



**UNIVERSIDAD CATOLICA
DE LA SANTISIMA CONCEPCION**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO PARA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS

POR: DAVID CIATERA DÍAZ

Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial

**PROFESOR GUÍA: DR. MANUEL CEPEDA JUNEMANN
PROFESOR INFORMANTE: DR. CRISTIAN OLIVA SAN MARTÍN**

Concepción, Septiembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me ha dado la salud y sabiduría para terminar mi proceso académico, siendo mi puntal cuando las situaciones se veían adversas.

A mis padres, quienes con grandes sacrificios siempre me han apoyado en mis proyectos de vida y que son pilares de mi formación como persona y como profesional.

A mi Paz y su familia, quienes han sido grandes impulsores del desarrollo y cierre de mi ciclo académico. En particular mi novia, con quien ya proyectamos un futuro juntos.

A mis profesores, por los conocimientos y herramientas entregados para enfrentar al mundo laboral, y además por la paciencia y dedicación con la que llevaron a cabo dicha labor.

A mi profesor guía, Dr. Manuel Cepeda, por apoyar mi proyecto y permitirme estar en esta instancia de culminación.

A la Sra. Isabel Polanco, por todo el apoyo administrativo entregado durante todo este proceso de culminación de la tesis.

A mi entrenador de voleibol y compañeros, quienes hicieron de mi proceso universitario un proceso mucho más enriquecedor y vibrante, lleno de triunfos, logros y dificultades, experiencias que me permitieron madurar y afrontar el futuro de forma optimista.

A mi familia y amigos, por su constante e incondicional apoyo en todo el proceso de estudio.

RESUMEN

En este proyecto de título se presenta un modelo de optimización multiobjetivo para realizar un análisis de eficiencia en la empresa CHILECTRA S.A. Esta evaluación se realiza en el proceso de ejecuciones de servicios, subproceso desarrollado en la unidad de trabajo Chilectra Hogar. Los objetivos del modelo propuesto son minimizar los costos totales asociados a la contratación de cuadrillas para ejecutar los servicios y minimizar la demanda pendiente de servicios por periodo de trabajo, la cual queda sujeta a la capacidad de las unidades contratadas. Se propone el método de solución para modelos de optimización multiobjetivo ε -*constraint*, el cual transforma el modelo original (con dos objetivos) en un modelo mono-objetivo. Con la información recolectada y gracias al programa LINGO 11.0, se resuelve el modelo de optimización, al aplicar el método mencionado, generando la Frontera de Pareto. Esta frontera representa un conjunto de estados teóricos óptimos para el proceso modelado, a través de los cuales, se puede realizar una evaluación de la eficiencia con la que se desarrolla el proceso de ejecuciones de servicios. Por último, los resultados de la optimización muestran una brecha entre el estado actual del proceso y los estados óptimos calculados, por lo que se redactan recomendaciones para que los responsables de Chilectra Hogar tomen las decisiones que crean convenientes con respecto al proceso de estudio con bases ingenieriles.

PALABRAS CLAVES

Modelo Multiobjetivo – Análisis de Eficiencia – Método de Restricciones – Optimización Multiobjetivo – Método ε -*constraint*

ABSTRACT

In this thesis project a multi-objective optimization model is presented for an efficiency analysis in the company Chilectra SA. This assessment is performed in the process of execution of services developed in the thread Chilectra Home. The objectives of the proposed model are minimized the total costs associated with hiring crews to run the services and minimize the demand for pending services work in working period, which is subject to the capacity of the contracted units. The solution method is proposed for multi-objective optimization models ϵ -constrain transforms the original model (with two goals) in a mono-objective model. With the information collected and thanks to LINGO 11.0 program, the optimization model is solved by applying the above method, generating the Pareto Frontier. This border represents a set of states for optimal theoretical modeling process, through which you can make an assessment of the efficiency with which develops the process of execution of services. Finally, the results of the optimization show a gap between the current state of the process and optimal states calculated, so recommendations are written to the Chilectra Home people in charge for making the decisions they deem appropriate with the process of study engineering bases.

Keywords

Multiobjective model – Efficiency Analysis – Restrictions Method – Multiobjective Optimization – Constraint Method

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	2
1.2. OBJETIVOS	4
1.3. METODOLOGÍA.....	4
2. MERCADO ELÉCTRICO EN CHILE	6
2.1. CHILECTRA EN EL MERCADO CHILENO	11
3. MODELAMIENTO	13
3.1. CLASIFICACIÓN DE MODELOS USADOS EN LA EMPRESA	13
3.2. EL USO DE MODELOS EN LA EMPRESA	13
3.3. ETAPAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO	14
3.4. VALIDACIÓN DEL MODELO	16
4. OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	17
4.1. CONCEPTOS DE OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO	17
4.2. MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA UN POM	21
4.2.1. MÉTODOS SIN PREFERENCIAS	22
4.2.2. MÉTODOS A PRIORI	22
4.2.3. MÉTODOS A POSTERIORI	24
4.2.4. MÉTODOS INTERACTIVOS	26
4.2.5. MÉTODOS PROPUESTO	27
5. CASO DE ESTUDIO: PROCESO DE EJECUCIONES DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD CHILECTRA HOGAR	28
5.1. PROCESO DE EJECUCIONES	29
5.2. ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	31
5.2.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS DEL MODELO.....	32
5.2.3. INFORMACIÓN RELEVANTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	34
5.3. CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	36
5.4. PROGRAMACIÓN DEL MODELO ALGEBRAICO MEDIANTE EL SOFTWARE LINGO 11.0.....	38
5.5. RECOLECCIÓN DE DATOS	40
5.6. EJECUCIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN	42
6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
7. NUEVA OPTIMIZACIÓN	62
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
9. REFERENCIAS	67

10. ANEXOS	70
10.1. ANEXO A	70
10.2. ANEXO B	72
10.2. ANEXO C	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).....	7
Tabla 2.2: Sistema Interconectado Central (SIC)	7
Tabla 2.3: Sistema Eléctrico de Aysén.....	8
Tabla 2.4: Sistema Eléctrico de Magallanes.....	8
Tabla 5.5: Elementos del modelo de optimización	32
Tabla 5.6: Conjuntos primitivos y derivados	35
Tabla 5.7: Demanda Anual de Servicios	40
Tabla 5.8: Rendimientos diarios de los colaboradores por Servicios.....	41
Tabla 5.9: Disponibilidad de cuadrillas por colaborador	41
Tabla 5.10: Costos promedios diarios por cuadrillas contratadas.....	41
Tabla 5.11: Rango de valores para ε_t	42
Tabla 5.12: Valores para los distintos ε_t	43
Tabla 5.13: Valores de las Funciones Objetivo	45
Tabla 6.14: Valores actuales del Proceso de Ejecuciones y valores óptimos alcanzables	51
Tabla 6.15: Valores para $X_{i,j,t}$ Estado Actual.....	53
Tabla 6.16: Valores para $X_{i,j,t}$ Óptimo Costos	54
Tabla 6.17: Valores para $X_{i,j,t}$ Óptimo Nivel de Servicios	55
Tabla 6.18: Valores para $S_{i,t}$ Estado Actual.....	57
Tabla 6.19: Valores para $S_{i,t}$ Optimo Costos	57
Tabla 6.20: Valores para $S_{i,t}$ Optimo Nivel de Servicios	58
Tabla 6.21: Valores para $ND_{i,t}$ Estado Actual	59
Tabla 6.22: Valores para $ND_{i,t}$ Optimo Costos.....	59
Tabla 6.23: Valores para $ND_{i,t}$ Optimo Nivel de Servicios.....	59
Tabla 6.24: Valores para XNC_t Estado Actual.....	60
Tabla 6.25: Valores para XNC_t Óptimo Costos	61
Tabla 6.26: Valores para XNC_t Óptimo Nivel de Servicios	61
Tabla 7.27: Variación del Costo Total versus la cantidad de cuadrillas contratadas.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Etapas del sistema eléctrico	9
Figura 2.2: Área de Concesión de CHILECTRA S.A.	12
Figura 3.1: Ciclos de la construcción de Modelos	15
Figura 4.1: Función de proyección de una POM	19
Figura 4.2: Clasificación de los MOP	21
Figura 5.1: Procesos y subprocesos desarrollados en la unidad Chilectra Hogar	28
Figura 5.2: Descomposición de las Ejecuciones en Chilectra Hogar	30
Figura 5.3: Ejemplo de un Informe Resumen de Solución generado por LINGO 11.0 para un nivel de servicio establecido.....	46
Figura 6.1: Frontera de Pareto del POM	48
Figura 6.2: Estado Actual o Realidad del Servicio.....	50
Figura 7.1: Gráfico de la sensibilidad del modelo a la variación de la cuadrillas a contratar	63

1. INTRODUCCION

Durante los últimos años, diversos estudios han mostrado que las empresas del mercado eléctrico han crecido de forma importante, esto como consecuencia del aumento exponencial tanto del consumo de energía eléctrica, como la demanda de productos eléctricos en la población. En Chile también se ha manifestado esta tendencia, y dentro de estas empresas, CHILECTRA S.A. se ha consolidado como la mayor empresa distribuidora de energía eléctrica del país, siendo reconocida también internacionalmente como una empresa económicamente competitiva y con atractivas proyecciones de crecimiento y desarrollo. Dentro de estas proyecciones de crecimiento y desarrollo, la empresa ha buscado ampliar sus líneas de negocios, al ampliar los servicios ofrecidos a sus clientes e incorporando productos eléctricos en su oferta.

En este proyecto evaluaremos el proceso de Ejecuciones de Servicios de la Unidad Chilectra Hogar, proceso que consiste en la coordinación e instalación, en la propiedad de los clientes, de los servicios eléctricos vendidos por los vendedores de CHILECTRA, pero que son ejecutados por empresas contratistas, siendo estos servicios adicionales al negocio principal de la empresa (distribución de energía eléctrica), pero que no deja de ser importante para las pretensiones de expansión y diversificación de sus líneas de negocio. El desarrollo de las actividades de esta unidad involucra tanto a CHILECTRA S.A. como a empresas contratistas, siendo estas últimas las encargadas de materializar las acciones en terreno.

El objetivo de esta tesis es proponer un modelo de Optimización Multiobjetivo para evaluar la eficiencia de este proceso de ejecuciones de servicios de la unidad Chilectra Hogar, a través del compromiso entre la cantidad de demanda de servicios pendientes en los 12 periodos de estudio y el costo variable total incurrido al realizar los Servicios.

La metodología para la realización de este trabajo consiste en 3 grandes etapas que permiten abordar el problema de manera gradual. Las etapas son:

- Construcción del modelo de Optimización Multiobjetivo.
- Resolver el modelo de Optimización Multiobjetivo.
- Evaluación de la eficiencia del Servicio de Distribución y análisis de los resultados.

De los resultados que se obtengan en las etapas mencionadas, se espera obtener la Frontera de Pareto, curva que expone una cantidad finita de puntos óptimos, la cual nos permitirá evaluar, en forma teórica, la eficiencia en la utilización de los recursos y nivel de servicio que actualmente realiza el Servicio de Gestión de órdenes y reclamos. Se espera poder instruir a los responsables de las distintas unidades involucradas en el proceso de desarrollo del servicio de CHILECTRA a buscar un punto eficiente alcanzable para la empresa que les permita mejorar su desempeño.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

La subgerencia de operaciones comerciales de CHILECTRA S.A. se ubica en Santa Rosa 76 y Santa Rosa 79, en la comuna de Santiago. En esta subgerencia es donde se desarrollan la mayor cantidad de procesos operacionales de CHILECTRA, situación por la cual, el estudio se realiza con ayuda de personal de dicho lugar.

Chilectra Hogar, unidad inserta dentro de la subgerencia de operaciones comerciales, desarrolla las actividades y/o tareas, propias de su negocio, de la mano de empresas colaboradoras externas a CHILECTRA S.A., situación por la cual, es de gran relevancia para ellos realizar una evaluación de su proceso de Ejecuciones, debido a que no tienen un conocimiento total de lo que ocurre en terreno, los gastos incurridos en el proceso son considerables y aún no desarrollan una método adecuado para realizar este análisis.

Como se pudo verificar empíricamente, en la Unidad Chilectra Hogar, actualmente, evalúan su “eficiencia” en relación al cumplimiento de las expectativas del cliente o al cumplimiento de una norma impuesta, por el gobierno u otra entidad, en relación al grado de cumplimiento del servicio. Normalmente, ese parámetro es el que utilizan las empresas de Servicios.

La verdadera eficiencia, que es la que queremos evaluar, es la que compara las salidas del proceso del servicio versus los insumos que se utilizaron en el desarrollo del servicio. Esta evaluación busca una utilización correcta de los recursos, maximizando la relación *outputs/inputs* en el proceso, y a su vez considerar la visión de los clientes, que se relaciona con el nivel de cumplimiento del servicio.

Cabe señalar que CHILECTRA S.A., dentro de sus objetivos estratégicos, busca ser la mejor empresa de servicios del país, situación por la cual sus acciones se enmarcan en generar una buena relación con sus clientes. Para el estudio, el cumplimiento con la clientela tiene relación con mantener el nivel comprometido de servicios, el cual obliga a CHILECTRA a prestar un servicio de excelencia, minimizando los servicios tratados como pendientes.

Actualmente, el principal problema que tiene Chilectra Hogar proviene de la poca eficiencia de los procesos de coordinaciones, gestiones y operaciones, que se realizan entre las áreas responsables de CHILECTRA y en las empresas contratistas, quienes desarrollan las labores en terreno. Lo anterior, sumado a los recursos limitados, ha llevado a tener una lista constante de trabajos pendientes en las carpetas de los colaboradores.

Es muy importante estimar de forma correcta las dimensiones de la fuerza laboral, para cumplir la demanda de servicios ofertada por CHILECTRA, y así obtener una buena calificación de los clientes en cuanto al servicio entregado. Pero, también es necesario ser eficientes en la utilización de los recursos, ya que siempre es un ítem limitado y al ser eficientes en la distribución de éstos se pueden aumentar los márgenes de rentabilidad de la empresa.

Lamentablemente, a pesar de la existencia de profesionales con amplios conocimientos en las distintas áreas de la ingeniería, no se ha desarrollado una evaluación de la eficiencia del servicio.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer un modelo de Optimización Multiobjetivo que permita evaluar la eficiencia del Proceso de Ejecución de los servicios en la Unidad Chilectra Hogar, en relación a los costos variables incurridos en proceso y la cantidad de demanda de los servicios cubierta por los recursos disponibles en la empresa.

