

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