantas de hormigón premezclado (Polpaico, 2018).
- **Gravilla:** este producto es de mayor tamaño, donde sus granos tienen dimensiones aproximadas entre 1cm y 2cm, es decir, son piedras extraídas del río de un tamaño pequeño. Este material, al igual que el anterior, presenta gran uso en la industria de hormigones prefabricados (Polpaico, 2018).
- **Grava:** este material extraído de ríos, es un poco más grande que la gravilla, el cual tiene piedras de un tamaño aproximado entre 2cm y 4cm. Los principales usos de este producto es como material de relleno en construcciones, bases y sub-bases de edificios y otros, además tiene gran uso en las plantas de hormigón premezclado (Polpaico, 2018).

1.6. Procesos

Los procesos para la fabricación del hormigón premezclado son simples, pero hay algunos que requieren de conocimientos específicos. El hormigón está constituido principalmente de 4 componentes esenciales: cemento, agua, áridos (grava, gravilla y arenas) y aditivos.

Los procesos requeridos para la elaboración del producto final se detallan a continuación, mientras que el diagrama de flujo básico se puede ver en el Anexo 1.

- **Recepcionar y acopiar materia prima (MP):** los proveedores de la MP deben cumplir con las exigencias de calidad de sus productos. El proceso consiste simplemente en la recepción de los materiales y almacenarlos en el lugar destinado. Además se controla que no haya contaminación entre los diferentes tipos de áridos.
- **Controlar la humedad de la materia prima:** se mide la humedad de los áridos con el fin de controlar la posterior dosificación de la MP. Este proceso se realiza todos los días.
- **Seleccionar y manejar materia prima:** el cemento es el material más importante en la mezcla y está presente en una proporción del 15%, luego al mezclarlo con el agua se forma una pasta que representa entre un 25% y 40%; los áridos, grava y arena, representan desde un 60% hasta un 75% del volumen total de concreto. Es necesario recalcar que la proporción de los materiales puede variar según el tipo de producto deseado por el cliente. (Aguedo Torres & all., 2015).
- **Cargar los materiales:** proceso en el cual una máquina carga los áridos o pétreos en un recipiente. Los materiales se dividen en cuatro tipos: arena fina, arena, grava y gravilla. Se carga uno a la vez.
- **Transportar la materia prima:** por medio de cintas transportadoras se trasladan los materiales a estanques destinados para cada tipo de árido.
- **Dosificar los materiales:** proceso donde se mezclan en diferentes proporciones los materiales requeridos para la elaboración del hormigón. Este proceso es realizado de manera automatizada mediante un control por computadora.
- **Medir % de los materiales:** proceso destinado a asegurar que los materiales se incorporen en las cantidades previstas en la etapa de dosificación. Este control puede efectuarse en peso (> precisión) o en volumen y tiene ciertos rangos de tolerancias que deben ser respetados: $\pm 1\%$ cemento, agua y aditivos y $\pm 3\%$ áridos y adiciones. (Sanhueza R., 2018)

- **Controlar camiones:** se realiza un breve control de los camiones para comprobar que éste se encuentra listo para ser cargado. En este proceso se revisan las paletas del camión, la cantidad de giros del *mixer* (14 giros/minuto) y que al momento de entrar al área de carga éste venga con el giro en sentido contrario para evitar que en el interior quede agua o residuos.
- **Cargar camiones mezcladores:** se cargan los materiales en la betonera (hormigonera) de los camiones *mixer*.
- **Amasar hormigón:** los materiales luego de la dosificación y carga se someten a un proceso de mezcla y homogeneidad, el cual se realiza por amasado en betonera, debiendo resultar un producto uniforme y dócil. Luego los operarios ajustan el Cono de Abhams (docilidad requerida) en el puente de ajuste.
- **Transportar y entregar el producto:** una vez que el producto es cargado en los camiones, se realiza el traslado al lugar requerido (construcción u obra) proceso que según la norma Chilena NCh1934 indica que el tiempo máximo de transporte y entrega es de 2 horas (a excepción de un acuerdo entre cliente y proveedor) (Gómez Lorenzini, 2005). Una vez en el sitio, se realiza la entrega del producto y se vacía el hormigón en el lugar de construcción destinado.
- **Controlar calidad del concreto:** proceso elaborado por personal de laboratorio el cual selecciona muestras de los productos y realiza una serie de pruebas para asegurarse de su calidad. La principal prueba es medir el Cono de Abrams, el cual mide la docilidad del hormigón premezclado. (Gómez Lorenzini, 2005)

1.7. Mercado y ventas anuales

A continuación se presenta una reseña del sector industrial de construcción, especialmente en lo que refiere a hormigones, dando a conocer el mercado chileno y las ventas anuales del sector. Además, se presenta la participación de mercado que alcanza la empresa en comparación con su competencia y algunos indicadores importantes sobre la variación de las ventas de los productos.

1.7.1. Mercado

Según (Polpaico, 2017) el mercado en el cual se desarrolla las actividades de la empresa es altamente competitivo, dinámico y sensible a las variaciones macroeconómicas que se van presentando año a año a nivel nacional y también regional. Además influyen en este ámbito el número de competidores, la capacidad instalada de las plantas, la demanda de productos, las variaciones en la oferta y la capacidad de diferenciación que puedan tener los distintos actores competitivos.

Los principales sectores comerciales que atiende el Grupo Polpaico (y sus filiales como Sociedad Pétreos S.A.) a nivel nacional, son las empresas constructoras, empresas industriales, distribuidoras, ferreterías y hormigoneras (Polpaico, 2017).

Una gran parte de los ingresos de Polpaico provienen de las ventas de cemento y hormigón premezclado, y en una menor medida de las ventas de áridos. En la Ilustración 5 se presentan las cantidades porcentuales de las ventas anuales de 2017 de la compañía. Cabe mencionar que las ventas realizadas por Polpaico son totalmente dentro del mercado nacional.

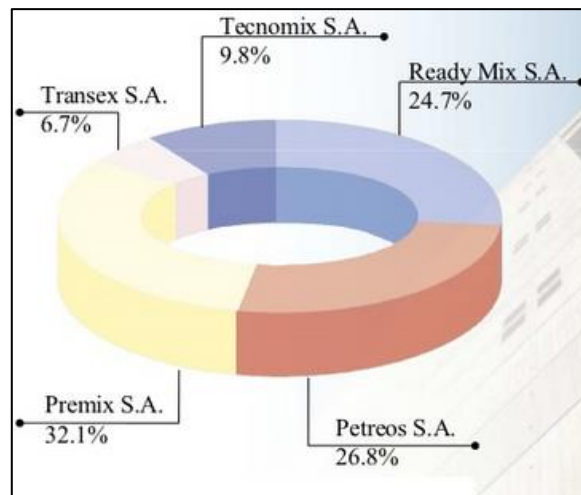
Ilustración 5. Ingresos del Grupo Polpaico



Fuente: (Polpaico, 2017)

En cuanto al mercado de la compañía, se presenta en la Ilustración 6 la participación en el sector de hormigón del año 2006, donde la empresa Pétreos S.A. tiene un 26,8% del mercado. Por otro lado, la participación del sector cementero alcanza alrededor de un 30% compartiendo el mercado con Melón S.A. con un tercio, Cementos Biobío S.A. con otro tercio del mercado y BSA (9%) (Alonso Bertaggia, 2012).

Ilustración 6. Participación de mercado del hormigón 2006



Fuente: (Cabezas & all, 2008)

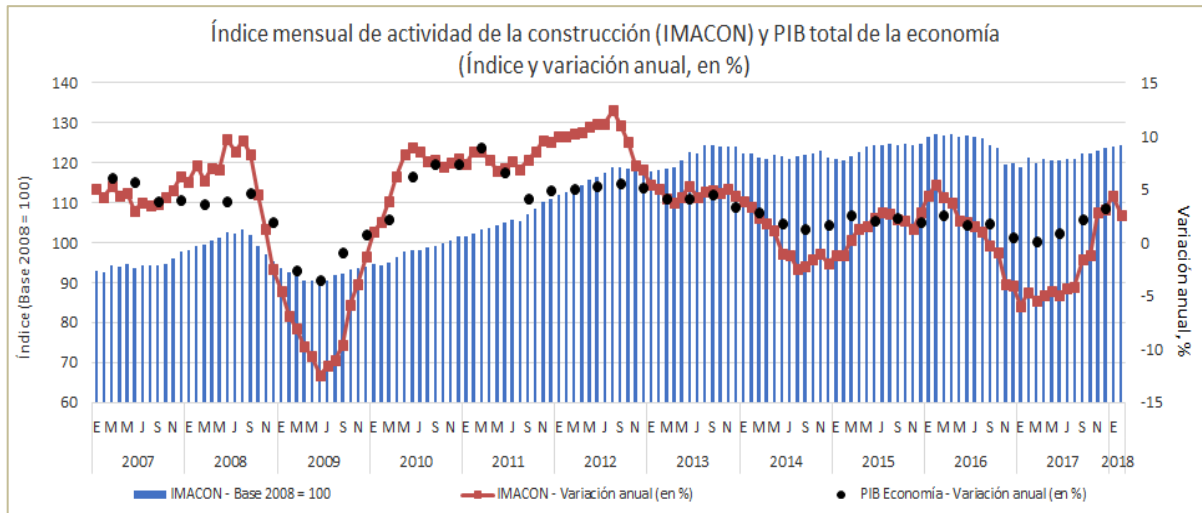
1.7.2. Ventas anuales

En 2013 la Revista EMB Construcción señala que “durante los últimos años, el mercado de cemento, hormigones y morteros ha crecido fuerte y sostenidamente. Si bien en 2013 se ha moderado, el consumo alcanza los 330 a 340 kg de cemento por habitante al año, los más altos que se han registrado en el país hasta la fecha” (EMB Contrucción, 2013).

En 2016 Pulso de Diario La Tercera señalaba que en los últimos tres años las industrias cementeras obtenían un menor crecimiento en ventas debido a la desaceleración que vivió el país, donde dice que “de acuerdo con los resultados reportados a la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS) por las tres principales cementeras del país - Melón, Polpaico y Biobío- las ventas agregadas de la industria se elevaron solo 3,7% durante el primer semestre de 2016” (Cabello, Cementeras anotan su menor crecimiento en ventas en tres años por desaceleración, 2016).

Sin embargo, en 2017 el mercado cementero tuvo un repunte económico y las ventas en el sector subieron en el último trimestre, Cabello, C. señala que “de acuerdo a los informes reportados a la Comisión para el Mercado Financiero (CMF) por las tres mayores cementeras del país -Melón, Polpaico y Biobío- las ventas de la industria subieron por segundo trimestre consecutivo, tras anotar un alza de 6% entre octubre y diciembre” (Cabello, Ventas de cementeras subieron en el último trimestre de 2017 y ratifican repunte económico, 2018).

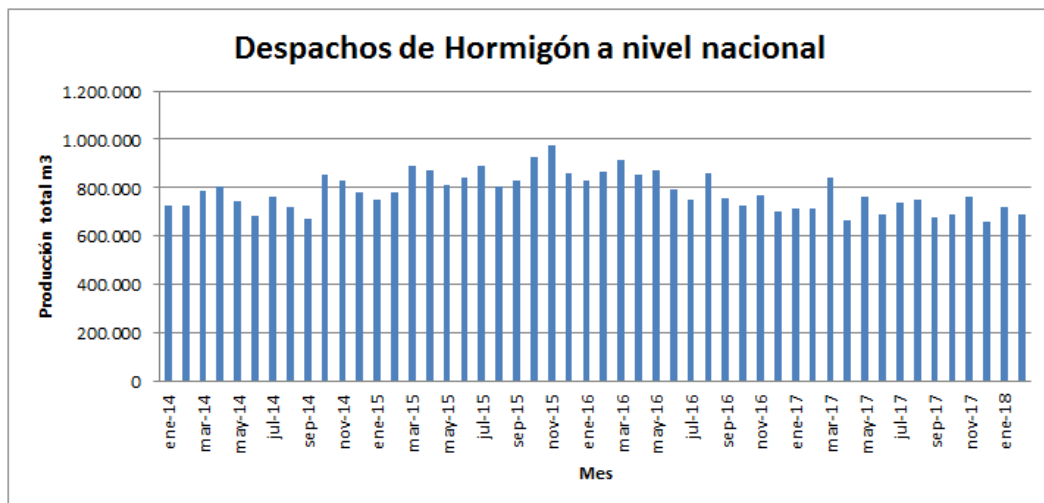
Gráfico 1. Variación anual del IMACOM versus el PIB



Fuente: (CChC, 2018)

Por las reseñas anteriores, se puede deducir que la industria tiene un futuro prometedor. Cabello, C. señala que “las ventas de cemento y hormigón son buenos indicadores del desempeño de la economía de un país: mientras menor es la expansión de la economía, menor es la inversión en construcción y más baja la demanda por cemento” (Cabello, Cementeras anotan su menor crecimiento en ventas en tres años por desaceleración, 2016). Esto se puede apreciar en el Gráfico 1, donde el IMACOM (índice mensual de actividad de la construcción) tiene una estrecha relación con las fluctuaciones del PIB del país, por lo que afirma la declaración hecha por Cabello.

Gráfico 2. Evolución en niveles de despacho de hormigón premezclado en Chile



Fuente: elaboración propia en base a (CChC, 2018)

En cuanto a la evolución de las ventas, especialmente de hormigón premezclado se puede observar en el Gráfico 2 que en 2017 y 2018 a nivel nacional las ventas se han mantenido un poco bajas respecto al repunte que surgió desde inicios de 2015 hasta finales de 2016. Sin embargo, el despacho a nivel nacional de este producto tiene cifras altas las cuales superan las 600.000 toneladas por mes.

1.8. Problemática

En la actualidad un tema muy recurrente que es puesto en discusión en la mayoría de las empresas, ya sea servicios o producción, es el consumo energético y el elevado costo que este genera. Por tanto el gran desafío es encontrar la forma de hacer más eficiente el uso de la energía.

Una disminución del consumo eléctrico como resultado de un buen manejo de los recursos energéticos, tiene beneficios económicos, pero también genera un aumento de la efectividad de los procesos.

La Planta de Hormigones de Curicó ha presentado un progresivo aumento en el consumo eléctrico con respecto al mismo mes del año anterior, el cual está reflejado en la factura de la electricidad, lo cual significa un mayor desembolso económico para la empresa.

Algunos de los factores que pueden influir en el alto costo energético de la empresa son:

- Un bajo factor de potencia ($FP=0,88$) lo que conlleva a tener un cobro de una multa por consumo de energía reactiva,
- cargo por utilizar energía eléctrica en horas punta (5 horas por día),
- aumento de la producción, por ende, del consumo de energía eléctrica (33% más en promedio),
- procesos u equipos con funcionamiento deficiente, entre otros.

La empresa debe cumplir con todos los pedidos que están programados para el día, teniendo que la mayoría del tiempo sacar pedidos después de las 18:00 horas. Esto conlleva

que la planta esté en funcionamiento desde tempranas horas (7:30 horas inicio del primer turno) hasta entrada la noche, por lo tanto se hace uso de electricidad en horas punta lo que aumenta el costo.

Finalmente, en el último tiempo se ha avanzado en el tema de eficiencia energética en las empresas industriales y se sabe que existen muchas formas de generar un ahorro energético con cambios relativamente simples, donde la amortización del proyecto es en pocos años. Además se ha visto un gran incremento del uso de las energías renovables en la industria, por lo que es una buena alternativa para evaluar si es posible el uso de estos recursos en la planta.

1.9. Objetivo general

Elaborar una propuesta técnica y económica de alternativas que ayuden a reducir los costos asociados al consumo de energía eléctrica en la producción de hormigón premezclado en la planta de Curicó de la Sociedad Pétreos S.A.

1.10. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto de mejoramiento a desarrollar son los siguientes:

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa mediante una auditoría energética para conocer el consumo eléctrico de la planta e identificar áreas o procesos que puedan mejorarse.
- Determinar y realizar una propuesta técnica de las alternativas de mejoras, las cuales permitan la reducción del consumo eléctrico en las operaciones y procesos de la planta.
- Realizar una propuesta del plan de implementación y evaluación económica de las alternativas de mejoras con el fin de conocer la factibilidad de su implementación.

1.11. Resultados tangibles esperados

Los resultados esperados del proyecto consisten en un documento que presente el desarrollo y resultado de las propuestas de mejoramiento para la problemática estudiada. Los contenidos que se espera contenga este informe son los siguientes:

- Estudio de la situación actual de la empresa realizado por medio de una auditoría energética que presente un resumen de los resultados obtenidos.
- La propuesta técnica de las alternativas de mejoras para los problemas u oportunidades detectadas.
- Propuesta del plan de implementación de las alternativas.
- Evaluación económica de las alternativas de mejora.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se presenta el modo en el cual se aborda la problemática planteada, mencionando los elementos teóricos y técnicos a utilizar, junto con la metodología de solución.

2. Marco teórico y metodología

En el siguiente capítulo se plantea el marco teórico y la metodología a seguir para el desarrollo y solución de la problemática planteada. A continuación se hace mención respecto de los temas más importantes dentro del proyecto, se obvian del marco teórico conocimientos que se adquirieron a lo largo de la carrera, como por ejemplo las evaluaciones económicas.

2.1. Marco teórico

A continuación se presentan la base teórica utilizada en el desarrollo del proyecto, la que será empleada para resolver la problemática.

2.1.1. Auditoría energética

Una Auditoría Energética (AE) según Unidad de Planeación Minero Energética (2007) “es un proceso sistemático mediante el cual se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de la empresa para detectar los factores que afectan el consumo de energía e identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad” (UPME, 2007).

Otra definición emitida por Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y la Dirección General de Industria, Energía y Minas (2018) la define “como un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico” (FENERCOM, 2018).

Es decir, una AE es un análisis que da a conocer el cómo y dónde se utiliza la energía en la industria con el objetivo de optimizar su uso. También ayuda a comprender cuáles son las áreas de mayor consumo y con esto controlar los costos al identificar procesos donde se produzcan pérdidas, como también identificar oportunidades de mejora en la empresa. Según (UPME, 2007) la AE sirve para realizar “una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad del producto”.

Según (FENERCOM, 2018) algunos resultados proporcionados por las AE son:

- Permiten conocer la situación energética actual, funcionamiento y eficacia de los equipos e instalaciones.
- Inventariar equipos e instalaciones y realizar mediciones de los principales parámetros eléctricos, térmicos u otros.
- Analizar las posibilidades de optimizar el suministro de energía eléctrica y otros.
- Analizar la posibilidad de la instalación de energías renovables.
- Proponer mejoras y evaluarlas de manera técnica y económica.
- Establecer estrategias o planes de acción de ahorro o eficiencia energética más adecuados a las características de la empresa.

Mientras que según la norma ISO 50002:2014 o su homóloga la norma europea UNE 16247-1:2012 determina que una auditoría energética es “una inspección y análisis sistemático del uso y consumo de energía en un emplazamiento, edificio, sistema u organización con el fin de identificar los flujos de energía y el potencial de mejora de la eficiencia energética”. (ISO 50001, 2016)

El procedimiento de una AE según la norma europea UNE 16247-1:2012 es el siguiente (ISO 50001, 2016):

- 1. Preparación:** en este punto se debe plantear el alcance técnico de la AE, cuál será el sector físico y el programa de trabajo.
- 2. Inspección de las instalaciones:** se inspeccionan las instalaciones de la planta para conocer los suministros energéticos que dispone la empresa y además el empleo que hace de éstos recursos.
- 3. Toma de datos:** recopilación de datos del consumo de recursos energéticos, conocer si existe autogeneración de energía, registrar la producción, las tecnologías utilizadas y realizar mediciones del uso de energía.

4. **Contabilidad Energética:** en este punto se debe realizar un análisis del consumo y del costo de la energía, además con la información recabada se elaboran perfiles de consumo.
5. **Propuestas de mejora:** se plantean y analizan alternativas de mejora en base a los datos e información recopilados, luego se diseñan y se realiza un análisis de impacto de éstas alternativas.
6. **Informe final y resultados:** este informe debe contener las propuestas de mejora, es decir, su diseño y evaluación, también debe contener recomendaciones generales a tener en cuenta en la empresa para las buenas prácticas en el uso de los recursos energéticos.

2.1.2. Factor de potencia y energía reactiva

El Factor de Potencia según el informe de dos universidades Colombianas (2018) se define como “la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación” (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2018). El factor de potencia está entre los valores de 0 y 1.

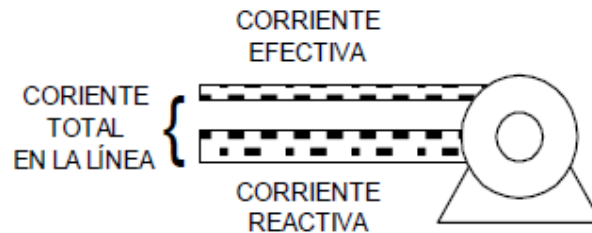
Por otro lado, la definición de energía reactiva entregada por (Scheiner Electric, 2008) señala que “corresponde a la energía que necesitan ciertos receptores (como motores y transformadores) para su funcionamiento”.

En consecuencia, la corriente reactiva según (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2018) “produce un desfase entre la onda de tensión y la onda de corriente, si no existiera la corriente reactiva la tensión y la corriente estarían en fase y el factor de potencia sería la unidad”. Además declara que “el desfase producido por la corriente reactiva se anula con el uso de condensadores de potencia lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente lo que técnicamente se denomina como compensación”.

Se puede apreciar de forma gráfica en la Ilustración 7 que al no poseer condensadores, existe una parte de la energía utilizada que es la corriente reactiva. Mientras que en la

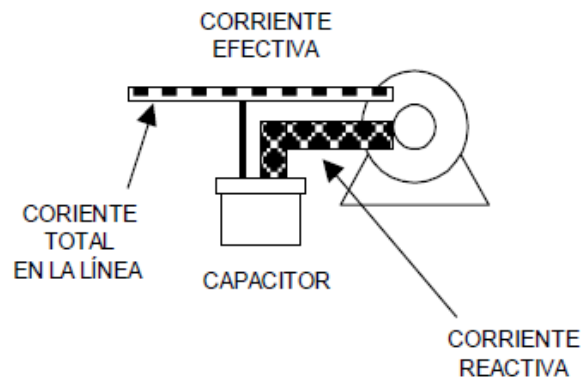
Ilustración 8 se presenta un condensador conectado a un motor, donde el primero suministra la corriente y con esto se disminuye la cantidad de corriente en la línea.

Ilustración 7. Representación de motor de inducción sin compensación.



Fuente: (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2018)

Ilustración 8. Representación de motor de inducción con factor de potencia corregido.



Fuente: (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2018)

Algunas de las ventajas que se pueden obtener al mejorar el factor de potencia (cercano a 1) son descritas por (Scheiner Electric, 2008) y (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2018), las cuales se detallan a continuación:

- **Reducción en el costo de la electricidad:** ya que en Chile el factor de potencia menor a 0,93 tiene multas que se emiten en las facturas de electricidad.
- **Optimización técnica y económica:** evita el sobredimensionamiento de algunos equipos, reduce las caídas de tensión, aumenta la potencia disponible, entre otras.
- **Aumento de la capacidad del sistema:** ya que se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente pasaba a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables.

- **Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.**
- **Aumento de la vida útil de las instalaciones.**

2.1.3. Ahorro y eficiencia energética en la industria

Existen diversas alternativas tecnológicas para disminuir el consumo eléctrico de una industria, las cuales pueden variar de acuerdo a los requerimientos específicos de la empresa o dependiendo del sector industrial que se encuentre. Estas alternativas, como menciona (Feest, 2016), “buscan implementarse no sólo con el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica, sino también para ser más amigables con el medio ambiente y mejorar la gestión del uso de la electricidad en las empresas”.

Según (OptimaGrid, 2018) “el objetivo de las medidas de ahorro y eficiencia energética (EE) es reducir la factura energética, reducir la huella de carbono y reducir la dependencia de energía del exterior, con el fin de ser más sustentable”.

Ahorro y eficiencia energética en motores

Según cálculos en Europa y presentados por (OptimaGrid, 2018), “más del 60% de la energía eléctrica consumida por una industria está destinada a transformarse en energía motriz mediante motores aplicados a múltiples tareas. Por esta razón, conseguir una elevada eficiencia en este campo supone unos ahorros importantes tanto energéticos como económicos”.

Para mejorar la EE de los motores se debe estudiar la potencia nominal a la que trabajan, con el fin de analizar si es posible sustituirlos por otros de menor potencia. (OptimaGrid, 2018)

Algunos de los consejos que entrega la Guía de Buenas Prácticas de Ahorro Energético de (OptimaGrid, 2018) son:

- Evaluar cambio por motores de alta eficiencia.
- Utilizar variadores de frecuencia.

- Seleccionar el motor de acuerdo a su ciclo de trabajo.
- Verificar de forma periódica la alineación del motor con la carga impulsada.
- Corregir la caída de tensión en los alimentadores.

Ahorro y eficiencia energética en sistemas eléctricos industriales

Como dice (OptimaGrid, 2018) “el sector industrial en general el funcionamiento de la maquinaria, es sin duda, el mayor consumidor de energía. Dependiendo del tipo de empresa y de los procesos de la misma, el consumo fluctúa entre el 65 y el 80% del consumo total de energía”, por lo tanto es necesario hacer eficiente su uso.

A continuación, algunas alternativas que presenta la Guía de Buenas Prácticas de Ahorro Energético de (OptimaGrid, 2018) son:

- Automatizar los procesos.
- Apagar los equipos cuando ya no hace falta su uso.

Ahorro y eficiencia energética en iluminación

El consumo energético de la iluminación en las industrias, según explica (OptimaGrid, 2018) “se estima que es de un 10%, lo que supone una repercusión al gasto que debe tomarse en cuenta.”

Algunos de los consejos que entrega la Guía de Buenas Prácticas de Ahorro Energético de (OptimaGrid, 2018) son:

- Aprovechar la luz natural.
- Realizar mantenimiento a equipos.
- Reemplazo de luminaria convencional por equipos de ahorro energético.
- Zonificar las instalaciones y regular horarios de funcionamiento.

Ahorro y eficiencia energética en climatización de instalaciones

Para determinar la demanda térmica para calefacción u climatización influyen algunos factores como las características de la construcción y las condiciones climáticas de la zona geográfica. Por lo tanto, se puede ahorrar energía eligiendo de manera correcta los equipos y en modificar algunas características constructivas.

Conforme a lo expuesto por (OptimaGrid, 2018) “pequeñas mejoras en el aislamiento pueden conllevar ahorros energéticos y económicos de hasta un 30% en aire acondicionado y calefacción”.

Algunos de los consejos que entrega la Guía de Buenas Prácticas de Ahorro Energético de (OptimaGrid, 2018) son:

- Mejorar el aislamiento.
- Utilizar equipos eficientes.
- Usar sistemas de bomba de calor centralizados.
- Realizar mantenimiento a equipos.

Ahorro y eficiencia energética en distribución y generación de aire comprimido

En relación a los sistemas de aire comprimido (OptimaGrid, 2018) menciona que “se utilizan en la gran mayoría de industrias, puesto que mejoran la productividad, automatizando y acelerando la producción”. Además señala que el mayor gasto en relación a estos sistemas alcanza un 75% en electricidad, mientras que el resto se reparte entre los equipos y el mantenimiento.

Algunos de los consejos que entrega la Guía de Buenas Prácticas de Ahorro Energético de (OptimaGrid, 2018) son:

- Mantener la presión de generación al mínimo aceptable.
- Verificar que las pistolas de soplado están reguladas a la presión específica.
- Implementar un sistema efectivo para detectar las fugas y repararlas lo antes posible.

- Asegurar un correcto mantenimiento de su instalación de aire comprimido.
- Comprobar que no se arrancan los compresores antes de que haya necesidad de aire.
- Limpiar y reemplazar los filtros sucios.
- Introducir variadores de frecuencia en sus compresores.

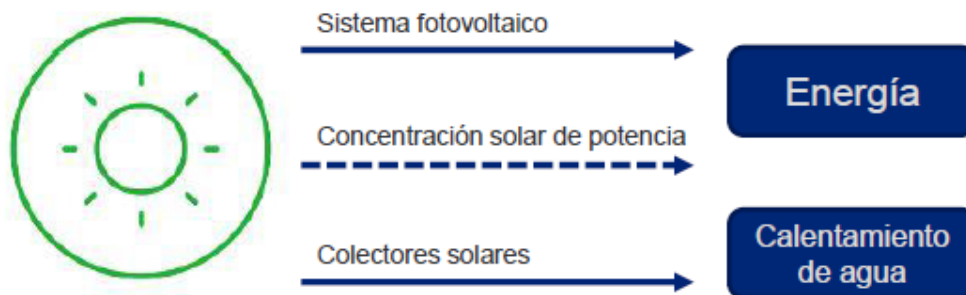
Uso de energías renovables no convencionales

Las energías renovables no convencionales (ERNC) según (Deloitte, 2016) “son aquellas que no se consumen ni agotan, a escala humana, en sus procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil, y generan impactos ambientales significativamente inferiores que aquellas producidas por las fuentes energéticas convencionales”.

En la industria el uso de energías renovables ha ido creciendo en los últimos años, principalmente el uso de energía solar fotovoltaica y energía eólica y seguirá creciendo, ya que es una buena opción para abaratar los costos energéticos. También es importante recalcar que Chile se encuentra entre los países con más radiación solar en el mundo, según (Deloitte, 2016).

También se sabe que existe una disminución de los costos de estos equipos, donde (Fajardo, 2018) ratifica que “cada vez aparecen nuevas tecnologías que abaratan los costos de las celdas y paneles fotovoltaicos u optimizan su desempeño, valores que ya han disminuido en un 70% en la última década”.

Ilustración 9. Diagrama representativo de generación de energía eléctrica mediante energía solar

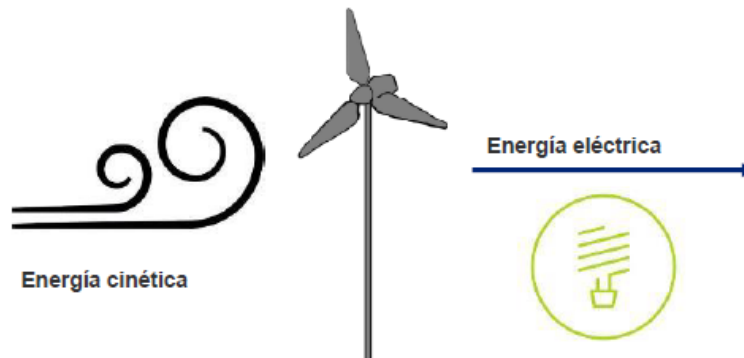


Fuente (Deloitte, 2016)

Luego (Deloitte, 2016) señala que “la energía solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica mediante un sistema de paneles fotovoltaicos o también de manera indirecta mediante la concentración solar de potencia”, ver Ilustración 9.

También (Deloitte, 2016) dice que “la energía eólica es una fuente resultante de la transformación del movimiento generado por el viento en energía eléctrica utilizable”, ver Ilustración 10. Además (Deloitte, 2016) indica que las tecnologías usadas en este sistema generan nulas emisiones durante su funcionamiento y estas consisten en turbinas que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, la cual mediante un generador se convierte en electricidad.

Ilustración 10. Diagrama representativo de generación de energía eléctrica mediante energía eólica



Fuente (Deloitte, 2016)

2.1.4. Tarifas eléctricas y restricción de invierno

En primer lugar es necesario contextualizar este tema, por tanto la empresa que presta los servicios eléctricos a la planta de hormigones de Curicó es CGE Distribución. Esta compañía, según lo expuesto en (CGE Distribución, 2018) y conforme a la Ley Eléctrica en Chile, cuenta con varias opciones de tarifas de suministro eléctrico las cuales son fijadas cada 4 años por el Ministerio de Economía.

Las diversas modalidades de tarifas reguladas a las cuales pueden optar libremente los clientes según la definición de (CGE Distribución, 2018) se presentan a continuación. Cabe mencionar que la diferencia entre las tarifas BT (baja tensión) y AT (alta tensión) es el voltaje del suministro.

- **Tarifa BT1:** es la tarifa más simple y la mayormente escogida por los clientes residenciales. Esta tarifa tiene un suministro en baja tensión y una potencia conectada de menor a 10kW. Los cargos de BT1 son: cargo fijo mensual, cargo por arriendo, cargo por energía base (\$/kWh) y cargo por energía adicional (cuando se supera el límite de invierno; \$/kWh) (CGE Distribución, 2018).
- **Tarifa BT2 y AT2:** tiene cobros separados por energía (kWh) y potencia (kW). Esta última es contratada por el cliente. El voltaje de suministro hace la diferenciación entre ambas tarifas, donde BT es baja tensión que alcanza a los 400 volts y AT es alta tensión que está sobre los 400 volts. Los cargos son: cargo fijo mensual y por arriendo, cargo por energía (\$/kWh), cargo por potencia contratada (la potencia contratada es multiplicada por \$/kW en alta o baja tensión según corresponda) (CGE Distribución, 2018).
- **Tarifa BT3 y AT3:** al igual que la anterior, tiene cobros separados por energía y potencia. En este caso la potencia es medida para registrar la potencia máxima. El voltaje de suministro hace la diferenciación entre ambas tarifas, donde BT es baja tensión que alcanza a los 400 volts y AT es alta tensión que está sobre los 400 volts. Los cargos son: cargo fijo mensual, cargo fijo por arriendo, cargo por energía (se multiplican los kWh por \$/kWh), cargo por demanda máxima (la potencia máxima es multiplicada por el precio unitario correspondiente) (CGE Distribución, 2018).
- **Tarifa BT4 y AT4:** esta tarifa separa los cargos en cobros de energía, potencia suministrada en horario normal y potencia suministrada en horas punta. La tarifa BT es de baja tensión alcanzando hasta 400 volts, mientras que la AT es de alta tensión con más de 400 volts. Existen 3 alternativas a escoger las que se presentan en la Ilustración 11. La tarifa tiene los cargos de: cargo fijo mensual, cargo fijo por arriendo de equipos, cargo por energía (se multiplican los kWh por \$/kWh) y cargo por potencia (depende de la tarifa escogida entre BT4.2 o BT4.3) (CGE Distribución, 2018).