Objetivos Específicos

- Construir un modelo de Optimización Multiobjetivo en el Proceso de Ejecución de Servicios de Chilectra Hogar.
- Resolver el modelo de optimización utilizando una técnica de Optimización Multiobjetivo y Software adecuados.
- Evaluar la eficiencia en el nivel de Proceso de Ejecución de Servicios en relación a los resultados de la Optimización y a un análisis de los resultados obtenidos.

1.3. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar para alcanzar los objetivos específicos se describe a continuación:

Revisión Bibliográfica.

Para una primera aproximación al tema de Optimización Multiobjetivo, se realiza una revisión de la bibliografía existente y disponible, la cual se enfoca principalmente en los métodos de solución de Problemas de Optimización Multiobjetivo. Con la revisión de diferentes textos, papers y memorias se obtuvo un conocimiento actualizado del manejo de esta problemática, lo que fue útil para seleccionar las mejores estrategias de solución, fundamentadas en una buena base tanto teórica como práctica.

Recolección de la información empírica.

En el proceso de recolección de información se distinguen dos tipos:

- recolección directa del proceso de ejecuciones de servicios, por medio de la observación de las actividades desarrolladas en la operación por el personal técnico calificado que desarrolla las actividades.
- información histórica del proceso de ejecuciones de servicios, la cual se mantiene en distintos sistemas de información utilizados en la empresa.

Construcción el Modelo de Optimización Multiobjetivo.

El modelo se formula incluyendo la participación de distintos profesionales y técnicos del proceso de ejecuciones de servicios, revisando los ajustes pertinentes con el profesor guía y considerando las múltiples restricciones, propias, del proceso en el que se aplicó el modelo matemático.

Elección del método de resolución a utilizar y aplicación.

Para resolver el Problema de Optimización Multiobjetivo (POM) se utiliza el método que permita cumplir con los objetivos propuestos, internalice las restricciones propias del Proceso de Ejecuciones de servicios y que permita el desarrollo de la evaluación, sin interacción con el tomador de decisiones.

Para resolver el modelo se implementa éste en el software LINGO 11.0, utilizando el método de resolución de una POM antes seleccionado. El procedimiento entrega un número finito de puntos que entrega una aproximación a la Frontera de Pareto de puntos eficientes para el proceso.

Evaluación de la eficiencia en el nivel de servicio.

Primeramente, la realidad (estado actual) de la empresa, en cuanto a nivel de servicio y costos, se obtiene de la información obtenida del desarrollo de una “empresa modelo”,

realizada para el proceso de licitación de empresas contratistas para las ejecuciones de servicios, proceso donde el realizador de esta tesis participó de forma activa.

Conociendo la realidad, se compara con los resultados obtenidos en la optimización multiobjetivo (Frontera de Pareto), comparación que expone la situación de CHILECTRA S.A. frente los puntos eficientes teóricamente alcanzables.

Con los resultados obtenidos, se propone un área de puntos teóricos que dominan el estado puntual actual en el que se encuentra la empresa, en relación a la eficiencia con la que se utilizan los recursos para cumplir con un nivel de servicios.

2. MERCADO ELÉCTRICO EN CHILE

El mercado eléctrico chileno está formado por seis sistemas eléctricos de potencia, sistemas que mantienen energizado al país y que son vitales para el crecimiento y evolución de éste. A continuación se exponen los sistemas eléctricos mencionados.

- Sistema Interconectado Central (SIC).
- Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).
- Sistema Aysén.
- Sistema Puerto Natales.
- Sistema Punta Arenas.
- Sistema Puerto Porvenir.

Para una mayor comprensión de la magnitud de los sistemas mencionados, se exponen los valores más representativos de los cuatro principales Sistemas Eléctricos de Chile, con información del año 2012 para los dos primeros, e información del año 2011 para los últimos dos.

Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)	
Demanda Máxima (MW)	2186
Ventas (GWh)	16756
Potencia Instalada (MW)	3964
Cobertura	Región I, II y XV
Población	5.70%

Tabla 2.1: Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)

Sistema Interconectado Central (SIC)	
Demanda Máxima (MW)	6992
Ventas (GWh)	48868
Potencia Instalada (MW)	13158
Cobertura	Región III a X y XIV
Población	92.60%

Tabla 2.2: Sistema Interconectado Central (SIC)

Sistema Eléctrico de Aysén	
Demanda Máxima (MW)	20.4
Ventas (GWh)	98.1
Potencia Instalada (MW)	49
Cobertura	XI Región
Población	0.60%

Tabla 2.3: Sistema Eléctrico de Aysén

Sistema Eléctrico de Magallanes	
Demanda Máxima (MW)	50.2
Ventas (GWh)	260.1
Potencia Instalada (MW)	99
Cobertura	XII Región
Población	1.10%

Tabla 2.4: Sistema Eléctrico de Magallanes

De estos cuatro sistemas eléctrico de potencia el SIC y el SING son los más sistemas más grandes, como se puede apreciar en las tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, donde se expone que el SIC abastece a cerca del 93% de la población residencial chilena, cubriendo el grueso del norte chico, las zonas sur y centro del país, pero como sus clientes provienen mayoritariamente al sector residencial, cubre cerca del 74% de la demanda energética total, mientras que el SING alimenta al norte del país con 5.7% de la población, pero donde su mayor demanda proviene del sector industrial minero, el cual necesita un gran flujo de energía para el desarrollo de sus faenas con lo que este sistema cubre el 25% de la demanda energética del país. Los Sistemas Eléctricos de Aysén y de Magallanes son muy inferiores en cuanto al porcentaje de la población cubierta y al porcentaje de ventas de energía, alcanzando la suma de estos sistemas el 1.70% de la población de Chile y cubrir el 0.5% de la la demanda energética del país.

Descripción general de la industria eléctrica en Chile

El mercado eléctrico chileno ha sido víctima de diversos cambios a lo largo de los años,

siendo quizás el más relevante la reestructuración del sistema con la reforma que comienza en el año 1978 y concluye el 1982. Esta reforma implicó una desagregación total en tres sectores principales de la industria eléctrica, los que se muestran en la figura 2.1.

Figura 2.1: Etapas del sistema eléctrico



Los cuales, definidos brevemente, se exponen a continuación:

- Generación

Corresponde a todas las centrales que producen electricidad y que están encargadas de inyectar energía al sistema.

- Transmisión

Tendido eléctrico de alto voltaje, donde las centrales inyectan energía al sistema y se retiran los grandes consumos.

- Distribución

Red de medio y bajo voltaje, encargada de entregar la energía a los consumidores residenciales, comercio e industria a partir de la energía entregada desde la sección de transmisión.

Esta separación fue acompañada de una privatización a gran escala (principalmente en el sector de generación), lo que aumentó considerablemente los niveles de inversión en este mercado.

La idea central del nuevo esquema se basa en alcanzar la eficiencia económica del sector, donde se establece un mercado competitivo de generación de energía eléctrica y se crean entes reguladores encargados de las secciones de transmisión y distribución.

En el proceso de privatización del mercado eléctrico se han ido creando instituciones y organismos encargados de monitorear y controlar el sector eléctrico. Algunos de ellos se presentan a continuación.

Ministerio de Energía (MINERGA), encargado elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector, velar por su cumplimiento y asesorar al Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía.

Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), que actúa como un agente fiscalizador en la operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles.

Comisión Nacional de Energía (CNE), encargada de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica.

Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC), encargada de coordinar la operación de las instalaciones eléctricas de los concesionarios que operan interconectados entre sí, con el fin de preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico. También se aseguran de ofrecer la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico.

Panel de Expertos, encargado de tomar la decisión final sobre aquellas discrepancias y conflictos que se provoquen producto de la aplicación de la legislación eléctrica y que las empresas eléctricas sometan a su conocimiento. El Panel tiene dos funciones esenciales: por una parte, resolver controversias jurídicas, como las discrepancias originadas al interior de los CDEC, que son más técnicas, y, por otra parte, resolver discrepancias tarifarias, buscando un valor óptimo, desde el punto de vista económico.

Tribunal de Defensa de la Libre Competencia (TDLC), es un organismo jurisdiccional independiente, sujeto a la Corte Suprema, que tiene como función prevenir, corregir y sancionar los atentados a la libre competencia en Chile. Se conforma como un ente colegiado, integrado por tres abogados y dos economistas.

2.1. CHILECTRA EN EL MERCADO ELECTRICO CHILENO

CHILECTRA es una empresa del grupo ENERSIS, grupo al que pertenecen tanto ENDESA S.A. y CHILECTRA S.A., grupo que a su vez se subyuga a ENDESA España, empresa que fue adquirida el año 2009 por Enel, que es la mayor compañía energética de Italia y la segunda utility Europea, cotizada en bolsa por potencia instalada. Enel es un operador integrado activo en los sectores del gas y la electricidad. En la actualidad Enel opera en 40 países de todo el mundo con más de 97.000 MW de potencia instalada, con ventas de electricidad y gas a más de 61 millones de consumidores.

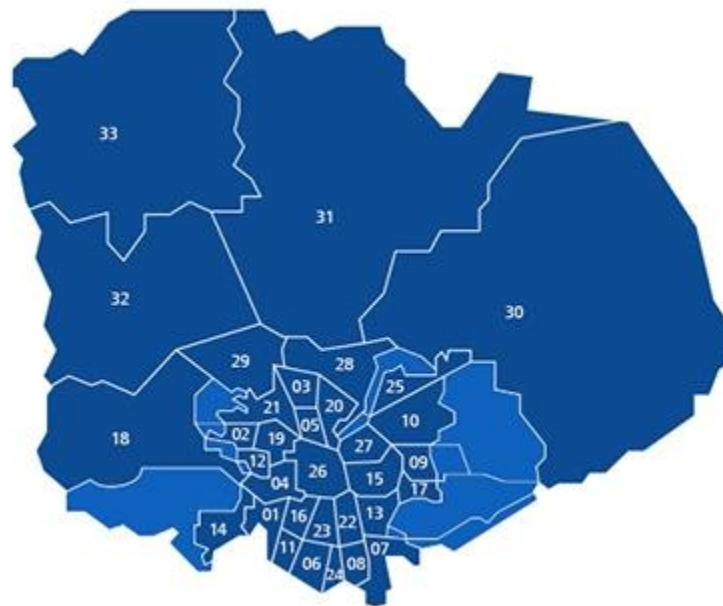
El principal negocio de CHILECTRA es la venta y distribución de energía eléctrica, para una mejor comprensión, la etapa de distribución corresponde a las líneas, subestaciones y equipos (operando a un voltaje menor a 23 kilo Volts) que permiten prestar el servicio de distribuir la electricidad hasta las residencias o consumidores finales. Las empresas de distribución operan bajo un régimen de concesión de servicio público de distribución, con obligación de servicio y con tarifas reguladas, por el estado, para el suministro a clientes regulados.

CHILECTRA S.A. es la mayor empresa de distribución de electricidad en Chile, distribuye energía en 33 comunas de la Región Metropolitana, situación que muestra la figura 2.2, en una zona de concesión de 2.118 km², con 1.658.637 clientes registrados hasta diciembre del 2012 y el nivel de venta física de energía es de 13.098 GWh. Además de esto, la empresa realiza inversiones y colabora con empresas latinoamericanas del rubro, por lo que sigue expandiendo sus redes de negocios para proyectos futuros.

Entre sus clientes figuran industrias, grandes empresas, comercio, entidades fiscales y domicilios particulares. Tiene dos filiales: Luz Andes Ltda., y la Empresa Eléctrica Colina Ltda.

Se expone, en la Figura 2.2, el mapa donde se puede visualizar el área donde se desenvuelve CHILECTRA S.A.

Figura 2.2: Área de Concesión de CHILECTRA S.A.



Siendo las comunas asociadas a la numeración las siguientes:

01. Cerrillos	12. Lo Prado	23. San Miguel
02. Cerro Navia	13. Macúl	24. San Ramón
03. Conchalí	14. Maipú	25. Vitacura
04. Estación Central	15. Ñuñoa	26. Santiago
05. Independencia	16. Pedro Aguirre Cerda	27. Providencia
06. La Cisterna	17. Peñalolén	28. Huechuraba
07. La Florida	18. Pudahuel	29. Quilicura
08. La Granja	19. Quinta Normal	30. Lo Barnechea
09. La Reina	20. Recoleta	31. Colina
10. Las Condes	21. Renca	32. Lampa
11. Lo Espejo	22. San Joaquín	33. Til Til

En su afán por explotar el mercado eléctrico y dada la gran cantidad de clientes existentes en la zona de concesión expuesta en la , CHILECTRA S.A. ha diversificado las líneas de negocios en las que se desenvuelve la empresa, incorporándose al mercado de venta de productos y servicios eléctricos, adicionales al servicio de distribución de energía, en unidades como Chilectra Hogar, Medidores, Servicios de Auditorías Eléctricas, etc.

3. MODELAMIENTO

3.1. CLASIFICACION DE MODELOS UTILIZADOS EN LA EMPRESA

Para poder comprender mejor algunos comportamientos o situaciones que se presentan en las empresas se utilizan modelos, los cuales son capaces de representar la situación observada, dando lugar a realizar análisis sin afectar las estructuras ya existentes.

Eppen et al (2000), clasifica a los modelos en tres tipos que se utilizan para distintos propósitos. El primer tipo es Modelo Físico, el segundo es Modelo Análogo y el tercer tipo Modelo Simbólico. A modo de ejemplo, se puede encontrar en el primer tipo los modelos de aviones o modelos urbanistas de construcción de ciudades, en el segundo tipo, se encuentra el velocímetro de un automóvil y en el tercer tipo son todos aquellos que están representados por variables cuantitativamente definidas y todas las relaciones tienen una representación matemática en lugar de física o análoga.

Ciertamente nos centraremos en el análisis de los modelos simbólicos, ya que es el que se aplicará en este tema. Primeramente se deben tener claros los siguientes puntos:

- Un modelo es siempre una simplificación de la realidad.
- Un modelo puede alcanzar mayor precisión a medida que se van agregando más detalles, pero existe un compromiso entre precisión y complejidad.

