

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 LUGAR DE APLICACIÓN.	2
1.2.1 <i>Proyecciones de despacho y desarrollo macroeconómico.</i>	3
1.2.2 <i>Proyectos para ampliación de la capacidad de producción.</i>	5
1.3 LA OPORTUNIDAD.	5
1.4 OBJETIVO GENERAL.	9
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	9
1.6 RESULTADOS TANGIBLES ESPERADOS.	9
1.7 ÁREA DE INVESTIGACIÓN.	10
1.8 ÁREAS DE ESTUDIO.	10
1.9 OTROS INTERESADOS.	11
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.	12
2.2 GESTIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y SUS BENEFICIOS PARA EL CONSUMIDOR FINAL.	13
2.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO.	13
2.3.1 <i>Demandas de energía eléctrica de los procesos.</i>	13
2.3.2 <i>Precios de la energía eléctrica.</i>	13
2.3.3 <i>Parámetros de potencia contratada.</i>	15
2.4 VARIABLES CONCERNIENTES A LA GENERACIÓN CON UNIDADES ELECTRÓGENAS.	17
2.4.1 <i>Costos de partida.</i>	17
2.4.2 <i>Costo y tasa de conversión de combustible en electricidad.</i>	18
2.4.3 <i>Costo de detención de una unidad electrógena.</i>	18
2.5 RESTRICCIONES OPERACIONALES DE UNIDADES ELECTRÓGENAS.	19
2.5.1 <i>Límites técnicos de operación.</i>	19
2.5.2 <i>Tiempo mínimo y máximo de operación.</i>	19
2.5.3 <i>Tiempo mínimo parada.</i>	20
2.5.4 <i>Limitaciones de planta.</i>	20
2.5.5 <i>Rampas de encendido y apagado.</i>	20
2.5.6 <i>Limitaciones de combustible.</i>	20
2.5.7 <i>Restricciones de Potencia Suministrada a la Planta.</i>	21
2.6 ELECCIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS Y EQUIPOS.	21
2.6.1 <i>Programación Lineal (PL).</i>	22
2.6.2 <i>Programación Lineal Entera Mixta (PLEM).</i>	23

2.7	VARIABLES QUE AFECTAN AL PRECIO DE LA ENERGÍA PARA CLIENTES LIBRES.	27
2.7.1	<i>Estimación del costo marginal en el largo plazo.</i>	28
2.7.2	<i>Proyecciones para el costo marginal propuestas por el modelo SDDP.</i>	30
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA</b>		<b>32</b>
3.1	INTRODUCCIÓN	32
3.2	DIVISIÓN DEL PROYECTO	32
3.3	DEFINICIÓN DEL DESARROLLO DE ACTIVIDADES.	34
3.3.1	<i>Análisis de oferta y demanda eléctrica en la empresa.</i>	34
3.3.2	<i>Formulación del modelo determinístico.</i>	35
3.3.3	<i>Entrega y análisis de los resultados del modelo determinístico.</i>	36
3.3.4	<i>Conclusiones y propuesta para la preparación organizacional ante el modelo de decisión.</i>	37
<b>CAPÍTULO IV OFERTA Y DEMANDA ELÉCTRICA</b>		<b>39</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.	39
4.2	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA PLANTA.	40
4.2.1	<i>Etapa 1: Recepción de Materias Primas.</i>	41
4.2.2	<i>Etapa 2: Molienda del Crudo.</i>	42
4.2.3	<i>Etapa 3: Calcinación de Crudo.</i>	45
4.2.4	<i>Etapa 4: Molienda de Cemento.</i>	51
4.2.5	<i>Etapa 5: Almacenamiento y Despacho de Cemento.</i>	57
4.2.6	<i>Sala de Control, Portería y Edificios Administrativos.</i>	59
4.2.7	<i>Silos de Clinker, Carbón y Molino de Carbón.</i>	60
4.3	OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	61
4.3.1	<i>Oferta del Sistema Interconectado Central.</i>	62
4.3.2	<i>Oferta del generador diesel.</i>	63
4.3.3	<i>Oferta de los grupos motores generadores Hyundai.</i>	63
4.4	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DEL FUTURO MODELO.	66