Ilustración 11. Alternativas de tarifas para AT4 y BT4

	BT4.1 AT4.1	BT4.2 AT4.2	BT4.3 AT4.3
Energía	Medida	Medida	Medida
Potencia a Horas de Punta	Contratada	Medida	Medida
Potencia a Horas fuera de Punta	Contratada	Contratada	Medida

Fuente: (CGE Distribución, 2018)

Por último, en relación a la restricción de invierno, el horario establecido son todos los días de los meses comprendidos de abril a septiembre entre las 18:00 y 23:00 horas. (CGE Distribución, 2018).

2.1.5. Herramientas de análisis estadístico

El análisis estadístico según (E8D Soluciones, 2012) “es el análisis que emplea técnicas estadísticas para interpretar datos, ya sea para ayudar en la toma de decisiones o para explicar los condicionantes que determinan la ocurrencia de algún fenómeno”.

Existen 2 ramas de estadística, la descriptiva y la inferencial, pero en este caso sólo se describirá la primera. Ahora, según (Orellana, 2001) “la estadística descriptiva tiene como objetivo describir las características de una serie de datos mediante la elaboración de tablas, gráficos y medidas resúmenes, con el fin de identificar puntos sobresalientes”.

A continuación se describen algunas herramientas para el análisis estadístico de datos.

a. Diagrama de barras

En un informe elaborado por (Orellana, 2001) dice que “estos gráficos son útiles para representar datos categóricos nominales u ordinales, ya que a cada categoría o clase de la variable se le asocia una barra cuya altura representa la frecuencia o la frecuencia relativa de esa clase”. En este tipo de gráfica las barras sólo se diferencian en altura, no en ancho.

En la Ilustración 12, se puede observar un ejemplo de un gráfico de barras.

Ilustración 12. Ejemplo de diagrama de barras

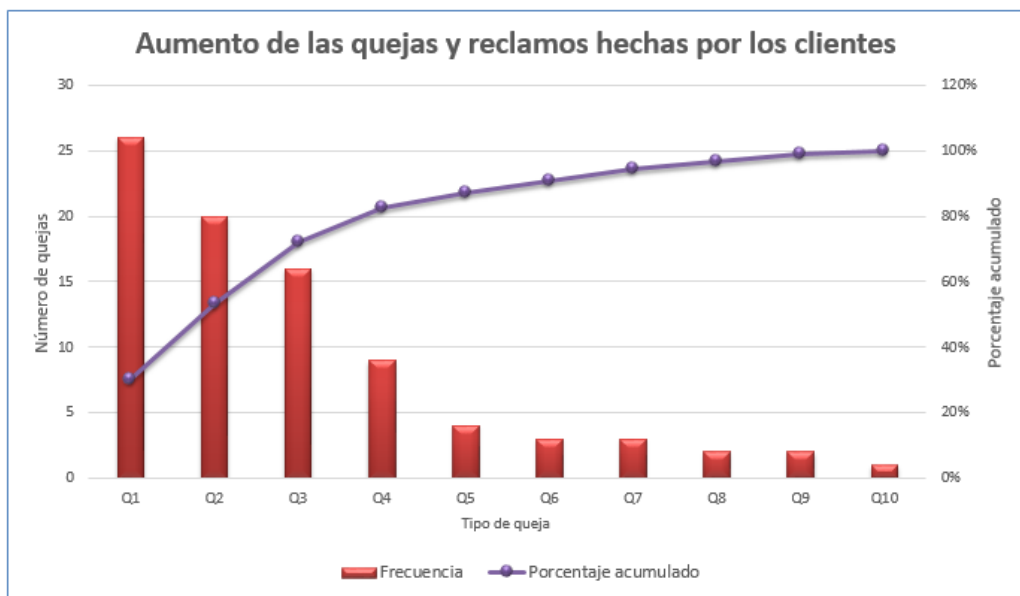


Fuente: (Matepedia, 2016)

b. Diagrama de Pareto

El principio de este diagrama según (Ruiz-Falcó, 2009) dice “que el 80% de los problemas están producidos por un 20% de las causas, por lo tanto lo más lógico es enfocarse en localizar y eliminar, en lo posible, esas pocas causas que producen la mayoría de los problemas”.

Ilustración 13. Ejemplo de diagrama de Pareto



Fuente: (Wiremea, 2018)

También (Ruiz-Falcó, 2009) señala que “esta herramienta no es más que un histograma en el cual se ha ordenado cada elemento por un orden de mayor a menor frecuencia de aparición”. En la Ilustración 13 se puede apreciar un ejemplo de este diagrama.

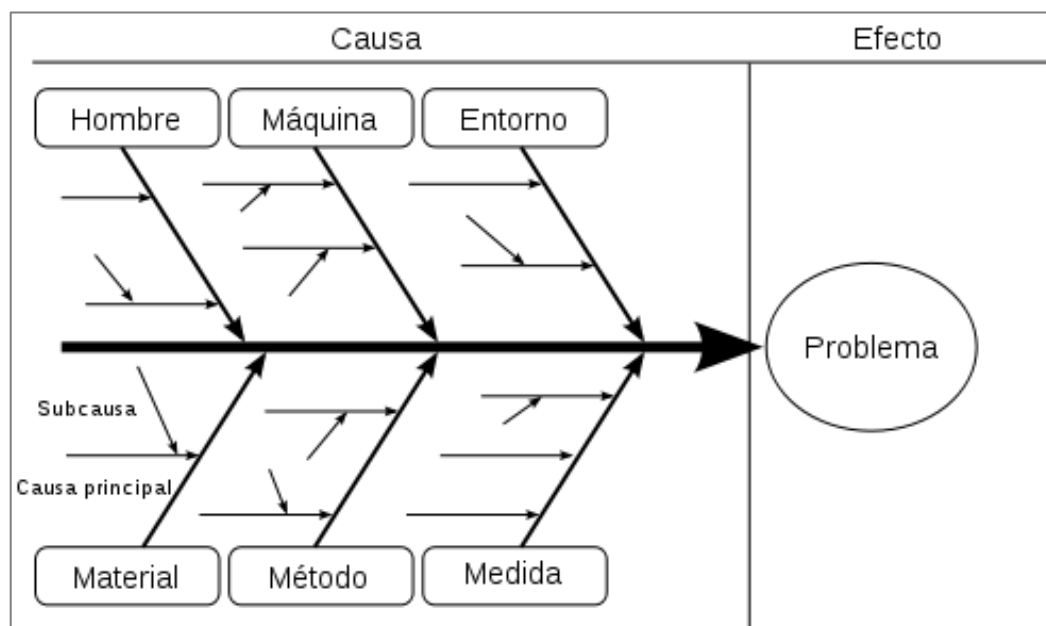
c. Diagrama Ishikawa o causa y efecto o espina de pescado

Este diagrama, según menciona la (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2018):

“es utilizado para relacionar los efectos con las causas que producen un problema o una situación en particular, el cual permite obtener un cuadro detallado y de fácil visualización de las diferentes causas del problema. También recalca que el diagrama de Ishikawa no es una herramienta para resolver un problema, sino que sirve para explicarlo y analizar el porqué de la situación”.

El diagrama por su carácter visual, según (Ruiz-Falcó, 2009) “es muy útil en las tormentas de ideas realizadas por equipos de trabajo, debido que su funcionamiento es ir aportando ideas sobre las posibles causas que pueden producir un problema, las que se van registrando en el diagrama”.

Ilustración 14. Ejemplo de diagrama de Ishikawa



Fuente: (Progressa Lean, 2018)

En la Ilustración 14 se puede ver un ejemplo de este diagrama, el cual señala el problema discutido en un extremo, mientras se van anexando a sus diferentes espigas las causas y sub-causas posibles que provocan este inconveniente.

2.1.6. Investigación Tecnológica

La investigación tecnológica según (Carmona De La Cruz, 2011) es la actividad que, mediante la aplicación del método científico, busca descubrir nuevos conocimientos por medio de la investigación, a la que posteriormente se buscan aplicaciones prácticas con el fin de diseñar o mejorar un proceso industrial, producto o equipo.

La investigación tecnológica también puede ser representada en dos extremos, el primero investigar (ámbito científico), mientras que el segundo implica transformar (ámbito tecnológico). Sin embargo, ésta comprende con mayor énfasis la transformación donde el objetivo es adquirir conocimiento para poder modificar la situación actual en estudio, con la mirada a un conocimiento práctico. Según García Córdoba citado por (Rincón Soto, 2011) dice que *“como resultado de una investigación tecnológica se obtienen conocimientos que establecen con detalle: acciones, requisitos, características, diseño, materiales, costos, responsables, métodos, instrumentos, y demás circunstancias, que describen el qué y el cómo, con lo que se promueve el logro de los objetivos, generalmente predeterminados en el área de producción”*.

En ingeniería la investigación tecnológica presenta una serie de características que la vinculan con la innovación tecnológica. Esta última, según (Rincón Soto, 2011) *“es la incorporación del conocimiento científico y tecnológico, propio o ajeno, con el objeto de crear o modificar un proceso productivo, un artefacto, una máquina, para cumplir un fin valioso para la sociedad”*. En consecuencia, al asumir estas definiciones se sostiene que la investigación tecnológica se basa en producir nuevos elementos o funciones sobre el objeto o problemática en estudio para transformarlo, rigiéndose de manera general por la invención, el diseño y la innovación como solución.

Por otro lado, la investigación tecnológica no posee un diseño definitivo, es decir que existe más de una solución posible para alcanzar el objetivo definido. Además, siempre

cuando se pretende desarrollar un proyecto se necesita dar respuesta de manera oportuna a la evaluación de factibilidad y viabilidad de lo que se plantea como solución a la problemática en estudio. En un proyecto de aplicación tecnológica existen dos condiciones para la realización del diseño: material y operacional; por esto que todo proyecto factible debe contener como parte de la propuesta a desarrollar el análisis de rentabilidad técnica, económica y operativa con el fin de garantizar la factibilidad y viabilidad, en caso contrario el proyecto deja de ser factible. (Rincón Soto, 2011)

La investigación tecnológica tiene varias características, las cuales según (Carmona De La Cruz, 2011) son las siguientes:

- **Pensamiento ingenieril:** diferente del pensamiento científico; busca solución a los problemas mediante el diseño, el cual se concreta a través de etapas sucesivas que van determinando el contenido del mismo.
- **Finalidad de la investigación:** obtener conocimiento útil para resolver un problema.
- **Influencias externas:** encontrar soluciones para casos particulares influenciados por contextos económicos, temporales y geográficos.
- **Realizabilidad:** asegurar que la propuesta sea factible.
- **Presentación inicial de objetivos:** no son definitivos, pueden ir varias de acuerdo a las necesidades que se pretende satisfacer.
- **Diseño no definitivo:** no existe una única solución al problema presentado.
- **Métodos:** se pueden utilizar metodologías científicas como también de la ingeniería con el fin de alcanzar el objetivo.
- **Retroalimentación de los resultados en cada etapa** para concretar con existo el fin buscado.
- **Resultado:** lograr exitosamente la mejora o el diseño técnico de una problemática.

Ahora, las etapas necesarias del proceso de una investigación tecnológica según (Cuesta, Pérez, & all, 2009) son las siguientes:

- **Descripción situacional:** en esta etapa se describe de manera detallada la problemática o situación en estudio que justifica el proyecto. Además, se deben definir los objetivos y la metodología de solución.
- **Análisis de las fuentes de información:** este representa las referencias teóricas del estudio y comprende dos partes; la primera abarca los antecedentes de la investigación, es decir el análisis de otros proyectos, trabajos de grados, tesis, *paper*, etc. Mientras que el segundo punto representa las bases o fundamentos teóricos para sustentar el estudio.
- **Procedimiento:** descripción detallada del desarrollo de las fases o etapas expuesta en la metodología de solución, además de las operaciones requeridas para el desarrollo de la investigación.
- **Análisis de los resultados:** en relación a los objetivos planteados se efectúa un análisis de los resultados obtenidos. Este análisis puede ser cuantitativo o cualitativo dependiendo de las características de cada estudio.
- **Propuesta:** surge como resultado de la investigación. La propuesta debe contener la descripción, justificación y factibilidad: técnica y económica.

2.2. Metodología de solución

Para resolver la problemática del consumo eléctrico de la planta y alcanzar los objetivos planteados, es necesario seguir una pauta de seis etapas las cuales son detalladas por la norma ISO 50002:2014 o su homóloga la UNE 16247-1:2012. A continuación se describen los pasos a seguir en el desarrollo del proyecto de eficiencia energética:

1. La primera etapa es la preparación, donde se debe definir el alcance técnico, el sector físico y el programa de trabajo del proyecto.
2. Segundo, se realiza una inspección y diagnóstico de la situación actual de las instalaciones de la planta, para conocer si autogeneran energía o si la compran, además verificar el tipo de equipos y maquinarias que utilizan energía eléctrica.

3. En tercer lugar se realiza la toma de datos, con esto se podrá obtener la información base para el desarrollo de la problemática, como por ejemplo los consumos energéticos de electricidad de la planta.
4. El paso siguiente es el de contabilidad energética, para esto se realiza un análisis del consumo energético, elaborando un perfil de consumo.
5. Por último, se realiza el diseño técnico de las alternativas de mejora propuestas. Luego el plan de implementación y la evaluación económica para conocer la factibilidad y el impacto.
6. Finalmente, el paso seis es la elaboración de un informe que contenga las alternativas de mejora, plan de implementación, la evaluación económica y recomendaciones generales para mejorar el uso de los recursos energéticos (específicamente eléctricos).

2.3. Alcance de la propuesta técnica y programa de trabajo

Para definir el alcance del proyecto, es necesario conocer la orientación que toma la auditoría energética. En este caso en particular la AE es realizada sólo sobre los recursos eléctricos de la planta; se obviarán otros recursos energéticos como por ejemplo el petróleo utilizado por los camiones *mixer*, el gas licuado y el agua.

El proyecto abarca el diagnóstico de la situación que actualmente vive la empresa y un análisis detallado de las posibles causas que estén generando un aumento del gasto en electricidad. Este análisis se lleva a cabo por medio de un diagrama de causa y efecto, el cual expone todos los posibles motivos de esta problemática. Una vez identificadas las razones, se evalúa el consumo energético de los diferentes sectores de la empresa con el fin de identificar oportunidades de ahorro de energía para finalmente diseñarlas, evaluarlas y presentar el impacto que éstas pueden generar al ser implementadas.

En cuanto al sector físico donde se desarrolla el proyecto es en la Planta de Hormigones de Curicó. La AE contempla todas las áreas donde se utilice energía eléctrica como: el área de los procesos productivos, el área administrativa, el sector perimetral de planta, entre otros.

El programa de trabajo del proyecto se presenta en la carta Gantt de la Tabla 1, la cual muestra las principales actividades que se desarrollan para llevar a cabo el proyecto con éxito, además muestra la duración estimada en días de cada tarea. En el Anexo 2 se pueden ver el detalle de la programación.

Tabla 1. Carta Gantt con principales actividades para el proyecto

EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Diseño y evaluación técnica-económica de propuestas de mejoras para disminuir el consumo eléctrico de la Planta de Hormigones de Curicó de la Sociedad Pétreos S.A .	83 días	mié 25-04-18	vie 17-08-18
1.1	Investigar acerca de la empresa	3 días	mié 25-04-18	vie 27-04-18
1.2	Definir la problemática	2 días	mié 02-05-18	jue 03-05-18
1.3	Definir objetivos general y específico	1 día	vie 04-05-18	vie 04-05-18
1.4	Definir el marco teórico	4 días	mié 09-05-18	lun 14-05-18
1.5	Definir la metodología	2 días	vie 11-05-18	lun 14-05-18
1.6	Realizar diagnóstico de la situación actual	6 días	vie 11-05-18	vie 18-05-18
1.7	Definir alcance de la problemática	1 día	mié 23-05-18	mié 23-05-18
1.8	Recopilar datos en terreno	15 días	jue 24-05-18	mié 13-06-18
1.9	Analizar problemática e identificar propuestas de mejora	6 días	jue 14-06-18	jue 21-06-18
1.10	Realizar propuesta técnica de alternativas de mejora	30 días	lun 18-06-18	vie 27-07-18
1.11	Realizar plan de implementación y evaluación económica	13 días	lun 30-07-18	mié 15-08-18
1.12	Realizar conclusiones y recomendaciones finales	2 días	jue 16-08-18	vie 17-08-18
1.13	Finalización del proyecto de mejoramiento	0 días	vie 17-08-18	vie 17-08-18

Fuente: elaboración propia

El proyecto de mejoramiento comienza el día miércoles 25 de Abril y finaliza el día viernes 17 de Agosto del presente año, con una duración total de 83 días¹. Las actividades que concentran la mayor cantidad de días son: recopilar datos en terreno con 15 días, debido a la cantidad de equipos, disponibilidad de operarios, datos no encontrados, entre otros. Otra

¹ Cabe mencionar que los días que se asiste a la empresa son de miércoles a viernes, por tanto la cantidad de días presentados en la Carta Gantt son los días reales de trabajo, no contando algunos lunes ni martes que no se trabaja en el proyecto.

actividad es realizar la propuesta técnica de las alternativas de mejora con un total de 30 días, ya que es necesaria una investigación del tema a desarrollar y además plantear una alternativa de la implementación de estas tecnologías. Por último, el plan de implementación y las evaluaciones económicas de estas alternativas tienen una duración de 13 días, porque es necesario estudiar de manera exhaustiva los impactos de las propuestas a desarrollar.

CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Se realiza el diagnóstico de la situación actual de la empresa, donde se expone la producción, el consumo eléctrico y el registro de los equipos eléctricos que dispone la planta.

3. Situación actual de la empresa

La empresa funciona bajo un sistema de pedidos. Esto comienza con el área de ventas donde el primer paso es que el cliente se contacta con el encargado de ventas para ver el producto requerido y realizar la cotización pertinente, luego esta cotización se crea en el sistema y se procede al pago. Una vez hecho el pago se confirma el pedido y pasa al área de logística. Esta última coordina la fecha, hora y ubicación donde se debe entregar el producto, añadiendo y ordenando los pedidos en un programa diario de producción, el cual finalmente es enviado a los operadores para que lo ejecuten.

La empresa cuenta con dos plantas de hormigón premezclado, cada una con capacidad nominal de 50m³/h. Sin embargo, según opinión de los operarios, las plantas trabajan a una capacidad aproximada del 75% de su capacidad nominal. Lo anterior se basa en un registro que lleva el *software Command Serie*, el cual registra el tiempo de carga de los camiones, entre otros datos.

La planta 1 consta de 2 cintas transportadoras, 3 silos de cemento (1 de 75ton. y 2 de 60ton. de capacidad), 1 cargador y un equipo de dosificación de MP. Mientras que la planta 2 consta de los mismos equipos que la anterior, sólo cambia la cantidad de silos de cemento los cuales son 1 de 40ton. y 1 de 300ton. de capacidad de almacenamiento.

El funcionamiento de ambas plantas, y por tanto la elaboración del producto, es relativa y depende directamente de la cantidad de pedidos que deben salir, es decir, la cantidad de hormigón premezclado a fabricar que se encuentra en el programa de producción diario. Este producto que caduca rápidamente no se puede inventariarse.

Ahora, para contextualizar la situación actual respecto a los datos técnicos de la instalación eléctrica que posee la empresa, se tiene lo siguiente:

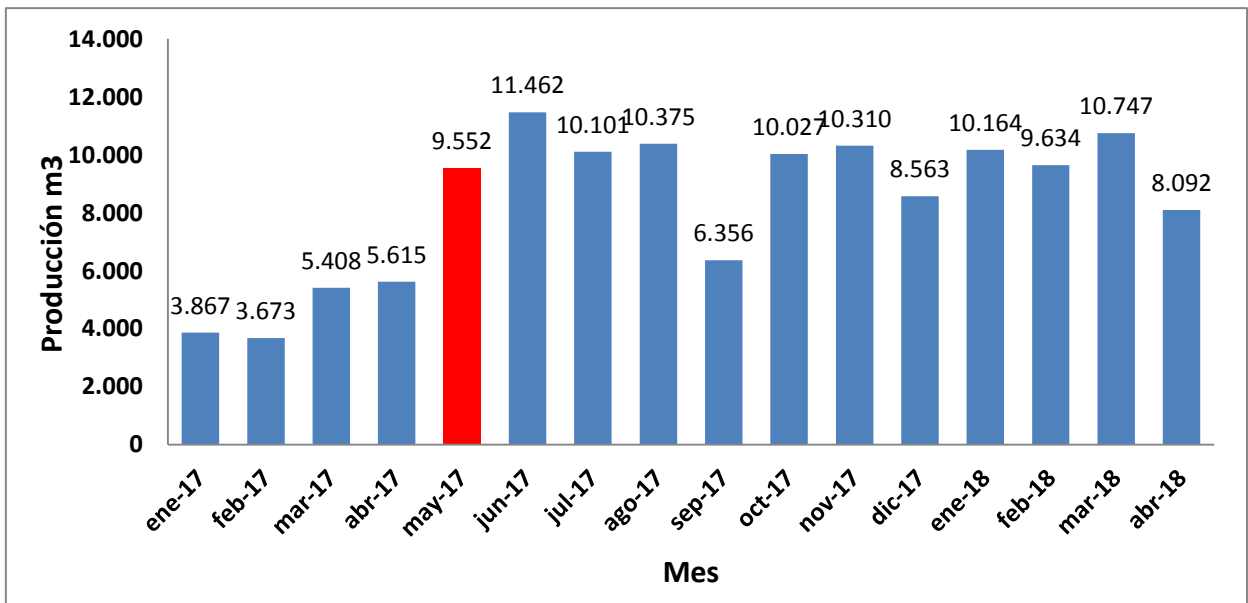
- La planta tiene una tarifa contratada del tipo AT4.3.
- El costo actual de la energía es de 66,747 \$/kWh (IVA no incluido) al mes de Mayo de 2018 (este valor varía mes a mes).

- Se encuentra en el sector tarifario de Curicó STxE-1-A, suministrando la energía desde la subestación de Rauquén 66/13,2KV. del Sistema Interconectado Central.
- Posee una potencia conectada de 82,27kW.
- Además, la planta cuenta con dos generadores a *diesel* los cuales abastecen la potencia necesaria del suministro eléctrico en caso de emergencia, por ejemplo en un corte de energía.

3.1. Registro del historial de producción

Al igual como se comentó en el capítulo 1, la Planta de Hormigones ubicada en Curicó de Sociedad Pétreos S.A. elabora hormigones premezclados con diferentes características. La empresa elabora muchas variedades de hormigón las cuales se diferencian unas de otras, según el porcentaje de materias primas que contenga la mezcla. Por lo tanto queda englobado como un solo producto: hormigón premezclado medido en m³.

Gráfico 3. Producción mensual de hormigón en m³ de Sociedad Pétreos S.A.



Fuente: elaboración propia en base a datos de (Sociedad Pétreos S.A., 2018)

La cantidad de hormigón producida mensualmente para los años 2017 y lo que va del 2018 se ve reflejada en el Gráfico 3, donde se puede ver un incremento importante de la producción

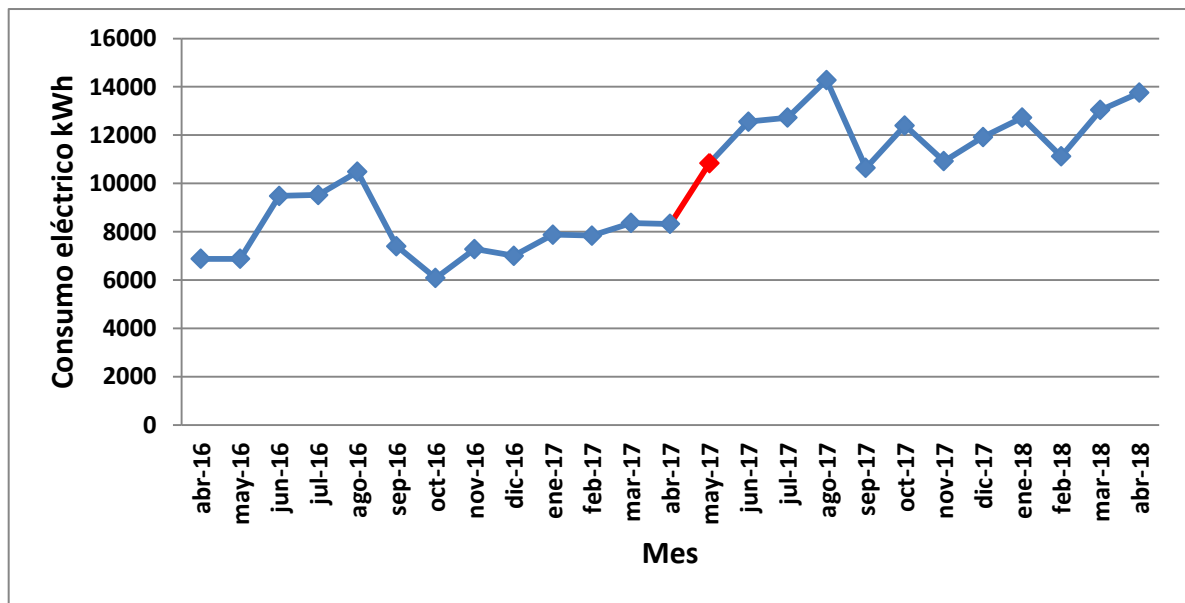
desde mayo del 2017 hasta la actualidad. En el Anexo 4 se puede ver las planillas de dónde se extrae la información.

3.2. Registro histórico de consumo energético

El consumo de energía eléctrica es el gasto más preocupante para la empresa, ya que al observar el Gráfico 4 la energía eléctrica consumida en los meses de 2018 es mayor con respecto a los años anteriores. Además se puede apreciar que se tiene un incremento del consumo de electricidad, que a la vez representa un mayor desembolso económico, especialmente desde mayo de 2017 el cual sobrepasa los 10.000kWh mensual.

Dentro del registro adjunto en el Anexo 3, se pueden observar con detalle el consumo realizado en el periodo comprendido desde abril de 2016 hasta marzo de 2018. El consumo de energía de abril de 2018 se obtuvo de la factura electrónica de la cuenta de luz.

Gráfico 4. Consumo histórico mensual de energía eléctrica de Sociedad Pétreos S.A.



Fuente: elaboración propia en base a datos de (CGE Distribución, 2018)

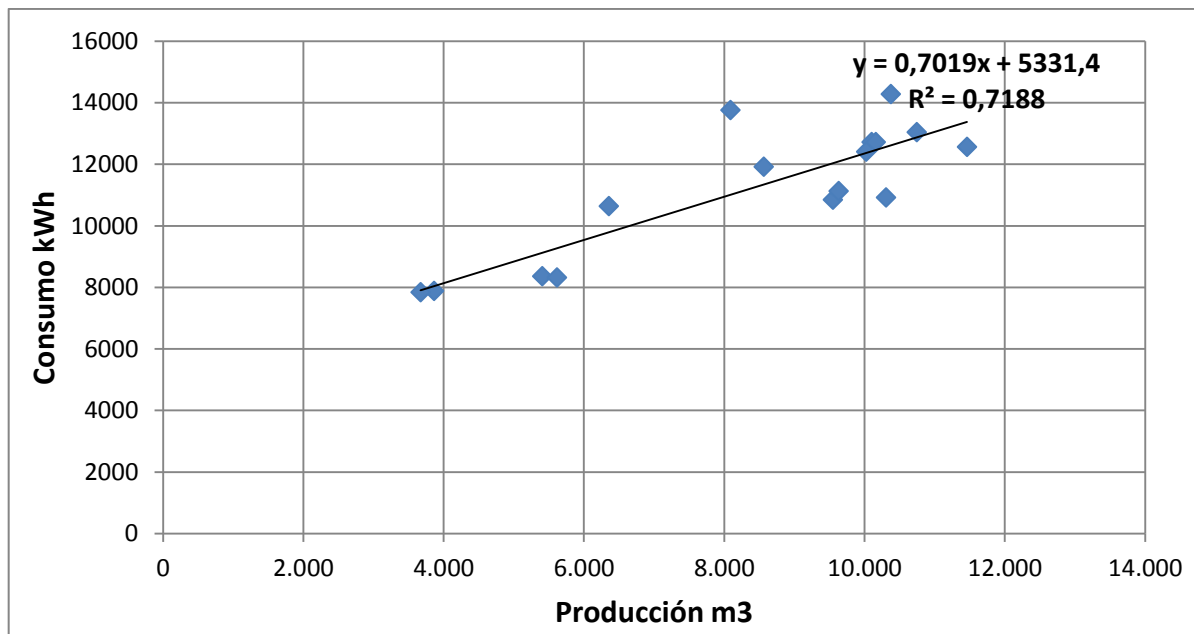
Por lo tanto, es importante realizar un análisis a las posibles causas que están generando un mayor consumo eléctrico para tomar medidas que ayuden a disminuir los costos, sin antes realizar un análisis de correlación entre los datos de consumo de energía eléctrica en kWh y la producción de hormigón en m³.

3.3. Análisis de correlación

Tal como se plantea en el punto 3.2, se observa una clara tendencia al alza del consumo de energía eléctrica de la planta, especialmente en el último año.

Al realizar un análisis de correlación entre la producción mensual en m³ y el consumo eléctrico mensual de la planta en kWh, se obtiene el Gráfico 5, el cual muestra la relación que tienen estos dos factores. Se observa que el coeficiente de correlación (r^2) es de un 71,88%.

Gráfico 5. Gráfico de dispersión entre consumo (kWh) y producción m3



Fuente: elaboración propia

Para la interpretación de este valor según IPMVP (*International Performance Measurement and Verification Protocol*) el criterio óptimo es que el r^2 sea un valor igual o mayor al 75% lo que indica un alto grado de correlación. Por lo tanto, un valor cercano al 72% puede ser un indicador fiable de que exista una correlación entre los datos de producción mensual de la compañía y el consumo eléctrico de la misma, sin embargo de igual manera es necesario un análisis de otras posibles causas que puedan aumentar el consumo eléctrico.

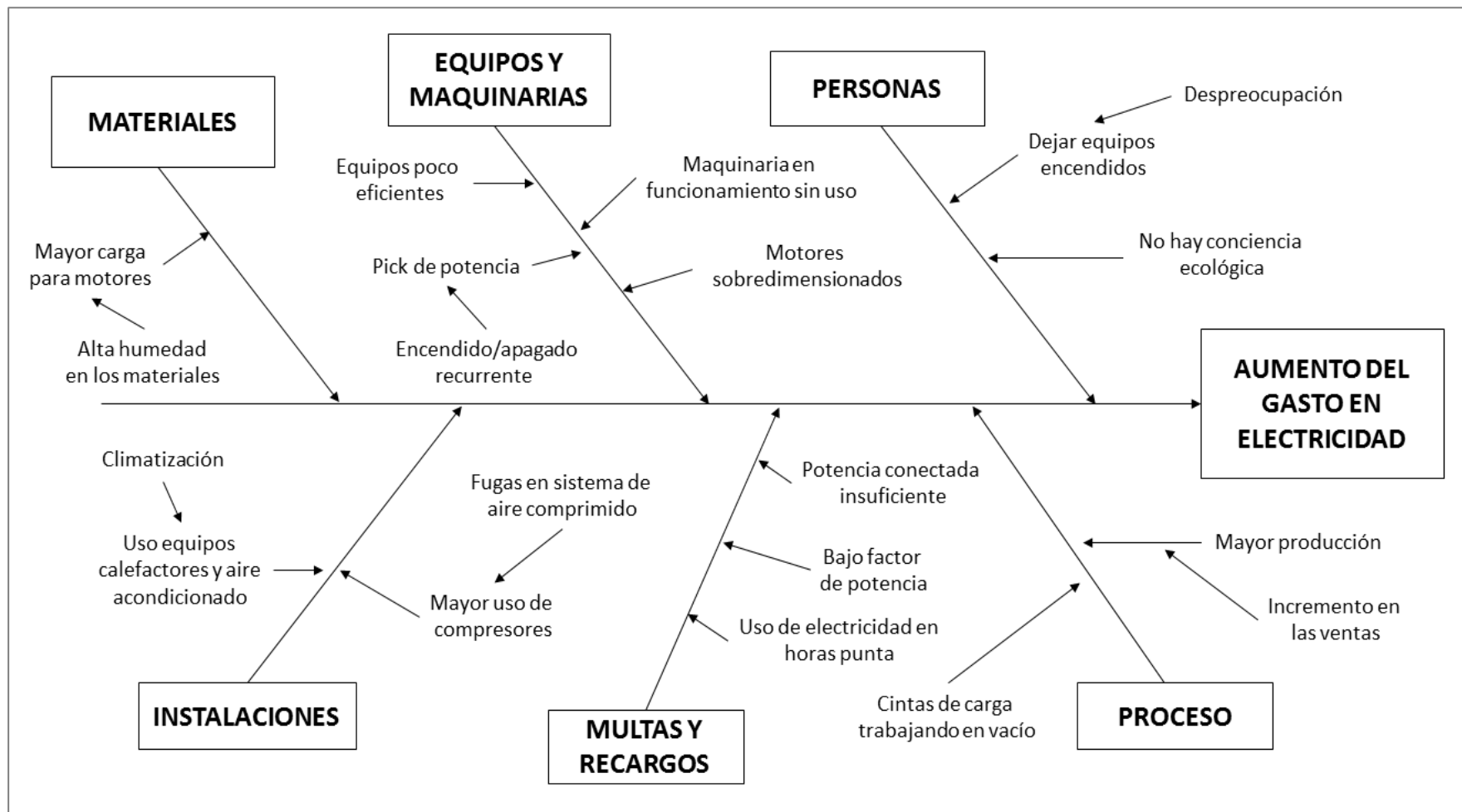
3.4. Diagrama de Ishikawa

Para conocer las posibles causas del aumento del consumo de energía eléctrica se utiliza el Diagrama Causa-Efecto para analizar el porqué del problema. Para esto se consulta al personal de la empresa sobre el proceso productivo con el fin de conocer su punto de vista y ampliar la visión de análisis de la problemática.