3.2. USO DE MODELOS EN LA EMPRESA

Eppen et al (2000), expone que los modelos suelen desempeñar diferentes papeles en los distintos niveles de la empresa, en los niveles más altos los modelos aportan información en forma de resultados y conocimientos, pero no necesariamente decisiones recomendables. Son útiles como instrumentos de planificación estratégica, ayudan a crear pronósticos, explorar alternativas, desarrollar planes para múltiples contingencias, acrecentar la flexibilidad y abreviar el tiempo de reacción. En niveles inferiores, los modelos se usan con más frecuencia para obtener decisiones recomendables. Los

modelos ofrecen un marco de referencia para el análisis lógico y congruente, y se utilizan, al menos, por siete razones:

- 1) Los modelos obligan a definir explícitamente los objetivos.
- 2) Los modelos obligan a identificar y registrar los tipos de decisiones que influyen en dichos objetivos.
- 3) Los modelos obligan a identificar y registrar las interacciones entre todas esas decisiones y sus respectivas ventajas y desventajas.
- 4) Los modelos obligan a pensar cuidadosamente en las variables que se incluirán, y a definir las en términos que sean cuantificables.
- 5) Los modelos obligan a determinar qué datos son pertinentes para la cuantificación de dichas variables y a determinar las interacciones entre ellas.
- 6) Los modelos obligan a reconocer las restricciones (limitaciones) pertinentes en los valores que esas variables cuantificadas pueden adoptar.
- 7) Los modelos permiten comunicar ideas y conocimientos, facilitando el trabajo en equipo.

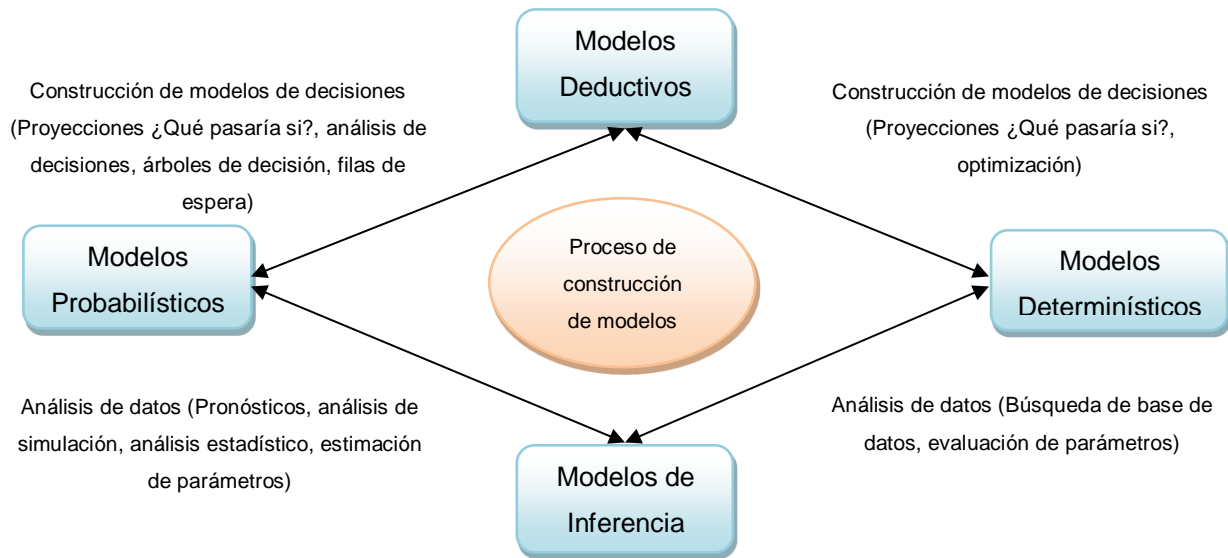
3.3. ETAPAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO

Los modelos simbólicos pueden ser clasificados a partir de las dimensiones ilustradas en el diamante de la figura 3.1 que se presenta a continuación. Los lados, izquierdo y derecho del diamante se refieren a los extremos en la construcción de modelos determinísticos frente a la construcción de modelos probabilísticos. Con todo, ningún modelo es totalmente determinístico, ni completamente probabilístico.

Eppen et al (2000), explica que los extremos superior e inferior del diamante se encuentran los extremos de la construcción de modelos deductivos versus la construcción de modelos de inferencia. Los modelos deductivos tienden a avanzar desde arriba hacia abajo, donde toman especial valor los conocimientos y juicios del autor acerca de las relaciones matemáticas y los valores de los datos, por lo que inicialmente tienden a ser modelos pobres en datos, al estimar los parámetros. Por su parte los modelos de inferencia tienden a avanzar desde abajo hacia arriba, concediendo un valor especial a la precisión y disponibilidad de los datos, como a los juicios de la futura aplicación de los

misimos. Los modelos resultantes tienden a ser inicialmente ricos en datos, que a menudo se refinan después para estimar los parámetros del modelo. En consecuencia, la construcción de modelos pocas veces se realiza utilizando una sola de las dimensiones, en lugar de ello los elementos van saltando de una faceta del diamante a otra.

Figura 3.1: Ciclos de la construcción de Modelos



Fuente: Adaptado de Eppen et al (2000), "Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa".

En términos generales, el éxito en la aplicación de modelos para la toma de decisiones en problemas del mundo real puede dividirse en cuatro etapas:

Etapas:

Etapas 1: Formulación del modelo y construcción del mismo, es decir, el proceso de tomar situaciones administrativas del mundo real, abstraerlas en una formulación y después desarrollar los términos matemáticos de un modelo simbólico.

Etapas 2: Análisis del modelo para generar resultados.

Etapas 3: Interpretación y validación de los resultados del modelo, asegurándose de que la información disponible obtenida del análisis ha sido interpretada en el contexto de la situación original en el mundo real.

Etapa 4: Implementación, es decir, aplicar a la toma de decisiones en el mundo real, el conocimiento validado que se obtuvo con la interpretación de los resultados del modelo.

3.4. VALIDACIÓN DEL MODELO

En sentido común, por sí solo, no existe un camino científico para validar la construcción de un modelo, en general, no es posible realizar una experimentación bajo control, por lo cual surgen métodos imperfectos de validación como utilizar el modelo para predecir la historia. En efecto, si existe similitud entre los resultados de ambos, los del modelo y los de la historia, el modelo queda validado. Por último, se analiza el modelo y cualquier ventaja adicional en términos de mejores recomendaciones para la toma de decisiones es una evidencia del valor del mismo.

4. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

En el mundo real, la mayor parte de los problemas tienen varios objetivos (posiblemente en conflicto entre sí) que se desean conseguir de manera simultánea. Muchos de estos problemas suelen convertirse a Mono-objetivo transformando todos los objetivos originales, menos uno, en restricciones adicionales, o también dando pesos, o asignando coeficientes de ponderación, u otro método existente.

Coello (2005) establece que, la Optimización Multiobjetivo implica una serie de funciones objetivo que van a ser optimizadas. Tal como en el problema de optimización Mono-Objetivo, el problema de Optimización Multiobjetivo por lo general tiene un número de restricciones el cual debe satisfacer cualquier solución factible (incluyendo la solución óptima). En este sentido, el término “optimizar” significa encontrar aquella solución que proporcione valores, para todas las funciones objetivo, aceptables para el diseñador.

El problema de Optimización Multiobjetivo se plantea de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar/Maximiza} & \vec{f}_k(\vec{x}), \quad k = 1, 2, \dots, l \\ \text{sujeto} & g_i(\vec{x}) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & h_r(\vec{x}) = 0, \quad r = 1, 2, \dots, p \\ & \vec{x} \in S \end{array} \quad (4.1)$$

4.1. CONCEPTOS DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

De lo anterior se definen los siguientes conceptos:

Variables de decisión

Las variables de decisión son el conjunto de parámetros para los cuales se buscan los valores que resuelvan el problema de optimización. Las variables pueden ser enteras, reales, o una combinación de ambas. Estos parámetros se denotan mediante:

$$x_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

El vector de “n” variables de decisión \vec{x} se representa mediante:

$$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad (4.2)$$

Funciones Objetivo

Las funciones objetivo de un problema de Optimización Multiobjetivo se denotan mediante:

$f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_l(\vec{x})$, donde l ($l \geq 2$) indica que el número de funciones objetivo para este tipo de problemas debe ser mayor o igual a 2. La función vectorial $\vec{f}(\vec{x})$ que conforman estas funciones objetivos se define mediante:

$$\vec{f}(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_l(\vec{x})]^T \quad (4.3)$$

Restricciones

Las restricciones se modelan matemáticamente mediante desigualdades:

$$g_i(\vec{x}) \geq 0, \quad g_i(\vec{x}) \leq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.4)$$

O igualdades:

$$h_r(\vec{x}) = 0 \quad r = 1, 2, 3, \dots, p \quad (4.5)$$

Problema de Optimización Multiobjetivo (POM)

Formalmente, un POM se define como el problema de encontrar el vector

$x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$, que satisfaga “m” restricciones de desigualdad

$$g_i(\vec{x}) \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.6)$$

“p” restricciones de igualdad

$$h_r(\vec{x}) = 0 \quad r = 1, 2, 3, \dots, p \quad (4.7)$$

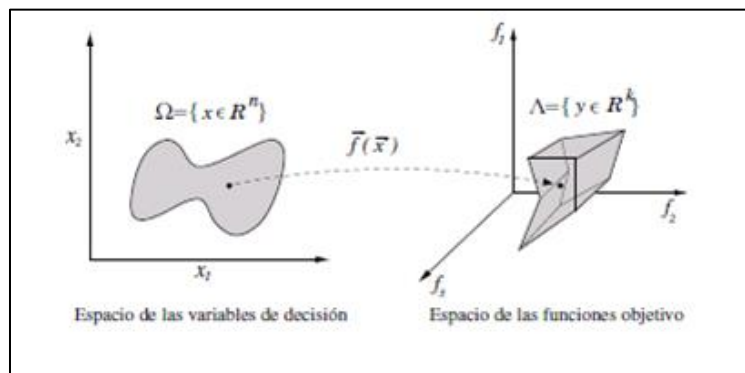
y optimice la función vectorial

$$\vec{f}(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_l(\vec{x})]^T \quad (4.8)$$

En la definición anterior, el vector \vec{x} se destina para denotar a las soluciones óptimas factibles (usualmente más de una). Las restricciones definen una región factible dentro del espacio de las variables de decisión; cualquier solución \vec{x} dentro de esta región es considerada una solución factible. La función vectorial $\vec{f}(\vec{x})$ proyecta el conjunto Ω al conjunto Λ el cual representa el conjunto de todos los valores posibles de las funciones objetivo.

En la figura 4.1 se expone, a modo de ejemplo, una función vectorial $\vec{f}(\vec{x})$ para el caso de 2 variables de decisión y 3 funciones objetivo.

Figura 4.1: Función de proyección de una POM



Fuente: Tesis Antonio López Jaimes, México D.F 2005

La figura 4.1 representa graficamente, a la izquierda, la región factible para las variables de decisión x_1 y x_2 , y a la derecha, cuando son insertadas estas variables en las funciones f_1, f_2 y f_3 , generando un espacio tridimensional factible de soluciones para las funciones objetivo.

Optimalidad de Pareto

Para el caso en que todos los objetivos son minimizados, se dice que un vector de variables de decisión $\vec{x}^* \in \Omega$ (Ω es la zona factible) es un óptimo de Pareto si no existe otro $\vec{x} \in \Omega$ tal que $f_k(\vec{x}) \leq f_k(\vec{x}^*)$ para toda $k = 1, 2, \dots, l$ y $f_s(\vec{x}) < f_s(\vec{x}^*)$ para al menos una s .

En palabras, esta definición dice que \vec{x}^* es un óptimo de Pareto si no existe ningún vector factible de variables de decisión $\vec{x} \in \Omega$ que decremente algún criterio sin causar un incremento simultáneo en al menos otro criterio. Este concepto, casi siempre, produce no una solución única, sino un conjunto de ellas, a las que se les llama conjunto de óptimos de Pareto.

Los vectores \vec{x}^* correspondientes a las soluciones incluidas en el conjunto de óptimos de Pareto son llamados no dominados. La gráfica de las funciones objetivo cuyos vectores no dominados se encuentran en el conjunto de óptimos de Pareto se denominan Frontera de Pareto.

Frontera de Pareto

Para un POM $\vec{f}(\vec{x})$ y un conjunto de óptimos de Pareto (P^*), la Frontera de Pareto (FP^*) se define como:

$$FP^* = \{\vec{u} = \vec{f} = (f_1(\vec{x}), \dots, f_l(\vec{x})) / \vec{x} \in P^*\} \quad (4.9)$$

En general, no es fácil encontrar una expresión analítica de la línea o superficie que representa los valores de los vectores no dominados en el espacio de las funciones objetivo y, en la mayor parte de los casos, resulta simplemente imposible obtenerla. El procedimiento normal para generar el frente de Pareto es calcular todos los puntos factibles Ω y obtener sus valores correspondientes $f(\Omega)$. Cuando se cuenta con un número suficiente de estos puntos, es posible determinar los no dominados de entre ellos.

No Dominancia débil

Un punto $\vec{x}^* \in \Omega$ es una solución débilmente no dominada si no hay $\vec{x} \in \Omega$ tal que

$$f_k(\vec{x}) < f_k(\vec{x}^*), \text{ para } k = 1, \dots, l \quad (4.10)$$

No Dominancia fuerte

Un punto $\vec{x}^* \in \Omega$ es una solución fuertemente no dominada si no hay $\vec{x} \in \Omega$ tal que $f_k(\vec{x}) \leq f_k(\vec{x}^*)$, para $k = 1, \dots, l$ y para al menos un valor l , $f_k(\vec{x}) < f_k(\vec{x}^*)$.

4.2. MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA UN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO (POM)

Se presenta la clasificación de los principales métodos para resolver problemas de Optimización Multiobjetivo. Se utiliza la clasificación expuesta por Miettinen (1998), donde clasifica a dichos métodos según el rol que cumple el tomador de decisiones durante el proceso de optimización.

Antes de empezar con la clasificación, se deben exponer dos conceptos importantes, que son útiles para comprender la definición de dichos métodos.

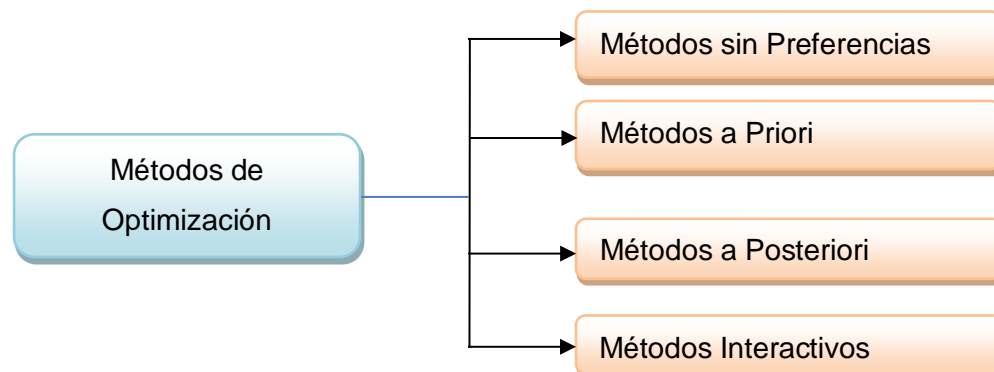
Tomador de Decisiones

Es quien tiene el mejor conocimiento sobre el problema que se está resolviendo, y puede establecer las relaciones de preferencia entre las distintas soluciones. Finalmente, es el responsable directo de la solución final del problema.