4.4.1	<i>Parámetros de entrada.</i>	68
4.4.2	<i>Parámetros de energía mínima solicitable al SIC.</i>	70
4.4.3	<i>Parámetros y constantes de oferta de todas las formas de generación disponibles.</i>	70
<b>CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DETERMINÍSTICO</b>		<b>71</b>
5.1	INTRODUCCIÓN.	71
5.2	SUPUESTOS DEL MODELO.	72
5.3	FORMULACIÓN MATEMÁTICA.	75
5.3.1	<i>Definición de las variables del problema.</i>	75
5.3.2	<i>Inclusión de nuevos parámetros en el problema.</i>	77

5.3.3	<i>Función objetivo.</i>	80
5.3.4	<i>Restricción de balance entre oferta y demanda de energía.</i>	81
5.3.5	<i>Restricciones de desglosamiento de demanda en los equipos y áreas.</i>	83
5.3.6	<i>Restricción de tiempo mínimo de operación para el molino de crudo.</i>	84
5.3.7	<i>Restricción de tiempo mínimo de operación para el molino de carbón.</i>	85
5.3.8	<i>Restricción de tiempo de operación mínimo y máximo para los molinos de cemento 1 y 2.</i>	86
5.3.9	<i>Restricciones operacionales del área de envasado.</i>	88
5.3.10	<i>Restricciones de disponibilidad de potencia máxima proveniente del SIC.</i>	89
5.3.11	<i>Restricciones operacionales de los grupos motores generadores Hyundai.</i>	91
5.3.12	<i>Restricciones de funcionamiento para el grupo diesel de 1 MW.</i>	97
5.3.13	<i>Restricciones de no negatividad.</i>	97
5.3.14	<i>Restricciones de acotamiento superior para variables binarias.</i>	97
5.4	COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL.	98
<b>CAPÍTULO VI PRUEBAS Y RESULTADOS</b>		<b>100</b>
6.1	INTRODUCCIÓN.	100
6.2	ELECCIÓN DEL SOLVER.	100
6.2.1	<i>Características y limitaciones de los Solvers.</i>	101
6.2.2	<i>Diferentes alternativas de Solvers.</i>	101
6.3	DEFINICIÓN DE LAS PRUEBAS.	102
6.3.1	<i>Día 4 de Noviembre de 2008.</i>	105
6.3.2	<i>Validación del correcto funcionamiento de las restricciones.</i>	108
6.3.3	<i>Día 7 de mayo de 2008.</i>	111
6.3.4	<i>Análisis de sensibilidad.</i>	114
<b>CAPÍTULO VII PROPUESTA A NIVEL ORGANIZACIONAL</b>		<b>119</b>
7.1	INTRODUCCIÓN.	119
7.2	CONCLUSIONES GENERALES.	119
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>123</b>
ANEXO 1		124
ANEXO 2		135
ANEXO 3		142

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1: Fuente: Banco Central de Chile, Cámara Chilena de la Construcción.....	3
Gráfico 1.2: Fuente Banco Central de Chile, Cámara Chilena de la Construcción.....	4
Gráfico 1.3: Fuente: Banco Central de Chile, Cámara Chilena de la Construcción.....	4
Gráfico 2.1: Función Potencia.....	15
Gráfico 2.2: Función costo del tiempo de apagado.....	18
Gráfico 2.3: Proyección Costo Marginal.....	30
Gráfico 2.4: Parque Generación Térmico.....	31
Gráfico 4.1: Medición de potencia promedio consumida por el sector de materias.....	41
Gráfico 4.2: Histograma de potencia consumida por el sector de Materias Primas.....	42
Gráfico 4.3: Medición de potencia promedio consumida por el Molino Atox.....	44
Gráfico 4.4: Histograma Consumos Molino Atox.....	45
Gráfico 4.5: Medición de potencia promedio consumida por el circuito INT 7.....	48
Gráfico 4.6: Medición de potencias promedio consumidas por INT 3 e INT 10.....	49
Gráfico 4.7: Histograma de potencia consumida por la etapa de Calcinación.....	50