En la Ilustración 15 se presenta el diagrama realizado, donde se exponen todas las causas posibles que puedan generar el incremento del gasto eléctrico de la planta. Entre las principales razones se encuentran:

- **Materiales:** especialmente los áridos, que se encuentran acopiados a la intemperie, los cuales tienen un mayor porcentaje de humedad, por tanto un mayor peso, lo que se traduce en una mayor carga para los motores que mueven las cintas transportadoras donde se traslada el material.
- **Equipos y maquinarias:** algunas de las causas principales son equipos poco eficientes, maquinaria que está en funcionamiento pero que no está siendo utilizada, el encendido y apagado de los motores y compresores que generan *pick* de corriente, etc.
- **Personas:** principalmente debido al descuido o despreocupación por parte de los operarios y administrativos de dejar equipos de luz u otros encendidos cuando no es necesario su funcionamiento.
- **Instalaciones:** equipos de climatización encendidos la mayor parte del día, como también fugas en el sistema de aire comprimido lo que genera que los compresores funcionen más tiempo del debido.
- **Multas y recargos:** especificadas en las facturas de la luz, como por ejemplo el uso de electricidad en horas punta, creando un costo adicional.
- **Proceso:** un incremento en la producción del hormigón debido a mayores ventas de producto, por tanto, mayor tiempo de funcionamiento de los equipos y maquinarias. Además que algunos equipos estén funcionando sin necesidad, por ejemplo las cintas de carga de los materiales.

Ilustración 15. Desarrollo del diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia en base a lluvia de ideas con el equipo de trabajo

3.5. Inspección de instalaciones y equipos eléctricos

Para un primer acercamiento a los equipos que utilizan electricidad, se realiza un recorrido por la planta con el fin de identificar los tipos de equipos eléctricos que existen en la empresa. Para un mejor ordenamiento de los datos, los equipos e instalaciones eléctricas se dividen en 3 sectores principales: iluminación de toda la planta, equipos del área administrativa y equipos y maquinaria del área industrial, es decir, los equipos necesarios para las labores de los procesos productivos de la empresa.

A continuación, se da una breve reseña del registro realizado de los equipos que se encuentran en cada sector, este registro es solo visual el cual no se realiza de manera detallada, es decir, no se registran las características técnicas y específicas de cada componente.

3.5.1. Iluminación

La empresa cuenta con un área administrativa que utiliza principalmente tubos led y tubos fluorescentes para su iluminación los cuales están encendidos la mayoría del día ya que el edificio no posee una buena luminaria natural.

La iluminación del área industrial cuenta con varios tipos de dispositivos. Uno de ellos, el principal utilizado en la bodega donde se almacena los sacos de cemento para ser comercializados, son ampolletas de ahorro de energía. Otros dispositivos de iluminación presente en el área industrial son focos led en su mayoría y una menor cantidad de focos halógenos. En cuanto a la iluminación del perímetro se utilizan postes con focos led distribuidos por toda la planta.

3.5.2. Equipos del área administrativa

Las instalaciones del área administrativa son 4 oficinas, 1 sala de ventas, 1 sala de reuniones, 2 baños de administrativos, 2 pequeñas bodegas, 1 casino y baños y camarines de operadores.

Aquí se pueden encontrar varios equipos de aire acondicionado, principalmente del tipo ventana, lo que están instalados en todas las salas donde se sitúa el personal a diario, a

excepción del casino y la oficina del taller que poseen equipos de aire acondicionado del tipo *Split*.

Además hay 5 administrativos con sus respectivos notebook, y otros equipos menores como por ejemplo un hervidor eléctrico, un refrigerador, una pantalla led, un proyector, un dispensador de agua, un microondas, entre otros.

3.5.3. Equipos del área industrial

En este sector se encuentran una serie de motores de diferente potencia donde el más grande tiene una potencia nominal de 20HP. Estos motores y bombas, se utilizan para mover la materia prima con la cual se elabora el producto. Existen motores más pequeños utilizados por ejemplo: en el movimiento vibratorio de las básculas donde se reúnen los áridos precisos para la posterior fabricación del hormigón.

Además de esto, la sala de control de las operaciones de ambas plantas de hormigón premezclado cuenta con 4 pantallas, dos de ellas para ver el programa de elaboración (uno por cada planta) y 2 para ver las imágenes de las cámaras instaladas en puntos estratégicos para controlar la operación de los camiones. También poseen una serie de controladores electrónicos necesarios para el funcionamiento del software utilizado en producción.

También, el laboratorio de muestras del producto cuenta con un horno eléctrico industrial que genera un gasto energético ya que permanece encendido gran parte el tiempo del turno. Este es utilizado para realizar pruebas a los productos elaborados.

Por otro lado, el sistema de aire comprimido cuenta con dos compresores de pistón, uno por cada planta, los que suministran el aire para diferentes procesos neumáticos.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Se presenta la evaluación del consumo energético de la planta, donde se reúnen y registran datos de los equipos que consumen electricidad. Además se registra también las horas de funcionamiento de estos equipos.

4. Evaluación del consumo energético

En este apartado se evalúan los consumos de energía eléctrica presentes en la empresa. Para esto es necesario realizar la medición y la toma de datos en terreno de todos los equipos que utilicen energía eléctrica y obtener de ellos las características técnicas, principalmente la potencia y las horas de funcionamiento.

Como se menciona en el capítulo anterior, para realizar las mediciones de manera más ordenada se plantean 3 diferentes áreas: iluminación, administrativa e industrial. En cada una de ellas se registra la cantidad de equipos que hacen uso de electricidad en una planilla Excel, para posteriormente analizar los datos y plantear las primeras propuestas de ahorro energético.

En base a las medición de las horas de uso de los equipos, se entrevista a los operarios encargados con el fin de especificar de la manera más exacta el horario (no existen registro del uso de los equipos), ya que se sabe que la producción depende de varios factores y es variable de un día a otro.

4.1. Iluminación

La primera actividad es registrar todos los equipos de iluminación de la planta, anotando el sector y la ubicación, el tipo de equipo, la cantidad y la potencia. En el Anexo 5 se presentan las horas de funcionamiento de la iluminación para cada área de la planta, ya que existen diferencias significativas entre una y otra. Esto con el fin de estimar la energía utilizada al año en iluminación.

Se puede observar en la Tabla 2 el registro general por área, donde se presenta la potencia en *Watts* de los equipos, el consumo anual y mensual promedio en kWh. En el Anexo 6 se puede ver el registro detallado de los equipos de cada sector.

Ahora, según los resultados observados en la Tabla 2, el área que presenta un mayor consumo es la bodega de cementos, esto debido que posee una cantidad de 40 ampollitas de ahorro energía de 105w cada una para abastecer la demanda lumínica de la bodega de almacenamiento. Esta bodega posee una dimensión de 25m de ancho por 45m de largo, por lo

que es requerida una gran cantidad de focos. El segundo consumo más alto es del perímetro industrial, el que cuenta con varios focos led de 150w y 100w, además estos focos se mantienen encendidos toda la noche y todos los días del mes, por lo que genera un mayor consumo.

Tabla 2. Registro del consumo de la luminaria por área

Área	Potencia en W	Consumo anual en kWh	Consumo promedio mensual (kWh)
Administrativa	2.642	7.609	634
Bodega cementos	5.176	14.907	1.242
Taller de mantención	1.768	5.092	424
Perímetro industrial	2.750	12.623	1.052
Industrial	3.066	11.258	938
Total		51.489	

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 3 se puede ver el número de equipos dependiendo del tipo de artefacto y la potencia total en watts que poseen los mismos.

Tabla 3. Cantidad y potencia total de los equipos de iluminación

Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia total (W)
Led	67	6.084
Tubo fluorescente	35	2.016
Ampolleta ahorro energía	48	4.302
Foco halógeno	11	3.000
Total	161	15.402

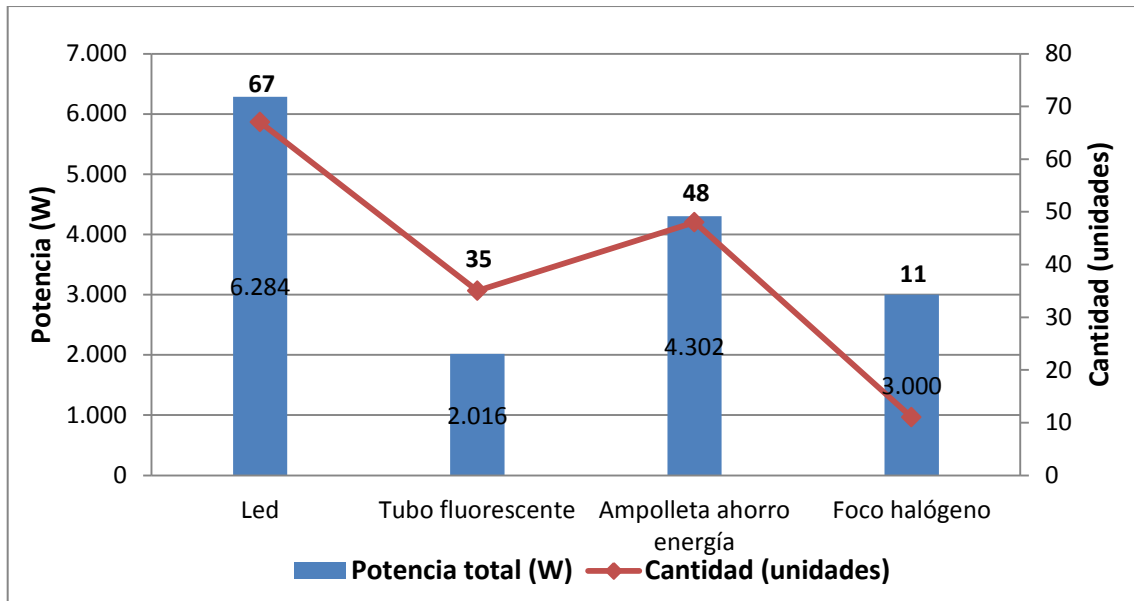
Fuente: elaboración propia

Mientras que en el Gráfico 6 se puede apreciar de forma gráfica la información anterior. En este gráfico están incluidos los equipos de todas las áreas de la planta: administrativa, industrial, centros de apoyo, etc. También se observa que la mayor cantidad de dispositivos son focos y luminaria led con una cantidad cercana a las 70 unidades, los que presentan a su vez la mayor potencia rondando los 6.000w.

En segundo lugar se encuentran las ampolletas de ahorro de energía con cerca de 50 unidades y una potencia de más de 4.000w, esto es debido que existe una gran cantidad de ellas (40 ampolletas de 105w cada una) utilizadas para iluminar la bodega de cementos. Los

focos halógenos presentan un consumo elevado en relación a consumo-cantidad, ya que al comparar con los tubos fluorescentes, los primeros tienen un consumo mayor de aproximadamente 1.000w con una cantidad de equipos que difieren en aproximadamente 25 unidades menos.

Gráfico 6. Cantidad y potencia total por tipo de equipos lumínicos de la planta



Fuente: elaboración propia

4.2. Equipos administrativos

Al igual que en el punto anterior, es necesario el registro de todos los equipos eléctricos de las áreas administrativas de la planta. En este registro se apunta el sector y ubicación, el tipo de equipo, la cantidad y la potencia. En el Anexo 7 se presentan las horas de funcionamiento de cada equipo, cabe mencionar que estos datos fueron evaluados y apoyados por trabajadores de la empresa. Los datos de las horas de funcionamiento de los equipos se utilizan para hacer una estimación del consumo energético de la planta.

En la Tabla 4 se pueden ver todos los equipos que existen en la empresa y que utilizan electricidad para su funcionamiento, en el Anexo 8 se puede ver el registro en detalle de todos los equipos. La mayor cantidad de equipos son los equipos de aire acondicionado y artículos electrónicos de escritorio.

Tabla 4. Cantidad y potencia total de equipos eléctricos del área administrativa

Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia total (kW)
Aire acondicionado	10	10,4
PC/notebook/pantallas LCD	14	1,4
Dispensador de agua	4	4,8
Microondas	2	2,5
Horno eléctrico	2	3,5
Hervidor eléctrico	3	6,2
Impresoras	4	2,1
Televisor/radio	3	0,5
Proyector	1	0,3
Cafetera	1	0,8
Calefactor	2	1,6
Refrigerador	2	2,4

Fuente: elaboración propia

Luego, en la Tabla 5 se puede apreciar que el mayor consumo es de los equipos de aire acondicionado (AC) debido a que permanecen encendidos una gran parte del día para climatizar el área de trabajo.

Tabla 5. Registro del consumo de electricidad según tipo de equipo del área administrativa

Tipo equipo	Consumo anual en kWh	Consumo mensual promedio kWh
Aire acondicionado	19.904	1.659
PC/ notebook/ pantallas LCD	3.021	252
Dispensador de agua	1.382	115
Microondas	714	60
Horno eléctrico	720	60
Hervidor eléctrico	605	50
Impresoras	1.901	158
Televisor/radio	593	49
Proyector	76	6
Cafetera	230	19
Calefactor	1.382	115
Refrigerador	1.012	84
Total	31.542	2.628

Fuente: elaboración propia

Otro consumo alto son los equipos como computadoras y notebook los cuales, teniendo un consumo bajo, permanecen todo el turno de trabajo encendidos. El tercer consumo más alto son las impresoras, la planta cuenta con una impresora grande la cual abastece la demanda de copiado de toda el área administrativa, las otras impresoras poseen un consumo menor pero se utilizan regularmente para imprimir facturas y documentos que son entregados a los choferes de los camiones *mixer* en cada carga del vehículo.

4.3. Equipos industriales

Primero se realiza el mismo procedimiento de los puntos anteriores, registrando todos los motores, bombas, compresores y otros equipos del área industrial de la planta los cuales son utilizados en el proceso de elaboración de los hormigones. Este registro apunta a obtener la información técnica de estos componentes para conocer principalmente su consumo, además se registra la ubicación y las horas de funcionamiento que poseen.

En el Anexo 9 se presentan las horas de funcionamiento de cada equipo, cabe mencionar que estos datos fueron evaluados y apoyados por trabajadores de la empresa, ya que no existe un registro que contabilice el consumo. Las horas de funcionamiento de los equipos son requeridas para realizar una estimación de su uso mensual y anual. En el Anexo 10 se puede observar el registro en detalle de los equipos.

En la Tabla 6 se pueden apreciar todos los equipos industriales que consumen energía eléctrica. Se puede ver también que la mayor cantidad de equipos que existe en la planta son motores, los cuales mueven las cintas transportadoras y los productos requeridos para la elaboración del hormigón. También existen una gran cantidad de bombas las cuales se encargan de distribuir el agua y los aditivos al área requerida.

Tabla 6. Cantidad y potencia total de equipos eléctricos del área industrial

Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia total (kW)
Horno eléctrico industrial	1	2,5
Motores	15	67,2
Bombas	11	30,5
Compresores	2	22,7

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 7 se observa el consumo promedio mensual y el consumo anual de los equipos industriales. La maquinaria que tienen un mayor gasto energético son los motores los cuales están funcionando aproximadamente un 70% de la duración del turno (11,5 horas regularmente) para la planta 1, mientras que para la planta 2 tienen un menor tiempo de funcionamiento el cual equivale a un 35% de la duración del turno. El segundo mayor consumo son las bombas, las cuales al igual que los motores funcionan gran parte del tiempo del turno de trabajo.

Tabla 7. Registro del consumo de electricidad según tipo de equipo del área industrial

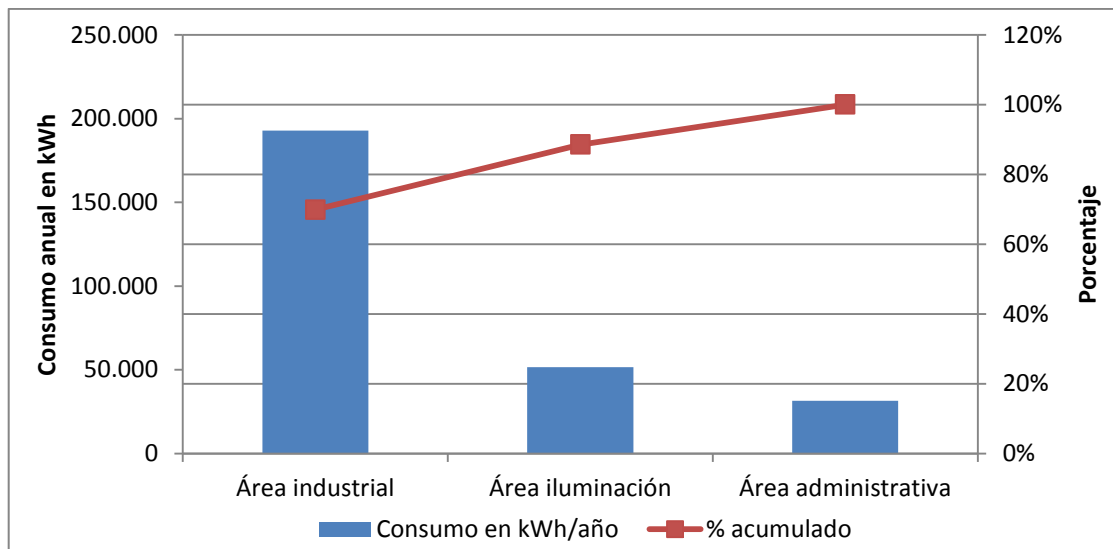
Tipo equipo	Consumo anual en kWh	Consumo promedio mensual en kWh
Horno eléctrico industrial	2.100	175
Motores eléctricos	95.582	7.965
Bombas	62.600	5.217
Compresores de aire	32.515	2.710
Total	192.797	16.066

Fuente: elaboración propia

4.4. Análisis del consumo energético

Una vez terminado la evaluación del consumo energético que posee la empresa Pétreos S.A. los resultados obtenidos se resumen en el Gráfico 7. En el Anexo 11 se puede ver el detalle.

Gráfico 7. Consumo de energía eléctrica en la planta según área



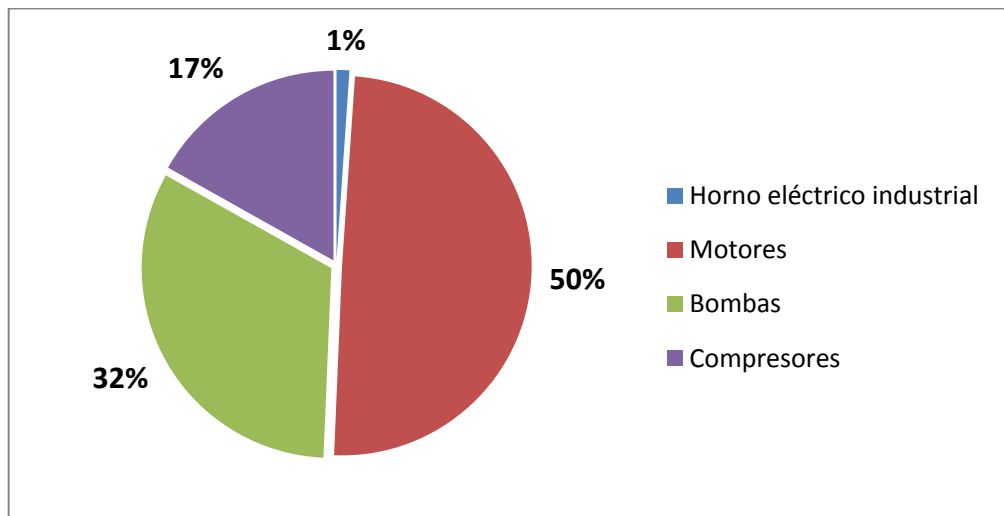
Fuente: elaboración propia

El mayor gasto eléctrico de la empresa es del área industrial el cual abarca el 70% del total de energía consumida. Esto ocurre ya que los equipos con mayor consumo se concentran en el sector industrial, en el cual se desarrollan todos los procesos productivos.

En relación al Gráfico 7, también se puede apreciar que el consumo industrial más el consumo en iluminación alcanza el 89% del consumo total, y que sólo un 11% es destinado a los consumos del área administrativa. Por otro lado, el área de iluminación de la planta alcanza el segundo lugar con un 19% del consumo total. Es evidente que este consumo es mucho menor al anterior, pero aun así tiene una gran relevancia en el gasto total de la compañía.

El Gráfico 8, por su parte, representa el porcentaje de consumo según tipo de equipo y maquinaria del sector industrial donde se puede observar que el mayor consumo es producido por los motores, seguido en segundo lugar por las bombas, donde la suma de ambos alcanza un 82% del consumo del sector industrial. Esto debido a que esta maquinaria es mayormente utilizada en los procesos y además hay un mayor número de equipos, por lo que el gasto es mayor.

Gráfico 8. Consumo eléctrico del área industrial según equipos

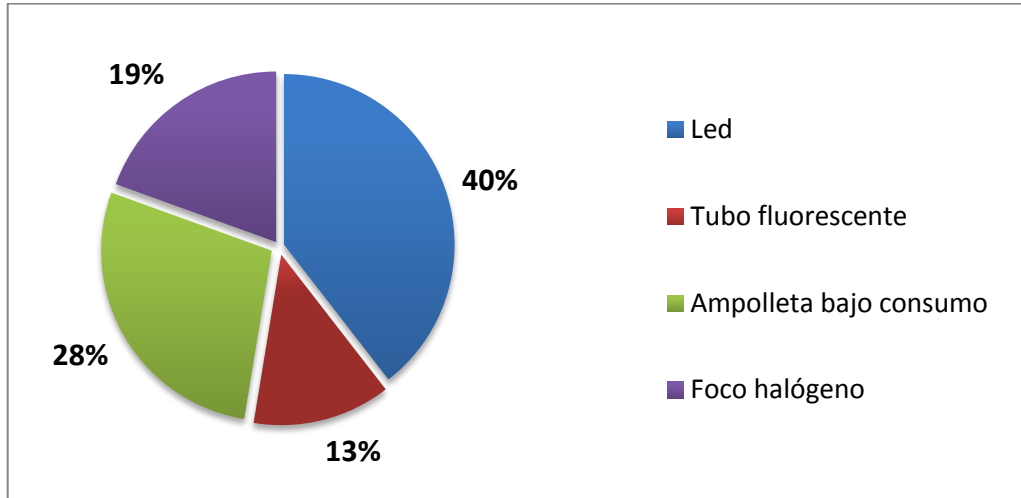


Fuente: elaboración propia

En el Gráfico 9 se puede ver el porcentaje de consumo de los diferentes equipos lumínicos de la planta. Este gráfico es presentado con el fin de evidenciar qué tipos de equipos son los que más se utilizan. Los equipos led son los equipos que tienen un mayor consumo de un 40% y

están presentes en una mayor cantidad en la planta, en segundo lugar se encuentran las ampolletas de bajo consumo y en el tercer puesto están los focos halógenos.

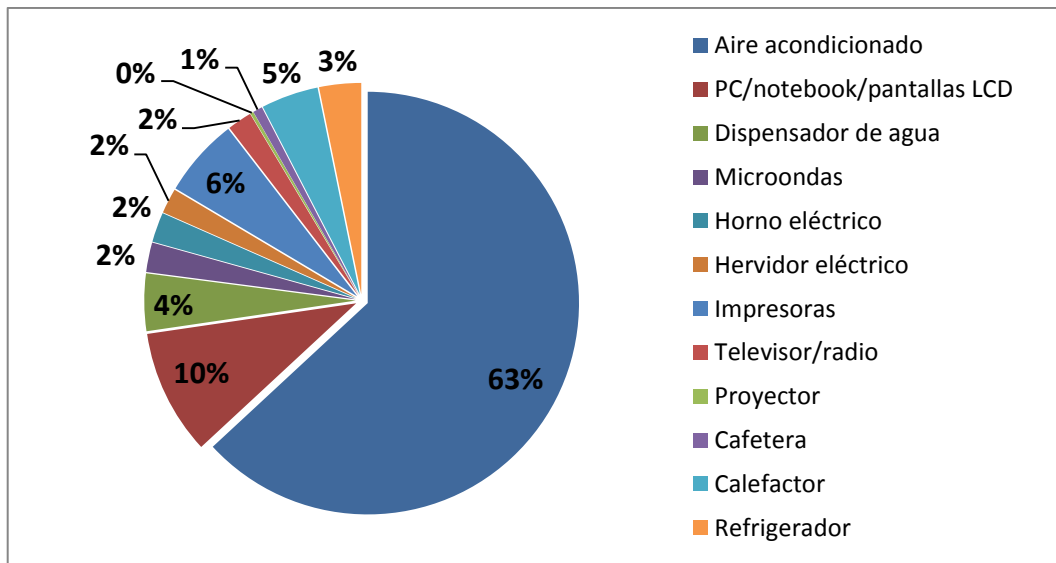
Gráfico 9. Consumo eléctrico del área de iluminación según equipos



Fuente: elaboración propia

En el Gráfico 10 se aprecia una gran dispersión debido a una gran cantidad de equipos diferentes en esta zona, pero es evidente que el mayor consumidor en esta área son los equipos de aire acondicionado con un 63% del consumo total del sector.

Gráfico 10. Consumo eléctrico del área administrativa según equipos



Fuente: elaboración propia

Finalmente, las áreas donde se puede realizar alguna mejora sería el área industrial, ya que es esta zona donde existe el mayor consumo. Aquí se podría intervenir con alguna alternativa de mejora en los motores, equipos que presentan el mayor gasto energético de la planta. Además, en el mismo sector industrial se aprecia un gran consumo por parte de las bombas, las cuales están encargadas de satisfacer la demanda de agua del proceso productivo. En un tercer lugar se encuentran los compresores, que si bien es un menor consumo debido al número de equipos (sólo 2) es importante mencionar que alguna medida de eficiencia al sistema de aire comprimido vería reflejado un ahorro energético importante.

Otro punto importante es la iluminación de la planta, sin embargo se puede apreciar después de la evaluación del consumo que la empresa cuenta en su mayoría con equipos de iluminación de bajo consumo, salvo los focos halógenos que se presentan en una cantidad menor, por lo tanto el impacto ocasionado si se propone un cambio de equipos de iluminación no sería muy significativo, sin embargo se tendría que evaluar para conocer su impacto real.

Para terminar, después de realizar la evaluación del consumo y el posterior análisis, se puede concluir que sería una buena alternativa la evaluación de la implementación de paneles fotovoltaicos para abastecer un porcentaje de la demanda energética, ya sea del área administrativa y/o del área de iluminación de la planta las cuales alcanzan un 30% del consumo total.

4.5. Variación del costo de la energía

En base al registro histórico de la compañía CGE Distribución se obtuvieron los precios de la energía por kWh en el sector tarifario correspondiente a la ciudad de Curicó y a la tarifa de la empresa (AT4.3) desde el año 2016 hasta la actualidad. En la Tabla 8 se puede apreciar el valor promedio anual de la electricidad, en el caso del año 2018 para los meses restantes (es decir desde junio a diciembre,) se hizo un pronóstico basado en la tendencia de los precios del año 2017 con el fin de obtener valores acordes para una correcta estimación. Luego, para el pronóstico del año 2019 se realiza mediante promedio ponderado (30% para el año 2016, 30% para el año 2017 y 40% para el año 2018).

Tabla 8. Estimación de precios de la energía eléctrica en \$/kWh en el sector tarifario de Curicó

Año	Precio	Pronóstico	Diferencia	Tendencia (%)
2016	\$83,87			
2017	\$84,35		0,480	0,57
2018	\$80,97		-3,378	-4,00
2019		\$82,85	1,883	2,33
Promedio			-0,34	-0,37

Fuente: elaboración propia en base a datos de CGE Distribución

CAPÍTULO 5: ALTERNATIVAS DE MEJORA

En este capítulo se estudian y se proponen las alternativas de ahorro energético en base a los datos e información obtenidos en el capítulo 4 y consultando diversas fuentes. Además se realiza la propuesta técnica de las propuestas de solución.

5. Alternativas de mejora

A continuación se realiza la definición de las alternativas de mejoras para reducir el consumo eléctrico de la empresa. Estas alternativas son seleccionadas en base a revisión de documentos, *paper*, memorias, entre otros, además con la ayuda del perfil y evaluación del consumo de energía eléctrica realizado en el análisis del punto 4.4 de presente documento. Por lo tanto, una vez definidas las mejores propuestas que ayuden a resolver la problemática planteada, se realiza la propuesta técnica.

5.1. Análisis de literatura

En base al análisis de consumo energético (punto 4.4), el área de mayor demanda energética es la industrial, por lo tanto las alternativas de mejora que puedan ser propuestas en este sector conllevarán a un gran ahorro energético en la planta.

Primero, se sabe que el 50% de la energía eléctrica consumida por el sector industrial de la planta, es decir, de todos los equipos eléctricos necesarios para llevar a cabo los procesos industriales de la elaboración del hormigón, es utilizada por los motores eléctricos seguido con un 32% del consumo por las bombas de transporte de fluidos, por lo tanto (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010) propone algunas alternativas de eficiencia energética en el sector industrial como el recambio de motores eléctricos convencionales por motores eléctricos de alta eficiencia, la incorporación de variadores de frecuencia en motores y/o bombas, y el uso de dispositivos y equipos eléctricos eficientes, tales como: compresores de aire de tornillo.

Una primera alternativa que generaría un ahorro energético es el cambio de los motores convencionales por motores de alta eficiencia. Donde (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010) declara que el ahorro energético de la implementación de esta medida en la industria tendría un ahorro de 1% a 3% de energía, donde el periodo de retorno de la inversión sería en aproximadamente 4 años. Por otro lado, (Quispe & Mantilla, 2004) señala que la aplicabilidad favorable de éstos motores pueden sustentarse en las siguientes situaciones:

- Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.
- En reemplazo de motores sobredimensionados.
- Como parte de un Plan de Eficiencia Energética.
- Cuando se aplican junto a variadores de frecuencia para accionar ventiladores y bombas, pueden generar hasta un 50% de ahorro de energía.

Por otro lado, (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010) propone el recambio de compresores de aire de pistón por compresores de aire de tornillo, donde al combinar la instalación de éste último con un variador de frecuencia se generaría un ahorro entre 20% a 40% de energía, donde la recuperación del capital invertido sería de aproximadamente 4 años.

Por consiguiente, la incorporación de variadores de frecuencia en motores, bombas y/o compresores parece una alternativa efectiva. Según (ABB Group, 2018) estos equipos “ajustan la velocidad de los motores eléctricos para igualarla a la demanda de la aplicación, lo que reduce el consumo energético de los motores entre un 20% y un 70%”. En el caso del periodo de retorno de la inversión un artículo publicado en la Revista ElectroIndustria en 2008, señala que el retorno de la inversión asociada a la implementación de un variador de frecuencia en un bomba centrífuga puede ser entre uno y dos años (Quiñones, 2008).

En cuanto al ahorro que se puede generar con respecto a compensar el consumo de energía reactiva, y así evitar multas por un factor de potencia bajo, donde el punto 2.1.2 del informe presenta que la opción para eliminar estas sanciones económicas, y evitar sobrecargar los transformadores, tableros y líneas de distribución, es la incorporación de un banco de condensadores o condensadores de potencia.

También es importante mencionar que el sector administrativo y la iluminación de la planta pueden incurrir en un ahorro de energía eléctrica que pueden disminuir aún más los gastos en electricidad. Por tanto, al realizar un pequeño análisis sobre los equipos de iluminación de la empresa en base a los datos obtenidos en la evaluación anterior, se tiene que la mayoría de los equipos lumínicos son de bajo consumo (led y ampollitas de ahorro energético) y en una menor cantidad se encuentran los dispositivos fluorescentes y halógenos.

La opción que se tiene para generar un ahorro de energía en este caso es el recambio de los equipos con un alto consumo, donde (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010) señala en su Estudio de EE en Chile que por medio del cambio de tubos fluorescente T10 por T8 o T5 y el reemplazo de *ballast* magnéticos por *ballast* electrónicos se puede alcanzar un ahorro de un 15%. Por otro lado también detalla que se puede obtener entre un 25% a 30% de ahorro con la actualización de los equipos halógenos o de sodio de alta presión por focos led, cuyo retorno de la inversión se generaría entre 2,5 años a 3 años.

Según la evaluación del consumo energético de la planta, el sector administrativo utiliza el 11% del consumo total de energía eléctrica, donde el mayor consumo de este sector es debido a la utilización del aire acondicionado, por lo que se pretende abarcar la demanda de este sector con la implementación del sistema FV. Ahora, (Espinoza, 2017) señala que Chile ha tenido un gran incremento en el uso de energía solar, donde el 7% de la electricidad del país se genera en base a este recurso. En la región hay varias empresas del sector público y privado, además de particulares, que han optado por la utilización de la energía solar. Un ejemplo que se presenta en la zona es la Viña Miguel Torres, ubicada a 10 kilómetros de distancia de la planta de hormigones, la cual en octubre de 2014 puso en funcionamiento un sistema de poligeneración solar para la producción del vino (para más información visite el siguiente [link](#)).

En resumen, las alternativas presentadas a evaluación son las siguientes:

1. Cambio de motores eléctricos convencionales por motores eléctricos de alta eficiencia.
2. Cambio de compresor de aire tipo pistón por compresor de aire tipo tornillo.
3. Incorporación de VDF a motores eléctricos.
4. Incorporación de un banco de condensadores al sistema eléctrico.
5. Generación eléctrica mediante paneles FV.
6. Cambio de equipos de iluminación poco eficientes por equipos de alta eficiencia.

5.2. Selección de alternativas

Finalmente, en base a la información recopilada y los intereses presentados en favor de algunas alternativas por el jefe de operaciones de la empresa, se realiza un análisis multicriterio para seleccionar cuáles son las mejores propuestas para su posterior desarrollo. En esta evaluación se plantean 3 criterios los que son analizados y evaluados en un rango de importancia de 1 a 10 (donde 1 corresponde a menor importancia y 10 una mayor importancia).

Los criterios utilizados para la evaluación son los siguientes:

- **Ahorro energético (%):** cantidad porcentual estimada del ahorro que dicha alternativa generaría al ser implementada.
- **Periodo de retorno de la inversión (años):** cantidad de años estimada que tardaría la propuesta en retornar su inversión de implementación.
- **Interés de la empresa:** importancia que el jefe de operaciones y otros colaboradores de la empresa tienen de cada alternativa de mejora; evaluado en escala de 1 a 10, de menor a mayor importancia respectivamente.

En la Tabla 9 se observa el resultado de la ponderación de las alternativas de mejora.

Tabla 9. Matriz de ponderación de los criterios

	Ahorro energético (%)	Payback estimado (años)	Interés empresa (de 1 a 10)	Total	Ponderación
Ahorro energético (%)		10	7	17	35,4%
Payback estimado (años)	8		6	14	29,2%
Interés empresa (de 1 a10)	9	8		17	35,4%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Tabla 10. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora

	Motores de alta eficiencia	Compresor de aire de tornillo	Variador de frecuencia	Banco de condensadores	Sistema fotovoltaico	Luminaria eficiente
Ahorro energético (%)	3%	25%	20%	5%	10%	25%
Payback estimado (años)	4 años	4 años	4 años	1 año	9 años	3 años
Interés empresa (de 1 a 10)	2	10	2	10	10	2

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.), (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010), (Polpaico, 2018), (ABB Group, 2018).