Analista

Es el responsable de la parte matemática del proceso de solución. Puede ser una persona o un computador. El analista entrega información a considerar al tomador de decisiones, pero la solución es seleccionada de acuerdo a las preferencias del tomador de decisiones. La clasificación de los Métodos de Optimización Multiobjetivo (MOP) se expone en la figura 4.2:

Figura 4.2: Clasificación de los MOP



4.2.1. MÉTODOS SIN PREFERENCIAS

En los métodos sin Preferencias las opiniones del tomador de decisiones no son tomadas en cuenta, en donde el problema de optimización Multiobjetivo es resuelto mediante un método relativamente simple. Una vez obtenida la solución del problema, se le presenta al tomador de decisiones y es él quien acepta o rechaza la solución. Miettinen (1998), expone que estos métodos son útiles para situaciones donde el tomador de decisiones no tiene alguna expectativa de la solución y solo se satisface con una solución óptima. El orden de trabajo es: 1º Analista, 2º ninguno

A continuación se mencionarán los Principales métodos sin Preferencias.

Método del Criterio Global

Este método es también llamado "Compromise Programming". En Miettinen (1998), se expone que este método minimiza la distancia entre algún punto de referencia y la región objetivo factible. El analista tiene que seleccionar el punto de referencia y la métrica para medir las distancias. Además, se considera que todas las funciones objetivo son igualmente importantes.

Método del Paquete Proximal Multiobjetivo (MPB)

Miettinen (1998), plantea que la idea principal del Método MPB es moverse en una dirección hacia donde todas las funciones objetivo pueden mejorar simultáneamente. Generalmente este método se utiliza con funciones objetivo no lineales.

4.2.2. MÉTODOS A PRIORI

En el caso de métodos a priori, el tomador de decisiones debe especificar su o sus preferencias, esperanzas y opiniones antes de comenzar el proceso de solución. La dificultad es que el tomador de decisiones no necesariamente podría saber de antemano lo que es posible alcanzar en el problema y el grado de realismo de sus expectativas. El orden de trabajo de estos métodos es, 1º Tomador de Decisiones, 2º Analista.

A continuación se definen los principales métodos a Priori:

Método de la Función de Valor

En el método de Función de Valor (o Función de Utilidad), el tomador de decisiones es quien que debe dar una expresión matemática precisa y explícita de la función de valor $U: R^k \rightarrow R$, que represente sus preferencias. El modelo queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{maximizar } U(f(\vec{x})) && (4.13) \\ & \text{sujeto a } \vec{x} \in \Omega \end{aligned}$$

Así, el modelo está listo para ser resuelto como un problema de optimización Mono-Objetivo.

Método del Ordenamiento Lexicográfico

En el Ordenamiento Lexicográfico, el tomador de decisiones debe organizar las funciones objetivos según su importancia absoluta. Este ordenamiento significa que un objetivo más importante es infinitamente más importante que un objetivo menos importante. Después de ordenar, se minimiza la función objetivo más importante sujeta a las restricciones originales. Si este problema tiene una solución única, es la solución del problema de optimización multiobjetivo global. De lo contrario, se minimiza la segunda función objetivo más importante. Ahora, además de las restricciones originales, se agrega una nueva restricción. Esta nueva restricción está allí para garantizar que la función objetivo más importante conserve su valor óptimo. Si este problema tiene una solución única, es la solución del problema original. De lo contrario el proceso continúa hasta que se determina una solución o hasta que se hayan considerado todas las funciones objetivo.

A continuación, se presenta el Método de orden lexicográfico cómo:

$$\begin{aligned} & \text{lex minimizar } f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_l(\vec{x}) && (4.14) \\ & \text{sujeto a } \vec{x} \in \Omega \end{aligned}$$

Método de Programación por Metas

Metiennen (1998) expone que la idea básica del método de programación por metas, es que el tomador de decisiones especifica un nivel de aspiración optimista para las funciones objetivo y luego, las desviaciones de esos niveles de aspiración son minimizadas. Una función objetivo, con un nivel de aspiración forman una meta. Por ejemplo, si queremos que el precio de un computador sea menor que 500 dólares, es una meta (y si el precio debiera ser menor que 500 dólares, es una restricción).

Su principal desventaja es la dificultad que impone la definición de metas deseables. También se ha detectado que algunas técnicas, bajo ciertas circunstancias, pueden comportarse de manera ambigua. Así mismo, estas técnicas pueden requerir que las metas se definan en la zona factible a fin de garantizar que las soluciones producidas sean óptimos de Pareto.

4.2.3. MÉTODOS A POSTERIORI

Los métodos a posteriori, también son llamados métodos para generar soluciones óptimas de Pareto. Metiennen (1998) plantea que una vez que la frontera de Pareto (o parte de ella) es generada, ésta se expone al tomador de decisiones, quien selecciona la solución más preferida. El principal inconveniente es que el proceso de generación es usualmente costoso desde el punto de vista computacional. El orden de trabajo de estos métodos es: 1º Analista, 2º Tomador de Decisiones.

A continuación se definirán los principales Métodos a Posteriori.

Método de Ponderaciones

El método de ponderaciones fue presentado, por ejemplo, en Gass and Saaty (1955) y Zadeh (1963). Metiennen (1998) expone que la idea principal es asociar cada función objetivo a un coeficiente de ponderación y minimizar la suma ponderada de los objetivos. De este modo, las funciones MultiObjetivo son transformadas en una función MonoObjetivo.

El Problema de optimización queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{k=1}^l w_k * f_k(\vec{x}) \\ \text{sujeto a} \quad & \vec{x} \in S; \end{aligned} \tag{4.15}$$

Donde $w_k \geq 0$, para todo $k = 1, \dots, l$ y $\sum_{k=1}^l w_k = 1$

Debido a que los resultados de la optimización pueden variar significativamente conforme se modifiquen los pesos, se requiere resolver el mismo problema usando diferentes valores de w_k . Coello (1998), afirma que es el tomador de decisiones quien debe seleccionar la solución más apropiada en base a su intuición.

Método de ε -constraint

Este método fue introducido por Haimes et al (1971), es uno de los más populares para resolver Problemas de Optimización Multiobjetivo.

Metiennen (1998), plantea que la principal ventaja de este método, es que permite determinar el conjunto óptimo de Pareto de cualquier sistema, ya sea convexo o cóncavo. La estrategia básica, es seleccionar una de las funciones objetivos a ser optimizada, mientras las otras serán convertidas en restricciones, mediante el establecimiento de un límite superior ($\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_l$) para cada una de las funciones objetivo. El método en su forma general, si los objetivos se minimizan, tiene la forma forma 4.16:

$$\begin{aligned} \text{minimizar} \quad & f_k(\vec{x}) \\ \text{sujeto a} \quad & f_t(\vec{x}) \leq \varepsilon_t \quad \text{para todo } t = 1, \dots, l \quad t \neq k, \\ & \vec{x} \in S, \\ & \text{Con } t \in \{1, \dots, l\}. \end{aligned} \tag{4.16}$$

Si los objetivos se maximizan, el el modelo se expresa como 4.17:

$$\begin{aligned} \text{maximizar} \quad & f_k(\vec{x}) \\ \text{sujeto a} \quad & f_t(\vec{x}) \geq \varepsilon_t \quad \text{para todo } t = 1, \dots, l \quad t \neq k, \\ & \vec{x} \in S, \\ & \text{Con } t \in \{1, \dots, l\}. \end{aligned} \tag{4.17}$$

El conjunto de Pareto puede ser generado, estableciendo distintos niveles de cada ε_t . Para encontrar una solución Pareto óptima, se escoge un valor adecuado para ε_t de la t -ésima función objetivo ($t \neq k$). Luego se resuelve el problema de optimización con objetivo único. El procedimiento se repite, con diferentes valores de ε_t para hallar nuevas soluciones pertenecientes a la frontera de Pareto óptima. La dificultad principal que presenta este método reside en la necesidad de un conocimiento del rango apropiado de valores a asignar a ε_t para las $(I - 1)$ funciones objetivo, lo que no resulta fácil en la práctica.

La principal desventaja de este método, es el gran esfuerzo computacional que se requiere para encontrar dicho conjunto.

4.2.4. MÉTODOS INTERACTIVOS

En los métodos interactivos, el tomador de decisiones trabaja en conjunto con un analista o un programa informático interactivo. Se puede decir que el analista trata de determinar la estructura de preferencias de la toma de decisiones de una manera interactiva, formando un patrón de solución y se repite varias veces. Después de cada iteración, se entrega información al tomador de decisiones y se le pide que responda a algunas preguntas o que dé algún otro tipo de información para que el modelo sea más representativo de la realidad. El orden de trabajo en estos métodos es la siguiente: 1) análisis, 2) tomar decisiones, 3) análisis, 4) tomar decisiones, etc.

A continuación se mencionarán los principales Métodos Interactivos.

- Método Interactivo del Sustituto Digno Trade-Off (ISWT)
- Método de Geoffrion-Dyer-Freinberg (GDF)
- Técnica de Optimización de Representación Secuencial (SPOT)
- Método de Tchebycheff
- Método STEP, entre otros.

4.2.5. MÉTODO PROPUESTO

El método que se propone para desarrollar esta tesis es el método a posteriori ϵ -constraint o Método de las Restricciones.

La elección de un método a posteriori se debe a que, el desarrollador de esta tesis (Analista) expone el conjunto de soluciones de la Frontera de Pareto obtenida, para el modelo matemático desarrollado, al Tomador de Decisiones (encargado de unidad Chilectra Hogar), y es este último quien seleccionará, dentro del conjunto entregado, la solución que le sea mas preferida.

La elección del método ϵ -constraint o Método de las Restricciones responde a que, el modelo presenta dos objetivos que se contrastan entre sí, situación para la cual este método es bastante eficiente. Además, las variables de este modelo son todas de tipo cuantitativo, situación que nos permite la utilización del método.

Adicionalmente, este método de resolución para POM, tiene usos frecuentes en desarrollos de Carteras de Inversión de Fondos Monetarios, situaciones en las que se quiere maximizar la Rentabilidad esperada de las Carteras de Inversiones, pero minimizar los Riesgos asociados a estas operaciones bursátiles. Aunque también se ha aplicado en otras áreas, a modo de ejemplo se exponen algunas aplicaciones de la técnica.

- Diseño preliminar de vehículos marinos [Lee, 1997].
- Contaminación de acuíferos [Chetan, 2000].
- Diseño de sistemas tolerantes a fallas [Schott, 1995].
- Problemas de ingeniería ambiental [Kumar, 2002].
- Programación matemática fuzzy Multiobjetivo para la planificación operativa del transporte en una cadena de suministro [Díaz-Madoreño, 2010].
- Selección de rutas de Distribución para productos Perecederos en el Mercado de Exportación [Bustos, 2014].
- Una Metodología Multiobjetivo para Optimizar un Ambiente Job Shop [Coca, 2014].

5. CASO DE ESTUDIO: “PROCESO DE EJECUCIONES DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD CHILECTRA HOGAR”

Pese a que CHILECTRA S.A. es una empresa de distribución de energía eléctrica, también se desarrolla en otras líneas de negocios, también ligadas al rubro eléctrico.

La Unidad de trabajo Chilectra Hogar realiza el proceso denominado Venta-Ejecución, proceso que trabaja con servicios eléctricos adicionales al servicio de distribución energética, y también, servicios y productos eléctricos denominados no convencionales, los cuales se enfocan principalmente a los clientes residenciales de CHILECTRA. En este proceso están contenidas todas las actividades o subprocesos relacionados con la venta de servicios, desde la captación del cliente por parte de los vendedores y/o Call Center de la empresa, hasta la retroalimentación de la calidad del servicio y/o producto recibido del usuario final, informes de las empresas colaboradoras que ejecutan los trabajos y a través de informes de inspecciones realizadas por la empresa certificadora que trabaja con CHILECTRA, Breau Veritas.

Se expone en la figura 5.1 el proceso y los subprocesos realizados en la unidad Chilectra Hogar, siendo los subprocesos de color azul los realizados por personal de CHILECTRA y los celestes los realizados por empresas externas.

Figura 5.1: Proceso y subprocesos desarrollados en la unidad Chilectra Hogar



El estudio se centra en el “Proceso de Ejecuciones”, que es un subproceso de Chilectra Hogar, el cual se destaca en la figura 5.1. En este proceso se materializan los servicios solicitados por el cliente al call center o que son resultado del proceso de ventas de la empresa.

5.1. PROCESO DE EJECUCIONES

Este proceso corresponde a la actividad de ejecución de una orden de trabajo, asignada por un coordinador de negocios de CHILECTRA S.A., a la empresa colaboradora.

El servicio de ejecución de Chilectra Hogar atiende, mayoritariamente, el segmento residencial. Este proceso implica la coordinación con el cliente final, la cual debe realizar la empresa colaboradora que recibe la orden de ejecución.

Las ejecuciones de los servicios y/o productos vendidos, son realizadas por empresas del rubro eléctrico externas a CHILECTRA S.A., situación que dificulta el proceso, debido a las diferencias existentes entre éstas, en cuanto a la infraestructura, recursos, capacidad, tecnología, y otros, pero que se ha tratado de estandarizar, gracias a un proceso de licitación de empresas contratistas, donde se trabaja en conjunto con estas empresas para que se alcancen los intereses de ambas partes.

Las empresas que realizan trabajos en el Proceso de Ejecuciones son las siguientes:

Empresas Contratadas: PSB y Coolelectric.

Empresas de Apoyo: Sinec, Solgelec y Weslim.

Todas las empresas mencionadas cumplen con los requisitos establecidos para trabajar con CHILECTRA S.A., pero solamente PSB y Coolelectric fueron las empresas que se contrataron para la realización de las tareas de Chilectra Hogar. Las empresas Sinec, Solgelec y Weslim, son parte del abanico de opciones alternativas que tiene la empresa en caso de emergencias, pero que para este proceso no son consideradas.