Gráfico 4.8: Medición de potencia promedio consumida por el Molino de Cemento 1.....	53
Gráfico 4.9: Histograma de potencia consumida por el Molino de Cemento 1.....	53
Gráfico 4.10: Medición mensual de rendimiento del Molino de Cemento 1.....	54
Gráfico 4.11: Medición de potencia consumida por el Molino de Cemento 2.....	55
Gráfico 4.12: Histograma de potencia consumida por el Molino Cemento 2.....	56
Gráfico 4.13: Test K-S Consumo Molino de Cemento 2.....	56
Gráfico 4.14: Medición de potencia promedio consumida por el área de almacenamiento y despacho.....	58
Gráfico 4.15: Medición de la potencia promedio consumida por la sala de control y el sector de portería.....	60
Gráfico 4.16: Medición de potencia consumida por, Silo de Clinker, Carbón y Molino de Carbón.....	61
Gráfico 6.1: Comparación de distintas alternativas de Solver.....	101
Gráfico 6.2: Tiempo de convergencia hasta la solución óptima utilizando ILOG OPL.....	105
Gráfico 6.3: Distribución óptima, de la demanda global de la planta y de la energía solicitable al SIC.....	109
Gráfico 6.4: Potencia óptima a proveer por las unidades generadoras.....	109
Gráfico 6.5: Evolución horaria del nivel en el Silo CF para el día 4 de noviembre del 2008.....	110
Gráfico 6.6: Evolución horaria del nivel en el silo de Carbón para el día 4 de noviembre del 2008.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Generadores para CBB Centro S.A.....	6
Figura 2.1: Esquema representativo de las fuentes eléctricas del SIC y de los grupos electrógenos.....	21
Figura 2.2: Problema PLEM en su formato estándar.....	24
Figura 3.1: Etapas de la metodología .....	33
Figura 4.1: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de cemento.....	40
Figura 4.2: Lay Out proceso de calcinación .....	46
Figura 4.3: Esquema del proceso de molienda de cemento.....	51
Figura 4.4: Esquema simplificado de un generador del grupo Hyundai.....	65
Figura 5.1: Diagrama unilíneal de la planta CBB Centro S.A.....	82
Figura 5.2: Llenado de material al interior de un silo. ....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tarifas programadas.....	8
Tabla 3.1: Resumen de actividades, Etapa de análisis de oferta y demanda eléctrica en la empresa .....	35
Tabla 3.2: Resumen de actividades, Etapa de formulación del modelo determinístico.....	36
Tabla 3.3: Resumen de actividades, Etapa de entrega y análisis de los resultados del modelo.....	37
Tabla 3.4: Resumen de actividades, Etapa de propuesta para la implementación organizacional.....	38
Tabla 4.1: Resumen características operacionales y potencia demandable por los equipos de la planta .....	67
Tabla 4.2: Oferta de la matriz de generación eléctrica .....	68
Tabla 5.1: Recuento de variables y restricciones del modelo.....	98
Tabla 6.1: Costos marginales programados .....	103
Tabla 6.2: Precio de los combustibles .....	104
Tabla 6.3: Costos operacionales estimados para los grupos Hyundai y diesel de 1 MW. ....	104
Tabla 6.4: Resumen de las constantes y parámetros de entrada del modelo.....	105
Tabla 6.5: Reporte de salida desplegado por ILOG OPL. ....	105
Tabla 6.6: Registro del motor de OPL. Búsqueda de solución en tiempo real. ....	111
Tabla 6.7: Valor óptimo obtenido para el día 4 de noviembre del año 2008.....	114