Luego, en la Tabla 10 se indican las características de las alternativas de mejora, las cuales son evaluadas posteriormente.

Una vez obtenidas las ponderaciones de los criterios y las características de las alternativas, se pasa a normalizar los datos por medio de las Ecuación 1 y Ecuación 2. Para ejemplificar el cálculo de estos datos se tiene la Ecuación 3 donde se realiza un ejemplo para obtener el valor del puntaje del criterio de ahorro energético para la alternativa del recambio de motores eléctricos convencionales por motores eléctricos de alta eficiencia.

Ecuación 1. Puntaje de criterio para el periodo de retorno o *payback* estimado

$$\text{Puntaje del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j = \frac{\min\{\text{valor del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j; \forall j\}}{\text{valor del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j} * 10$$

Fuente: (Mateo, s.f.)

Ecuación 2. Puntaje de criterio para criterios de ahorro energético e interés de la empresa

$$\text{Puntaje del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j = \frac{\text{valor del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j}{\max\{\text{valor del criterio}_i \text{ para la alternativa}_j; \forall j\}} * 10$$

Fuente: (Mateo, s.f.)

Ecuación 3. Puntaje de criterio de ahorro energético para alternativa de motores de alta eficiencia

$$\text{Puntaje del ahorro enegético para alternativa 1} = \frac{3\%}{25\%} * 10 = 1,2$$

Fuente: (Mateo, s.f.)

Por último, teniendo los puntajes calculados se multiplican por la ponderación correspondiente según el criterio de evaluación y se obtiene la puntuación final de cada alternativa, representada en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**

Tabla 11. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora

	Motores de alta eficiencia	Compresor de aire de tornillo	Variador de frecuencia	Banco de condensadores	Sistema fotovoltaico	Luminaria eficiente	Ponderación
Ahorro energético (%)	1,2	10,0	8,0	2,0	4,0	10,0	35,4%
Payback estimado (años)	2,5	2,5	2,5	10,0	1,1	3,3	29,2%
Interés empresa (de 1 a 10)	2,0	10,0	2,0	10,0	10,0	2,0	35,4%
Total	1,9	7,8	4,3	7,2	5,3	5,2	100,0%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Finalmente, en base al análisis multicriterio para la evaluación y obtención de las mejores propuestas se escogen tres alternativas, las cuales obtiene el mayor puntaje ponderado de la matriz de la Tabla 11, donde las alternativas a desarrollar en el proyecto de disminución del consumo eléctrico son las siguientes:

- La **incorporación de condensadores de potencia al sistema eléctrico** de la planta, cuya alternativa está en desarrollando en la empresa, ya que se contrató a un ingeniero eléctrico quien será el encargado de desarrollar e implementar dicha solución.
- La **implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos** para abastecer parte de la demanda energética, ya que además del ahorro energético que presenta esta alternativa, existe un gran impacto en la mejora de la imagen de la empresa, entre otras ventajas.
- **Cambio de compresores de aire de pistón por un compresor de aire de tornillo.** Además del mayor ahorro energético que poseen los compresores de tornillo en comparación con los de pistón, también viene a solucionar una falla recurrente del sistema de aire comprimido donde las tuberías que transportan el aire se llenan con

agua de condensación, lo que impide un funcionamiento óptimo y retarda el proceso productivo.

La implementación de variadores de frecuencia a los motores eléctricos y bombas de transporte de fluidos, no se evaluará debido que el personal de la empresa lo considera un poco superfluo al no poseer equipos de gran demanda energética, como lo son motores eléctricos industriales de más de 50HP. Además, el recambio de motores eléctricos convencionales por motores eléctricos de alta eficiencia no se evaluará debido al pequeño impacto que tiene en el ahorro energético, sin embargo se hará las pertinentes recomendaciones a la empresa que cuando tengan contemplado el recambio de los motores eléctricos, ya sea por falla o renovación, puedan optar por éstos equipos de alta eficiencia debido a sus ventajas. En cuanto al recambio de los equipos de iluminación de mayor gasto, sólo se hará la recomendación y se recalcará que existe un porcentaje importante de ahorro, para el futuro cambio por equipos de bajo consumo porque existe una menor cantidad de equipos de iluminación poco eficientes.

5.3. Incorporación de condensadores de potencia al sistema eléctrico de la empresa

La alternativa de la instalación de condensadores de potencia permite al cliente disminuir el cobro en la factura eléctrica ya que estos equipos mantienen el nivel de consumo de la energía reactiva debajo del valor penalizado, tal como se explica en el capítulo 2.1.2. Este valor de penalización se factura en base al criterio del factor de potencia, donde la empresa distribuidora de la electricidad, en este caso CGE, tiene la autorización de cobrar un recargo adicional de un 1% del valor facturado por cada centésima inferior del valor del factor de potencia igual a 0,93.

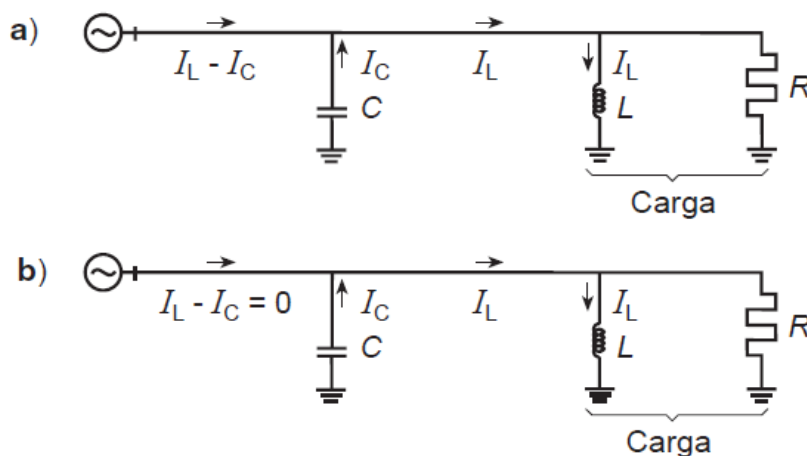
Además de eliminar las multas por un factor de potencia bajo, tiene otras ventajas como la disminución de las demandas de potencia. También al utilizar condensadores, éstos reducen o eliminan las caídas de tensión que pueden ser provocadas en el sistema eléctrico central.

Ahora, según (Scheiner Electric, 2008) define que si se añaden un banco de condensadores a un sistema de alimentación eléctrica,

“su corriente reactiva (capacitiva) recorrerá la misma trayectoria a través del sistema de alimentación que la de la corriente reactiva de carga. Como esta corriente capacitiva I_C (que desfasa la tensión 90 grados) está en oposición de fase directa a la corriente reactiva de carga (I_L), los dos componentes que fluyen a través de la misma trayectoria se anularán mutuamente, de tal forma que si la batería de condensadores es suficientemente grande e $I_C = I_L$, no habrá flujo de corriente reactiva en el sistema aguas arriba de los condensadores”.

Expresado lo anterior en palabras más simples, si se incorpora un banco de condensadores al sistema eléctrico el cual tenga una corriente reactiva igual o mayor a la que el sistema necesita, se anulará la demanda de energía reactiva aguas arriba de la instalación, por lo tanto el factor de potencia se mejora y se eliminan las multas.

Ilustración 16. Diagrama representativo de la corrección del factor de potencia



Fuente: (Scheiner Electric, 2008)

Lo anterior se puede observar de manera gráfica en la Ilustración 16. Donde R representa los elementos de la potencia activa de la carga, L los elementos de potencia reactiva inductiva de la carga y C los elementos de potencia reactiva capacitiva del equipo de corrección del factor de potencia, es decir, condensadores. (Scheiner Electric, 2008)

Además, en la Ilustración 16 el diagrama **a)** muestra que existe una corriente reactiva suministrada por el sistema representada por la diferencia entre I_L e I_C , mientras que el en diagrama **b)** donde $I_C=I_L$, los condensadores suministran toda la corriente reactiva al sistema.

5.3.1. Instalación de condensadores

Existen 3 formas de instalación de los condensadores, los que según (Scheiner Electric, 2008) son: compensación global, por grupos o individual. A continuación se describen de forma breve y se exponen las principales ventajas.

a) Compensación global

El banco de condensadores se conecta al tablero general de distribución y permanece activo durante el periodo de carga normal. Este método de conexión tiene la ventaja de eliminar las multas por exceso en el consumo de energía reactiva y ajusta la potencia aparente a la necesidad real de la instalación.

b) Compensación por grupos

El o los bancos de condensadores se conectan a cada tablero local de distribución. Las ventajas sobre esta conexión son las siguientes: elimina multas por exceso de consumo de energía reactiva, reduce la sección de cables y se optimiza parte de la instalación ya que se transporta entre más de un nivel.

c) Compensación individual

En este método se conectan los condensadores de forma directa a los motores u otros equipos. Esto es recomendable cuando la potencia de un motor es significativa respecto a la potencia total del conjunto de equipos de la instalación. Una de las ventajas también es eliminar multas por exceso de consumo de energía reactiva, además optimiza la instalación eléctrica al abastecer de forma puntual al lugar de consumo.

5.3.2. Métodos de cálculo de la capacidad de los condensadores

Ahora, para conocer el nivel óptimo de compensación de energía reactiva de los condensadores (kVAr), en base a la información que presenta (Scheiner Electric, 2008) se utilizan dos de los tres métodos expuestos en dicho informe para realizar los cálculos, el primero basado en el método simplificado que hace uso de la tabla adjunta en el Anexo 12 y el segundo basado en la reducción de las penalizaciones en las facturas eléctricas. Los métodos para el cálculo de la capacidad del banco de condensadores de potencia es realizado para obtener el valor tanto de la compensación global del sistema eléctrico (método 1 y 2) como también la compensación individual del motor de 20HP (método 3), la cual se realiza de esta manera debido a que su potencia sobrepasa en gran medida la potencia de los demás motores eléctricos de la planta.

1) Método simplificado

Este método utiliza el valor del factor de potencia actual y el valor que se desea llegar para establecer una rápida elección de la capacidad del condensador que se requiere. La fórmula utilizada se presenta en la Ecuación 4.

Ecuación 4. Fórmula para obtener el valor de kVAr del banco de condensadores (método 1)

$$Q (kVAr) = F(f(\cos \emptyset)) * P(kW)$$

Fuente: (Scheiner Electric, 2008)

Dónde:

- Q = capacidad requerida del banco de condensadores expresado en kVAr.
- F = valor obtenido en tabla del Anexo 12 en función del factor de potencia actual e ideal expresado en kVAr/kW.
- P = demanda de potencia activa de la planta.

Luego, el valor del FP actual es de 0,88 y se quiere llevar a un factor con una corriente ideal el cual corresponde a 0,985, por lo tanto según la tabla del Anexo 12 el valor F es igual a 0,395. Además se conoce el valor de P (se obtiene de la factura eléctrica del Anexo 13) el cual asciende a 62,68kW, por lo tanto con estos datos calculamos como sigue:

Ecuación 5. Cálculo de kVAr del banco de condensadores (método simplificado)

$$Q = 0,395 \frac{kVAr}{kW} * 62,68kW$$

$$Q = 24,76kVAr$$

Fuente: elaboración propia en base a (Scheiner Electric, 2008)

2) Método basado en reducción de penalizaciones en facturas eléctricas

Este método permite realizar un cálculo para conocer la capacidad que debe tener el banco de condensadores en base a las especificaciones de facturación de la tarifa eléctrica que tiene contratada la empresa, principalmente en base al consumo de kVArh de la planta.

El procedimiento de este sistema según (Scheiner Electric, 2008) es el siguiente:

1. Consultar las facturas eléctricas de varios meses para conocer cuál es el mayor consumo.
2. Identificar puntos que hagan referencia a la energía reactiva consumida y los kVArh.
3. Escoger la factura con mayor consumo de kVArh.
4. Conocer la cantidad total mensual de horas de funcionamiento de la planta.
5. Por lo tanto, con los datos anteriores se aplica la Ecuación 6.

Ecuación 6. Fórmula para obtener el valor de kVAr del banco de condensadores (método reducción de penalizaciones)

$$Q (kVAr) = \frac{kVArh \text{ facturados}}{n^{\circ} \text{ horas de funcionamiento}}$$

Fuente: (Scheiner Electric, 2008)

El número de horas de funcionamiento del sistema es de 12 horas diarias por 24 días al mes. Mientras que la energía reactiva facturada del mes con mayor consumo, en base a la factura eléctrica del mes de marzo de 2018 presentada en el Anexo 13 es de 7.000kVArh. En seguida se aplica la ecuación anterior.

Ecuación 7. Cálculo de kVAr del banco de condensadores (método 2)

$$Q (kVAr) = \frac{7.000 \text{ kVAr}h}{12 \text{ horas/día} * 24 \text{ días}}$$

$$Q (kVAr) = 24,31 \text{ kVAr}$$

Fuente: elaboración propia en base a (Scheiner Electric, 2008)

5.3.3. Método de compensación de motores eléctricos

Para obtener la capacidad del condensador necesaria para compensar el consumo de energía reactiva del motor eléctrico se debe en primer lugar tener las características de este equipo el cual según datos obtenidos por la empresa el motor tiene una potencia nominal de 20HP (15kW) y 1500rpm, por lo tanto con estos datos se obtiene desde la Ilustración 17 que la capacidad recomendada del condensador de potencia sea de 6kVAr.

Ilustración 17. Potencia recomendada del condensador según características del motor eléctrico

kW	CV	Vacío/P.carga Cond.		Vacío/P.carga Cond.		Vacío/P.carga Cond.		Vacío/P.carga Cond.	
		kvar	kvar	kvar	kvar	kvar	kvar	kvar	kvar
		3000 r.p.m.		1500 r.p.m.		1000 r.p.m.		750 r.p.m.	
1,1	1,5	0,7/0,9	0,6	0,7/1,0	0,6	0,9/1,2	0,8	1,0/1,3	0,9
1,5	2	0,8/1,0	0,7	1,0/1,2	0,9	1,1/1,4	1,0	1,2/1,6	1,0
2,2	3	1,1/1,4	1,0	1,2/1,5	1,0	1,4/1,8	1,3	1,7/2,2	1,5
3	4	1,5/1,8	1,3	1,6/2,0	1,5	1,8/2,4	1,6	2,3/3,0	2,0
4	5,5	1,8/2,6	1,6	2,0/2,6	1,8	2,2/2,9	2,0	2,7/3,5	2,4
5,5	7,5	2,2/2,9	2,0	2,4/3,3	2,2	2,7/3,6	2,4	3,2/4,3	2,9
7,5	10	3,4/4,4	3,0	3,6/4,8	3,2	4,1/5,4	3,7	4,6/6,1	4,1
11	15	5,0/6,5	4,5	5,5/7,2	5,0	6,0/8,0	5,0	7,0/9,0	6,0
15	20	6,5/8,5	6,0	7,0/9,5	6,0	8,0/10	7,0	9,0/12	8,0
18,5	25	8,0/11	7,0	9,0/12	8,0	10/13	9,0	11/15	10
22	30	10/12,5	9,0	11/13,5	10	12/15	10	13/16	12,5
30	40	14/18	12,5	15/20	12,5	17/22	15	20/25	20
37	50	18/24	15	20/27	20	22/30	20	26/34	25
45	60	19/28	15	21/31	20	24/34	22	28/38	25
55	75	22/34	20	25/37	20	28/41	25	32/46	30
75	100	28/45	25	32/49	30	37/54	30	41/60	40
90	125	34/54	30	39/59	35	44/65	40	48/72	45
110	150	40/64	35	46/70	40	52/76	50	58/85	50
132	180	45/72	40	53/80	50	60/87	50	67/97	60
160	220	54/86	50	64/96	60	72/103	70	81/116	70
200	270	66/103	60	77/115	70	87/125	80	97/140	80
250	340	75/115	70	85/115	75	95/137	90	105/150	100

Fuente: elaboración propia

5.3.4. Cotización con contratista

La implementación de esta medida ya fue cotizada por la empresa, donde se contactó a un ingeniero eléctrico contratista de la empresa BrainEngineer el cual entregó el presupuesto

siguiente: “en relación a la factura eléctrica del mes de marzo de 2018 (ver Anexo 13) se observa que el $\cos \emptyset$ es de 0,88. Por lo tanto, por medio de la instalación de un banco de condensadores se pretende llegar a una corriente ideal donde el $\cos \emptyset$ sea de 0,985” (Vittini, 2018).

El trabajo a realizar según (Vittini, 2018) es el siguiente:

- Suministro e instalación de Condensadores de Capacidad requerida para mantener un $\cos \emptyset$ aproximado a 0.985.
- Los bancos irían al tablero general y al motor de 20HP.
- Suministro e instalación de automáticos trifásicos de capacidad requerida.
- Suministro e instalación de automático monofásicos de capacidad requerida.
- Suministro e instalación de contactores con insertos resistivos de capacidad requerida.

El valor del trabajo es de \$590.000+IVA (\$702.100), donde la garantía de los equipos y de un buen factor de potencia es de dos años. Mientras que el tiempo de retorno de inversión corresponde de 4 a 5 meses (Vittini, 2018).

Por lo tanto, al no contener el listado de los componentes ni los precios se buscan en diferentes fuentes presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Listado de precio de los componentes del alternativa del banco de condensadores

Componentes del banco de condensadores	Cantidad (unidad)	Valor unitario de Adquisición (\$/unidad)	Valor Adquisición (\$)
Condensador trifásico 20kVA	1	\$139.944	\$139.944
Condensador trifásico 5kVA	1	\$67.973	\$67.973
Condensador trifásico 7,5kVA	1	\$79.009	\$79.009
Materiales eléctricos	1	\$295.760	\$295.760
Mano de obra	1	\$120.000	\$120.000
Total			\$702.686

Fuente: elaboración propia en base a (Rhona.cl, 2018)

5.4. Sistema de generación eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (FV)

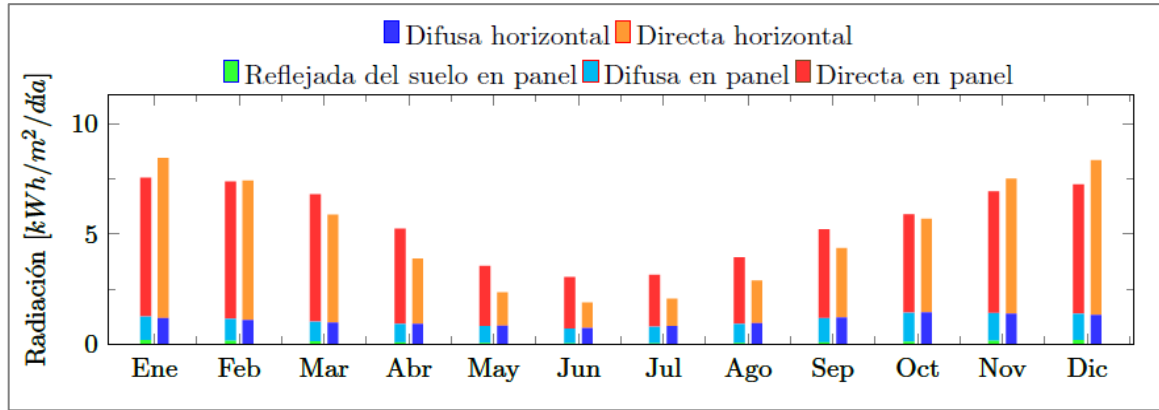
El uso del recurso solar en Chile en los últimos años ha tomado fuerza debido a varios estudios que plantean que Chile posee condiciones ideales para el uso de la energía solar. Éstos declaran que no sólo el desierto tiene condiciones óptimas, sino que también la generación en regiones es muy provechosa para industrias públicas y privadas, y en edificaciones particulares. Además, la disminución de los precios que se ha registrado en los últimos años en los sistemas fotovoltaicos según un informe elaborado por (RodaEnergía, 2017) donde realiza una comparación entre los precios de 2016 y 2017 obteniendo una disminución del 19%.

Esta alternativa se plantea en base al análisis del consumo eléctrico de la planta, ya que si bien posee una gran demanda de energía, ésta puede ser en parte suministrada por una fuente de energía renovable. Además de tener un impacto positivo en el ahorro energético de la planta (menor gasto en la factura eléctrica), tiene otros beneficios que son la disminución de la huella de carbono, aumento de la eficiencia energética de la planta y una mejora de la imagen de la empresa al utilizar energías limpias, lo que se transforma en una ventaja competitiva. También otra ventaja es que su mantención es simple, la cual consiste en la limpieza de los módulos FV y una revisión anual de las conexiones eléctricas.

5.4.1. Ubicación e índices del recurso solar

Para iniciar, es prioritario conocer el emplazamiento geográfico y los índices de radiación de la zona donde se ubica la empresa. En primer lugar la zona geográfica donde se ubica la empresa es en Curicó, Región del Maule. A través del Explorador Solar de la Universidad de Chile, el cual entrega datos actualizados de la radiación global de una zona geográfica específica, se obtiene la ubicación exacta donde se establecería el sistema fotovoltaico la cual es 34,97° latitud sur y 71,2° longitud oeste, con una elevación de 246m, ver Ilustración 2. (Explorador Solar, 2018)

Ilustración 18. Radiación global promedio mensual ciudad de Curicó, Chile



Fuente: Explorador solar

En segundo lugar, por medio del Explorador Solar se obtiene los datos de la radiación solar donde se ubica la planta de hormigones. El fin de conocer este dato relevante, es sentar las bases para los futuros cálculos técnicos del sistema fotovoltaico. En la Ilustración 18 se puede apreciar un gráfico de la radiación global promedio mensual. En la Ilustración 19 se observa que el máximo se registra en el mes de enero con $7,55\text{kWh/m}^2/\text{día}$ mientras que el menor valor se registra en junio con $3,05\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

Ilustración 19. Índices de radiación solar en plano inclinado medida en kWh/m²/día, Curicó, Chile

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.3	6.23	5.79	4.31	2.73	2.34	2.36	3.02	4.03	4.46	5.53	5.86
Difusa	1.07	1	0.89	0.85	0.77	0.67	0.75	0.87	1.1	1.31	1.25	1.21
Suelo	0.18	0.16	0.13	0.08	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.18
Global	7.55	7.39	6.81	5.24	3.55	3.05	3.15	3.95	5.22	5.89	6.94	7.25

Fuente: (Explorador Solar, 2018)

Por otro lado, el término kWp o *kilowatt peak* se refiere a la máxima potencia generada por un panel o un conjunto de paneles fotovoltaicos en el horario de máxima insolación, el cual es utilizado para dimensionar las plantas fotovoltaicas. Este valor es diferente dependiendo de la región geográfica donde se instale el sistema FV, por ejemplo en la ciudad de Curicó, Región del Maule, Chile, según (Explorador Solar, 2018) un 1kWp es equivalente a 1.493kWh/año.

5.4.2. Componentes del sistema

Los componentes de un sistema fotovoltaico son los siguientes:

- **Paneles fotovoltaicos:** estos equipos son el principal componente del sistema fotovoltaico ya que son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica de corriente continua.
- **Inversor:** este equipo tiene la función fundamental de transformar la energía eléctrica de corriente continua generada por los paneles a corriente alterna para que pueda ser utilizada. En cuanto a la eficiencia de los inversores en la actualidad poseen hasta un 98%.
- **Estructura de soporte:** esta estructura metálica fija de manera segura los módulos FV en la orientación e inclinación requerida para cada sistema en específico.
- **Material eléctrico:** corresponde a todos los componentes eléctricos necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico, vale decir medidor bidireccional, tablero eléctrico, conectores, cables, canalizaciones, etc.

5.4.3. Dimensionado del sistema FV

Este sistema se pretende abastezca la demanda energética anual del área administrativa el cual representa el 11% del consumo total de la empresa. En base a datos históricos del consumo de energía eléctrica en kWh de la empresa presentados en el capítulo 3.2 se tiene los datos del primer semestre del año 2018 de los cuales se estima el consumo para el segundo semestre, esta estimación es realizada por medio de un promedio móvil y un promedio móvil ponderado, eligiendo el primero ya que resulta el método de menor error (MAD), la estimación del consumo se puede ver en el Anexo 14 donde el consumo anual estimado alcanzaría a 170.885kWh.

Ecuación 8. Estimación de la energía que debe suministrar el sistema FV

$$\text{Energía sistema FV} = 170.885 \text{ (kWh)} * 11\% = 18.797 \text{ (kWh)}$$

Fuente: elaboración propia

Ahora se pretende abarcar la demanda del consumo energético del área administrativa (11% del total anual), por lo tanto con un simple cálculo representado en la Ecuación 8 se obtiene que la energía requerida a suministrar por medio de la planta solar sea de 18.797kWh por año aproximadamente.

Ecuación 9. Cálculo del tamaño de la Planta FV

$$\text{Tamaño de planta FV} = \frac{\text{Energía a suministrar (kWh)}}{\text{Energía generada por kWp} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right)}$$

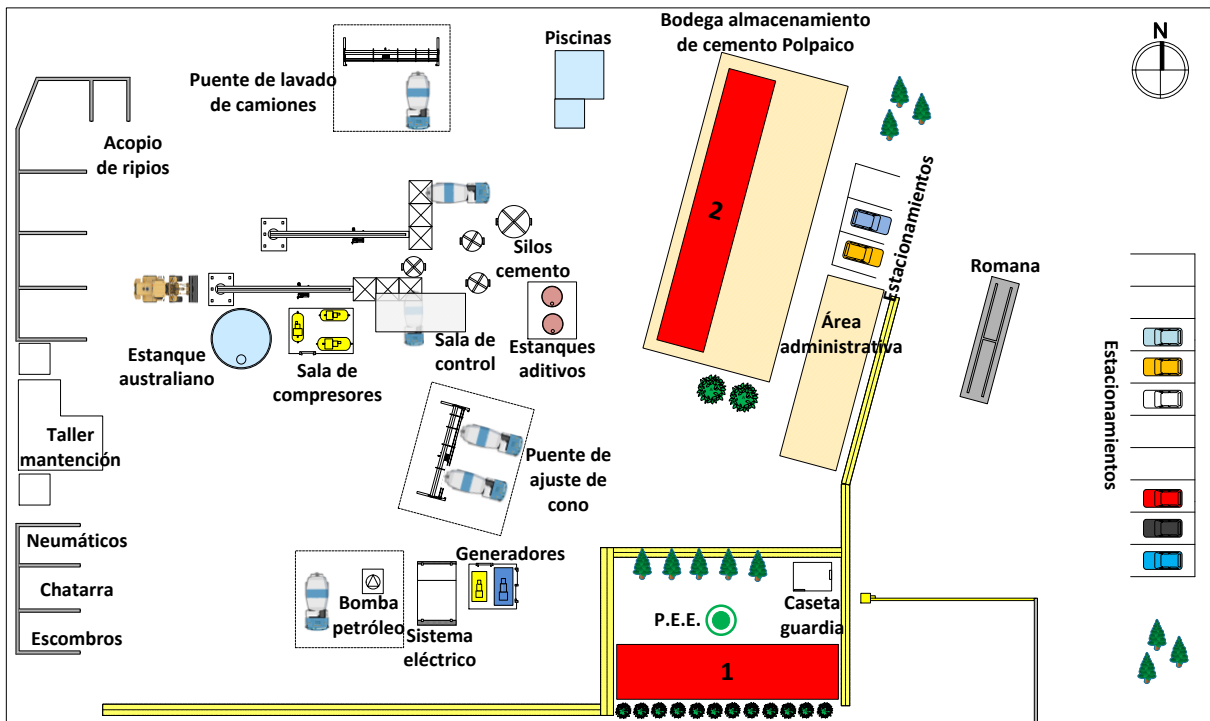
$$\text{Tamaño de planta FV} = \frac{18.797 \text{ kWh}}{1.493 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}} = \mathbf{12,6 \text{ kWp}}$$

Fuente: elaboración propia en base a información de (Explorador Solar, 2018), (Almarza & et.all, 2016)

Posteriormente, se necesita conocer el tamaño de la planta solar. Se sabe que 1kWp es equivalente a 1.493kWh/año (Explorador Solar, 2018), por lo tanto en la Ecuación 9 se realiza el cálculo del tamaño de la planta FV.

Teniendo el tamaño de la planta FV, se debe establecer qué tipo de panel es el mejor para esta aplicación, en este caso se evalúan dos tipos de módulos FV: monocristalino y policristalino de la misma marca y de similares características.

Ilustración 20. Layout Pétreos S.A.



Fuente: elaboración propia en base a plano de Pétreos S.A.

Además, existe una limitante en cuanto a la disponibilidad de espacio que posee la empresa. Se puede ver en la Ilustración 20 el *layout* de la planta de hormigones la cual posee dos posibles áreas para la instalación de los módulos FV, la primera es la instalación de los paneles en el área verde que posee la empresa, la segunda es en la techumbre de la bodega de cementos.

Luego, se evalúa la cantidad de módulos necesario para abastecer la demanda. En primer lugar, se tiene la restricción de espacio por lo que para optimizar el espacio la mejor opción son paneles FV de mayor potencia. Para la selección de los equipos se utiliza el análisis multicriterio, donde los criterios de evaluación son los siguientes:

- **Eficiencia (%):** es la eficiencia en porcentaje del panel fotovoltaico.
- **Precio (\$):** es el precio en pesos que tiene cada panel.
- **Potencia (W):** potencia de salida en W del panel fotovoltaico.

En la Tabla 13 se observa el resultado de la ponderación de las alternativas de mejora. Luego, en la Tabla 14 se indican las características de las alternativas de mejora, las cuales son evaluadas posteriormente en base a los puntajes obtenidos.

Tabla 13. Matriz de ponderación de los criterios

	Eficiencia (%)	Precio (\$/panel)	Potencia (W)	Total	Ponderación
Eficiencia (%)		10	8	18	33,3%
Precio (\$/panel)	10		10	20	37,0%
Potencia (W)	9	7		16	29,6%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Tabla 14. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora

	Panel FV Eagle 72 policristalino Jinko solar	Panel FV Eagle PERC 60 monocristalino Jinko solar
Eficiencia (%)	17,01%	20,2%
Precio (\$/panel)	\$208.640	\$271.232
Potencia (W)	330W	315W

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.) y (JinkoSolar, 2017)

Una vez obtenidas las ponderaciones de los criterios y las características de las alternativas, se pasa a normalizar los datos por medio de las Ecuación 1 y Ecuación 2. Por último, teniendo los puntajes calculados se multiplican por la ponderación correspondiente según el criterio de evaluación y se obtiene la puntuación final de cada alternativa, representada en la Tabla 15.

Tabla 15. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora

	Panel FV Eagle 72 policristalino Jinko solar	Panel fotovoltaico Eagle PERC 60 monocristalino Jinko solar	Ponderación
Eficiencia (%)	8,8	10,0	33,3%
Precio (\$/panel)	10,0	7,7	37,0%
Potencia (W)	10,0	9,5	29,6%
Total	6,7	6,2	100,0%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Finalmente, en base al análisis multicriterio para la evaluación y obtención de las mejores propuestas se escoge el panel fotovoltaico Eagle 72 policristalino de la marca Jinko Solar para ser utilizado como el componente principal del sistema FV.

Por otro lado, para realizar el dimensionado del sistema, es decir, la cantidad de módulos FV correspondientes para abastecer la cantidad de energía requerida, es necesario conocer las características del panel FV que se instalará las cuales se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Características de módulo FV Eagle 72 policristalino

Panel	Marca	Potencia (W)	Eficiencia (%)	Dimensiones (mm)
Panel fotovoltaico policristalino Eagle 72	JinkoSolar	330	17,01	1956x992x40

Fuente: elaboración propia en base a (JinkoSolar, 2017)

Ahora conociendo la potencia de la planta fotovoltaica la cual se establece en 12kWp, y no en 12,6kWp debido a la disponibilidad del equipo inversor. Además teniendo la potencia de los paneles FV la cual es de 330W y la eficiencia de conversión de energía del inversor que es del 97% se puede obtener mediante un simple cálculo la cantidad de paneles necesarios. En la Ecuación 10 se puede ver la cantidad de módulos necesarios para abastecer la energía la que alcanza a 38 paneles, ya que se deben aproximar al entero mayor.

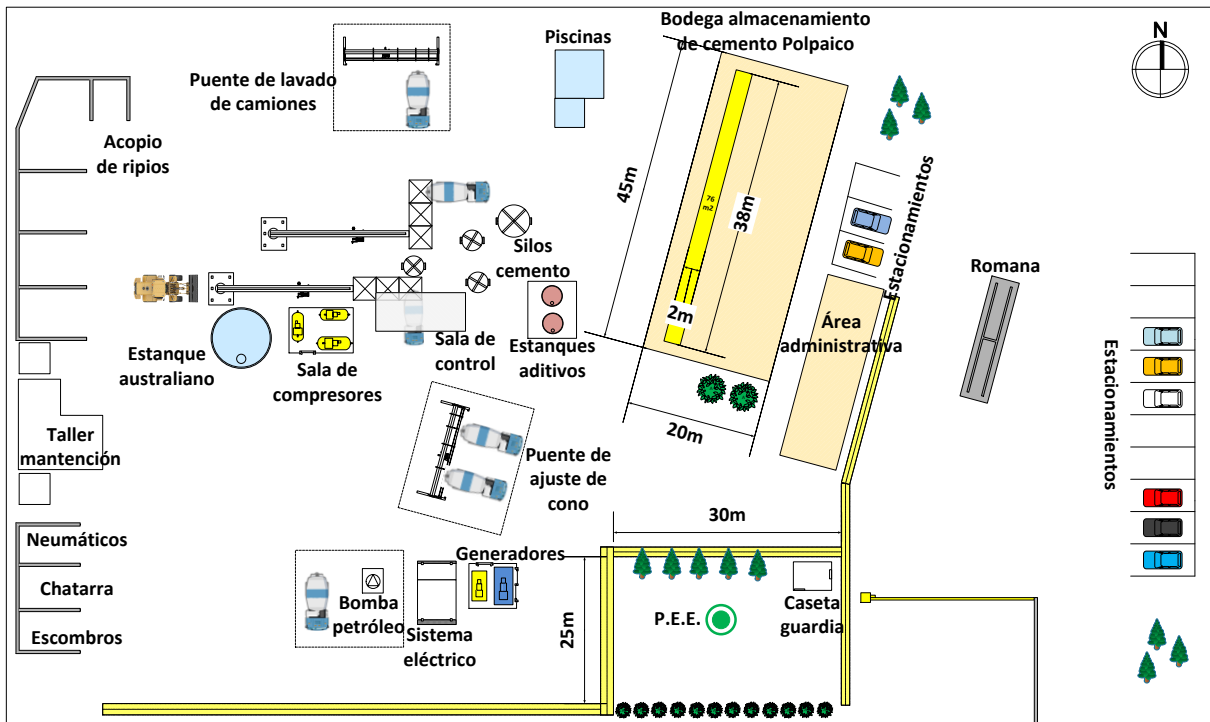
Ecuación 10. Cálculo del número de paneles FV en base a kWp de la instalación

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{\text{Potencia sistema}}{\text{Potencia módulo FV}} = \frac{12kWp}{0,330kW * 0,97} = 37,5 \cong 38 \text{ paneles}$$

Fuente: (Tesla Energy, 2017)

El área a utilizar por esta cantidad de paneles sería de aproximadamente 76m². Mientras que el área de instalación se encontraría en la techumbre de la bodega de cementos de la planta. En la Ilustración 21 se puede observar en un rectángulo amarillo donde irían instalados los módulos.