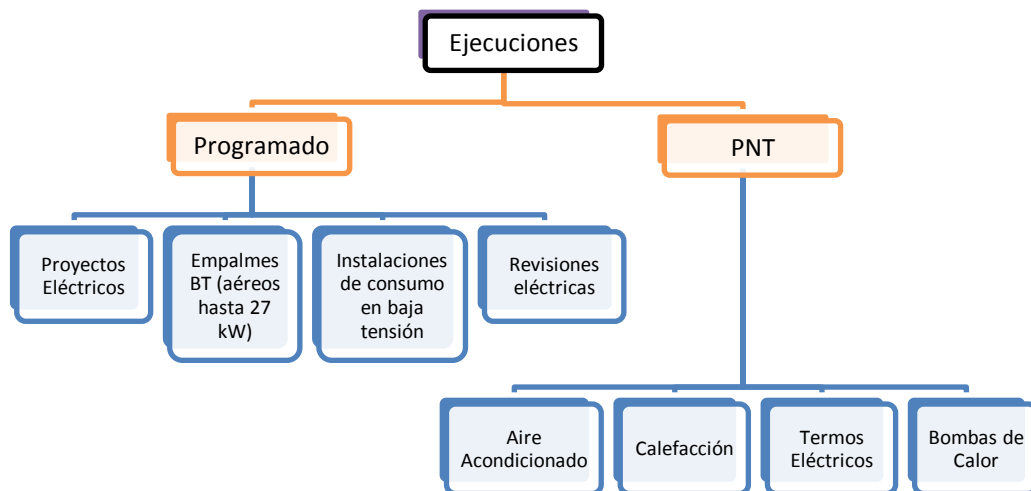
En el proceso mencionado, los colaboradores realizan dos servicios importantes, los cuales se exponen a continuación:

- **Servicio Programado:** es la ejecución de una instalación eléctrica en un domicilio de un cliente. Se puede considerar como programado, la instalación de bancos de condensadores, aumentos de capacidad de empalmes, nuevos empalmes, instalaciones eléctricas y declaraciones SEC.

- **Servicio PNT:** es la instalación en el domicilio de un cliente, de aire acondicionado, termos, bombas de calor (piscina o ACS), pisos eléctricos y equipos de calefacción. Un servicio de PNT puede considerar la declaración de la instalación eléctrica proyectada y el aumento de capacidad respectivo del empalme existente.

La figura 5.2 expone una descomposición del proceso de Ejecuciones, descomposición realizada en base a los servicios, expuestos anteriormente, que son vendidos y ejecutados bajo la responsabilidad de la unidad de CHILECTRA.

Figura 5.2: Proceso de Ejecuciones en Chilectra Hogar



Para el desarrollo del modelo, y como un método para segmentar las actividades, se seccionaron los servicios (Programado y PNT) de la forma que se expone a continuación, cabe mencionar que esta segmentación tiene relación con el tiempo necesario para la realización.

Servicio PNT:

- 1) PNT (Agrupación).
- 2) Servicio de Garantía y Mantenimiento PNT: servicio al que tienen derecho los clientes al ocurrir alguna falla asociada al servicio PNT de CHILECTRA.

Servicio Programado

- 3) Servicio Programado (80%): son los servicios programados que tienen baja complejidad de ejecución para técnicos, el porcentaje asociado corresponde al promedio de la demanda total de servicios programados.
- 4) Servicio Programado (15%): son servicios programados de media complejidad ejecución.
- 5) Servicios Programados (5%): son servicios programados que tienen alta complejidad de ejecución para los técnicos.
- 6) Servicio de Garantía y Mantenimiento Servicios Programados: servicio al que tienen derecho los clientes al ocurrir alguna falla asociada al servicio programado de Chilectra, mayoritariamente se realizan en servicios programados de baja complejidad técnica 80%.

Adicional a los servicios Programados y PNT, existe un servicio adicional que no presenta una frecuencia representativa, pero que tiene un carácter obligatorio de ejecución, el cual se expone a continuación.

Servicio Especial:

- 7) Servicio eléctrico que abarca todos los trabajos residenciales que no fueron incorporados en el servicio Programado y PNT, y que de igual manera son rentables para la empresa.

5.2. ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Primeramente, el modelo a elaborar tiene como objetivo evaluar la eficiencia con que se realizan los servicios asociados al proceso de Ejecuciones de la unidad Chilectra Hogar. Para esto se recolectó información de primera fuente (empíricamente) y datos históricos de los servicios (ver Anexos).

5.2.1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS DEL MODELO

El Proceso de Ejecuciones tiene asociado siete tipos de servicios, los cuales se expusieron anteriormente. Además, cuenta con cinco empresas contratistas distintas para ejecutar los servicios demandados y los periodos de trabajo son los doce meses del año. La tabla 5.5, muestra el subíndice que caracteriza a cada uno de los elementos que conforman el modelo, siendo éstos necesarios para poder definir los conjuntos primitivos y derivados que se utilizan al momento de programar el modelo algebraico en el software Lingo.

Tabla 5.5: Elementos del Modelo de Optimización

Servicios	<i>i</i>	Colaboradores	<i>j</i>	Periodo	<i>t</i>
PNT	1	PSB	1	Enero	1
Gtia y Mant PNT	2	Coolelectric	2	Febrero	2
Programado 80%	3	Sinec	3	Marzo	3
Programado 15%	4	Solgelec	4	Abril	4
Programado 5%	5	Weslim	5	Mayo	5
Gtia y Mant Programado	6			Junio	6
P Especiales	7			Julio	7
				Agosto	8
				Septiembre	9
				Octubre	10
				Noviembre	11
				Diciembre	12

La tabla 5.6, por su parte, recoge la información pertinente tanto a las variables a utilizar en el modelo como a los parámetros que se deben ingresar como información determinística, para lograr solucionar el modelo de optimización multiobjetivo.

Tabla 5.6: Conjuntos Primitivos y Derivados

Clasificación	Elementos	Servicio (<i>i</i>)	Colaborador (<i>j</i>)	Periodo (<i>t</i>)
Índice (P)	<i>I</i>	X		
Índice (P)	<i>J</i>		X	
Índice (P)	<i>T</i>			X
Variable (D)	$X_{i,j,k}$	X	X	X
Variable (D)	$S_{i,t}$	X		X
Variable (D)	$Nd_{i,t}$	X		X
Variable (D)	Xnc_t			X
Parámetro (D)	$d_{i,t}$	X		X
Parámetro (D)	nc_j		X	
Parámetro (D)	$r_{i,j}$	X	X	
Parámetro (D)	$Cpc_{i,t}$	X		X
Parámetro (D)	h_t			X
Constantes	Cpn,Cnc			

Utilizando la información expresada en la tabla 5.6, se procede a definir el significado de los índices, de las variables y de los parámetros que compondrán el modelo algebraico para el proceso de Ejecuciones.

Sean los índices:

i = Índice de familia de servicios.

j = Índice de colaboradores.

t = Índice de meses.

Sean las Variables de Decisión:

$X_{i,j,t}$: Cantidad de Cuadrillas en el servicio “*i*” proporcionadas por el colaborador “*j*” en el periodo “*t*”.

$S_{i,t}$: Cantidad de servicios “*i*” realizados en el periodo “*t*”.

$Nd_{i,t}$: Cantidad de servicios “*i*” no realizados en el periodo “*t*”.

Xnc_t : Cantidad de cuadrillas contratadas no utilizadas en el periodo “*t*”

Sean los parámetros

$d_{i,t}$: Demanda promedio del servicio “ i ” en el periodo “ t ”.

nc_j : Cantidad máxima de cuadrillas disponibles del colaborador “ j ”.

cm_i : Cantidad mínima admitida de cuadrillas en el servicio “ i ”.

$r_{i,j}$: Rendimiento diario promedio de trabajo en el servicio “ i ” por una cuadrilla del colaborador “ j ”.

h_t : Días hábiles disponibles en el periodo “ t ”.

Cpc_t : Costo promedio por mantener una cuadrilla contratada en el periodo “ t ”.

Cnc : Costo promedio diario por no utilizar una cuadrilla contratada.

5.2.2. INFORMACIÓN RELEVANTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.

- Las empresas contratistas, Solgelec y Weslim, son empresas externas al proceso, prestan apoyo al área de Nuevas Conexiones y sólo tienen la capacidad, y recursos para realizar los servicios PNT del proceso de Ejecuciones.
- Las empresas contratistas, PSB y Coolelectric, realizan todos los servicios que son necesarios en el proceso de Ejecuciones, y son las empresas que actualmente llevan a cabo las ejecuciones de servicios a través del contrato licitado a principios del 2014.
- El Servicio Especial no puede dejar pendientes, esto se debe a que son servicios que generan grandes ingresos y que generalmente están asociados a multas por demoras, las cuales son de un valor elevado.
- La empresa Sinec tiene la capacidad de realizar los Servicios PNT y Especiales del proceso de Ejecuciones, y ésta es una empresa externa, a la que se recurre en emergencias.
- El costo por utilizar cuadrillas de empresas de apoyo, no contratadas, que son Sinec, Solgelec y Weslim, es un 20% mayor para CHILECTRA S.A., que el costo de las empresas contratadas, esto se debe a que no hay economías de escala

asociadas, a volúmenes de trabajos asignados, ni descuentos acordados en un contrato.

- El Proceso de Ejecuciones de Servicios tiene únicamente, contratadas a tiempo completo a las cuadrillas de las empresas PSB y Coolelectric, situación por la cual es importante utilizarlas al máximo.
- Minimizar la demanda pendiente en cada periodo, debido a la existencia de multas por trabajos fuera de plazo (fiscalizadas por la SEC) y por políticas internas de la empresa.

Luego de establecer las relaciones que existen entre las variables y los parámetros ya determinados, en relación a los servicios que se realizan en el proceso de Ejecuciones de la Unidad Chilectra Hogar, podemos establecer el modelo de optimización multiobjetivo, que en este caso:

- i. Se minimizarán los costos totales variables del proceso de Ejecuciones.
- ii. Se minimizará la demanda pendiente total de servicios por los colaboradores en un periodo de doce meses.

5.3. CONFECCION DEL MODELO MATEMÁTICO

Para la construcción del modelo matemático primero se construyen las funciones objetivo y luego las restricciones que tiene el proceso de ejecuciones. La construcción incorpora las variables y parámetros representativos, rescatados del estudio del proceso, y también, la información relevante y particular antes expuesta, con las cuales se desarrollan las relaciones entre las variables y los parámetros.

A continuación se expone el modelo matemático desarrollado para el proceso de Ejecuciones de Servicios de la unidad Chilectra Hogar.

$$\min z_1 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^2 \sum_{t=1}^{12} X_{i,j,t} * Cpc_t + \sum_{i=1}^7 \sum_{j=3}^5 \sum_{t=1}^{12} X_{i,j,t} * Cpc_t * 1,2 + \sum_{t=1}^{12} Xnc_t * h_t * Cnc \quad (5.1)$$

$$\min z_2 = \sum_{i=1}^7 \sum_{t=1}^{12} Nd_{i,t} \quad (5.2)$$

s.a:

$$\sum_{i=1}^7 X_{i,j,t} \leq nc_j \quad j = 1, \dots, 5; \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.3)$$

$$Xnc_t = \sum_{j=1}^2 nc_j - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^7 X_{i,j,t} \quad \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.4)$$

$$Nd_{i,t} = d_{i,t} - S_{i,t} \quad i = 1, \dots, 6; t = 1 \quad (5.5)$$

$$Nd_{i,t} = d_{i,t} + Nd_{i,t-1} - S_{i,t} \quad i = 2, \dots, 6; \forall t = 2, \dots, 12 \quad (5.6)$$

$$S_{i,t} = \sum_{j=1}^5 X_{i,j,t} * r_{i,j} * h_t \quad i = 1, \dots, 7; \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.7)$$

$$X_{i,j,t} = 0 \quad i = 3, \dots, 6; j = 3, 4, 5; \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.8)$$

$$X_{i,j,t} = 0 \quad i = 7; j = 4, 5; \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.9)$$

$$S_{i,t} = d_{i,t} \quad i = 7; \forall t = 1, \dots, 12 \quad (5.10)$$

$$S_{i,t} \geq 0; Nd_{i,t} \geq 0; \text{ y enteros} \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (5.11)$$

$$X_{i,j,t} \geq 0; Xnc_t \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (5.12)$$

La ecuación (5.1) expresa la función que minimiza los costos variables del proceso de Ejecuciones, costos que relacionan los costos por utilizar cuadrillas contratadas, no usarlas y por la utilización de recursos adicionales a los contratados.

La ecuación (5.2) expresa la función que minimiza la cantidad de demanda total pendiente en el periodo de estudio.

El conjunto de restricciones (5.3) restringen la cantidad de cuadrillas a utilizar de cada colaborador en relación a la cantidad disponible de éstos.

El conjunto de restricciones (5.4) calculan la cantidad de cuadrillas contratadas que no se utilizan en cada periodo.

El conjunto de restricciones (5.5) exponen que no se arrastra demanda pendiente al inicio del periodo 1 y que de existir sería al final de ese periodo.

El conjunto de restricciones (5.6) expresan que la demanda no realizada en cada periodo se traduce en un aumento de la demanda del periodo siguiente.

El conjunto de restricciones (5.7) exponen que la demanda de servicios cubierta tiene relación directa con las cuadrillas contratadas, el rendimiento de éstas y los días hábiles de trabajo por cada periodo.

El conjunto de restricciones (5.8) expresan que las cuadrillas de las empresas Sinec, Solgelec y Weslim no pueden desarrollar el Servicio Programado del Proceso de Ejecuciones.

El conjunto de restricciones (5.9) expresan que las cuadrillas de las empresas Solgelec y Weslim no pueden desarrollar el Servicio Especial del Proceso de Ejecuciones.

El conjunto de restricciones (5.10) expresan que el Servicio Especial del proceso de Ejecuciones no puede dejar pendientes.

El conjunto de restricciones (5.11) expresan la restricción de las variables $Nd_{i,t}$ y $S_{i,t}$, las cuales deben ser mayores o iguales que cero y enteras.

Por último, el conjunto de restricciones (5.12) expresan que las variables $X_{i,j,t}$ y $X_{nc,t}$ deben ser mayores o iguales a cero

5.4. PROGRAMACIÓN DEL MODELO ALGEBRAICO MEDIANTE EL SOFTWARE LINGO 9.0

A continuación, se presenta el programa con la respectiva sintaxis soportada por el software LINGO 11.0. Además, se escribe junto a los comandos de información de lingo, el respectivo número de ecuación y restricción.