Ilustración 21. Área de instalación de los paneles FV en la Planta de Hormigones de Pétreos S.A.



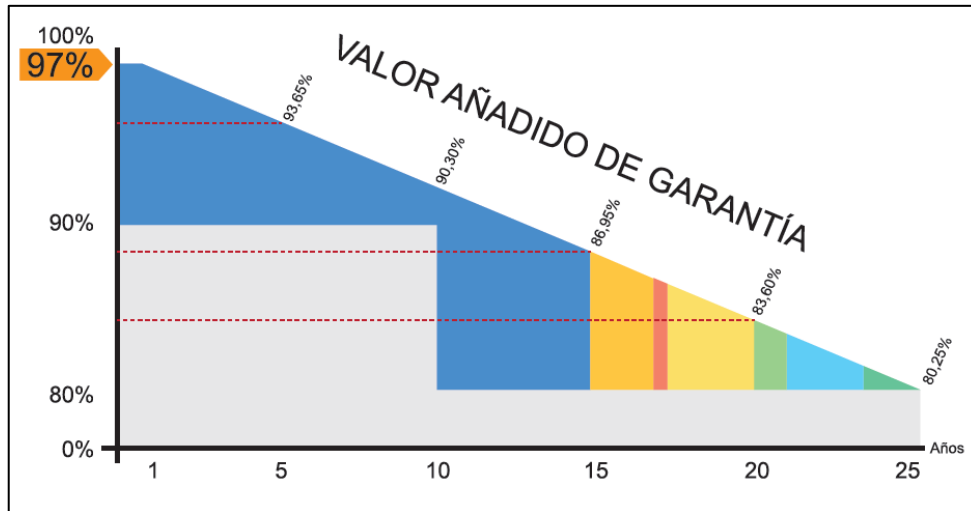
Fuente: elaboración propia en base a plano de Pétreos S.A.

En cuanto a la vida útil y el rendimiento de los módulos FV, se tiene la Ilustración 22 donde se puede observar que al inicio de su vida útil los equipos poseen un rendimiento entre el 97% y 97,5%, mientras que al finalizar la vida útil de estos módulos FV (25 años) se tendría un rendimiento de los paneles del 80,25%.

Un estudio realizado por (Urrejola & et.all, 2016) en el cual analiza el efecto que produce la suciedad en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos está directamente

relacionada con la contaminación que está presente en Santiago de Chile, se puede comparar al polvo en suspensión que existe en la planta debido al alto tránsito de camiones y a las materias primas como el cemento

Ilustración 22. Garantía de rendimiento de un módulo FV



Fuente: (Almarza & et.all, 2016)

Posteriormente (Urrejola & et.all, 2016) señala que es muy importante comprender la frecuencia de la limpieza de los sistemas FV, la degradación anual que sufren los sistemas con el pasar del tiempo y la disminución mensual debido a la suciedad que se va acumulando en los módulos. Por tanto concluye que entre el 1° y 2° año de funcionamiento del sistema la degradación por temas de suciedad fue de un 1,29% en los paneles poli-cristalinos, si se compara con la teoría la cual disminuye alrededor de un 1% o menos anualmente la diferencia es significativa ya que con ese porcentaje de degradación anual estaría por debajo de lo especificado en la Ilustración 22.

En relación a lo anterior, la empresa está implementando la instalación de colectores de polvo en las plantas de producción del hormigón. El objetivo de este sistema es mejorar la calidad del aire que es liberado por procesos industriales mediante un filtro que recolecta el polvo. Por lo tanto, con este equipo se eliminaría significativamente la cantidad de polvo en suspensión que habría en el área industrial de la empresa, otorgando varias ventajas. La principal que compete a esta aplicación, es que los paneles fotovoltaicos se verían afectados en una menor medida por el polvo.

También (Urrejola & et.all, 2016) hace mención al mantenimiento de los módulos, es decir la limpieza de los paneles FV, ya que según el estudio realizado se obtiene que el período crítico de limpieza es de 45 días². Por lo que se crea un manual de mantenimiento de los paneles FV para que las mantenciones periódicas preventivas puedan ser realizadas por personal interno de la empresa. En el Anexo 31, se puede ver el manual de mantenimiento de los módulos fotovoltaicos entregado a la empresa, el cual es elaborado en base la Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos del Programa de Techos Solares Públicos del Ministerio de Energía. (Almarza & et.all, 2016)

5.4.4. Cotización del sistema fotovoltaico

Para obtener los precios de los componentes del sistema fotovoltaico se tiene una cotización real de la empresa (Tesla Energy , 2017) de una planta fotovoltaica de 12kWp para ser instalada en la ciudad de Talca del año 2017. Por lo tanto, en referencia a estos precios y además de obtener información de diferentes páginas en la web, como por ejemplo de (JinkoSolar, 2017), se tiene la Tabla 17 con los costos de los componentes del sistema.

Tabla 17. Precios del sistema fotovoltaico de 12kWp

Componentes del sistema fotovoltaico	Cantidad (unidad)	Valor unitario de Adquisición (\$/unidad)	Valor Adquisición (\$)
Módulo policristalino 330W Jinko solar	38	\$208.640	\$7.928.320
Inversor DC/AC 12kVA SMA 12000TL-20	1	\$3.381.112	\$3.381.112
Estructura de soporte aluminio inclinada	1	\$3.462.542	\$3.462.542
Materiales eléctricos	1	\$2.210.077	\$2.210.077
Total			\$16.982.051

Fuente: elaboración propia en base a (Tesla Energy , 2017) y (JinkoSolar, 2017).

² “Nuestros resultados se pueden aplicar a plantas fotovoltaicas reales en Chile, teniendo en cuenta el progreso de la evaluación solar de los últimos años y el creciente conocimiento del efecto de ensuciamiento en la descomposición de la generación de energía” (Urrejola & et.all, 2016).

5.4.5. Ahorro de energía y monetario

Para el cálculo del ahorro al implementarse el sistema de generación fotovoltaico se toma el valor del consumo total anual estimado de energía eléctrica para el 2018 (Anexo 14) y la energía anual producida por el sistema FV, donde el ahorro o energía anual suministrada por el sistema es de aproximadamente el 11% del consumo total, además se tiene un segundo ahorro el cual es la energía excedente producida por el sistema en los días sin producción (festivos y domingos). Los valores detallados del ahorro energético que generaría el sistema FV se pueden observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Energía anual ahorrada en kWh y pesos por la planta fotovoltaica

		Energía suministrada por planta FV
Energía suministrada por planta FV	Energía (kWh)	17.916
	Pesos (\$)	\$1.484.413
Energía inyectada a la red (excedente)	Energía (kWh)	4.584
	Pesos (\$)	\$189.881
Total (\$)		\$1.674.294

Fuente: elaboración propia

5.5. Cambio de compresores de aire de pistón por compresor de aire de tornillo

En la actualidad la empresa dispone de dos compresores de aire de pistón de similares características, estos equipos tienen partida directa lo que genera picos de consumo en el arranque de los motores eléctricos de los compresores.

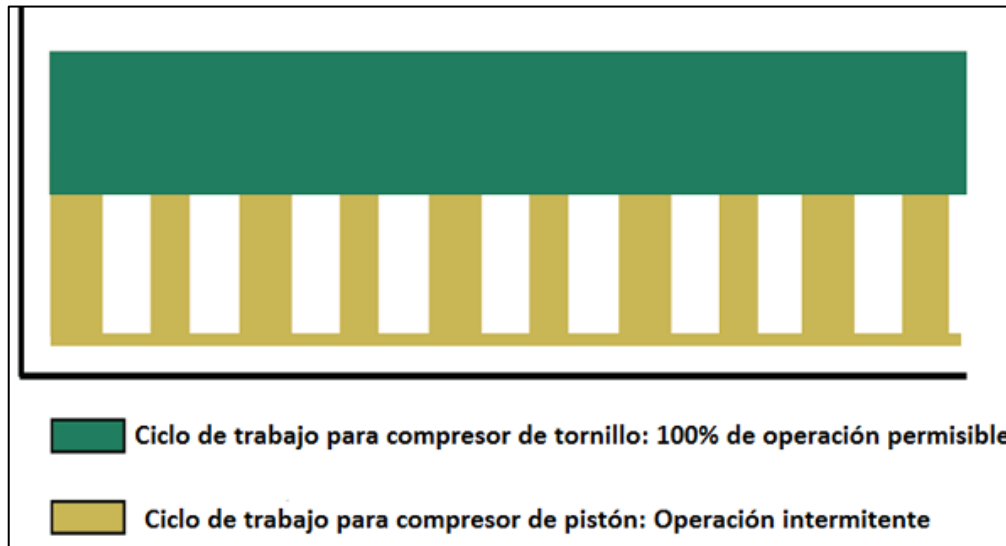
Realizando una comparación entre ambos equipos se encuentran diferencias sustanciales en cuanto al desempeño superior de un compresor de tornillo. Algunas de las ventajas y desventajas al comparar compresores de aire de tornillo con los de pistón según (Martínez, 2015) son las siguientes:

- El ciclo de trabajo de los compresores de aire de tornillo alcanza el 100% y pueden operar de manera continua, mientras que los compresores a pistón tiene un ciclo de

trabajo entre el 60% y 70% el cual su operación es intermitente ya que debe enfriarse debido a las altas temperaturas de operación, ver Ilustración 23.

- En cuanto al tamaño de compresores igual o mayor a 30HP el rendimiento es una gran ventaja. Los compresores de pistón entregan de 3 a 4 pie³/min de aire, mientras que los compresores de tornillo entregan de 4 a 5 pie³/min, un 25% más.

Ilustración 23. Ciclos de trabajo de compresor de pistón vs compresor de tornillo



Fuente: (Martínez, 2015)

- Los compresores de tornillo tienen un costo inicial de compra mayor, sin embargo la mayor eficiencia de estos equipos la convierte en una solución rentable a largo plazo.
- También debe destacarse que el nivel de ruido producido y la temperatura tanto de operación como de descarga es menor en los compresores de tornillo.

El cambio del compresor como tal ya es una medida de eficiencia energética la que genera un ahorro en el consumo de energía eléctrica. Además, la eficiencia de los equipos se ve favorecida al incorporar un variador de frecuencia (VDF) en la instalación y automatizar el proceso. Como se menciona anteriormente, el porcentaje de ahorro podría estar entre un 20% y un 40% (AETS Sudamérica S.A., Econoler, 2010).

Ahora bien, en un *paper* elaborado por (Torres Rodríguez, 2012), el cual presenta un estudio real de una empresa de fabricación de bloques y adoquines de hormigón, rubro similar

al de la empresa en cuestión, donde éste estudia el comportamiento del ahorro energético al implementar la automatización de 4 compresores de aire, 2 de ellos con la incorporación de variadores de frecuencia, donde en este proyecto se obtiene un ahorro del 25%.

5.5.1. Dimensionamiento del equipo

La empresa en este momento cuenta con 2 compresores de aire de pistón de similares características (además de un tercero que se pone en funcionamiento en caso que alguno de los otros falle), en la Tabla 19 se pueden ver las características en detalle de los equipos. Estos equipos son destinados a alimentar el aire necesario para diferentes procesos neumáticos de cada planta productora de hormigón premezclado. Como ya se explicó anteriormente, el funcionamiento de estos equipos es bastante irregular y depende exclusivamente de la cantidad de hormigón que se necesita fabricar en el día.

Tabla 19. Características de compresores de aire de pistón

Nombre equipo	Marca	Modelo	Caudal teórico (l/min)	Presión máxima (bar)	Corriente (A)	Potencia (HP)	Potencia (kW)
Compresor pistón planta 1	Schullz	MSWV 60 FORT	1700	12	23,2	15	11,3
Compresor pistón planta 2	Schullz	MSW 60 MAX	1700	12	22	15	11,5

Fuente: elaboración propia

Luego, es necesario conocer la demanda de consumo de aire comprimido que posee la empresa para dimensionar de manera correcta el tamaño del compresor nuevo. Para esto se identifican todos los equipos que utilizan el aire comprimido en el proceso de elaboración del hormigón premezclado; las herramientas del taller de mantención poseen otro compresor de aire aparte para su consumo de aire. Una vez identificados los elementos principales que utilizan aire comprimido en la empresa se detallan sus características técnicas de presión y flujo de aire necesario para su funcionamiento. Los diversos equipos que son utilizados para el control del paso del aire se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Equipos de control del sistema de aire comprimido

Equipo	Presión (bar)
Válvula 3 posiciones SMC VQ5301-3w	1 a 10
Regulador modular SMC AW40-04C	0,5 a 8,5
Regulador modular SMC AR40-N04-Z	0,5 a 8,5
Válvula solenoide SMC VXZ2240	0 a 10

Fuente: elaboración propia en base a (Polpaico, 2018)

Con esta información se puede estimar la presión del nuevo compresor. Según (C&R Sistemas y Equipos S.A., s.f.) la presión necesaria del equipo compresor debe ser el valor de la herramienta o equipo que posea la mayor presión, en este caso al observar la Tabla 20 se tiene que la presión mayor de los equipos es de 10bar, por lo tanto esa será la presión necesaria del equipo compresor.

Ahora, para obtener el flujo necesario que debe tener el compresor de aire que se está dimensionando según (C&R Sistemas y Equipos S.A., s.f.) el procedimiento es el siguiente: reunir todas las herramientas y equipos que utilicen el aire comprimido en sus procesos neumáticos y obtener el total en litros/min, CFM o m³/hr. Luego debido a posibles fugas del sistema de aire comprimido, otras herramientas de menor uso y menor consumo de aire y por un posible crecimiento se debe sumar un 25% más al flujo de aire obtenido. Después se debe definir el factor de simultaneidad de los equipos que utilizan aire comprimido, el cual según un análisis realizado en conjunto con los operadores de la planta se llega a la conclusión que un valor del 30% es representativo como factor de simultaneidad (el valor de 1 o 100% representaría el uso de todos los equipos al mismo tiempo), ya que como se menciona anteriormente el funcionamiento de las plantas productoras del hormigón funcionan de acuerdo a la demanda de hormigón diaria y sus procesos productivos (incluidos los procesos que utilizan el aire comprimido) son raras vez de forma simultánea.

En la Tabla 21 se puede ver las características de los equipos principales y con mayor consumo de aire en la planta los cuales son los cilindros neumáticos para abrir las compuestas de las básculas donde se tienen los materiales para la elaboración del hormigón. El dato faltante de estos equipos, el cual se debe calcular, es el consumo de aire donde según (Delnero, s.f.) se tiene la Ecuación 11 para calcular el consumo de aire de los cilindros neumáticos.

Ecuación 11. Cálculo del consumo de aire en (litros/minuto) para cilindros neumáticos

$$Q = 1,41 * \left(\frac{\pi * D^2 * L * Nc * (P_{trabajo} + 1,013)}{4 * 10^6} \right)$$

Fuente: (Garrigós, s.f.)

Dónde:

- Q = consumo de aire (litros/minuto).
- D = diámetro del cilindro (mm).
- L = longitud de la carrera del cilindro (mm).
- Nc = número máximo de ciclos por minuto.
- P_{trabajo} = presión de trabajo (bar).
- K = 1,41, constante que representa las pérdidas de energía.

Los datos necesarios se obtienen de la fuente del proveedor de estos equipos y se presentan en la Tabla 21, mientras que en la Ecuación 12 se puede observar el resultado del consumo de aire del cilindro neumático.

Tabla 21. Características técnicas del cilindro neumático CN-10

Equipo	Presión (bar)	Diámetro (mm)	Carrera (mm)	Frecuencia (Hz)	Cantidad (unidades)
Cilindro neumático MiCRO CN-10	2 a 10	50	190	120	12

Fuente: (MiCRO, s.f.)

Ecuación 12. Cálculo del consumo de aire en (litros/minuto) para cilindros neumáticos

$$Q = 1,41 * \left(\frac{\pi * (50)^2 * 190 * 120 * 11,013}{4 * 10^6} \right) = 695,18 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$$

Fuente: elaboración propia en base a (Delnero, s.f.)

Luego, este resultado se debe multiplicar por la cantidad de equipos disponibles obteniendo en el requerimiento de aire comprimido de todos los equipos. Además, se debe sumar un 25% más al consumo de todos los equipos debido a las fugas y otros equipos de menor envergadura que utilizan aire comprimido. Por último, se debe multiplicar por el factor de simultaneidad que es de un 30%, obteniendo el consumo total estimado de aire comprimido de la planta, representado en la Ecuación 13.

Ecuación 13. Cálculo del consumo de aire total de la planta

$$Q_{total} = Q * n^{\circ} \text{ de equipos} * \text{factor de pérdida} * \text{factor de simultaneidad}$$

$$Q_{total} = 695,18 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} * 12 * 1,25 * 0,3 = 3.128,3 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$$

Fuente: elaboración propia en base a (Garrigós, s.f.)

5.5.2. Selección de equipo

Teniendo los datos de la capacidad del flujo de aire y la presión del nuevo compresor de aire de tornillo se busca el equipo que pueda satisfacer las necesidades, esta búsqueda es realizada en equipos de la marca Lureye S.A. ya que la empresa ha comprado equipos a esta compañía. Por tanto, en base a los equipos que posee dicha empresa se busca en el catálogo de la marca (CompAir, sf.) donde se encuentran 2 equipos que cumplen con las exigencias establecidas anteriormente. Estos equipos son del mismo modelo L22, pero poseen la diferencia que uno es con velocidad constante y el otro con velocidad regulada. Las características de los equipos se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Características de compresor de aire de tornillo modelos L22 y L22RS

Nombre equipo	Marca	Modelo	Caudal teórico (l/min)		Presión máxima (bar)	Potencia (HP)	Potencia (kW)
			Mínimo	Máximo			
Compresor de tornillo	CompAir	L22	3.210		10	30	22
Compresor de tornillo	CompAir	L22RS	930	3.150	10	30	22

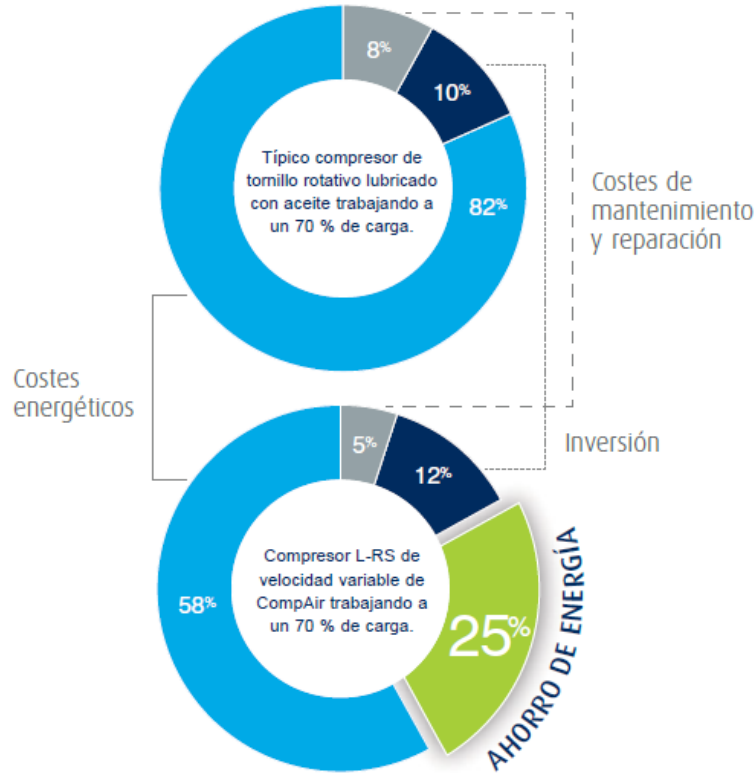
Fuente: elaboración propia en base a (CompAir, sf.)

Para la selección de los equipos se utiliza el análisis multicriterio, donde los criterios de evaluación son los siguientes:

- **Inversión (%):** inversión del equipo en % respecto información del fabricante obtenida de la Ilustración 24 (CompAir, sf.).
- **Costos energéticos (%):** valor del costo energético en porcentaje de cada alternativa según información del fabricante obtenida de la Ilustración 24 (CompAir, sf.).

- **Costos de mantenimiento y reparación (%):** valor porcentual del costo de mantenimiento y reparación según información del fabricante obtenida de la Ilustración 24 (CompAir, sf.).

Ilustración 24. Comparación de características de equipo compresor de aire modelos L- versus L-RS



Fuente: (CompAir, sf.)

En la Tabla 23 se observa el resultado de la ponderación de las alternativas de mejora según el criterio de evaluación.

Tabla 23. Matriz de ponderación de los criterios alternativa cambio de compresor

	Inversión (%)	Costos energéticos (%)	Costo mantención (%)	Total	Ponderación
Inversión (%)		10	7	17	36,2%
Costos energéticos (%)	10		6	16	34,0%
Costo mantención (%)	9	5		14	29,8%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Luego, en la Tabla 24 se indican las características de las alternativas de mejora las cuales son evaluadas posteriormente.

Tabla 24. Características para evaluación multicriterio de alternativas de mejora

	Compresor de aire modelo L22	Compresor de aire modelo L22RS
Inversión (%)	10%	12%
Costos energéticos (%)	82%	58%
Costo mantención (%)	8%	5%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.) y (CompAir, sf.)

Una vez obtenidas las ponderaciones de los criterios y las características de las alternativas, se pasa a normalizar los datos por medio de las Ecuación 1 y Ecuación 2. Por último, teniendo los puntajes calculados se multiplican por la ponderación correspondiente según el criterio de evaluación y se obtiene la puntuación final de cada alternativa, representada en la Tabla 25.

Tabla 25. Matriz de puntajes ponderados de alternativas de mejora

	Compresor de aire modelo L22	Compresor de aire modelo L22RS	Ponderación
Inversión (%)	10,0	8,3	36,2%
Costos energéticos (%)	7,1	10,0	34,0%
Costo mantención (%)	6,3	10,0	29,8%
Total	7,9	9,4	100,0%

Fuente: elaboración propia en base a (Mateo, s.f.)

Ilustración 25. Compresor de aire CompAir tipo tornillo modelo L22RS



Fuente: (CompAir, sf.)

Finalmente, en base al análisis multicriterio para la evaluación y obtención de las mejores propuestas se escoge el compresor de aire de tornillo modelo L22RS de la Ilustración 25.

5.5.3. Ahorro de energía y monetario

Para realizar el cálculo del ahorro de energía que produciría la implementación de esta alternativa, el porcentaje de ahorro es de un 25% cuyo valor se obtiene del informe de (Torres Rodríguez, 2012), como se comenta anteriormente este es un proyecto de similares características por lo cual el valor asignado es representativo. A continuación los valores detallados del ahorro energético se pueden observar en la Tabla 26.

Tabla 26. Energía anual consumida sin y con la medida de implementación del cambio de compresor

	Energía anual consumida	Energía anual ahorrada con compresor	Energía anual consumida c/ implementación
Energía en kWh	20.335	5.084	15.251
Precio s/IVA	\$1.417.371	\$354.343	\$1.063.029
Precio c/IVA	\$1.684.863	\$421.216	\$1.263.647

Fuente: elaboración propia

5.5.4. Cotización con empresa

En base a la información entregada por José Melendez, ejecutivo comercial de la empresa Lureye Generación S.A., en una cotización de un equipo compresor de aire de tornillo marca CompAir y modelo L22RS se tiene los siguientes precios de cada componente presentados en la Tabla 27.

Tabla 27. Cotización de compresor de aire de tornillo CompAir modelo L22RS

Equipo	Cantidad (unidad)	Precio (\$/unidad) IVA incluido
Compresor CompAir Mod. L22RS Motor 30HP	1	\$7.346.080
Secador de aire CompAir Mod. F36C	1	\$2.606.200
Filtro de línea CompAir Mod. CF0036-B	1	\$214.388
Filtro de línea CompAir Mod. CF0036-C	1	\$214.388
Estanque horizontal 500 litros	1	\$1.260.000
Total		\$11.641.056

Fuente: (Lureye Generación, 2018)

CAPÍTULO 6: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se presenta la evaluación del impacto del proyecto en la empresa, considerando las repercusiones económicas que tiene, como en las decisiones y en la organización de las actividades.

6. Plan de implementación y evaluación económica

Por una parte, el plan de implementación de las propuestas de mejora desarrolladas es principalmente para conocer las actividades necesarias y la duración para una óptima implementación de las alternativas. Por otro lado, la evaluación económica es necesaria para conocer el impacto económico de su implementación. Cabe mencionar que las actividades se externalizan contratando empresas especializadas en cada área específica.

6.1. Plan de implementación

El desarrollo de este plan presenta todas las actividades necesarias para la implementación de cada alternativa, además se presenta la duración de las tareas y el costo que involucra dicha actividad, con el objetivo del óptimo desarrollo de cada propuesta de eficiencia energética.

Cabe mencionar que la duración de las actividades es una estimación consultada a los trabajadores de la planta, empresas contratistas y opinión de expertos.

6.1.1. Plan de implementación: Condensadores de potencia

Como ya se menciona anteriormente, esta propuesta es externalizada a un contratista especializado en temas eléctricos. En este caso se contrata a la empresa Brain Engineer, donde un ingeniero eléctrico realiza la instalación del banco de condensadores.

Es necesario mencionar que a la fecha de jueves 5 de Julio de 2018, la instalación del banco de condensadores fue instalada y se encuentra en funcionamiento. Algunas de las actividades más relevantes que se realizaron para concretar este proceso fueron las siguientes:

- Identificar la problemática y buscar empresas de electricidad en la zona.
- Una vez seleccionada la empresa, presentar la problemática al contratista. En esta instancia el ingeniero se reúne con el jefe de operaciones en la planta donde se conversa sobre el problema, explicando el porqué del tema en cuestión y la solución recomendada.

- Se emite el presupuesto por parte de la empresa contratista, el cual es revisado por el jefe de planta. Luego se confirma y se procede a la tramitación de los recursos para el pago de la obra.
- Por último, según especificaciones del profesional el tiempo de realización de la obra es de 1 día hábil, mientras que el tiempo de corte de la electricidad es de 5 minutos por fase. (Vittini, 2018)

En el Anexo 15, se puede ver el detalle del plan de implementación de esta alternativa. La duración de estas actividades tiene un total de 41 días, donde la actividad de mayor costo es la instalación de los condensadores con un total aproximado de \$702.000, ya que se añade el costo de adquisición de los condensadores y el material eléctrico necesario. Por último, se requiere de una inversión total de \$797.000 para la implementación de esta alternativa.

6.1.2. Plan de implementación: Sistema de generación FV

La instalación de un sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos es una actividad que se externaliza a empresas especialistas en el rubro. En el Anexo 16 se puede ver el plan de implementación el cual se divide en 2 principales etapas, la primera es la búsqueda y contratación de la empresa especialista que realiza el trabajo donde los principales responsables de estas actividades son el encargado del taller de mantención y el jefe de operaciones. Mientras que la segunda etapa consta de todas las actividades requeridas para concretar con éxito la instalación del sistema fotovoltaico, donde el principal responsable es la empresa contratada.

La duración de estas actividades tiene un total de 53 días, donde la actividad de mayor duración y de mayor costo es la instalación del sistema de generación fotovoltaica con 12 días y un total aproximado de MM\$17. Por último, se requiere de una inversión de MM\$17,13 para la implementación de esta alternativa.

6.1.3. Plan de implementación: Cambio de compresor

El cambio de los compresores, es decir, la instalación del nuevo compresor de aire de tornillo es una actividad que se externaliza, no así la compra del equipo, operaciones que las realiza el

encargado de mantención y el estudiante que desarrolla el proyecto. En el Anexo 17 se puede ver el plan de implementación el cual se divide en dos etapas principales, la primera es la búsqueda y contratación de una empresa especializada para la compra del equipo, donde los principales responsables de esa tarea son los encargados del taller de mantención y el jefe de operaciones. Por otro lado, la siguiente etapa es la instalación del compresor nuevo la cual contiene todas las actividades a seguir para una correcta instalación de los equipos y entregar un óptimo funcionamiento.

La duración de estas actividades tiene un total de 50 días, donde la actividad de mayor costo es la instalación de nuevo compresor de aire de tornillo con un total aproximado de MM\$11,7. Por último, se requiere de una inversión de MM\$12 para la implementación de esta alternativa.

6.2. Evaluación económica

Para finalizar el proyecto, es necesario conocer la factibilidad económica de las alternativas propuestas, para ello se realizan las evaluaciones económicas con el objeto de definir si el proyecto es viable o no según algunos indicadores como la rentabilidad, el periodo de retorno de la inversión, entre otros. En cuanto al periodo de evaluación económica de las alternativas es de 10 años.

En relación a la Reforma Tributaria, la tasa de impuesto para las empresas a partir del año comercial 2018 subió a un 27%. Por lo tanto, la tasa de impuesto utilizada para la evaluación del proyecto será ese valor. (SII, sf.)

En cuanto a la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA) se tiene la Ecuación 14 para calcular el valor de dicho indicador. Los datos necesarios es, por una parte la tasa o prima de riesgo la cual se obtiene de la base de datos del (Banco Central de Chile, 2018) donde se promedian los resultados mensuales obtenidos desde enero de 2017 hasta Julio de 2018 arrojando un valor de 4,35%. Por otro lado, el segundo dato es la inflación del IPC de Chile obtenido de la base de datos del (Banco Central de Chile, 2018) entre los mismos periodos resultando un valor de 2,18%. Por lo tanto, de la Ecuación 14 se obtiene la TREMA de 6,62%.

Ecuación 14. Cálculo de la TREMA

$$TREMA = \text{prima de riesgo} + \text{inflación} + (\text{prima de riesgo} * \text{inflación})$$

$$TREMA = 4,35\% + 2,18\% + (4,25\% * 2,18\%) = 6,62\%$$

Fuente: (UNID, s.f.)

Para las evaluaciones económicas, el ingreso se considera como el total del ahorro eléctrico anual, es decir, los kWh ahorrados por año para cada una de las alternativas de mejoras, valores definidos en el desarrollo de cada propuesta.

6.2.1. Evaluación económica: Condensadores de potencia

La evaluación económica de esta alternativa según el ingeniero contratista quien entrega los detalles en la cotización, presentada en detalle en el punto 5.3.4, donde (Vittini, 2018) señala que el costo de la inversión en este trabajo asciende a \$590.000+IVA (\$702.100) y el periodo de retorno de la inversión comprende entre 4 a 5 meses.

Ahora bien, para realizar una comparación con lo expuesto por el profesional, se realiza de igual manera la evaluación económica. Esta se desarrolla en sólo un escenario (flujo puro), donde el ahorro energético en pesos se estima en base a los datos históricos que posee la empresa, en el Anexo 3 se pueden ver el gasto en electricidad en el último año, el consumo en kWh y la multa por un factor de potencia bajo (desde mayo de 2017 hasta abril de 2018). Por lo tanto, con estos datos del último año del consumo de energía eléctrica en la planta de hormigones de Pétreos S.A. se estima el ahorro energético que se tiene al implementarse la propuesta.

En el Anexo 18, se muestra la estimación de la energía ahorrada anualmente en pesos. En el Anexo 21 se presenta el flujo de caja puro. Por último, en el Anexo 22 se presentan los calendarios de inversión, depreciación, valor libro y venta de activos. Luego, en la Tabla 28 se puede ver los indicadores de rentabilidad de la alternativa de mejora presentada.

Tabla 28. Indicadores de rentabilidad alternativa de instalación del banco de condensadores

Indicadores	Flujo puro
VAN	\$4.289.377
TIR	54,35%
PRI	2,10
B/C	3,41

Fuente: elaboración propia

6.2.2. Evaluación económica: Sistema de generación FV

A continuación, se presenta la evaluación económica de la propuesta de un sistema de generación mediante módulos fotovoltaicos en la cual se evalúan 3 escenarios posibles donde la diferencia en cada uno de ellos es el nivel de generación máxima del sistema por kWp, donde el escenario normal dispone que 1kWp sea equivalente a 1.493kWh/año. Los otros dos escenarios es para realizar un análisis de sensibilidad y se tiene que la potencia generada por kWp en el escenario pesimista sea un 10% menor, mientras que para el escenario optimista sea un 10% mayor, teniendo como equivalencia que 1kWp es de 1.343kWh/año y 1.642kWh/año para cada escenario correspondiente.

En el Anexo 19, se muestra la energía ahorrada anualmente en kWh y en pesos en los diferentes escenarios. El ahorro posee dos partes, la primera es el ahorro al utilizar la energía que suministra el sistema FV y no la energía de la red eléctrica, la segunda es la energía excedente que suministra el sistema FV pero que no es utilizada, la cual se controla con el medidor bidireccional, esta energía según la Ley 20.571 al inyectarse a la red eléctrica tiene un precio de venta aproximado del 50% del precio de compra de la energía (Ministerio de Energía, 2017).

En el Anexo 23, Anexo 24 y Anexo 25 se presentan los flujos de cajas con los diferentes escenarios. Por último, en el Anexo 26 se presentan los calendarios de inversión, depreciación, valor libro y venta de activos. Luego, en la Tabla 29 se puede ver los indicadores de rentabilidad de los distintos escenarios de la alternativa de mejora presentada.