MODEL

SETS:

```
!CONJUNTO PRIMITIVOS;
SERVICIOS/PNT GM_PNT PROG_80 PROG_15 PROG_5 GM_PROG P_ESP/:CM;
COLABORADORES/PSB COOLELECTRIC SINEC SOLGELEC WESLIM/:NC;
PERIODO/ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO
SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE/:H,CPC,XNC;
!CONJUNTO DERIVADOS;
SERVICIOS_COLABORADORES_PERIODO(SERVICIOS,COLABORADORES,PERIODO):X
;
SERVICIOS_COLABORADORES(SERVICIOS,COLABORADORES):R;
SERVICIOS_PERIODO(SERVICIOS,PERIODO):S,ND,D;
ENDSETS
```

DATA:

```
!IMPORTAR DATOS DESDE EXCEL;
R,CNC,H,D,NC,CM,CPC=@OLE('D:\Desktop\ModeloTesis_FINAL.xlsx','REND
','Cxno_utilizar_una_cuadrilla_contratada_diario','DIAS','DEMANDAS
','CCUADRILLAS','CMINIMA','Costo_por_cuadrilla_contratada_al_mes')
;
!EXPORTAR SOLUCIÓN A EXCEL;
@OLE('D:\Desktop\ModeloTesis_FINAL.xlsx','X_CH','S_CH','ND_CH','XN
C_CH')=X,S,ND,XNC;
ENDDATA
```

```
!Función Objetivo que Minimiza Costos de mano de obra del Proceso
de Ejecuciones (5.1);
```

```
MIN=@SUM(SERVICIOS(I):@SUM(COLABORADORES(J)|J #LE#
2:@SUM(PERIODO(T):(X(I,J,T)*CPC(T))))
+ @SUM(SERVICIOS(I):@SUM(COLABORADORES(J)|J #GE# 3 #AND# J
#LE# 5:@SUM(PERIODO(T):(X(I,J,T)*CPC(T)*1.2)))) + @SUM(PERIODO(T):
XNC(T)*H(T)*CNC);
```

```

!Función Objetivo N°2: Función restrictiva, la cual limita la
cantidad de demanada pendiente en cada periodo (ECUACION 5.1);
@SUM(PERIODO(T) | T #GE# 1 #AND# T #LE#
12: @SUM(SERVICIOS(I) : ND(I, T)) / (@SUM(SERVICIOS(I) :
@SUM(PERIODO(T) : D(I, T)) < ε ;

!Restricciones;

!Restricción de capacidades de los colaboradores (RESTRICCIÓN
5.3);
@FOR(COLABORADORES(J) : @FOR(PERIODO(T) : [RES_CUADR_MAX_XCOL]
@SUM(SERVICIOS(I) : X(I, J, T)) < NC(J));

!Restricción que limita la cantidad de cuadrillas por periodo a
las disponibles (RESTRICCIÓN 5.3(1));
@FOR(PERIODO(T) : @SUM(COLABORADORES(J) : @SUM(SERVICIOS(I) : X(I, J, T)))
< (@SUM(COLABORADORES(J) : NC(J)));

!Ecuación que calcula la cantidad de cuadrillas no utilizadas
(ECUACION 5.4);
@FOR(PERIODO(T) : @SUM(COLABORADORES(J) | J #LE# 2: NC(J)) -
@SUM(COLABORADORES(J) | J #LE# 2: @SUM(SERVICIOS(I) : X(I, J, T))) =
XNC(T));

!Ecuación que anula la demanda pendiente en el periodo 0 (ECUACION
5.5);
@FOR(SERVICIOS: @FOR(PERIODO(T) | T #EQ# 1: ND(I, T) = D(I, T) - S(I, T));

!Ecuación que calcula la demanda no realizada para cada servicio
en el periodo correspondiente (ECUACION 5.6);
@FOR(SERVICIOS(I) : @FOR(PERIODO(T) : ND(I, T) = D(I, T) + ND(I, T-1) -
S(I, T));

!Ecuación que relaciona los servicios realizados para cada periodo
con el número de cuadrillas, el rendimiento y los días hábiles
(ECUACION 5.7);
@FOR(SERVICIOS(I) : @FOR(PERIODO(T) : @SUM(COLABORADORES(J) :
X(I, J, T) * R(I, J)) * H(T) = S(I, T));

!Ecuación que limita la operación de las cuadrillas Sinec,
Solgelec y Weslim a no realizar programado (ECUACION 5.8);
@FOR(SERVICIOS(I) | I #GE# 3 #AND# I #LE# 6: @FOR(COLABORADORES(J) | J
#GE# 3 #AND# J #LE# 5: @FOR(PERIODO(T) : X(I, J, T) = 0));

!Ecuación que limita la operación de las cuadrillas Solgelec y
Weslim a no realizar servicios especiales (ECUACION 5.9);
@FOR(SERVICIOS(I) | I #EQ# 7: @FOR(COLABORADORES(J) | J #EQ# 4 #AND# J
#EQ# 5: @FOR(PERIODO(T) : X(I, J, T) = 0));

!Ecuación que no permite pendientes en servicios especiales
(ECUACION 5.10);
@FOR(SERVICIOS(I) | I #EQ# 7: @FOR(PERIODO(T) : S(I, T) = D(I, T));

```

```
!Ecuación que restringe las variables "S" y "ND" a ser entera y no
negativas (ECUACION 5.11);
@FOR (SERVICIOS (I) : @FOR (PERIODO (T) : @GIN (S (I, T) ) ; @GIN (ND (I, T) ) ) ) ;
```

END

5.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

La información de esta tesis fue recolectada de forma empírica en CHILECTRA S.A. y en las empresas Colaboradoras, también se consultó la base histórica de información de la Unidad de Chilectra Hogar y del desarrollo de una empresa modelo para el proceso de licitación de empresas contratistas en la que el autor de esta tesis participó. Se exponen a continuación las tablas más representativas en la realización del modelo de optimización, la información complementaria se expone en el Anexo 1.

La tabla 5.7 muestra la demanda pronosticada, en base a la información histórica para los periodos de estudio y los servicios respectivos desarrollados en el proceso.

Tabla 5.7: Demanda anual de Servicios

2014							
DEMANDAS	PNT	GM_PNT	Prog_80	Prog_15	Prog_5	GM_Prog	P_Esp
Enero	177	167	58	11	4	2	2
Febrero	127	73	53	10	3	2	2
Marzo	157	61	51	10	3	3	1
Abril	119	52	54	10	3	2	1
Mayo	113	106	52	10	3	7	1
Junio	103	63	48	9	3	4	1
Julio	95	76	58	11	4	8	1
Agosto	103	65	66	12	4	12	2
Septiembre	117	38	50	9	3	10	2
Octubre	161	97	62	12	4	9	2
Noviembre	283	101	61	11	4	13	1
Diciembre	241	119	67	13	4	4	2

La tabla 5.8 expone los rendimientos promedios diarios de todas las empresas colaboradoras en los distintos servicios que se realizan en el proceso de Ejecuciones.

Tabla 5.8: Rendimiento diarios de los colaboradores por Servicios

Rendimientos	PNT	GM_PNT	Prog_80	Prog_15	Prog_5	GM_Prog	P_Esp
PSB	1	5	2	1	0,33	5	0,2
Coolelectric	1	5	2	1	0,33	5	0,2
Sinec	0,75	5	1,5	1	0,2	5	0,2
Solgelec	1	5	1,5	1	0,2	5	0,125
Weslim	1	5	1,5	1	0,2	5	0,125

La tabla 5.9 expone la cantidad de cuadrillas disponibles por empresa colaboradora para el uso del proceso de Ejecuciones de Servicios.

Tabla 5.9: Disponibilidad de cuadrillas por colaborador y tipo de servicio realizable por empresa

Empresas	Nº Cuadrillas	Trabajos
PSB	7	Programado-PNT
Coolelectric	6	Programado-PNT
Sinec	2	PNT
Solgelec	1	PNT
Weslim	1	PNT

La tabla 5.10 expone los costos por utilizar las cuadrillas que se tienen contratadas, involucrando sueldos, los materiales, herramientas, etc., que son necesarias para realizar los servicios. En el caso de no ser utilizada la cuadrilla sólo se mantiene el sueldo de ésta, debido a la obligación contractual, lo que queda expresado en la misma.

Tabla 5.10: Costos promedios diarios por de cuadrillas contratadas

Costo promedio por cuadrilla contratada utilizada	Costo promedio por no utilizar una cuadrilla contratada
\$ 105.600	\$ 78.254

La Información complementaria, relacionada con el desarrollo del modelo para el proceso de ejecuciones de servicios de Chilectra Hogar, que no se relaciona directamente con el modelo será incorporada en el Anexo A.

5.6. EJECUCIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN

Para llevar a cabo el proceso de optimización, propiamente tal, se programó el modelo propuesto en el software LINGO 11.0., con la sintaxis soportada por éste. Además, se aplicó el método de ε -constraint para Optimización Multiobjetivo, definido en el capítulo 4 de este proyecto de título.

En este caso, se minimizó la función objetivo f_1 , que corresponde a los costos por la utilización, y no utilización, de cuadrillas contratadas en cada periodo y la utilización de cuadrillas auxiliares. Por otro lado, la función objetivo f_2 se estableció como restricción (método), la cual se restringe a través de ε_2 , donde f_2 corresponde a la cantidad total de demanda pendiente en existente todos los periodos.

Luego, se procedió a establecer los diversos valores de ε_t , con $t = 1,2$, para encontrar los diferentes puntos no dominados de la frontera de Pareto. El rango de los valores de los ε_t se definió desde la cantidad ideal (tener una demanda pendiente cero), hasta un valor máximo, el cual corresponde, por decisión del analista, a la máxima demanda que se tiene, de servicios, en un periodo, que para este estudio corresponde a 450 servicios, registrados en el periodo 12, utilizando este valor como límite superior, tal como se muestra en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Rango de valores para ε_t , $t = 1, 2$

Rango de valores de ε_t		
	Límite Inferior	Límite Superior
Demanda pendiente	0	450
Porcentaje de la Demanda Total	0%	11.97%

En la tabla 5.11, se exponen los límites para los valores de ε_t , como ya se mencionó, pero también se expone, para una mejor visualización, su correspondiente relación con el total de la demanda de servicios.

Para desarrollar la Frontera de Pareto (Puntos Óptimos), se determinó que $l = 51$, esta decisión no fue al azar, sino que la literatura [Landa, 2002] menciona que con 50 puntos

se puede representar aproximadamente el 95% de la Frontera de Pareto real del problema en estudio, situación que es suficiente para las intenciones de este proyecto y por la cual utilizamos el valor más cercano a éste (se incluyeron los extremos).

En la tabla 5.12 se presentan todos los valores para ε_t a trabajar en el modelo, valores que finalmente entregaran los valores de la función objetivo de costos f_1 . Como se menciona anteriormente, se exponen en cantidades y en su correspondiente porcentaje de la demanda total.

Tabla 5.12: Valores para los distintos ε_t

	ε_t	ε_t (%)
1	450	11,97%
2	441	11,73%
3	432	11,50%
4	423	11,26%
5	414	11,02%
6	405	10,78%
7	396	10,54%
8	387	10,30%
9	378	10,06%
10	369	9,82%
11	360	9,58%
12	351	9,34%
13	342	9,10%
14	333	8,86%
15	324	8,62%
16	315	8,38%
17	306	8,14%
18	297	7,90%
19	288	7,66%
20	279	7,42%
21	270	7,18%
22	261	6,95%
23	252	6,71%
24	243	6,47%
25	234	6,23%
26	225	5,99%
27	216	5,75%
28	207	5,51%

29	198	5,27%
30	189	5,03%
31	180	4,79%
32	171	4,55%
33	162	4,31%
34	153	4,07%
35	144	3,83%
36	135	3,59%
37	126	3,35%
38	117	3,11%
39	108	2,87%
40	99	2,63%
41	90	2,39%
42	81	2,16%
43	72	1,92%
44	63	1,68%
45	54	1,44%
46	45	1,20%
47	36	0,96%
48	27	0,72%
49	18	0,48%
50	9	0,24%
51	0	0,00%

La tabla 5.13 muestra los resultados del modelo de optimización, una vez aplicado el método ϵ -constraint y gracias a la herramienta LINGO 11.0, para las funciones objetivo: costo total por la utilización de cuadrillas (f_1) y la demanda pendiente total, expresada en porcentaje (f_2).

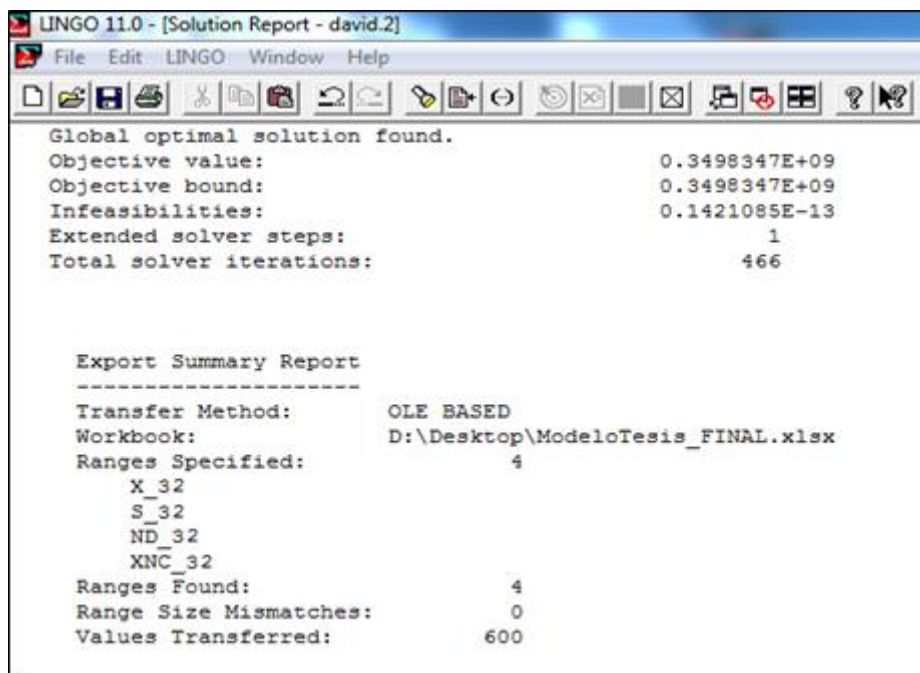
Tabla 5.13: Valores de las funciones Objetivo

Demanda Pendiente Total (f_2)	Costo Total por Utilización de Cuadrillas (f_1)
11,97%	\$ 342.123.300
11,73%	\$ 342.260.000
11,50%	\$ 342.410.400
11,26%	\$ 342.560.800
11,02%	\$ 342.752.300
10,78%	\$ 342.971.000
10,54%	\$ 343.217.100
10,30%	\$ 343.463.300
10,06%	\$ 343.709.400
9,82%	\$ 343.955.500
9,58%	\$ 344.201.600
9,34%	\$ 344.447.700
9,10%	\$ 344.693.800
8,86%	\$ 344.939.900
8,62%	\$ 345.186.100
8,38%	\$ 345.432.200
8,14%	\$ 345.678.300
7,90%	\$ 345.924.400
7,66%	\$ 346.170.500
7,42%	\$ 346.416.600
7,18%	\$ 346.662.700
6,95%	\$ 346.908.900
6,71%	\$ 347.155.000
6,47%	\$ 347.401.100
6,23%	\$ 347.647.200
5,99%	\$ 347.893.300
5,75%	\$ 348.139.400
5,51%	\$ 348.385.500
5,27%	\$ 348.631.700
5,03%	\$ 348.877.800
4,79%	\$ 349.123.900
4,55%	\$ 349.370.000
4,31%	\$ 349.834.700
4,07%	\$ 350.378.800
3,83%	\$ 350.975.100
3,59%	\$ 351.519.300

3,35%	\$	352.115.600
3,11%	\$	352.659.800
2,87%	\$	353.256.100
2,63%	\$	353.800.300
2,39%	\$	354.396.600
2,16%	\$	354.940.700
1,92%	\$	355.537.100
1,68%	\$	356.081.200
1,44%	\$	356.677.500
1,20%	\$	357.221.700
0,96%	\$	357.818.000
0,72%	\$	358.869.100
0,48%	\$	360.009.500
0,24%	\$	361.534.400
0,00%	\$	364.195.500

También, se expone (a modo de ejemplo) una imagen con la información que entregaba LINGO 11.0, cada vez que se ejecutaba la optimización para los niveles de servicio designados por ε_t .