Tabla 29. Indicadores de rentabilidad alternativa de sistema de generación FV

Indicadores	Escenario Pesimista	Escenario Normal	Escenario Optimista
VAN	\$2.265.816	\$3.735.209	\$5.029.245
TIR	8,59%	9,76%	10,75%
PRI	9,76	9,63	9,53
B/C	0,71	0,76	0,80

Fuente: elaboración propia

6.2.3. Evaluación económica: Cambio de compresor

La evaluación económica de la propuesta del cambio de los compresores de aire de pistón por un compresor de aire de tornillo se evalúa en tres escenarios. El primero es el escenario posible donde el ahorro generado es del 25% de la energía, el segundo escenario es el pesimista con un ahorro del 15%, y por último el escenario optimista donde el ahorro es del 40%.

En el Anexo 20 se muestra la energía ahorrada anualmente en kWh y en pesos en los diferentes contextos. En el Anexo 27, Anexo 28 y Anexo 29 se presentan los flujos de cajas con los diferentes escenarios. Por último, en el Anexo 30 se presentan los calendarios de inversión, depreciación, valor libro y venta de activos. Luego, en la Tabla 30 se puede ver los indicadores de rentabilidad de los distintos escenarios de la alternativa de mejora presentada.

Tabla 30. Indicadores de rentabilidad alternativa de cambio de compresor

Indicadores	Escenario Pesimista	Escenario Probable	Escenario Optimista
VAN	-\$658.008	\$1.006.405	\$3.503.024
TIR	5,65%	8,03%	11,22%
PRI	16,85	9,84	9,55
B/C	0,81	0,93	1,10

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIÓN

La energía es parte fundamental de las operaciones en cualquier organización e industria, lo cual puede representar un importante costo para ésta, además de los impactos ambientales y sociales por la explotación y agotamiento de los recursos, contribuyendo al problema del efecto invernadero y al calentamiento global que sufre el planeta.

La eficiencia o la mejora en el uso de los recursos energéticos en la industria proporcionan grandes beneficios a las organizaciones que implementan medidas acordes a mejorar el rendimiento y aportar su grano de arena contra los efectos negativos. La EE también se plantea como una gran política para moderar el cambio climático e impulsar el desarrollo de una sociedad e industrias cada vez más sostenibles.

Hacer un correcto uso de los recursos, es decir, utilizar sólo la energía que realmente se necesita es el gran desafío que se viene planteando en el sector industrial en las últimas décadas. Además, acciones como la cogeneración, la automatización y mejora de los procesos productivos, el reciclaje y la concientización social para un uso inteligente de la energía están influenciando a más personas día a día.

El explosivo crecimiento del país en el uso de Energías Renovables No Convencionales en los últimos años ha tenido un gran impacto para el desarrollo de políticas públicas que impulsen el uso del recurso solar. Chile se ha posicionado entre los países líderes en materia de energía solar en Latinoamérica, y tiene el potencial de desarrollo más alto a nivel mundial, ya que el Desierto de Atacama presenta uno de los niveles más elevados de radiación. Debido a esto, varias empresas han optado por esta alternativa como inversión a largo plazo lo que tiene grandes ventajas para la industria, como por ejemplo el menor costo reflejado en la factura eléctrica, la mejora en la productividad y procesos, la menor huella de carbono y una mejora de la imagen.

Por otro lado, las industrias en Chile necesitan de gran cantidad de energía para desarrollar sus actividades. En el caso de la industria de hormigones, rubro de la empresa donde se desarrolla el presente proyecto de mejoramiento; se establece por medio de una

Auditoría Energética que el 70% del consumo eléctrico es utilizado por los equipos y maquinarias del proceso productivo. Estos equipos son motores eléctricos, bombas de transporte de fluidos, cintas transportadoras y compresores de aire, los cuales tienen un elevado gasto energético.

En el posterior análisis de los resultados del consumo energético de la Planta de Hormigones de Pétreos S.A. se determina una alternativa en el sector productivo de la compañía, también se estudia la opción del uso del recurso solar para la generación de energía eléctrica y, por último, la incorporación de componentes eléctricos, las cuales influyen positivamente en mejorar la eficiencia de la empresa y con esto disminuir el gasto en electricidad.

La primera medida para disminuir el consumo eléctrico de la planta es la incorporación de un banco de condensadores en el sistema eléctrico, donde el principal objetivo es mejorar el factor de potencia y eliminar las multas cobradas por la empresa proveedora de la electricidad por un mal factor. Al estudiar esta alternativa se tiene un ahorro aproximado anual de \$500.000, donde el costo de implementación alcanza los \$797.000 y tiene una duración de implementación de 41 días. Luego, mediante la evaluación económica de esta alternativa el escenario puro de evaluación entrega un resultado del VAN de MM\$4,3, una TIR de 54,35%, el *payback* o periodo de retorno de la inversión de 2,1 años y un beneficio-costo de 3,41.

La segunda alternativa presentada es la instalación de un sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para abastecer un porcentaje de la demanda energética de la planta, especialmente el consumo del área administrativa. Necesario comentar que estos proyectos son alternativas de inversión a largo plazo ya que presenta una gran inversión, sin embargo los retornos económicos y las ventajas que poseen estos sistemas equilibran la balanza de la inversión. La imagen que trasmite la empresa es un factor clave en la decisión de sus clientes, proveedores y todo el entorno que le rodea, si se maneja de buena manera puede ser una ventaja competitiva permitiendo posicionarse en el pensamiento de los clientes y de todos los grupos de interés de la empresa. Es por esto que la incorporación y el uso de energías limpias enriquecen la imagen de la compañía obteniendo grandes beneficios.

Además, la implementación de esta alternativa reduciría la emisión en 5 toneladas de CO₂ (gases de efecto invernadero) y generaría el equivalente al consumo anual de electricidad de 8,3 casas o el equivalente a plantar 120 árboles. (Almarza & et.all, 2016)

Al estudiar la alternativa anterior se tienen tres escenarios posibles, donde el mejor resultado es el escenario optimista con un ahorro aproximado anual de \$1.650.000, donde el costo de implementación alcanza los MM\$17 y tiene una duración estimada de implementación de 53 días. Los resultados de la evaluación económica de esta propuesta en el escenario probable es un VAN de MM\$3,73, una TIR de 9,76% y el *payback* o periodo de retorno de la inversión de 9,63 años.

La tercera propuesta de mejora presentada es el cambio de los compresores de aire de pistón por un compresor de aire de tornillo con velocidad regulada, el cual beneficia económicamente a la empresa aumentando el ahorro energético. Además solucionaría un problema contingente en el proceso productivo donde el actual sistema de aire comprimido tiene fallas recurrentes al encontrarse agua de condensación en las tuberías por donde circula el aire necesario para los procesos neumáticos de la planta productora. Por tanto, esta medida solucionaría la problemática presentada y mejoraría el proceso de elaboración del hormigón. Al estudiar esta alternativa se tiene un ahorro aproximado anual (escenario probable) de \$421.000, donde el costo de implementación alcanza los MM\$12 y tiene una duración estimada de implementación de 50 días. Por último, los resultados de la evaluación económica del flujo puro probable presenta un VAN aproximado de \$1.000.000, una TIR de 8,03%, el *payback* o periodo de retorno de la inversión de 9,84 años.

Finalmente, si bien dos de las tres propuestas presentan inversión alta, los retornos futuros aseguran la recuperación del financiamiento de las alternativas al final del periodo de evaluación (año 10), aportando en los años posteriores beneficios económicos reflejados en la disminución de la factura eléctrica, además mejora la competitividad de la empresa, reduciendo los costos operacionales, generando una producción más rentable y disminuyendo el impacto ambiental. Estas alternativas son del sistema FV y el cambio del compresor, proyectos que serían rentables teniendo por cada kWp una generación de 1.270 kWh/año o mayor y un ahorro energético del 19% o mayor, respectivamente.

RECOMENDACIONES

El liderazgo de la jefatura de la planta es parte fundamental para una correcta implementación de las alternativas de mejoras propuestas en el desarrollo de este proyecto, además el compromiso y comunicación de la jefatura y operadores es un punto clave para un óptimo desempeño del trabajo e ir creando una cultura del uso consciente de los recursos energéticos.

Se recomienda al encargado de la planta plantear y evaluar la implementación de estos proyectos, los cuales cuentan con fundamento técnico y económico de que la implementación es factible y se tendrían beneficios tanto económicos como operacionales si se implementan.

En tanto, una de las recomendaciones para disminuir el uso de la energía eléctrica en la planta (además de las planteadas) es el cambio de los equipos de iluminación convencionales, es decir, realizar el cambio de los equipos de tubos fluorescentes y halógenos o sodio de alta presión, por equipos más eficientes que existen en el mercado hoy en día, como tubos led en reemplazo de los tubos fluorescentes y los focos led en reemplazo de los focos convencionales. Este recambio de equipos tiene un gran impacto en el consumo eléctrico, ya que genera un ahorro aproximado del 30% de energía.

Por otro lado, otra recomendación para mejorar la eficiencia de los procesos productivos es que al momento de realizar el cambio o compra de motores eléctricos o bombas de transporte de fluidos, se evalúe la opción de realizar el cambio de los motores eléctricos convencionales por motores eléctricos de alta eficiencia.

Además, se recomienda la creación de un plan de mantenimiento de los equipos de los procesos productivos para la elaboración del hormigón tales como: motores eléctricos, cintas transportadoras, bombas de transporte de fluidos, equipos de iluminación y cámaras del sector productivo, entre otros. Este plan de mantenimiento debe contemplar al menos la limpieza periódica de los equipos antes mencionados, ya que el polvo en suspensión que se crea a partir del cemento y la humedad del aire, crea capas de polvo en los equipos, lo que reduce la eficiencia y la vida útil.

Por último, hacer un llamado a crear conciencia sobre el uso de los recursos energéticos en la empresa, mediante charlas y/o capacitación que destaquen los beneficios de cuidar los recursos, y además de pequeños incentivos y/o reconocimientos a los trabajadores para lograr una educación efectiva del tema.

BIBLIOGRAFÍA

- ABB Group. (2018). *Convertidores*. Obtenido de Ahorro energético y eficiencia con variadores de frecuencia: <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica>
- AETS Sudamérica S.A., Econoler. (2010). *Estudio de Mercado de Eficiencia Energética en Chile*. Santiago.
- Aguedo Torres, K., & all., e. (2015). *Proceso de Fabricación, Colocación y Curado del Concreto*.
- Airum Logistic. (2018). *Compresor de piston vs compresor tornillo*. Obtenido de http://www.airumlogistic.com/cloud/ventajas_tornillo_sobre_piston.pdf
- Allamand, A. (sf.). *Estándares mínimo de desempeño energético*.
- Almarza, D., & et.all. (2016). *Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. Santiago.
- Alonso Bertaggia, C. (2012). *Cementera del grupo Hurtado Vicuña aspira alcanzar el 25% del mercado a 2020*.
- Banco Central de Chile. (2018). *Base de datos estadísticos*. Obtenido de Tasa de interés mercado secundario de los bonos licitados por el BCCh por 10 años: <https://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- Banco Central de Chile. (2018). *Base de datos estadísticos*. Obtenido de IPC general, variación mensual: <https://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=75G4Y3187>
- C&R Sistemas y Equipos S.A. (s.f.). *¿Cómo dimensionar y seleccionar un compresor de aire?*
- Cabello, C. (2016). *Cementeras anotan su menor crecimiento en ventas en tres años por desaceleración*. Recuperado el 2018, de <http://www.pulso.cl/empresas-mercados/cementeras-anotan-su-menor-crecimiento-en-ventas-en-tres-anos-por-desaceleracion/>
- Cabello, C. (2018). *Ventas de cementeras subieron en el último trimestre de 2017 y ratifican repunte económico*. Recuperado el 2018, de <http://www.pulso.cl/empresas-mercados/ventas-cementeras-subieron-ultimo-trimestre-2017-ratifican-repunte-economico/>
- Cabezas, V., & all, e. (2008). *Industria del Cemento Chilena*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jpverar/analisis-industria-cemento-chilena>
- CanadianSolar. (2017). *MAXPOWER CS6X-310/315/320/325 P*. Ontario: CanadianSolar Inc.
- Carmona De La Cruz, Y. (2011). *Investigación tecnológica*. Cajamarca.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2011). *Control estadístico de procesos*.
- CChC. (2018). *Indicador de Despachos de Hormigón*. Obtenido de Ficha Técnica: <http://www.cchc.cl/centro-de-informacion/indicadores/indice-despacho-de-hormigon>
- CChC. (2018). *Indicadores*. Obtenido de <http://www.cchc.cl/centro-de-informacion/indicadores/>
- CGE Distribución. (2018). *Historial de consumo*. Curicó.
- CGE Distribución. (2018). *Tarifas*. Obtenido de <http://www.cgedistribucion.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>

- CompAir. (sf.). *Compresores lubricados de tornillo rotativos*. Obtenido de Catálogo L07-L22-L07RS-L22RS: <http://www.compair.com/>
- Cuesta, E., Pérez, M., & all, e. (2009). *Investigación tecnológica, una experiencia compartida*. Maracaibo: Revista de Artes y Humanidades UNICA, vol 10.
- DAHSolar. (sf.). *DHP72 305W-330W Poly crystaline PV Module*.
- Delnero, J. S. (s.f.). *Circuitos neumáticos*.
- Deloitte. (2016). *Sector energía III: ERNC, perspectivas y dificultades*. Santiago: Equipo Research–MPS.
- E8D Soluciones. (2012). *Qué es el análisis estadístico*.
- EMB Contrucción. (2013). *Cementos, hormigones y morteros, un mercado que crece*. Recuperado el 2018, de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2740&edi=134&xit=cementos-hormigones-y-morteros-un-mercado-que-crece#>
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. (2018). *El diagrama causa-efecto*.
- Espinoza, C. (2017). *Diario La Tercera*. Obtenido de Energía solar ha tenido explosivo crecimiento en Chile: <http://www2.latercera.com/noticia/energia-solar-chile/>
- Explorador Solar. (2018). *Universidad de Chile*. Obtenido de Ministerio de Energía: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>
- Fajardo, D. (2018). *Las tecnologías que prometen cambiar la generación fotovoltaica en Chile*. Obtenido de Hub Sustentabilidad: <http://www.pulso.cl/hub-sostenibilidad/las-tecnologias-prometen-cambiar-la-generacion-fotovoltaica-chile/>
- Fallas, J. (2012). *Correlación lineal. Midiendo la relación entre dos variables*.
- Feest, P. (2016). *Ahorro y eficiencia energética en la industria*. Obtenido de Salmon Expert: <https://www.salmonexpert.cl/article/ahorro-y-eficiencia-energetica-en-la-industria/>
- FENERCOM. (2018). *Procedimiento de Auditorías Energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid*. Madrid: Escan S.A.
- Garrigós, J. (s.f.). *Actuadores neumáticos*.
- Gómez Lorenzini, M. (2005). *Resistencia y Docilidad*. Santiago.
- Google Maps. (2018). *Polpaico Curicó*.
- Gwinner, S. (2015). *ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PUERTO PATACHE DE LA COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI*. Santiago de Chile.
- ISO 50001. (2016). *Auditorías energéticas según UNE 16247*. Obtenido de <http://iso50001.nom.es/auditorias-energeticas-segun-une-16247/>
- JinkoSolar. (2017). *Eagle 72P 320-340 Watt*.
- KuhnSolar. (sf.). *KYL 72 CELL SERIES*.
- Lureye Generación. (2018). *Cotización Compresor tipo tornillo CompAir mod. L22RS*. Santiago.
- Martínez, O. (Julio de 2015). *Kaeser compresores*. Obtenido de Compresores de tornillo vs compresores de pistón: <http://airecomprimidokaeser.com/index.php/2015/07/01/compresores-tornillo-vs-compresores-piston-2/>
- Mateo, F. (s.f.). *Guía para elección de tecnologías*. Curicó: Universidad de Talca.
- Matepedia. (2016). *Gráfica de Barras con Frecuencia Relativa*. Obtenido de http://matepedia-estadistica.blogspot.cl/2016/05/grafica-de-barras-con-frecuencia_25.html
- MiCRO. (s.f.). *Cilindros*.

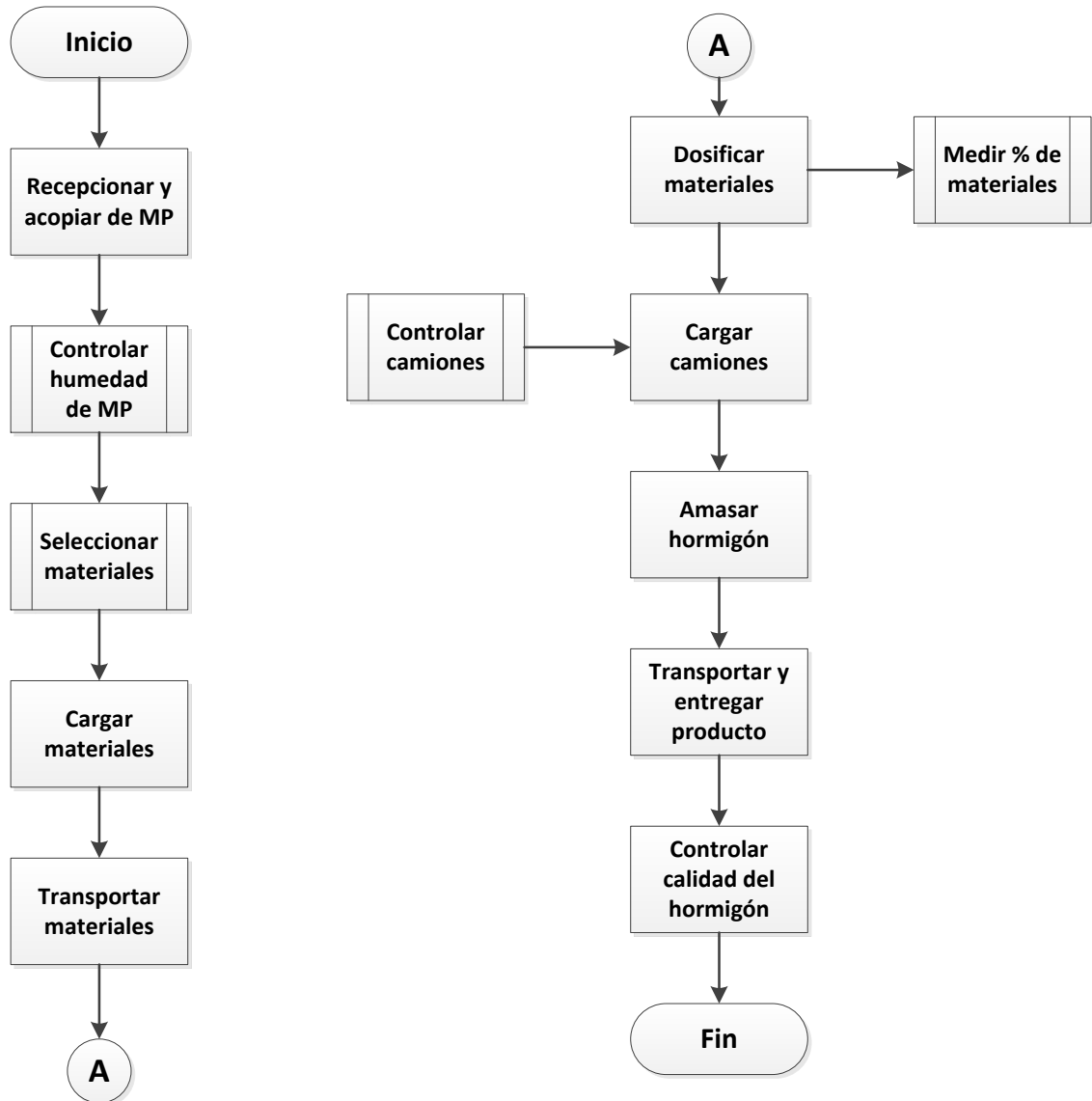
- Ministerio de Energía. (2017). *Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571)*. Santiago de Chile.
- OptimaGrid. (2018). *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*.
- Orellana, L. (2001). *Estadística descriptiva*.
- Polpaico. (2017). *Memoria Anual*. Santiago.
- Polpaico. (2018). *Áridos*. Obtenido de <http://www.polpaico.cl/productos-y-servicios/aridos/>
- Polpaico. (2018). *Cemento*. Obtenido de Productos y servicios: <http://www.polpaico.cl/productos-y-servicios/cemento/>
- Polpaico. (2018). *Hormigones*. Obtenido de <http://www.polpaico.cl/productos-y-servicios/hormigones/>
- Progressa Lean. (2018). *Diagrama Causa-Efecto (Diagrama Ishikawa)*. Obtenido de <http://www.progressalean.com/diagrama-causa-efecto-diagrama-ishikawa/>
- Quiñones, J. (2008). Variadores de frecuencia. *Revista ElectroIndustria*.
- Quispe, E., & Mantilla, L. (2004). Motores eléctricos de alta eficiencia: características electromecánicas, ventajas y aplicabilidad. 9.
- Rincón Soto, I. (Agosto de 2011). *INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA COMO COMPONENTES PARA LA INNOVACIÓN: CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y METODOLÓGICAS*. Obtenido de En Contribuciones a las Ciencias Sociales: <http://www.eumed.net/rev/ccss/13/ibrs.html>
- RodaEnergía. (2017). *Índice de Precios de Sistemas Fotovoltaicos (FV)*. Santiago.
- Ruiz-Falcó, A. (2009). *Herramientas de calidad*. Madrid.
- Sanhueza R., M. (2018). *Hormigón*. Santiago.
- Scheiner Electric. (2008). Mejora del factor de potencia y filtrado de armónicos. En *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*.
- SII. (2018). *Precio dólar*. Obtenido de http://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2018.htm
- SII. (sf.). *Impuesto a las empresas (primera categoría) en sistemas semi-integrado e integrado*. Obtenido de http://www.sii.cl/portales/reforma_tributaria/mapa_reformatributaria.pdf
- Sociedad Pétreos S.A. (2018). *Indicadores Operacionales*. Curicó.
- Sociedad Pétreos S.A. (2016). *Memoria Anual y Estados Financieros*. Santiago.
- Tesla Energy . (2017). *Presupuesto Solar FV*. Concepción.
- Torres Rodríguez, J. (2012). *Efecto que se obtiene en la industria con la automatización del sistema de aire comprimido*. Guayaquil.
- UNID. (s.f.). *Evaluación de Proyectos de Inversión*.
- Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente. (2018). *Corrección del factor de potencia y control de la demanda*.
- UPME. (2007). *Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas*. Bogotá: Grafitecna.
- Urrejola, E., & et.all. (2016). *Effect of soiling and sunlight exposure on the performance ratio of*. Santiago.
- Vittini, H. (2018). *Presupuesto Polpaico*. Molina.
- Wiremea. (2018). *Diagrama Pareto ejemplo excel*. Obtenido de <http://wiremea.com/diagrama-pareto-ejemplo-excel.html>

GLOSARIO

- **AE:** auditoría energética.
- **Áridos:** materiales rocosos naturales usados para hacer el hormigón.
- **Betonera:** máquina provista de un recipiente giratorio que sirve para mezclar los materiales con los cuales se elabora el hormigón.
- **Cono de Abrams:** indicador de la docilidad del hormigón.
- **EE:** eficiencia energética.
- **FV:** fotovoltaico.
- **FP:** factor de potencia.
- **Granulométrica:** medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria.
- **Hormigón premezclado:** resultado de un proceso de mezcla de cemento, pétreos, agua y aditivos.
- **kVAr:** es la sigla de kilovoltamper reactivo, es una medida del flujo de la potencia reactiva.
- **kWp:** sigla de *kilowatt peak*, es la potencia pico o potencia máxima que genera un conjunto de paneles solares.
- **Pétreos:** todo material proveniente de la roca, de una piedra o un peñasco.
- **Puzolánicos:** materiales silíceos o alumino-silíceos que se utilizan para hacer el cemento.
- **VFD:** variador de frecuencia.

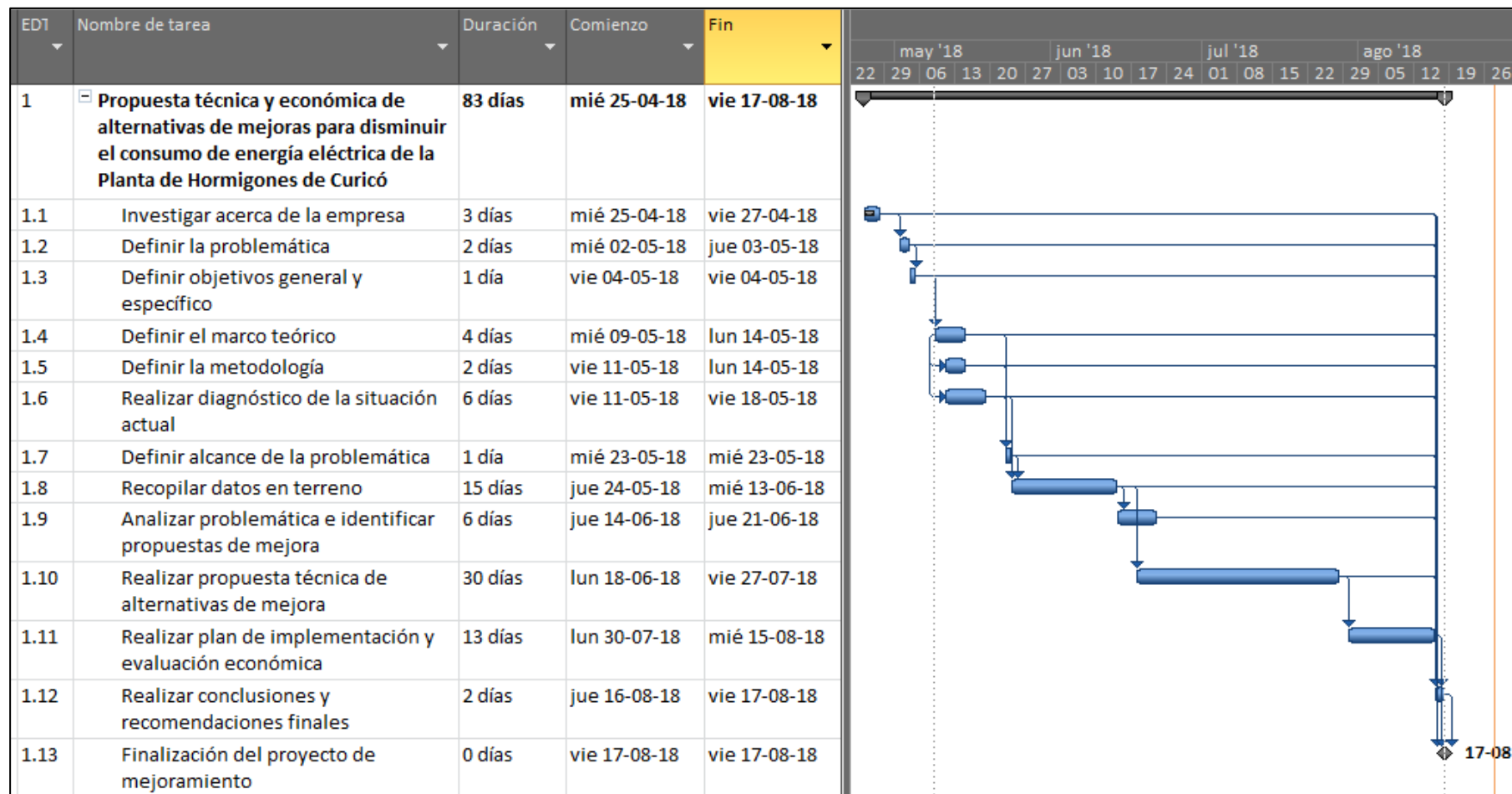
ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo simple del proceso productivo del hormigón premezclado



Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Carta Gantt




Fuente: elaboración propia


Anexo 3. Historial de consumo eléctrico de Sociedad Pétreos Planta Curicó

HISTORIAL DE CONSUMO											Fecha de Emisión: 04.04.2018	
CGE											Página 1 de 1	
Cliente : SOCIEDAD PETREOS S.A. Dirección : AV EL BOSQUE NORTE N°177 LAS CONDES RUT : 93933000-3				Instalación : G3337230 - CURICO Fecha Puesta en Servicio : 26.11.2008 Estado Servicio : Vigente				Pot.Declarada : 148 kW Pot.Conectada : 82.27 kW Limite de Invierno : 0 Haber kW : 0				
N° Medidor	Fecha Lectura	Lectura AC	Observac.	Consumo kWh	Tipo Doc.	Folio	Total	Fecha Pago	Tarifa			REC FAC POT (%)
36142336	28.03.2018	23.571,00	Normal	13.040,00	Fac.Afec Electr	10080133	1.789.980		AT 4.3 MB			5
36142336	27.02.2018	23.245,00	Normal	11.120,00	Fac.Afec Electr	9956366	1.589.500	06.03.2018	AT 4.3 MB			4
36142336	29.01.2018	22.967,00	Normal	12.720,00	Fac.Afec Electr	9825701	1.732.491	05.02.2018	AT 4.3 MB			3
36142336	28.12.2017	22.649,00	Normal	11.920,00	Fac.Afec Electr	9702254	1.643.724	05.01.2018	AT 4.3 MB			3
36142336	27.11.2017	22.351,00	Normal	10.920,00	Fac.Afec Electr	9546855	1.543.420	30.11.2017	AT 4.3 MB			3
36142336	30.10.2017	22.078,00	Normal	12.400,00	Fac.Afec Electr	9441065	1.690.825	06.11.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	28.09.2017	21.768,00	Normal	10.640,00	Fac.Afec Electr	9360701	1.323.203	02.10.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	30.08.2017	21.502,00	Normal	14.280,00	Fac.Afec Electr	9266440	1.658.107	04.09.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	28.07.2017	21.145,00	Normal	12.720,00	Fac.Afec Electr	9179714	1.496.361	03.08.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	29.06.2017	20.827,00	Normal	12.560,00	Fac.Afec Electr	9082144	1.458.093	03.07.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	29.05.2017	20.513,00	Normal	10.840,00	Fac.Afec Electr	8997504	1.303.685	07.06.2017	AT 4.3 MB			1
36142336	27.04.2017	20.242,00	Normal	8.320,00	Fac.Afec Electr	8907924	1.015.676	03.05.2017	AT 4.3 MB			3
36142336	29.03.2017	20.034,00	Normal	8.360,00	Fac.Afec Electr	8815414	1.010.549	05.04.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	27.02.2017	19.825,00	Normal	7.840,00	Fac.Afec Electr	8729097	963.992	02.03.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	30.01.2017	19.629,00	Normal	7.880,00	Fac.Afec Electr	8646788	967.234	08.02.2017	AT 4.3 MB			2
36142336	29.12.2016	19.432,00	Normal	7.000,00	Fac.Afec Electr	8602514	879.855	24.01.2017	AT 4.3 MB			1
36142336	29.11.2016	19.257,00	Normal	7.280,00	Fac.Afec Electr	8484635	913.200	14.12.2016	AT 4.3 MB			2
36142336	27.10.2016	19.075,00	Normal	6.080,00	Fac.Afec Electr	8459155	785.674	28.11.2016	AT 4.3 MB			2
36142336	29.09.2016	18.923,00	Normal	7.400,00	Fac.Afec Electr	8327720	886.223	04.10.2016	AT 4.3 MB			2
36142336	30.08.2016	18.738,00	Normal	10.480,00	Fac.Afec Electr	8245570	1.216.735	26.09.2016	AT 4.3 MB			4
36142336	28.07.2016	18.476,00	Normal	9.520,00	Fac.Afec Electr	8133205	1.107.910	05.08.2016	AT 4.3 MB			4
36142336	29.06.2016	18.238,00	Normal	9.480,00	Fac.Afec Electr	8080350	1.097.310	06.07.2016	AT 4.3 MB			4
36142336	27.05.2016	18.001,00	Normal	6.880,00	Fac.Afec Electr	7972811	837.517	31.05.2016	AT 4.3 MB			1
36142336	28.04.2016	17.829,00	Normal	6.880,00	Fac.Afec Electr	7828850	856.927	02.05.2016	AT 4.3 MB			1

Fuente: (CGE Distribución, 2018)

Anexo 4. Planilla de indicadores operaciones Planta Curicó Sociedad Pétreos S.A.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1			INDICADORES OPERACIONALES 2017												
2			Planta K073 - CURICÓ												
3	VOLVER A LA PORTADA														
4				0	5,1702128	7,25	5,74	6,1	5,796178						
5	INDICADOR	UNIDAD	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	2017
38	IV. CONSUMO DE ENERGIA														
39	Consumo de energía eléctrica	[KW-hra]	7.880	7.840	8.360	8.320	10.840	12.560	12.720	14.280	10.640	12.400	10.920	11.920	128.680
40	Costo de energía eléctrica	[\$]	816.715	810.077	849.201	853.509	1.095.534	1.225.288	1.257.446	1.393.367	1.111.935	1.630.317	1.506.448	1.590.737	14.140.574
41	Recargo Factor de Potencia	[\$]	15.549	15.496	16.251	24.266	10.614	0	0	46.175	36.000	27.243	36.933	39.323	267.850
42	V. PRODUCCION														
43	Volumenes hormigón	[m3]	3.867	3.673	5.408	5.615	9.552	11.462	10.101	10.375	6.356	10.027	10.310	8.563	95.306

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1			INDICADORES OPERACIONALES 2018												
2			Planta K073 - CURICÓ												
3															
4	INDICADOR	Unidad	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	2018
5	I. PRODUCCION														
6	Volumen hormigón facturado	[m3]	10.164	9.634	10.747	8.092									38.637
7	II. CONSUMO DE ENERGIA														
8	Consumo de energía eléctrica	[KW-hra]	12.720	11.120	13.040	13.760									50.640
9	Costo de energía eléctrica	[\$]	1.455.875	1.444.700	1.504.185	1.655.009									6.059.769
10	III. CONSUMO DE AGUA														
11	Consumo de agua total	[m3]	974	639	489	399									2.501
12	Costo del agua	[\$]	641.600	342.600	185.600	135.900									1.305.700

Fuente: (Sociedad Pétreos S.A., 2018)

Anexo 5. Registro de horas de funcionamiento de equipos de iluminación por sector