Figura 5.3: Ejemplo de un Informe Resumen de Solución generado por LINGO 11.0 para un nivel de servicio establecido.



La imagen muestra que LINGO 11.0 entrega, en primera instancia, un resumen de la optimización realizada por el software, la optimización de la función objetivo asociada con los costos totales del proceso y las iteraciones realizadas a nivel sistemático para encontrar dicha solución. También, expone la exportación de los resultados a una planilla Excel específica y la cantidad de variables exportadas, las cuales entregan el detalle de los valores de la optimización realizada.

La figura 5.3 expone la optimización de los costos totales para un nivel de servicio donde se limita la cantidad de demanda pendiente por periodo a 162 servicios, como máximo por periodo, o una demanda pendiente máxima por periodo menor o igual a un 4.31% de la demandal de los servicios totales solicitados a Chilectra Hogar. La optimización entrega un valor de costos totales igua a 0,3498347 E+09 o \$349.834.700.

Los valores de las 600 variables, generadas por la optimización, se exportan a un Excel, situación que se visualiza en el Export Summary Report, donde quedan especificadas las variables encontradas por LINGO 11.0 y las variables exportadas a Excel, especificando el Nombre de los rangos donde se deben pegar los datos generados. Para esta optimización se vinculan la variable $X_{i,j,t}$ con X_32, la variable $S_{i,t}$ con S_32, la variable $ND_{i,t}$ con ND_32 y la variable XNC_t con XNC_32

- La variable $X_{i,j,t}$ genera 420 valores.
- La variable $S_{i,t}$ genera 84 valores.
- La variable $ND_{i,t}$ genera 84 valores.
- La variable XNC_t genera 12 valores.

Con los datos que arrojó la ejecución del modelo de optimización en LINGO 11.0, utilizando la técnica ϵ -constraint, podemos realizar un análisis concluyente del caso en estudio para así evaluar la eficiencia del Proceso de Ejecuciones de Servicios.

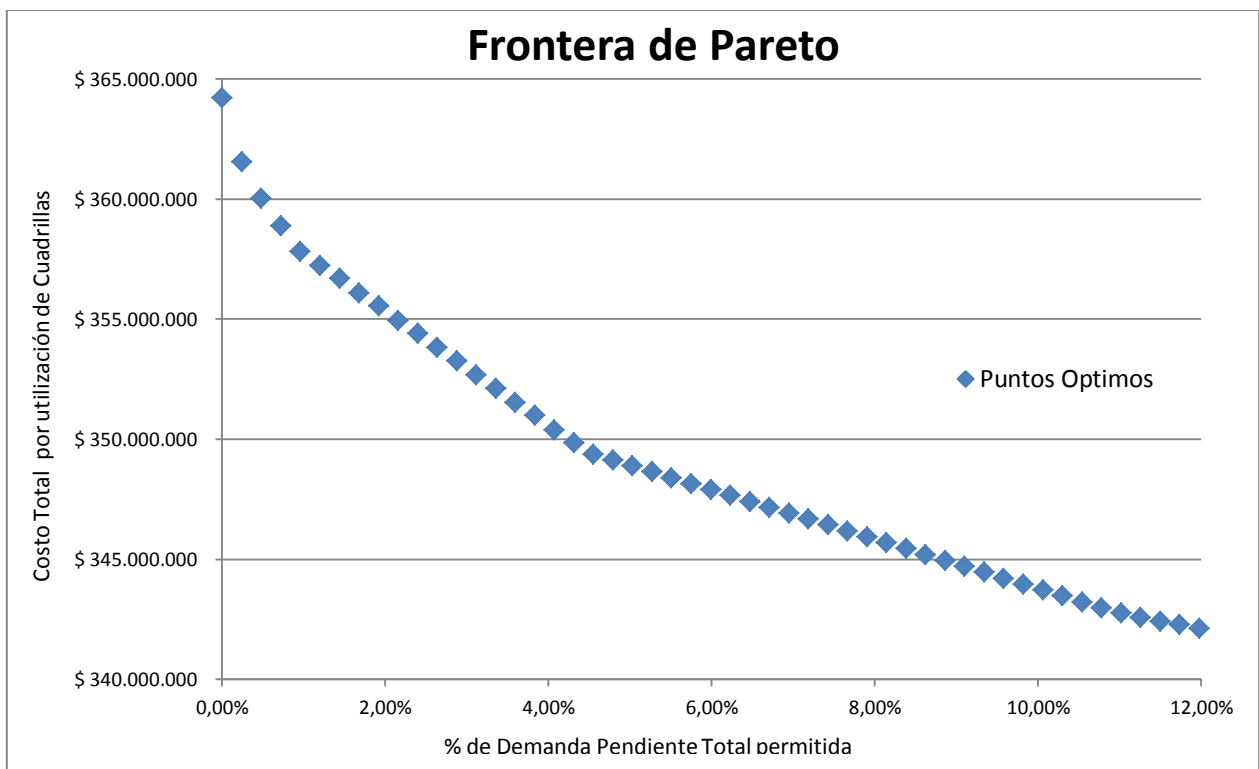
6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1. ANALISIS DE RESULTADOS

Para facilitar el análisis de los resultados obtenidos al ejecutar el modelo de optimización, incorporando el método ϵ -constraint y gracias a LINGO 11.0, estos valores se presentarán a continuación.

Primero, en la figura 6.1 se puede observar los 51 puntos no dominados de la Frontera de Pareto generada al graficar los resultados de la tabla 5.16.

Figura 6.1: Frontera de Pareto del POM



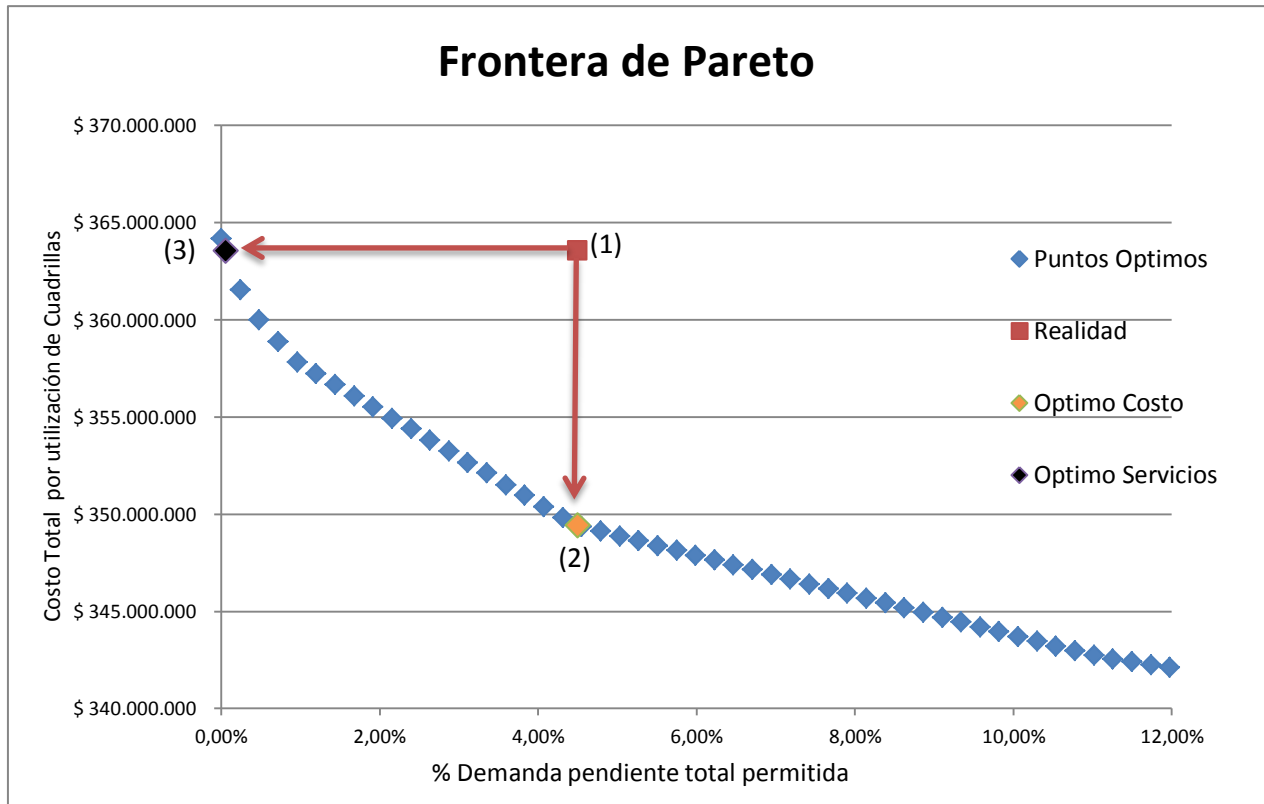
El gráfico de la figura 6.1 muestra la Frontera de Pareto calculada, una aproximación a la curva óptima de eficiencia que se puede desarrollar en el servicio estudiado, al contrastar los dos objetivos de mayor importancia para la unidad Chilectra Hogar y la empresa en

general, que son los de minimizar los costos pero a la vez dar un servicio de calidad, mostrando además el impacto que se genera en los distintos niveles de éstos.

Como se puede observar en la figura 6.1, a medida que disminuye el porcentaje de demanda pendiente de servicios por periodo, aumenta el costo por la utilización de cuadrillas colaboradoras en el proceso de ejecución, siendo los puntos extremos el punto donde el porcentaje de demanda pendiente es 0%, que es la situación ideal para una empresa de servicios y quiere implica el cumplimiento de toda la demanda en el periodo correspondiente, pero esta situación implica que el costo sea el más elevado. El punto con el menor costo para la empresa corresponde a un porcentaje de demanda pendiente cercano al 12%. El resto de los puntos intermedios del gráfico presentan opciones adicionales, igualmente eficientes, donde habría que acordar un nivel de servicio o el costo que se está dispuesto a asumir para conocer el valor óptimo correspondiente.

Ahora, volviendo al caso de estudio, se contrasta la Frontera de Pareto con el estado actual del Proceso de Ejecuciones de Servicios de Chilectra Hogar, para esto expondremos primeramente la situación en la figura 6.2.

Figura 6.2: Estado Actual o Realidad del Servicio



En la figura 6.2 se aprecia el estado actual o realidad de la empresa en el punto (1), este valor se calculó en base información obtenida del proceso de licitación de empresas contratistas para las ejecuciones de servicios. Se destacan dos puntos importantes en la Frontera de Pareto calculada, para visualizar las desviaciones entre la optimización y el estado real del proceso de ejecuciones de servicios.

- i) El punto (2) minimiza los costos totales del proceso, manteniendo el nivel de servicio que actualmente posee el proceso.
- ii) El punto (3) maximiza el nivel de servicio, manteniendo el costo total incurrido actualmente en el proceso.

Estos puntos son los extremos de la sección de curva, de la Frontera de Pareto, que expone el área que contiene todos los puntos que dominan al actual estado del proceso y que beneficiarían los intereses de la empresa.

Se observa que, actualmente el proceso de ejecuciones de servicios incurre en un gasto muy elevado, en comparación a la frontera obtenida, para alcanzar un nivel de servicio que no es consistente con el desembolso de dinero que realizan.

Para una mayor comprensión del gráfico expondré los puntos mencionados en él en la tabla 6.14.

Tabla 6.14: Valores actuales del Proceso de Ejecuciones y valores óptimos extremos de la zona de puntos que dominan al estado actual

	Nivel de Servicio		Costo Total
Óptimo Servicio	0	0,00%	\$ 363.553.331
Estado Actual o Realidad	169	4,50%	\$ 363.553.331
Óptimo Costos	169	4,50%	\$ 349.424.700

El estado actual del servicio considera un costo total de \$ 363.553.331, valor obtenido de la información de la “empresa modelo” obtenida del proceso de licitación del servicio, y que corresponde al costo salarial de los RRHH operativos (cuadrillas), sumado a los costos asociados a la operación de dichas cuadrillas. El nivel de servicio se calcula con el modelo, sabiendo que tienen contratadas 13 cuadrillas. El máximo nivel de servicio, que puede alcanzar el proceso de ejecuciones de servicios, es de mantener la demanda pendiente total igual a 169 servicios, o que los servicios totales que se trataron como pendientes en algún periodo sean un 4.50% de la demanda total de servicios.

Para la optimización se agregaron las cuadrillas de apoyo, disponibles en caso de ser solicitadas por CHILECTRA S.A., pero que no habían sido consideradas en la planificación inicial del proceso por los especialistas de la empresa. Los resultados de los puntos extremos de la zona en estudio se explican a continuación.

- El punto que optimiza el costo total, por la utilización de cuadrillas, mantiene el nivel de servicio existente, pero lo desarrolla minimizando los costos, lo cual se ve reflejado en un costo total de \$ 349.424.700, que implican una disminución del gasto, desarrollando el servicio al mismo nivel, en un 3.88% (\$14.128.631) por año.