	Administrativa	Taller mantención	Industrial	Iluminación perimetral	Unidad
Enero	240	240	288	360	horas/mes
Febrero	240	240	288	360	horas/mes
Marzo	240	240	288	360	horas/mes
Abril	240	240	324	405	horas/mes
Mayo	240	240	324	405	horas/mes
Junio	240	240	324	405	horas/mes
Julio	240	240	324	405	horas/mes
Agosto	240	240	324	405	horas/mes
Septiembre	240	240	324	405	horas/mes
Octubre	240	240	288	360	horas/mes
Noviembre	240	240	288	360	horas/mes
Diciembre	240	240	288	360	horas/mes
Total	2.880	2.880	3.672	4.590	horas/año

Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Registro detallado de equipos de iluminación

Sector	Ubicación	Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia (W)	Potencia total (W)
Administración	Oficinas	Tubo led	19	60	1.140
Administración	Baños administrativos	Tubo led	2	60	120
Administración	Pasillo exterior	Foco led	1	200	200
Administración	Pasillo exterior	Tubo fluorescente	5	72	360
Administración	Caseta guardia	Ahorro energía	2	15	30
Administración	Caseta guardia	Tubo fluorescente	1	72	72
Administración	Casino	Tubo fluorescente	4	72	288
Administración	Camarín	Tubo fluorescente	2	72	144
Administración	Camarín	Tubo fluorescente	2	36	72
Administración	Camarín	Ahorro energía	6	12	72
Administración	Baños operadores	Tubo fluorescente	2	72	144
Bodega cemento	Interior bodega	Ahorro energía	40	105	4.200
Bodega cemento	Entrada bodega	Foco halógeno	1	400	400
Bodega cemento	Oficina	Tubo fluorescente	8	72	576
Taller mantención	Interior taller	Foco led	4	50	200
Taller mantención	Interior taller	Foco led campana	2	50	100
Taller mantención	Interior taller	Foco halógeno	1	400	400
Taller mantención	Exterior taller	Foco led	1	50	50
Taller mantención	Exterior taller	Foco led	1	150	150
Taller mantención	Exterior taller	Foco halógeno	1	400	400

Taller mantención	Exterior taller	Foco halógeno	2	150	300
Taller mantención	Bodega repuestos	Tubo fluorescente	2	72	144
Taller mantención	Oficina	Foco led	2	12	24
Perímetro industrial	Perímetro planta	Foco led	13	150	1.950
Perímetro industrial	Perímetro planta	Foco led	7	100	700
Perímetro industrial	Letrero Polpaico	Foco led	2	50	100
Industrial	Puente ajuste cono	Foco led	2	50	100
Industrial	Puente ajuste cono	Foco halógeno	1	100	100
Industrial	Área generadores	Tubo fluorescente	1	72	72
Industrial	Carga camiones Planta 1	Foco led	1	150	150
Industrial	Silos Planta 1	Foco led	1	150	150
Industrial	Depósito áridos Planta 1	Foco led	1	150	150
Industrial	Espacio entre silos	Foco led	2	50	100
Industrial	Silo 1 Planta 1	Foco halógeno	1	400	400
Industrial	Cinta descarga Planta 2	Foco led	1	150	150
Industrial	Depósito áridos Planta 2	Foco led	1	150	150
Industrial	Cinta alimentación Planta 2	Foco led	1	150	150
Industrial	Silo 4 Planta 2	Foco led	1	50	50
Industrial	Depósito áridos Planta 2	Foco led	1	50	50
Industrial	Puente de lavado	Foco led	1	150	150
Industrial	Puente de lavado	Foco halógeno	2	400	800
Industrial	Puente de lavado	Foco halógeno	2	100	200
Industrial	Sala de control	Tubo fluorescente	2	18	36
Industrial	Laboratorio	Tubo fluorescente	4	18	72
Industrial	Sala de compresores	Tubo fluorescente	2	18	36
				Total (W)	15.402

Fuente: elaboración propia

Anexo 7. Registro de horas de funcionamiento de equipos del área administrativa

Sector	Ubicación	Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Horas/día	Días/mes	Horas/mes
Administrativo	Hall o sala ventas	Aire acondicionado	1	8	24	192
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	5	24	120
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	5	24	120
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	5	24	120
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	5	24	120
Administrativo	Sala reuniones	Aire acondicionado	1	5	24	120
Administrativo	Sala reuniones	Proyector	1	1	24	24
Administrativo	Hall o sala ventas	Dispensador de agua	1	1	24	24
Administrativo	Hall o sala ventas	Cafetera	1	1	24	24
Administrativo	Oficinas	Notebook	5	9	24	216

Administrativo	Sala copiado	Máquina impresora	1	3	24	72
Administrativo	Caseta guardia	PC	1	24	24	576
Administrativo	Caseta guardia	Pantalla LCD	1	24	24	576
Administrativo	Caseta guardia	Calefactor	1	4	24	96
Administrativo	Casino	Aire acondicionado	1	10	24	240
Administrativo	Casino	Microondas	1	1	24	24
Administrativo	Casino	Microondas	1	1	24	24
Administrativo	Casino	Hervidor eléctrico	1	0,5	24	12
Administrativo	Casino	Horno eléctrico	1	0,5	24	12
Administrativo	Casino	Televisor LCD	1	4	24	96
Administrativo	Casino	Refrigerador	1	41	Consumo mensual	
Administrativo	Oficina taller mantención	Aire acondicionado	1	8	24	192
Administrativo	Oficina taller mantención	PC	1	10	24	240
Administrativo	Oficina taller mantención	Dispensador de agua	1	1	24	24
Administrativo	Oficina taller mantención	Radio	1	10	24	240
Administrativo	Sala de control	Dispensador de agua	1	1	24	24
Administrativo	Sala de control	Pantallas LCD	2	12	24	288
Administrativo	Sala de control	Calefactor	1	2	24	48
Administrativo	Sala de control	Aire acondicionado	1	8	24	192
Administrativo	Sala de control	Horno eléctrico	1	1	24	24
Administrativo	Sala de control	Impresora	3	12	24	288
Administrativo	Sala de control	PC	4	12	24	288
Administrativo	Oficina bodega cemento	Aire acondicionado	1	8	24	192
Administrativo	Oficina bodega cemento	Hervidor eléctrico	2	0,5	24	12
Administrativo	Oficina bodega cemento	Refrigerador	1	43	Consumo mensual	
Administrativo	Oficina bodega cemento	Dispensador de agua	1	1	24	24
Administrativo	Oficina bodega cemento	Televisor	1	2	24	48

Fuente: elaboración propia

Anexo 8. Registro detallado de equipos administrativos

Sector	Ubicación	Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia (kW)	Potencia total (kW)
Administrativo	Hall o sala ventas	Aire acondicionado	1	1,2	1,2
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	1	1
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	1,02	1,02
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	1,1	1,1
Administrativo	Oficinas administrativos	Aire acondicionado	1	1	1
Administrativo	Sala reuniones	Aire acondicionado	1	1,15	1,15
Administrativo	Sala reuniones	Proyector	1	0,265	0,265
Administrativo	Hall o sala ventas	Dispensador de agua	1	1,2	1,2

Administrativo	Hall o sala ventas	Cafetera	1	0,8	0,8
Administrativo	Oficinas	Notebook	5	0,06	0,3
Administrativo	Sala copiado	Máquina impresora	1	1,6	1,6
Administrativo	Caseta guardia	PC	1	0,125	0,125
Administrativo	Caseta guardia	Pantalla LCD	1	0,125	0,125
Administrativo	Caseta guardia	Calefactor	1	0,8	0,8
Administrativo	Casino	Aire acondicionado	1	1,02	1,02
Administrativo	Casino	Microondas	1	1,2	1,2
Administrativo	Casino	Microondas	1	1,28	1,28
Administrativo	Casino	Hervidor eléctrico	1	2,2	2,2
Administrativo	Casino	Horno eléctrico	1	2	2
Administrativo	Casino	Televisor LCD	1	0,115	0,115
Administrativo	Casino	Refrigerador	1	1,378	1,378
Administrativo	Oficina taller mantención	Aire acondicionado	1	0,77	0,77
Administrativo	Oficina taller mantención	PC	1	0,125	0,125
Administrativo	Oficina taller mantención	Dispensador de agua	1	1,2	1,2
Administrativo	Oficina taller mantención	Radio	1	0,1	0,1
Administrativo	Sala de control	Dispensador de agua	1	1,2	1,2
Administrativo	Sala de control	Pantallas LCD	2	0,1	0,2
Administrativo	Sala de control	Calefactor	1	0,8	0,8
Administrativo	Sala de control	Aire acondicionado	1	1,05	1,05
Administrativo	Sala de control	Horno eléctrico	1	1,5	1,5
Administrativo	Sala de control	Impresora	3	0,15	0,45
Administrativo	Sala de control	PC	4	0,125	0,5
Administrativo	Oficina bodega cemento	Aire acondicionado	1	1,05	1,05
Administrativo	Oficina bodega cemento	Hervidor eléctrico	2	2	4
Administrativo	Oficina bodega cemento	Refrigerador	1	1	1
Administrativo	Oficina bodega cemento	Dispensador de agua	1	1,2	1,2
Administrativo	Oficina bodega cemento	Televisor	1	0,3	0,3
				Total	36,323

Fuente: elaboración propia

Anexo 9. Registro de horas de funcionamiento de equipos del área industrial

Sector	Ubicación	Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Horas/día	Días/mes	Horas/mes
Industrial	Laboratorio	Horno eléctrico industrial	1	5	14	70
Industrial	Planta 1	Motor (alimentación)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Motor (descarga)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Motor (aguilón)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Motor (buzón)	1	8	24	192
Industrial	Planta 2	Motor (tolva áridos)	1	8	24	192

Industrial	Planta 1	Motor (tolva cemento)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Motor (silo 2)	1	4	24	96
Industrial	Planta 1	Motor (silo 3)	1	4	24	96
Industrial	Planta 1	Bomba (alimentación)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Bomba (aditivo)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Bomba (recirculación ad.)	1	8	24	192
Industrial	Planta 1	Compresor de aire	1	7	24	168
Industrial	Planta 2	Motor (alimentación)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Motor (descarga)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Motor (<i>Stacker</i>)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Motor (buzón)	1	4	24	96
Industrial	Planta 3	Motor (tolva áridos)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Motor (tolva cemento)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Motor (silo 5)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Bomba (alimentación)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Bomba (aditivo)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Bomba (recirculación ad.)	1	4	24	96
Industrial	Planta 2	Compresor de aire	1	3	24	72
Industrial	Bombas	Bomba (agua reciclada)	1	8	24	192
Industrial	Bombas	Bomba (pozo)	1	8	24	192
Industrial	Bombas	Bomba (alimentación puente ajuste cono)	1	8	24	192
Industrial	Bombas	Bomba (piscina puente ajuste cono)	1	8	24	192
Industrial	Bombas	Bomba (puente de lavado y chaya)	1	8	24	192

Fuente: elaboración propia

Anexo 10. Registro detallado de equipos industriales

Sector	Ubicación	Tipo equipo	Cantidad (unidades)	Potencia (kW)	Potencia total (kW)
Industrial	Laboratorio	Horno eléctrico industrial	1	2,5	2,5
Industrial	Planta 1	Motor (alimentación)	1	7,5	7,5
Industrial	Planta 1	Motor (descarga)	1	7,5	7,5
Industrial	Planta 1	Motor (aguilón)	1	0,2	0,2
Industrial	Planta 1	Motor (buzón)	1	0,27	0,27
Industrial	Planta 2	Motor (tolva áridos)	1	0,27	0,27
Industrial	Planta 1	Motor (tolva cemento)	1	0,1	0,1
Industrial	Planta 1	Motor (silo 2)	1	7,5	7,5
Industrial	Planta 1	Motor (silo 3)	1	7,5	7,5
Industrial	Planta 1	Bomba (alimentación)	1	5,5	5,5
Industrial	Planta 1	Bomba (aditivo)	1	0,37	0,37
Industrial	Planta 1	Bomba (recirculación aditivo)	1	0,75	0,75

Industrial	Planta 1	Compresor de aire	1	11,2	11,2
Industrial	Planta 2	Motor (alimentación)	1	8,6	8,6
Industrial	Planta 2	Motor (descarga)	1	11,5	11,5
Industrial	Planta 2	Motor (<i>Stacker</i>)	1	0,75	0,75
Industrial	Planta 2	Motor (buzón)	1	0,27	0,27
Industrial	Planta 3	Motor (tolva áridos)	1	0,27	0,27
Industrial	Planta 2	Motor (tolva cemento)	1	0,1	0,1
Industrial	Planta 2	Motor (silo 5)	1	15	15
Industrial	Planta 2	Bomba (alimentación)	1	5,5	5,5
Industrial	Planta 2	Bomba (aditivo)	1	0,37	0,37
Industrial	Planta 2	Bomba (recirculación aditivo)	1	0,75	0,75
Industrial	Planta 2	Compresor de aire	1	11,5	11,5
Industrial	Bombas	Bomba (agua reciclada)	1	0,37	0,37
Industrial	Bombas	Bomba (pozo)	1	0,37	0,37
Industrial	Bombas	Bomba (alimentación puente ajuste cono)	1	5,5	5,5
Industrial	Bombas	Bomba (piscina puente ajuste cono)	1	5,5	5,5
Industrial	Bombas	Bomba (puente de lavado y chaya)	1	5,5	5,5
				Total	122,9

Fuente: elaboración propia

Anexo 11. Registro detallado del consumo estimado de energía eléctrica de la planta según evaluación

Sector	Consumo en kWh/año	% acumulado
Área industrial	192.797	70%
Área iluminación	51.489	89%
Área administrativa	31.542	100%
Total	275.827	

Fuente: elaboración propia

Anexo 12. Tabla de especificación de los kVAR que se deben instalar por kW de carga

Antes de la compensación		Especificación de kVAR de una batería de condensadores que se van a instalar por kW de carga para mejorar $\cos \varphi$ (el factor de potencia) o $\tan \varphi$ con un valor determinado													
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	0,75	0,69	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
		$\cos \varphi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,901	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,872	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,646
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Fuente: (Scheiner Electric, 2008)

Anexo 13. Factura eléctrica marzo 2018 de Sociedad Pétreos S.A.

 <p>CGE COMPAÑÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A. RUT: 76.411.321-7 GIRO: Transmisión, transformación y distribución de energía eléctrica, prestación de servicios administrativos de ingeniería, entre otros, inversiones en bienes de capitales mobiliarios. CASA MATRIZ: Av. Presidente Riesco 5561, Piso 17, Las Condes.</p>	N° de Cliente	1720606	Fecha de emisión:	29/MAR/2018	<p>R.U.T.: 76.411.321-7 FACTURA ELECTRÓNICA N° 10080133</p> <p>S.I.I.-SANTIAGO ORIENTE</p>	
	DATOS DEL CLIENTE Sr. (a): SOCIEDAD PETREOS S.A. Dirección de envío: CO LONGITUDINAL 188 ENTRADA A RAUQUEN KM, CURICO Rut: 93.933.000-3 Giro: EXTRACCION DE PIEDRA, ARENA Y ARCILLA Dirección Comercial: AV EL BOSQUE NORTE N°177 LAS CONDES		DATOS DEL SUMINISTRO Dirección: CO LONGITUDINAL 188 ENTRADA A RAUQUEN KM, CURICO Tipo de tarifa contratada: AT 4.3 - MEDICION BT Sector Tarifario: Curicó STxE-1-A Potencia conectada: 82.27 Subestación: RAUQUEN 66/13,2 KV Fecha límite para cambio de tarifa: 01/03/2018 Fecha término de tarifa: 31/03/2018 Ruta: G3322004-0065 Var. Corresp.: CWEB			
DETALLE DE LECTURA / CONSUMO E INYECCIÓN Periodo de lec. 28/FEB/2018 - 28/MAR/2018 Posible próx. lec. 26/ABR/2018					 <p>Consumo últimos 13 meses (kWh)</p>	
N° MEDIDOR	PROPIEDAD	LEC. ANT.	LEC. ACT.	CTE.		CONSUMO
36142336	Cliente	23.245	23.571	40	13.040	kWh
36142336	Cliente	7.599	7.774	40	7.000	kVAh
Demanda leída Horas Punta: 0 kW Factor de Potencia: 0,881 Demanda máxima leída: 62,68 kW Consumo referencia: 13.636 kWh (30 días)						

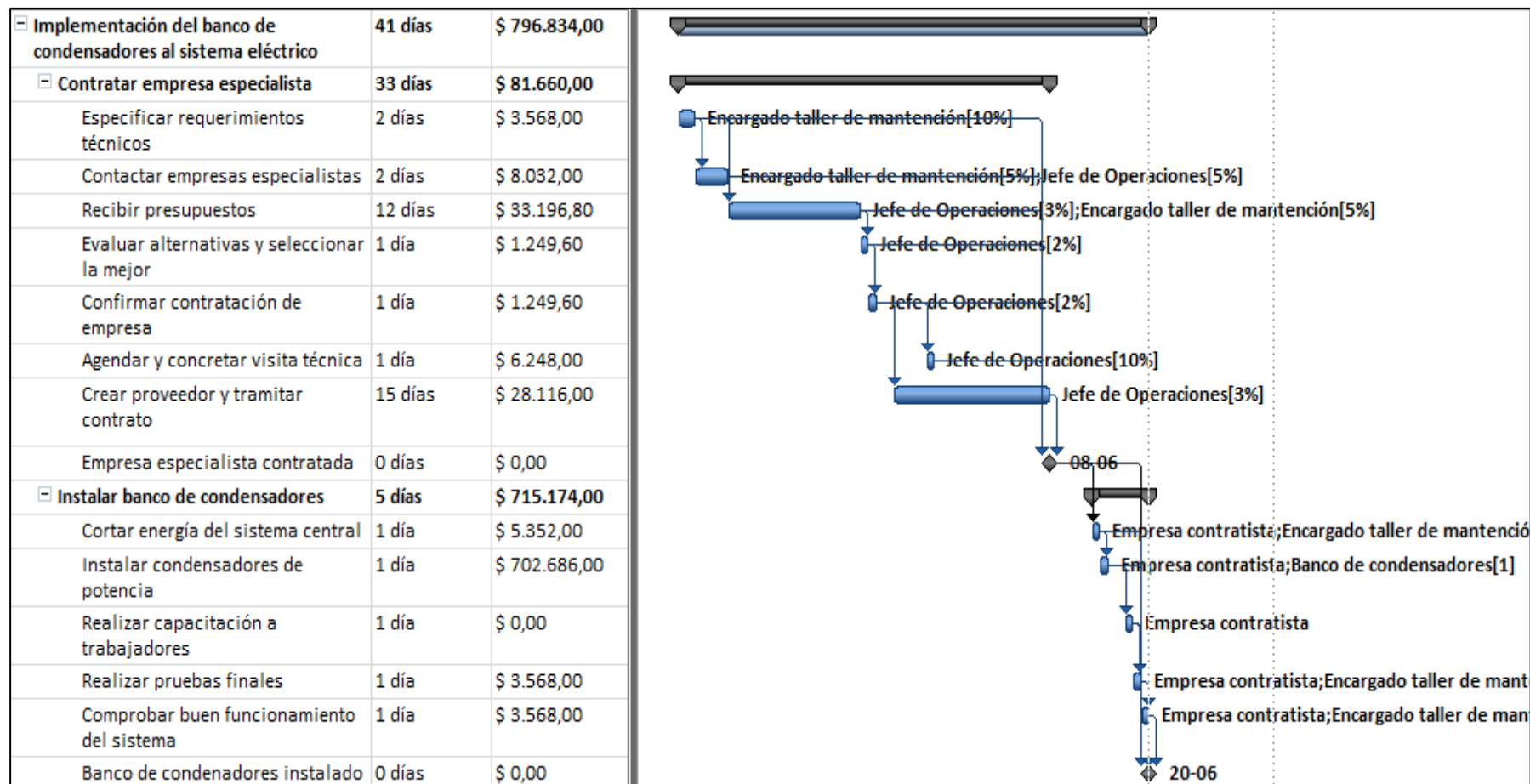
Fuente: CGE Distribución

Anexo 14. Consumo real del último año de Pétreos S.A.

Mes	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Pronóstico promedio móvil	MAD. Promedio móvil	Pronóstico promedio móvil ponderado	MAD. Promedio móvil ponderado
Enero	7.880	12.720	12.720		12.720	
Febrero	7.840	11.120	11.120		11.120	
Marzo	8.360	13.040	13.040		13.040	
Abril	8.320	13.760	13.760		13.760	
Mayo	10.840	14.600	14.600		14.600	
Junio	12.560	17.920	17.920		17.920	
Julio	12.720	14.960	14.960		14.960	
Agosto	14.280		14.017	-263	14.664	384
Septiembre	10.640		14.233	3.562	15.109	4.469
Octubre	12.400		14.856	2.243	15.367	2.967
Noviembre	10.920		15.310	3.952	15.272	4.352
Diciembre	11.920		15.827	3.111	15.370	3.450
Total	128.680		170.885	12.605	173.901	15.621

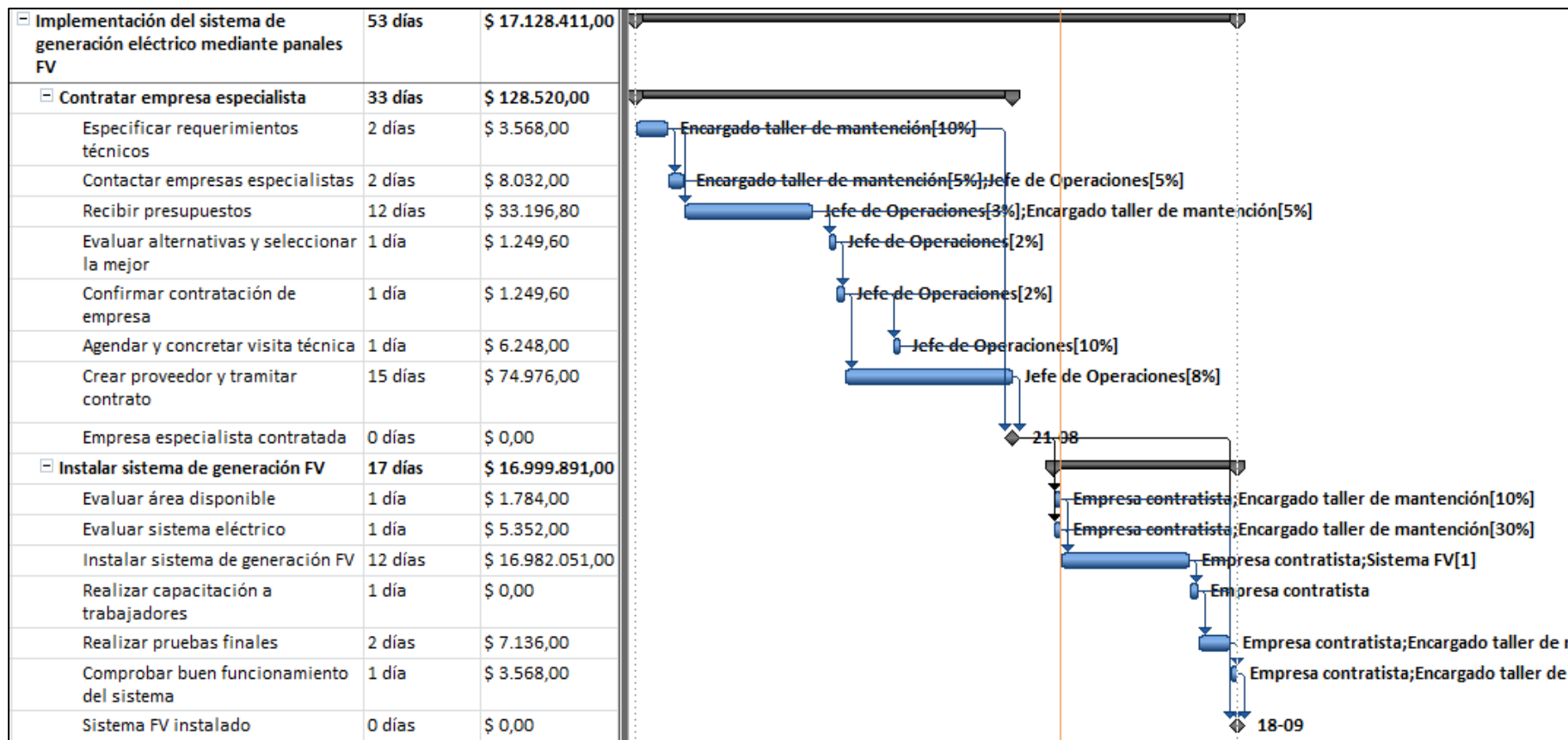
Fuente: (CGE Distribución, 2018), (Polpaico, 2018)

Anexo 15. Plan de implementación del banco de condensadores



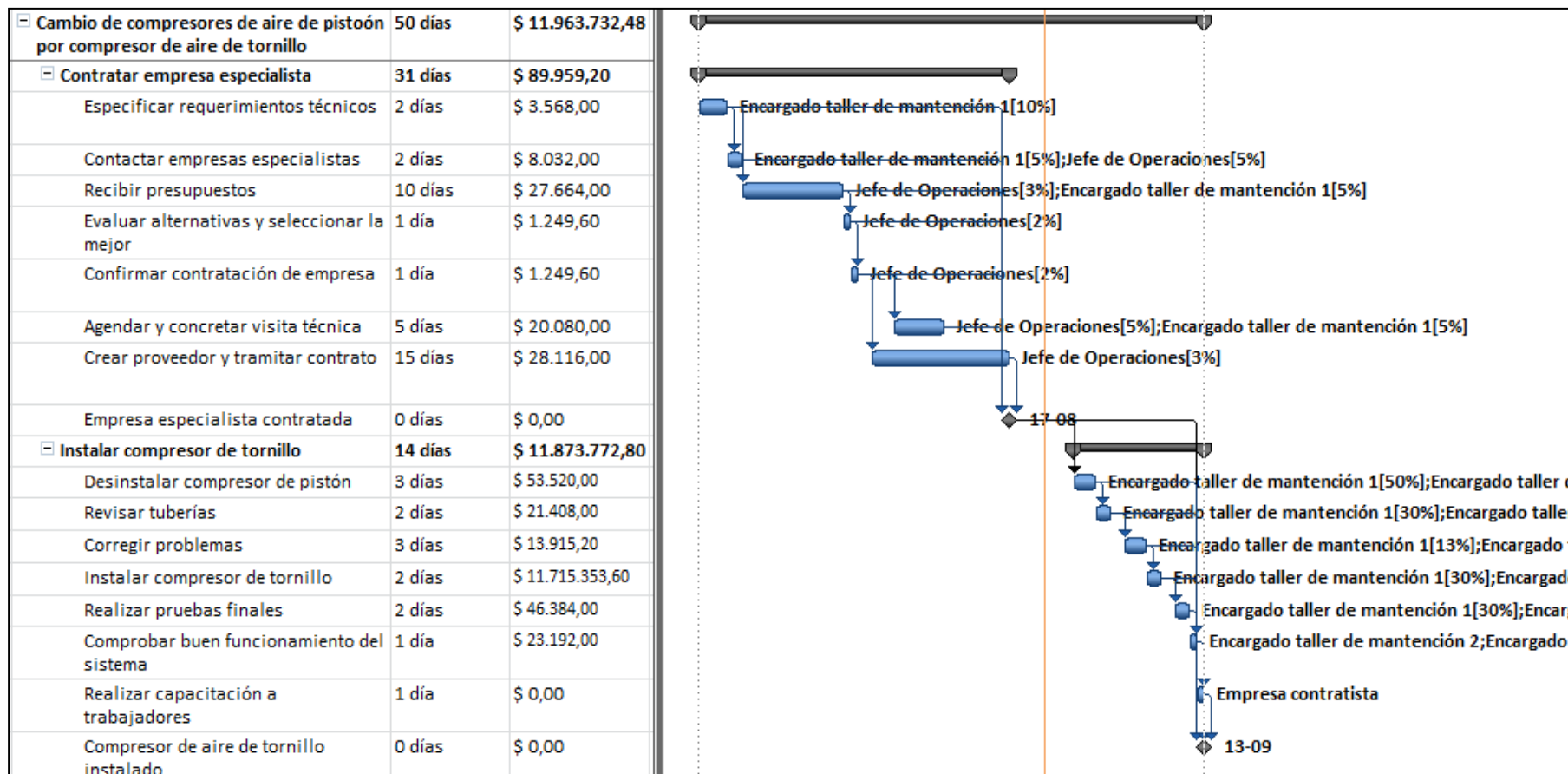
Fuente: elaboración propia

Anexo 16. Plan de implementación de sistema de generación eléctrica mediante paneles FV



Fuente: elaboración propia

Anexo 17. Plan de implementación del cambio de compresores



Fuente: elaboración propia

Anexo 18. Estimación del ahorro de energía de alternativa de banco de condensadores

Año	Mes	Consumo de electricidad (kWh)	Costo total (\$)	Recargo Factor de Potencia (%)	Recargo Factor de Potencia\Ahorro (\$/mes)
2017	may-17	10.840	\$1.303.685	1	\$ 13.037
	jun-17	12.560	\$1.458.093	2	\$ 29.162
	jul-17	12.720	\$1.496.361	2	\$29.927
	ago-17	14.280	\$1.658.107	2	\$33.162
	sep-17	10.640	\$1.323.203	2	\$26.464
	oct-17	12.400	\$1.690.825	2	\$33.817
	nov-17	10.920	\$1.543.420	3	\$46.303
	dic-17	11.920	\$1.643.724	3	\$49.312
2018	ene-18	12.720	\$1.732.491	3	\$51.975
	feb-18	11.120	\$1.589.500	4	\$63.580
	mar-18	13.040	\$1.789.980	5	\$89.499
	abr-18	13.760	\$1.968.400	2	\$39.368
Total (\$/año)					\$505.605

Fuente: elaboración propia en base a datos de (CGE Distribución, 2018)

Anexo 19. Estimación del ahorro energético del sistema FV en los diferentes escenarios de evaluación

		Escenario pesimista	Escenario normal	Escenario optimista
Energía ahorrada por el sistema FV	Energía (kWh)	16.124	17.916	19.708
	Pesos (\$)	\$1.335.972	\$1.484.413	\$1.632.854
Energía inyectada a la red (excedente)	Energía (kWh)	3.916	4.361	4.806
	Pesos (\$)	\$162.228	\$180.663	\$199.098
Total (\$)		\$1.498.200	\$1.665.076	\$1.831.953

Fuente: elaboración propia

Anexo 20. Estimación del ahorro energético del cambio de compresor en los diferentes escenarios de evaluación

		Escenario Pesimista	Escenario Probable	Escenario Optimista
Energía ahorrada por el cambio de compresor	Energía (kWh)	3.050	5.084	8.134
	Pesos (\$)	\$252.729	\$421.216	\$673.945

Fuente: elaboración propia

Anexo 21. Flujo de caja de instalación del banco de condensadores

Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 505.605	\$ 500.549	\$ 505.605	\$ 520.773	\$ 490.437	\$ 495.493	\$ 520.773	\$ 510.661	\$ 495.493	\$ 500.549
Venta de activo											\$ 291.343
Depreciación total		-\$ 194.229	-\$ 194.229	-\$ 194.229	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total											
Utilidad		\$ 311.376	\$ 306.320	\$ 311.376	\$ 520.773	\$ 490.437	\$ 495.493	\$ 520.773	\$ 510.661	\$ 495.493	\$ 791.892
Impuesto		-\$ 84.072	-\$ 82.706	-\$ 84.072	-\$ 140.609	-\$ 132.418	-\$ 133.783	-\$ 140.609	-\$ 137.878	-\$ 133.783	-\$ 213.811
Utilidad Neta		\$ 227.304	\$ 223.614	\$ 227.304	\$ 380.164	\$ 358.019	\$ 361.710	\$ 380.164	\$ 372.782	\$ 361.710	\$ 578.081
Depreciación total		\$ 194.229	\$ 194.229	\$ 194.229	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total											
Inversión	-\$ 702.686										-\$ 582.686
Inversión en implementación	-\$ 94.148										
Capital de trabajo											
Valor de desecho											\$ 4.762.281
Flujo de proyecto	-\$ 796.834	\$ 421.533	\$ 417.842	\$ 421.533	\$ 380.164	\$ 358.019	\$ 361.710	\$ 380.164	\$ 372.782	\$ 361.710	\$ 4.757.676
Valor Actual	-\$ 796.834	\$ 395.360	\$ 367.566	\$ 347.789	\$ 294.182	\$ 259.844	\$ 246.223	\$ 242.717	\$ 223.227	\$ 203.148	\$ 2.506.156
Flujo acumulado	-\$ 796.834	-\$ 401.474	-\$ 33.908	\$ 313.881	\$ 608.063	\$ 867.907	\$ 1.114.130	\$ 1.356.847	\$ 1.580.073	\$ 1.783.221	\$ 4.289.377
VAN	\$ 4.289.377										
VAN (Excel)	\$ 4.289.377										
TIR	54,35%										
PRI	2,10										
B/C	3,41										

Fuente: elaboración propia

Anexo 22. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro de instalación del banco de condensadores

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación	INVERSIONES POR AÑO											
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)		(\$)												
Condensador trifásico 20kVA	1	\$ 139.944	\$ 139.944	3	10	50%	\$ 69.972	\$ 139.944											\$ 139.944
Condensador trifásico 5kVA	1	\$ 67.973	\$ 67.973	3	10	50%	\$ 33.987	\$ 67.973											\$ 67.973
Condensador trifásico 7,5kVA	1	\$ 79.009	\$ 79.009	3	10	50%	\$ 39.505	\$ 79.009											\$ 79.009
Materiales eléctricos	1	\$ 295.760	\$ 295.760	3	10	50%	\$ 147.880	\$ 295.760											\$ 295.760
Mano de obra	1	\$ 120.000	\$ 120.000					\$ 120.000											
Total			\$ 702.686					\$ 702.686	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 582.686

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación	DEPRECIACIÓN POR AÑO												
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)		(\$)													
Condensador trifásico 20 kVA	1	\$ 139.944	\$ 139.944	3	10	50%	\$ 69.972	\$ 46.648	\$ 46.648	\$ 46.648										
Condensador trifásico 5 kVA	1	\$ 67.973	\$ 67.973	3	10	50%	\$ 33.987	\$ 22.658	\$ 22.658	\$ 22.658										
Condensador trifásico 7,5kVA	1	\$ 79.009	\$ 79.009	3	10	50%	\$ 39.505	\$ 26.336	\$ 26.336	\$ 26.336										
Materiales eléctricos	1	\$ 295.760	\$ 295.760	3	10	50%	\$ 147.880	\$ 98.587	\$ 98.587	\$ 98.587										
Total								\$ 194.229	\$ 194.229	\$ 194.229	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación	VALOR LIBRO POR AÑO												
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)		(\$)													
Condensador trifásico 20 kVA	1	\$ 139.944	\$ 139.944	3	10	50%	\$ 69.972													
Condensador trifásico 5 kVA	1	\$ 67.973	\$ 67.973	3	10	50%	\$ 33.987													
Condensador trifásico 7,5kVA	1	\$ 79.009	\$ 79.009	3	10	50%	\$ 39.505													
Materiales eléctricos	1	\$ 295.760	\$ 295.760	3	10	50%	\$ 147.880													
Total								\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real	Valor de liquidación	VENTA ACTIVOS POR AÑO													
								Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)	(% valor original)	(\$)	0	1	2	3	4	5
Condensador trifásico 20 kVA	1	\$ 139.944	\$ 139.944	3	10	50%	\$ 69.972													\$ 69.972	
Condensador trifásico 5 kVA	1	\$ 67.973	\$ 67.973	3	10	50%	\$ 33.987													\$ 33.987	
Condensador trifásico 7,5kVA	1	\$ 79.009	\$ 79.009	3	10	50%	\$ 39.505													\$ 39.505	
Materiales eléctricos	1	\$ 295.760	\$ 295.760	3	10	50%	\$ 147.880													\$ 147.880	
Total									\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 291.343

Fuente: elaboración propia

Anexo 23. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV escenario pesimista

FLUJO DE CAJA	Flujo de caja: Escenario pesimista											
	Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 1.786.997	\$ 1.446.853	\$ 1.437.027	\$ 1.427.202	\$ 1.417.376	\$ 1.407.551	\$ 1.397.725	\$ 1.387.900	\$ 1.378.074	\$ 1.368.248	
Venta de activo												\$ 7.129.395
Depreciación total		-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880
Valor libro total												\$ -
Utilidad		-\$ 1.110.547	-\$ 1.450.690	-\$ 1.460.516	\$ 279.655	\$ 269.830	\$ 260.004	\$ 866.845	\$ 857.020	\$ 847.194	\$ 7.966.763	
Impuesto		\$ 299.848	\$ 391.686	\$ 394.339	-\$ 75.507	-\$ 72.854	-\$ 70.201	-\$ 234.048	-\$ 231.395	-\$ 228.742	-\$ 2.151.026	
Utilidad Neta		-\$ 810.699	-\$ 1.059.004	-\$ 1.066.177	\$ 204.148	\$ 196.976	\$ 189.803	\$ 632.797	\$ 625.624	\$ 618.452	\$ 5.815.737	
Depreciación total		\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	
Valor libro total												
Inversión	-\$ 16.982.051											-\$ 5.591.189
Inversión en implementación	-\$ 146.360											
Capital de trabajo												
Valor de desecho												\$ 16.891.107
Flujo de proyecto	-\$ 17.128.411	\$ 2.086.844	\$ 1.838.539	\$ 1.831.367	\$ 1.351.695	\$ 1.344.522	\$ 1.337.350	\$ 1.163.677	\$ 1.156.504	\$ 1.149.332	\$ 17.646.535	
Valor Actual	-\$ 17.128.411	\$ 1.957.273	\$ 1.617.319	\$ 1.510.982	\$ 1.045.981	\$ 975.831	\$ 910.359	\$ 742.954	\$ 692.529	\$ 645.501	\$ 9.295.498	
Flujo acumulado	-\$ 17.128.411	-\$ 15.171.138	-\$ 13.553.820	-\$ 12.042.838	-\$ 10.996.856	-\$ 10.021.025	-\$ 9.110.666	-\$ 8.367.712	-\$ 7.675.184	-\$ 7.029.682	\$ 2.265.816	
VAN	\$ 2.265.816											
VAN (Excel)	\$ 2.265.816											
TIR	8,59%											
PRI	9,76											
B/C	0,71											

Fuente: elaboración propia

Anexo 24. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV normal

FLUJO DE CAJA	Flujo de caja: Escenario normal											
	Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 1.653.920	\$ 1.636.686	\$ 1.625.571	\$ 1.614.457	\$ 1.603.342	\$ 1.592.227	\$ 1.581.112	\$ 1.569.998	\$ 1.558.883	\$ 1.547.768	
Venta de activo												\$ 7.129.395
Depreciación total		-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880
Valor libro total												\$ -
Utilidad		-\$ 1.243.623	-\$ 1.260.857	-\$ 1.271.972	\$ 466.910	\$ 455.795	\$ 444.680	\$ 1.050.232	\$ 1.039.118	\$ 1.028.003	\$ 8.146.283	
Impuesto		\$ 335.778	\$ 340.431	\$ 343.432	-\$ 126.066	-\$ 123.065	-\$ 120.064	-\$ 283.563	-\$ 280.562	-\$ 277.561	-\$ 2.199.496	
Utilidad Neta		-\$ 907.845	-\$ 920.426	-\$ 928.540	\$ 340.844	\$ 332.730	\$ 324.617	\$ 766.670	\$ 758.556	\$ 750.442	\$ 5.946.787	
Depreciación total		\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	
Valor libro total												
Inversión		-\$ 16.982.051										-\$ 5.591.189
Inversión en implementación		-\$ 146.360										
Capital de trabajo												
Valor de desecho												\$ 18.259.342
Flujo de proyecto		-\$ 17.128.411	\$ 1.989.699	\$ 1.977.118	\$ 1.969.004	\$ 1.488.391	\$ 1.480.277	\$ 1.472.163	\$ 1.297.550	\$ 1.289.436	\$ 1.281.322	\$ 19.145.819
Valor Actual		-\$ 17.128.411	\$ 1.866.159	\$ 1.739.222	\$ 1.624.540	\$ 1.151.761	\$ 1.074.360	\$ 1.002.130	\$ 828.425	\$ 772.130	\$ 719.632	\$ 10.085.262
Flujo acumulado		-\$ 17.128.411	-\$ 15.262.253	-\$ 13.523.030	-\$ 11.898.490	-\$ 10.746.729	-\$ 9.672.369	-\$ 8.670.240	-\$ 7.841.815	-\$ 7.069.685	-\$ 6.350.053	\$ 3.735.209
VAN		\$ 3.735.209										
VAN (Excel)		\$ 3.735.209										
TIR		9,76%										
PRI		9,63										
B/C		0,76										

Fuente: elaboración propia

Anexo 25. Flujo de caja de alternativa sistema de generación FV optimista

FLUJO DE CAJA	Flujo de caja: Escenario optimista											
	Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 1.786.997	\$ 1.768.376	\$ 1.756.367	\$ 1.744.358	\$ 1.732.349	\$ 1.720.340	\$ 1.708.331	\$ 1.696.322	\$ 1.684.313	\$ 1.672.304	
Venta de activo												\$ 7.129.395
Depreciación total		-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 2.897.543	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 1.147.547	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	-\$ 530.880	
Valor libro total												\$ -
Utilidad		-\$ 1.110.547	-\$ 1.129.167	-\$ 1.141.176	\$ 596.811	\$ 584.802	\$ 572.793	\$ 1.177.451	\$ 1.165.442	\$ 1.153.433	\$ 8.270.819	
Impuesto		\$ 299.848	\$ 304.875	\$ 308.118	-\$ 161.139	-\$ 157.897	-\$ 154.654	-\$ 317.912	-\$ 314.669	-\$ 311.427	-\$ 2.233.121	
Utilidad Neta		-\$ 810.699	-\$ 824.292	-\$ 833.059	\$ 435.672	\$ 426.906	\$ 418.139	\$ 859.539	\$ 850.772	\$ 842.006	\$ 6.037.698	
Depreciación total		\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 2.897.543	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 1.147.547	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	\$ 530.880	
Valor libro total												
Inversión	-\$ 16.982.051											-\$ 5.591.189
Inversión en implementación	-\$ 146.360											
Capital de trabajo												
Valor de desecho												\$ 19.437.029
Flujo de proyecto	-\$ 17.128.411	\$ 2.086.844	\$ 2.073.251	\$ 2.064.485	\$ 1.583.219	\$ 1.574.452	\$ 1.565.686	\$ 1.390.419	\$ 1.381.652	\$ 1.372.886	\$ 20.414.417	
Valor Actual	-\$ 17.128.411	\$ 1.957.273	\$ 1.823.789	\$ 1.703.317	\$ 1.225.141	\$ 1.142.710	\$ 1.065.792	\$ 887.718	\$ 827.350	\$ 771.057	\$ 10.753.509	
Flujo acumulado	-\$ 17.128.411	-\$ 15.171.138	-\$ 13.347.350	-\$ 11.644.032	-\$ 10.418.891	-\$ 9.276.181	-\$ 8.210.388	-\$ 7.322.671	-\$ 6.495.320	-\$ 5.724.264	\$ 5.029.245	
VAN	\$ 5.029.245											
VAN (Excel)	\$ 5.029.245											
TIR	10,75%											
PRI	9,53											
B/C	0,80											

Fuente: elaboración propia

Anexo 26. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro del sistema FV

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación	INVERSIONES POR AÑO											
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)		(\$)												
Módulo policristalino 330W Jinko solar	38	\$ 208.640	\$ 7.928.320	10	25	50%	\$ 3.964.160	\$ 7.928.320											
Inversor DC/AC 12kVA SMA 12000TL-20	1	\$ 3.381.112	\$ 3.381.112	3	10	50%	\$ 1.690.556	\$ 3.381.112											\$ 3.381.112
Estructura de soporte aluminio inclinada	1	\$ 3.462.542	\$ 3.462.542	6	20	50%	\$ 1.731.271	\$ 3.462.542											
Materiales eléctricos	1	\$ 2.210.077	\$ 2.210.077	3	10	50%	\$ 1.105.039	\$ 2.210.077											\$ 2.210.077
Total			\$ 16.982.051				\$ 16.982.051	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.591.189

BALANCE DE ACTIVOS								DEPRECIACIÓN POR AÑO										
Ítem	Cantidad (unidad)	Valor unitario de Adquisición (\$/unidad)	Valor Adquisición (\$)	Vida útil depreciación (años)	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Módulo policristalino 330W Jinko solar	38	\$ 208.640	\$ 7.928.320	10	25	50%	\$ 3.964.160		\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832
Inversor DC/AC 12kVA SMA 12000TL-20	1	\$ 3.381.112	\$ 3.381.112	3	10	50%	\$ 1.690.556		\$ 1.127.037	\$ 1.127.037	\$ 1.127.037							
Estructura de soporte aluminio inclinada	1	\$ 3.462.542	\$ 3.462.542	6	20	50%	\$ 1.731.271		\$ 577.090	\$ 577.090	\$ 577.090	\$ 577.090	\$ 577.090	\$ 577.090				
Materiales eléctricos	1	\$ 2.210.077	\$ 2.210.077	3	10	50%	\$ 1.105.039		\$ 736.692	\$ 736.692	\$ 736.692							
Total									\$ 3.233.652	\$ 3.233.652	\$ 3.233.652	\$ 1.369.922	\$ 1.369.922	\$ 1.369.922	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832	\$ 792.832

BALANCE DE ACTIVOS								VALOR LIBRO POR AÑO										
Ítem	Cantidad (unidad)	Valor unitario de Adquisición (\$/unidad)	Valor Adquisición (\$)	Vida útil depreciación (años)	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Módulo policristalino 330W Jinko solar	38	\$ 208.640	\$ 7.928.320	10	25	50%	\$ 3.964.160											
Inversor DC/AC 12kVA SMA 12000TL-20	1	\$ 3.381.112	\$ 3.381.112	3	10	50%	\$ 1.690.556											
Estructura de soporte aluminio inclinada	1	\$ 3.462.542	\$ 3.462.542	6	20	50%	\$ 1.731.271											
Materiales eléctricos	1	\$ 2.210.077	\$ 2.210.077	3	10	50%	\$ 1.105.039											
Total									\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

BALANCE DE ACTIVOS								VENTA ACTIVOS POR AÑO										
Ítem	Cantidad (unidad)	Valor unitario de Adquisición (\$/unidad)	Valor Adquisición (\$)	Vida útil depreciación (años)	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Módulo policristalino 330W Jinko solar	38	\$ 208.640	\$ 7.928.320	10	25	50%	\$ 3.964.160											\$ 3.964.160
Inversor DC/AC 12kVA SMA 12000TL-20	1	\$ 3.381.112	\$ 3.381.112	3	10	50%	\$ 1.690.556											\$ 1.690.556
Estructura de soporte aluminio inclinada	1	\$ 3.462.542	\$ 3.462.542	6	20	50%	\$ 1.731.271											\$ 1.731.271
Materiales eléctricos	1	\$ 2.210.077	\$ 2.210.077	3	10	50%	\$ 1.105.039											\$ 1.105.039
Total									\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8.491.026

Fuente: elaboración propia

Anexo 27. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario pesimista

FLUJO DE CAJA	Escenario Pesimista										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Años/ítem											
Ahorro		\$ 252.729	\$ 251.794	\$ 250.863	\$ 249.935	\$ 249.010	\$ 248.088	\$ 247.171	\$ 246.256	\$ 245.345	\$ 244.437
Venta de activo	\$ 2.612.000										\$ 7.541.744
Depreciación total		-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.242.456	-\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total											
Utilidad	\$ 2.612.000	-\$ 2.132.652	-\$ 2.133.587	-\$ 2.134.519	-\$ 1.992.521	-\$ 1.993.446	\$ 248.088	\$ 247.171	\$ 246.256	\$ 245.345	\$ 7.786.181
Impuesto	-\$ 705.240	\$ 575.816	\$ 576.068	\$ 576.320	\$ 537.981	\$ 538.230	-\$ 66.984	-\$ 66.736	-\$ 66.489	-\$ 66.243	-\$ 2.102.269
Utilidad Neta	\$ 1.906.760	-\$ 1.556.836	-\$ 1.557.518	-\$ 1.558.199	-\$ 1.454.541	-\$ 1.455.216	\$ 181.105	\$ 180.434	\$ 179.767	\$ 179.102	\$ 5.683.912
Depreciación total		\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.242.456	\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total											
Inversión	-\$ 11.641.056										-\$ 428.776
Inversión en implementación	-\$ 322.676										
Capital de trabajo											
Valor de desecho											\$ 5.344.264
Flujo de proyecto	-\$ 10.056.972	\$ 828.545	\$ 827.863	\$ 827.183	\$ 787.915	\$ 787.240	\$ 181.105	\$ 180.434	\$ 179.767	\$ 179.102	\$ 10.599.400
Valor Actual	-\$ 10.056.972	\$ 777.101	\$ 728.251	\$ 682.473	\$ 609.712	\$ 571.365	\$ 123.281	\$ 115.199	\$ 107.647	\$ 100.589	\$ 5.583.345
Flujo acumulado	-\$ 10.056.972	-\$ 9.279.871	-\$ 8.551.620	-\$ 7.869.147	-\$ 7.259.435	-\$ 6.688.069	-\$ 6.564.788	-\$ 6.449.589	-\$ 6.341.942	-\$ 6.241.353	-\$ 658.008
VAN	-\$ 658.008										
VAN (Excel)	\$ -658.008										
TIR	5,65%										
PRI	16,85										
B/C	0,81										

Fuente: elaboración propia

Anexo 28. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario probable

FLUJO DE CAJA	Escenario Probable											
	Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 421.216	\$ 419.657	\$ 418.105	\$ 416.558	\$ 415.016	\$ 413.481	\$ 411.951	\$ 410.427	\$ 408.908	\$ 407.395	
Venta de activo	\$ 2.612.000											\$ 7.541.744
Depreciación total		-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.242.456	-\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total												
Utilidad	\$ 2.612.000	-\$ 1.964.166	-\$ 1.965.724	-\$ 1.967.277	-\$ 1.825.898	-\$ 1.827.440	\$ 413.481	\$ 411.951	\$ 410.427	\$ 408.908	\$ 7.949.139	
Impuesto	-\$ 705.240	\$ 530.325	\$ 530.745	\$ 531.165	\$ 492.993	\$ 493.409	-\$ 111.640	-\$ 111.227	-\$ 110.815	-\$ 110.405	-\$ 2.146.268	
Utilidad Neta	\$ 1.906.760	-\$ 1.433.841	-\$ 1.434.979	-\$ 1.436.112	-\$ 1.332.906	-\$ 1.334.031	\$ 301.841	\$ 300.724	\$ 299.611	\$ 298.503	\$ 5.802.872	
Depreciación total		\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.242.456	\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total												
Inversión	-\$ 11.641.056											-\$ 428.776
Inversión en implementación	-\$ 322.676											
Capital de trabajo												
Valor de desecho												\$ 6.859.142
Flujo de proyecto	-\$ 10.056.972	\$ 951.540	\$ 950.403	\$ 949.269	\$ 909.550	\$ 908.425	\$ 301.841	\$ 300.724	\$ 299.611	\$ 298.503	\$ 12.233.238	
Valor Actual	-\$ 10.056.972	\$ 892.460	\$ 836.046	\$ 783.201	\$ 703.837	\$ 659.319	\$ 205.469	\$ 191.998	\$ 179.411	\$ 167.649	\$ 6.443.987	
Flujo acumulado	-\$ 10.056.972	-\$ 9.164.512	-\$ 8.328.466	-\$ 7.545.265	-\$ 6.841.428	-\$ 6.182.109	-\$ 5.976.640	-\$ 5.784.642	-\$ 5.605.231	-\$ 5.437.582	\$ 1.006.405	
VAN	\$ 1.006.405											
VAN (Excel)	\$ 1.006.405											
TIR	8,03%											
PRI	9,84											
B/C	0,93											

Fuente: elaboración propia

Anexo 29. Flujo de caja de alternativa de cambio de compresor escenario optimista

FLUJO DE CAJA	Escenario Optimista											
	Años/ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 673.945	\$ 671.452	\$ 668.967	\$ 666.492	\$ 664.026	\$ 661.569	\$ 659.121	\$ 656.683	\$ 654.253	\$ 651.832	
Venta de activo	\$ 2.612.000											\$ 7.541.744
Depreciación total		-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.385.381	-\$ 2.242.456	-\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total												
Utilidad	\$ 2.612.000	-\$ 1.711.436	-\$ 1.713.930	-\$ 1.716.414	-\$ 1.575.964	-\$ 1.578.430	\$ 661.569	\$ 659.121	\$ 656.683	\$ 654.253	\$ 8.193.576	
Impuesto	-\$ 705.240	\$ 462.088	\$ 462.761	\$ 463.432	\$ 425.510	\$ 426.176	-\$ 178.624	-\$ 177.963	-\$ 177.304	-\$ 176.648	-\$ 2.212.266	
Utilidad Neta	\$ 1.906.760	-\$ 1.249.348	-\$ 1.251.169	-\$ 1.252.982	-\$ 1.150.454	-\$ 1.152.254	\$ 482.945	\$ 481.159	\$ 479.378	\$ 477.605	\$ 5.981.311	
Depreciación total		\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.242.456	\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor libro total												
Inversión	-\$ 11.641.056											-\$ 428.776
Inversión en implementación	-\$ 322.676											
Capital de trabajo												
Valor de desecho												\$ 9.131.461
Flujo de proyecto	-\$ 10.056.972	\$ 1.136.033	\$ 1.134.213	\$ 1.132.399	\$ 1.092.002	\$ 1.090.202	\$ 482.945	\$ 481.159	\$ 479.378	\$ 477.605	\$ 14.683.995	
Valor Actual	-\$ 10.056.972	\$ 1.065.497	\$ 997.739	\$ 934.294	\$ 845.024	\$ 791.250	\$ 328.750	\$ 307.197	\$ 287.058	\$ 268.238	\$ 7.734.949	
Flujo acumulado	-\$ 10.056.972	-\$ 8.991.475	-\$ 7.993.736	-\$ 7.059.442	-\$ 6.214.418	-\$ 5.423.168	-\$ 5.094.418	-\$ 4.787.221	-\$ 4.500.163	-\$ 4.231.925	\$ 3.503.024	
VAN	\$ 3.503.024											
VAN (Excel)	\$ 3.503.024											
TIR	11,22%											
PRI	9,55											
B/C	1,10											

Fuente: elaboración propia

Anexo 30. Calendarios de inversión, depreciación, venta de activos y valor libro de la alternativa del cambio de compresor

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real (% valor original)	Valor de liquidación	INVERSIONES POR AÑO										
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)		(\$)											
Compresor tornillo L22RS	1	\$ 7.346.080	\$ 7.346.080	5	15	70%	\$ 5.142.256	\$ 7.346.080										
Secador de aire	1	\$ 2.606.200	\$ 2.606.200	5	15	50%	\$ 1.303.100	\$ 2.606.200										
Filtro B	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194	\$ 214.388										\$ 214.388
Filtro C	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194	\$ 214.388										\$ 214.388
Estanque horizontal 500 litros	1	\$ 1.260.000	\$ 1.260.000	5	15	70%	\$ 882.000	\$ 1.260.000										
Total							\$ 11.641.056	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 428.776

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real	Valor de liquidación	DEPRECIACIÓN POR AÑO												
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)	(% valor original)	(\$)													
Compresor tornillo L22RS	1	\$ 7.346.080	\$ 7.346.080	5	15	70%	\$ 5.142.256		\$ 1.469.216	\$ 1.469.216	\$ 1.469.216	\$ 1.469.216	\$ 1.469.216	\$ 1.469.216						
Secador de aire	1	\$ 2.606.200	\$ 2.606.200	5	15	50%	\$ 1.303.100		\$ 521.240	\$ 521.240	\$ 521.240	\$ 521.240	\$ 521.240	\$ 521.240						
Filtro B	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194		\$ 71.463	\$ 71.463	\$ 71.463	\$ 71.463								
Filtro C	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194		\$ 71.463	\$ 71.463	\$ 71.463									
Estanque horizontal 500 litros	1	\$ 1.260.000	\$ 1.260.000	5	15	70%	\$ 882.000		\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000						
Total									\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.385.381	\$ 2.242.456	\$ 2.242.456	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real	Valor de liquidación	VALOR LIBRO POR AÑO												
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)	(% valor original)	(\$)													
Compresor tornillo L22RS	1	\$ 7.346.080	\$ 7.346.080	5	15	70%	\$ 5.142.256													
Secador de aire	1	\$ 2.606.200	\$ 2.606.200	5	15	50%	\$ 1.303.100													
Filtro B	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194													
Filtro C	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194													
Estanque horizontal 500 litros	1	\$ 1.260.000	\$ 1.260.000	5	15	70%	\$ 882.000													
Total									\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

BALANCE DE ACTIVOS	Cantidad	Valor unitario de Adquisición	Valor Adquisición	Vida útil depreciación	Vida útil real (años)	Valor de venta al término de vida útil real	Valor de liquidación	VENTA ACTIVOS POR AÑO												
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ítem	(unidad)	(\$/unidad)	(\$)	(años)	(años)	(% valor original)	(\$)													
Compresor tornillo L22RS	1	\$ 7.346.080	\$ 7.346.080	5	15	70%	\$ 5.142.256													\$ 5.142.256
Secador de aire	1	\$ 2.606.200	\$ 2.606.200	5	15	50%	\$ 1.303.100													\$ 1.303.100
Filtro B	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194													\$ 107.194
Filtro C	1	\$ 214.388	\$ 214.388	3	10	50%	\$ 107.194													\$ 107.194
Estanque horizontal 500 litros	1	\$ 1.260.000	\$ 1.260.000	5	15	70%	\$ 882.000													\$ 882.000
Compresor MSWV60 pistón	2	\$ 2.612.000	\$ 5.224.000			50%	\$ 2.612.000	\$ 2.612.000												\$ -
Total									\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.541.744

Fuente: elaboración propia

Anexo 31. Manual de mantenimiento del sistema FV

ANEXO PROYECTO DE MEJORAMIENTO

Manual de mantenimiento de sistemas fotovoltaicos



CURICÓ - CHILE
Julio 2018

Índice

Manual de mantenimiento de sistemas fotovoltaicos	1
1. Beneficios del mantenimiento preventivo	1
2. Documentación	2
3. Componentes del sistema fotovoltaico	2
4. Plan de mantenimiento	3
4.1. Mantenimiento preventivo	4
4.2. Mantenimiento correctivo	6
5. Recomendaciones	10

Manual de mantenimiento de sistemas fotovoltaicos¹

El siguiente manual tiene como objetivo:

Que el lector comprenda los aspectos críticos de la operación y mantención de sistemas FV y pueda solucionar los problemas que se presenten en las plantas que tiene instaladas.

1. Beneficios del mantenimiento preventivo

Los sistemas FV son, en general, muy confiables y su vida útil puede durar hasta 25 años. Pero no se debe olvidar que el paso del tiempo y la exposición a la intemperie como: el cambio de temperatura, lluvia, viento, radiación UV, polvo, entre otros, pueden presentar problemas. Estas fallas pueden repararse a bajo costo, no afectando el rendimiento del sistema y los retornos esperados.

Un mantenimiento eficaz de la instalación tiene varios beneficios tales como:

- Mejorar el rendimiento, aumentando la cantidad de energía producida.
- Mitigar o, en su defecto, evitar la inoperancia del sistema maximizando la disponibilidad y productividad de la planta FV.
- Aumenta la vida útil del sistema.

Por otro lado, se debe considerar el tipo de financiamiento para realizar el mantenimiento del sistema FV. En este aspecto existen tres alternativas:



1. Usar personal propio capacitado.
2. Contratar el mantenimiento a la empresa que instaló el sistema.
3. Contratar un proveedor de mantenimiento externo.

En relación con la información anterior, se debe realizar un análisis de costo-beneficio, ya que si se desea usar personal propio primero debe ser capacitado, lo cual acarrea un costo. El contrato de mantenimiento tiene la ventaja que el personal que realiza

¹ Este manual se elabora en base a la Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos del Programa Techos Solares Públicos.

Fuente: elaboración propia

Anexo 32. Cotización alternativa banco de condensadores

 <p>Brain Engineer INNOVATION ADN DEVOLOPOMENT</p> <p>SEÑORES. POLPAICO S.A. At.Sr.: SERGIO ZAPATA.</p> <p>Estimado Sergio</p> <p>En la observación realizada a Factura de Luz que arroja un $\cos. \phi$ de 0.88 lo que $\cos. \phi$ de 0.88 a 0.985, una corriente ideal. Por otro lado se hace evidente, una demanda excesiva de Potencia en HP, la que aparte esta altísima por; Mal $\cos. \phi$ y uso después de las 18:00. Hrs. La idea en general es salir de la multa y bajar las demandas al corregir el bajo factor de Potencia, además se sugiere un Detallado estudio para determinar, la mejor Factibilidad de hacer uso energético después de las 18:00, ya sea coogenerando, cambiando de tarifa etc. También se hace observación al cargo por Medición en Media Tensión y en terreno se ve la existencia, de un Compacto de Medida, no conectado.</p> <p>ESTADO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia de condensadores instalados 5 Kvar. • Total de condensadores 1. <p>TRABAJOS A REALIZAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suministro e instalación de Condensadores de Capacidad requerida para mantener un $\cos. \phi$ aproximado a 0.985. • Los Bancos irían en Motor 20HP y TG. • Suministro e instalación de Automáticos Trifásicos de Capacidad requerida. • Suministro e instalación de Automático Monofásicos de Capacidad requerida. • Suministro e instalación de Contactores con Insertos Resistivos de Capacidad requerida. <ul style="list-style-type: none"> • En general, la instalación de este equipo además permitiría el aumento de motores y equipos en general, sin que perjudique el sistema instalado. <p>TALCA MOLINA QUECHEREGUAS N° 1915 of. 1 SANTIAGO</p> <p>Fono: 56 71 2339277 Fono: 56 752593775 Fono: 56 232079081</p>	 <p>Brain Engineer INNOVATION ADN DEVOLOPOMENT</p> <table border="0"> <tbody> <tr> <td>TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA OBRA:</td> <td>1 Día, hábil.</td> </tr> <tr> <td>VALOR DE LA OFERTA:</td> <td>\$ 590.000.- Más IVA.</td> </tr> <tr> <td>GARANTÍA DE EQUIPOS:</td> <td>Dos años.</td> </tr> <tr> <td>GARANTÍA DE BUEN FACTOR DE POTENCIA:</td> <td>Dos Años.</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE AMORTIZACIÓN DE LA OBRA:</td> <td>Cuatro a cinco meses.</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE CORTE DE LUZ:</td> <td>5 Minutos por Fase.</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es importante hacer notar, que al corregir la Cuadrática del Triángulo de Potencias la Pa (potencia aparente) debería disminuir.</p> <p>El estudio lo realizaría, sin costo Cliente Nuevo.</p> <p>Los equipos a emplear, cumplen con los estándares de calidad y normativas vigentes.</p> <p>A la espera, de que el objetivo de esta presentación, haya cumplido, en aclaración de puntos importantes y atentos a cualquier consulta, le saluda cordialmente.</p> <p>Hernán Vittini de la Barrera Ingeniero Civil Eléctrico 56977941231</p> <p>TALCA MOLINA QUECHEREGUAS N° 1915 of. 1 SANTIAGO</p> <p>Fono: 56 71 2339277 Fono: 56 752593775 Fono: 56 232079081</p>	TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA OBRA:	1 Día, hábil.	VALOR DE LA OFERTA:	\$ 590.000.- Más IVA.	GARANTÍA DE EQUIPOS:	Dos años.	GARANTÍA DE BUEN FACTOR DE POTENCIA:	Dos Años.	TIEMPO DE AMORTIZACIÓN DE LA OBRA:	Cuatro a cinco meses.	TIEMPO DE CORTE DE LUZ:	5 Minutos por Fase.
TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA OBRA:	1 Día, hábil.												
VALOR DE LA OFERTA:	\$ 590.000.- Más IVA.												
GARANTÍA DE EQUIPOS:	Dos años.												
GARANTÍA DE BUEN FACTOR DE POTENCIA:	Dos Años.												
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN DE LA OBRA:	Cuatro a cinco meses.												
TIEMPO DE CORTE DE LUZ:	5 Minutos por Fase.												

Fuente: (Vittini, 2018)

Anexo 33. Cotización alternativa sistema FV



Concepción, 13-03-2017

Presupuesto Solar FV - 12 kWp

Señor (es): Ilustre Municipalidad de Talca

Tenemos el agrado de cotizar los siguientes servicios:

Presupuesto Proyecto Solar Fotovoltaico

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Precio Unitario	Subtotal
Suministro Equipos Sistema Fotovoltaico					
1.1	Panel Fotovoltaico Policristalino 260 Watts - Jinko Solar JKM260P-60	cu	46	\$ 178.256	\$ 8.199.776
1.2	Inversor DC/AC 12 kVA - SMA Sunny Tripower 12000TL-20	cu	1	\$ 3.612.313	\$ 3.612.313
1.3	Estructura de Montaje Aluminio Inclinada - Sunfer Energy	gl	1	\$ 2.417.255	\$ 2.417.255
1.6	Material eléctrico (*)	gl	1	\$ 2.361.203	\$ 2.361.203
Total Neto					\$ 16.590.547
I.V.A.					\$ 3.152.204
TOTAL					\$ 19.742.750

Potencia Instalada: 11.960 Watts peak DC

Lugar del trabajo: Talca, Región del Maule.

(*) Material Eléctrico: Incluye medidor bidireccional trifásico, barra de distribución, Tablero metálico IP, Protecciones Automáticas y Diferenciales, canalizaciones tubo galvanizado, Sistema puesta a tierra, señalética adhesiva seguridad, cable FV pos. Y neg., conectores MC4, Cables RV-K y cable verde tierra.

Observaciones: Se considera valor del Dólar Observado del Banco Central al día 13-03-17 \$ 663,40
 Se considera valor del Euro Observado del Banco Central al día 13-03-17 \$ 707,78
 Se considera sistema a puesta a tierra existente según Nch 4/2003
 Se considera espacio para bodegaje e instalación de faena.
 Se considera estructura de montaje paralela a techo.

Esperando que nuestra oferta sea de vuestro interés les saluda atentamente,

Eduardo García B.
Gerente General

Anexo 34. Cotización alternativa cambio de compresor



• VALORES:

Ítem	Compresor CompAir Lureye	Cant	Valor Lista	Valor Oferta
1	Compresor CompAir Mod. L22 Motor 30Hp	1	\$6.559.000	\$5.090.000
2	Secador de aire CompAir Mod. F36C	1	\$2.606.200	\$1.990.000
3	Filtro de línea CompAir Mod. CF0036 – B	1	\$214.388	\$214.000
4	Filtro de línea CompAir Mod. CF0036 – C	1	\$214.388	\$214.000
5	Estanque horizontal 500 Lts. (Con accesorios instalados)	1	\$1.260.000	\$1.050.000
Valor Neto + IVA			\$10.853.976	\$8.558.000

CONDICIONES COMERCIALES:

- VALORES** : Unitarios + IVA expresados en pesos Chilenos.
- FORMA DE PAGO** : A convenir.
- PLAZO DE ENTREGA** : Equipos en stock, integración 5 días hábiles, una vez recibida o/c
- LUGAR DE ENTREGA** : En nuestras bodegas, puesto sobre camión.
- NOTA** : Los valores indicados **SI** incluyen instalación.
- GARANTIA** : Dos años unidad compresora. Motor eléctrico y secador de aire un año. **NO** es parte de la garantía filtros, correas y accesorios del estanque por ser elementos de recambio. **Garantía Base en Santiago.**
- SERVICIO TÉCNICO** : Lureye S.A. cuenta con personal técnico calificado para el asesoramiento en la operación del equipo.
- REPUESTOS** : Además contamos con una amplia gama de repuestos originales **CompAir** en Stock.
- RESPALDO** : Nuestra empresa pertenece al grupo de empresas **LUREYE**, cuya trayectoria de 63 años nos ha consolidado solidamente en el mercado.
- VALIDEZ DE OFERTA** : 10 días,

En espera de que nuestra información sea clara para su decisión de compra, le saludan muy atentamente a Ud.,

Jose Melendez Castillo
Ejecutivo comercial VI y VII Región
Fono: 995399685



LUREYE GENERACION S.A. Vic. Mackenna 1503, Santiago. Fono: 56-2-28975000. Fax: 56-2-28975009.
E-mail: j.melendez@lureye.cl

Fuente: (Lureye Generación, 2018)