- El punto que optimiza el servicio (demanda pendiente total), mantiene el costo total actual del proceso de ejecuciones de servicios, pero maximiza la utilización de los recursos, para alcanzar un nivel de servicio donde la demanda pendiente total es 0%, disminuyendo en su totalidad la demanda pendiente.

Las tablas 6.15, 6.16 y 6.17 exponen los valores de la variable $X_{i,j,t}$, que corresponde a la cantidad de cuadrillas en el servicio "i" proporcionadas por el colaborador "j" en el periodo "t", obtenidas para los casos explicados anteriormente.

Tabla 6.15: Valores para $X_{j,t}$ Estado Actual													
X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	3,43	4,25	4,56	4,92	0,00	4,48	3,96	3,71	4,55	3,83	7,00	3,41
	Coolelectric	3,95	1,52	2,12	0,37	5,02	0,00	0,00	0,97	0,89	2,88	3,36	5,55
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant PNT	PSB	1,39	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,63	0,59	0,35	0,81	0,00	1,03
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	0,00	1,48
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,46	0,45	0,43	0,00	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,00	1,04
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,00	0,00
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,00	0,03
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,11	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,22	0,00	0,10	0,03	0,45	0,47	0,42	0,23	0,43
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	12,99	12,98

Tabla 6.16: Valores para $X_{i,j,t}$ Óptimo Costos														
X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
PNT	PSB	3,01	5,66	5,86	5,29	5,02	4,48	3,96	4,68	5,44	4,70	4,36	3,00	
	Coolelectric	4,37	0,11	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01	6,00	5,92	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gtia y Mant PNT	PSB	1,39	0,00	0,52	0,00	0,94	0,55	0,63	0,00	0,35	0,81	0,92	1,03	
	Coolelectric	0,00	0,66	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 80%	PSB	1,21	0,00	0,00	1,20	0,00	0,94	1,21	1,21	0,00	0,00	1,39	1,46	
	Coolelectric	0,00	1,20	1,09	0,00	1,16	0,10	0,00	0,29	1,16	1,29	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 15%	PSB	0,46	0,45	0,00	0,00	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,00	1,04	
	Coolelectric	0,00	0,00	0,43	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 5%	PSB	0,50	0,41	0,38	0,29	0,31	0,39	0,00	0,00	0,42	0,50	0,00	0,00	
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,11	0,09	0,00	0,50	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gtia y Mant Progr	PSB	0,02	0,02	0,03	0,00	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03	
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
P Esp	PSB	0,42	0,45	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,45	0,27	0,42	0,21	0,43	
	Coolelectric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
TOTAL (OPTC)		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	13,01	12,92	
Dif Estado Actual		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	-0,07	
Promedio		9,43										SUM		-0,05

Tabla 6.17: Valores para X_{ijt} Óptimo Nivel de Servicios

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	6,00	5,34	5,48	5,29	5,02	0,00	0,00	4,68	5,44	6,00	5,41	6,00
	Coolelectric	1,38	0,44	1,20	0,00	0,00	4,48	3,96	0,00	0,00	0,71	4,45	2,95
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,53
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,66	0,52	0,46	0,94	0,00	0,00	0,59	0,35	0,00	0,59	0,00
	Coolelectric	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,63	0,00	0,00	0,81	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,03	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,06	0,00	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,39	0,50	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,39	0,40	0,00	0,00	0,38	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,22	0,04	0,00	0,00	0,45	0,20	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,00	0,19	0,22	0,21	0,00	0,26	0,42	0,00	0,43
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL (OPTS)		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,56	14,53
Dif Estado Actual		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	1,54
Promedio		9,86										SUM 5,11	

La tabla 6.15, tabla 6.16 y tabla 6.17 muestran las cuadrillas necesarias, por periodo y colaborador, para satisfacer la demanda de los distintos servicios. Se exponen los escenarios “Actual”, “Óptimo Costo” y “Óptimo Servicio”.

Al estudiar las tablas, éstas exponen las diferencias que existen en las cantidades de cuadrillas que se utilizan en cada escenario, el análisis se realiza a continuación.

Como resultado representativo, se extrae de las tablas que en promedio la cantidad de cuadrillas que se utilizan en el “estado óptimo de costos” es de 9.43 cuadrillas por periodo; en el “estado actual”, en promedio, es de 9.43 cuadrillas por periodo y en el “estado óptimo de servicios”, en promedio, es de 9.86 cuadrillas por periodo.

Obviamente, como el estado actual y el estado que optimiza el costo total, desarrollan un mismo nivel de servicios (demanda pendiente total igual a 169 servicios), el promedio de cuadrillas utilizadas por periodo debe ser similar (9.43 cuadrillas), lo que cambia es la forma de utilización de las cuadrillas. Por eso, para este caso, la diferencia total es de sólo 0.5 cuadrillas utilizadas menos, en el estado que optimiza los costos, en comparación con el estado actual.

El estado que optimiza el nivel de servicio, por consecuencia utiliza en promedio una cantidad mayor de cuadrillas que el estado actual, ya que la demanda pendiente total es 0 servicios. El porcentaje de aumento del promedio de cuadrillas utilizadas por periodo, para el estado que optimiza el nivel de servicio, es de un 4,56%, con respecto al estado actual. Esto se refleja también en la diferencia total de cuadrillas, entre los escenarios mencionados, que corresponde a 5,11 cuadrillas utilizadas adicionales a las que se usan actualmente.

Es importante mencionar que los valores de la variable $X_{i,j,t}$ se exponen con decimales, estos valores nos sirven para que la utilización de las cuadrillas sea más eficiente, debido a que se puede asignar el porcentaje de tiempo de una cuadrilla, que corresponde a los numero decimales, cuando sea necesario.

Por ejemplo, para el caso que optimiza el nivel de servicio, en el servicio PNT, periodo de Enero y la empresa Coolelectric, la variable $X_{1,2,1} = 1.38$, esto quiere decir que, para el

desarrollo de las actividades, la empresa Coolelectric debe utilizar una cuadrilla y el 38% del tiempo de trabajo de una segunda cuadrilla, utilizando el tiempo restante de ésta en otros servicios que la requieran. Obviamente este tipo de valores involucra un mayor análisis, control y logística para ser implementado, pero presenta una gran oportunidad para alcanzar la eficiencia.

Las tablas 6.18, 6.19 y 6.20 exponen los valores para la variable S_{it} , que corresponde a la demanda realizada del servicio “i” en el periodo “t”, para los escenarios en estudio.

S	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	177	127	157	119	113	103	95	103	117	161	228	206
Gtia y Mant PNT	167	73	61	52	106	63	76	65	38	97	101	119
Progr 80%	58	53	51	54	52	48	58	66	50	62	60	68
Progr 15%	11	10	10	10	10	9	11	12	9	12	0	24
Progr 5%	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	0	0
Gtia y Mant	2	2	3	2	7	4	8	12	10	9	13	4
P Esp	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	421	270	286	241	292	231	253	264	229	347	403	423
% Dda Cubierta	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97,85%	97,39%

S	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	177	127	157	119	113	103	95	103	117	161	228	205
Gtia y Mant PNT	167	73	61	52	106	63	76	65	38	97	101	119
Progr 80%	58	53	51	54	52	48	58	66	50	62	61	67
Progr 15%	11	10	10	10	10	9	11	12	9	12	0	24
Progr 5%	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	0	0
Gtia y Mant	2	2	3	2	7	4	8	12	10	9	13	4
P Esp	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	421	270	286	241	292	231	253	264	229	347	404	421
% Dda Cubierta	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97,88%	97,37%
Dif. Estado	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,03%	-0,02%

Tabla 6.20: Valores para $S_{i,t}$ Optimo Nivel de Servicios												
S	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	177	127	157	119	113	103	95	103	117	161	283	241
Gtia y Mant PNT	167	73	61	52	106	63	76	65	38	97	101	119
Progr 80%	58	53	51	54	52	48	58	66	50	62	61	67
Progr 15%	11	10	10	10	10	9	11	12	9	12	11	13
Progr 5%	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4
Gtia y Mant	2	2	3	2	7	4	8	12	10	9	13	4
P Esp	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	421	270	286	241	292	231	253	264	229	347	474	450
% Dda Cubierta	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Dif. Estado	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,15%	2,61%

Las tablas 6.18, 6.19 y 6.20 exponen los servicios realizados en cada periodo en los escenarios “Actual”, “Óptimo Costo” y “Óptimo Servicio, analizando también el porcentaje de la demanda real realizada para cada periodo por escenario.

El porcentaje promedio de demanda satisfecha por periodo, para el escenario actual y para el escenario que minimiza los costos es de 99.60% de la demanda total, esto responde a que ambos escenarios cumplen con el mismo nivel de servicios, por lo que no tienen mayores diferencias.

A su vez, el escenario que optimiza el nivel de servicio, tiene un porcentaje promedio de demanda satisfecha por periodo igual 100%, en relación a la demanda total. Esta situación responde a que este escenario no acepta demanda pendiente en su desarrollo.

Las tablas 6.21, 6.22 y 6.23 exponen los valores para la variable $ND_{i,t}$, que corresponde a la demanda pendiente del servicio “i” en el periodo “t”, para los escenarios en estudio.

Tabla 6.21: Valores para $ND_{i,t}$ Estado Actual												
ND	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	90
Gtia y Mant PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Progr 15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
Progr 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
Gtia y Mant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Esp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	98
% DDA Pendiente	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,89%	2,61%
Total	169											

Tabla 6.22: Valores para $ND_{i,t}$ Optimo Costos												
ND	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	91
Gtia y Mant PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
Progr 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
Gtia y Mant Progr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Esp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	99
% DDA Pendiente	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,86%	2,63%
Dif. Estado Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,03%	0,02%

Tabla 6.23: Valores para $ND_{i,t}$ Optimo Nivel de Servicios												
ND	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gtia y Mant PNT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progr 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gtia y Mant Progr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Esp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DDA Pendiente	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Dif. Estado Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,89%	-2,61%

Las tablas 6.21, 6.22 y 6.23 exponen la demanda pendiente existente en cada periodo de los escenarios “Actual”, “Óptimo Costo” y “Óptimo Servicio”, analizando también el porcentaje de la demanda real pendiente para cada periodo por escenario.

El estudio de esta variable es importante, ya que corresponde a nuestra función objetivo restrictiva. Primero, hay que mencionar que el “estado actual” y el “escenario que optimiza el costo”, tienen un mismo nivel de servicio ($\sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^7 ND_{i,t} \leq 169$), por lo que los valores de demanda pendiente son casi idénticos, y en ambos casos no se alcanzan a cumplir las demandas completas en los últimos dos periodos.

Pese a que solo existe una diferencia en que el escenario que optimiza el costo realiza un servicio programado en el periodo 12, en vez de en el periodo 11, como lo hace el escenario actual, sólo este cambio genera que el costo total disminuya en 3.89%, situación que también se ve afectada porque en el estado actual no existe la opción de utilizar cuadrillas de apoyo que, bien administradas, aportan a una mayor eficiencia.

Obviamente, el escenario que optimiza el nivel de servicio tiene no tiene demanda pendiente en ningún periodo, debido a que cumple con la restricción de nivel de servicio requerida al utilizar las cuadrillas de apoyo necesarias para cumplir con la demanda.

Las tablas 6.24, 6.25 y 6.26 exponen los valores para la variable XNC_t para los escenarios en estudio.

Tabla 6.24: Valores para XNC_t Estado Actual												
XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	1,63	4,02	3,67	4,96	4,75	5,90	5,97	4,57	4,65	2,70	0,01	0,02
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Utilización Cuadrillas	87,44%	69,06%	71,78%	61,81%	63,45%	54,65%	54,10%	64,83%	64,26%	79,23%	99,93%	99,87%

Tabla 6.25: Valores para XNC_t Óptimo Costos												
XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	2,28	5,10	3,28	6,49	6,29	6,42	4,22	5,53	6,23	1,78	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Utilización Cuadrillas	87,44%	69,06%	71,78%	61,81%	63,45%	54,65%	54,10%	64,83%	64,26%	79,23%	100%	99,36%
Dif. Estado Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	-0,51%

Tabla 6.26: Valores para XNC_t Óptimo Nivel de Servicios												
XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	1,63	4,02	3,67	4,96	4,75	5,90	5,97	4,57	4,65	2,70	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Utilización Cuadrillas	87,44%	69,06%	71,78%	61,81%	63,45%	54,65%	54,10%	64,83%	64,26%	79,23%	100%	100%
Dif. Estado Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,13%

Las tablas 6.24, 6.25 y 6.26, muestran la cantidad de cuadrillas contratadas no utilizadas en cada periodo de los escenarios “Actual”, “Óptimo Costo” y “Óptimo Servicio, analizando también el porcentaje de utilización de las cuadrillas contratadas en cada periodo por escenario.

Lo que se observa en los valores entregados por el modelo es que el estado actual, el escenario que optimiza el nivel de servicio y el escenario que optimiza el costo total tienen un comportamiento casi idéntico, tanto en porcentajes de utilización como en la distribución de las cuadrillas contratadas en los distintos periodos, con diferencias mínimas. Lo que si se puede apreciar, es la baja utilización que tienen las cuadrillas contratadas en los periodos desde el 2 al 10, donde el promedio de utilización no alcanza el 70 % de las cuadrillas disponibles, situación que parece interesante de estudiar.

6.2. NUEVA OPTIMIZACIÓN

Considerando las evidencias que mostró el análisis anterior de las variables de salida del modelo y sus resultados, se evalúa la variable $X_{i,j,t}$, pero con un enfoque hacia la variación de la relación entre la “cantidad de cuadrillas contratadas” y la “cantidad de cuadrillas de apoyo externas”. Debido a que el uso de las cuadrillas contratadas no es eficiente y se presume un sobredimensionamiento de éstas, para el cumplimiento de la demanda de servicios.

Se utiliza el escenario que optimiza el nivel de servicio, fijando este nivel como restricción, para hacer este análisis ($\sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^7 ND_{i,t} \leq 0$), ya que minimiza la demanda pendiente total a cero, siendo la situación más demandante de recursos para la empresa y porque, a su vez, es el objetivo que se propone alcanzar CHILECTRA S.A.

El estado que antes mencionamos utiliza 13 cuadrillas con contrato y 4 cuadrillas de apoyo, para cumplir con el nivel de servicio. Se propone disminuir la cantidad de cuadrillas contratadas, ya que hay muchos periodos donde la utilización de la cuadrillas es menor a un 60%, por lo que disminuirémos las cuadrillas contratadas para observar el comportamiento del modelo.

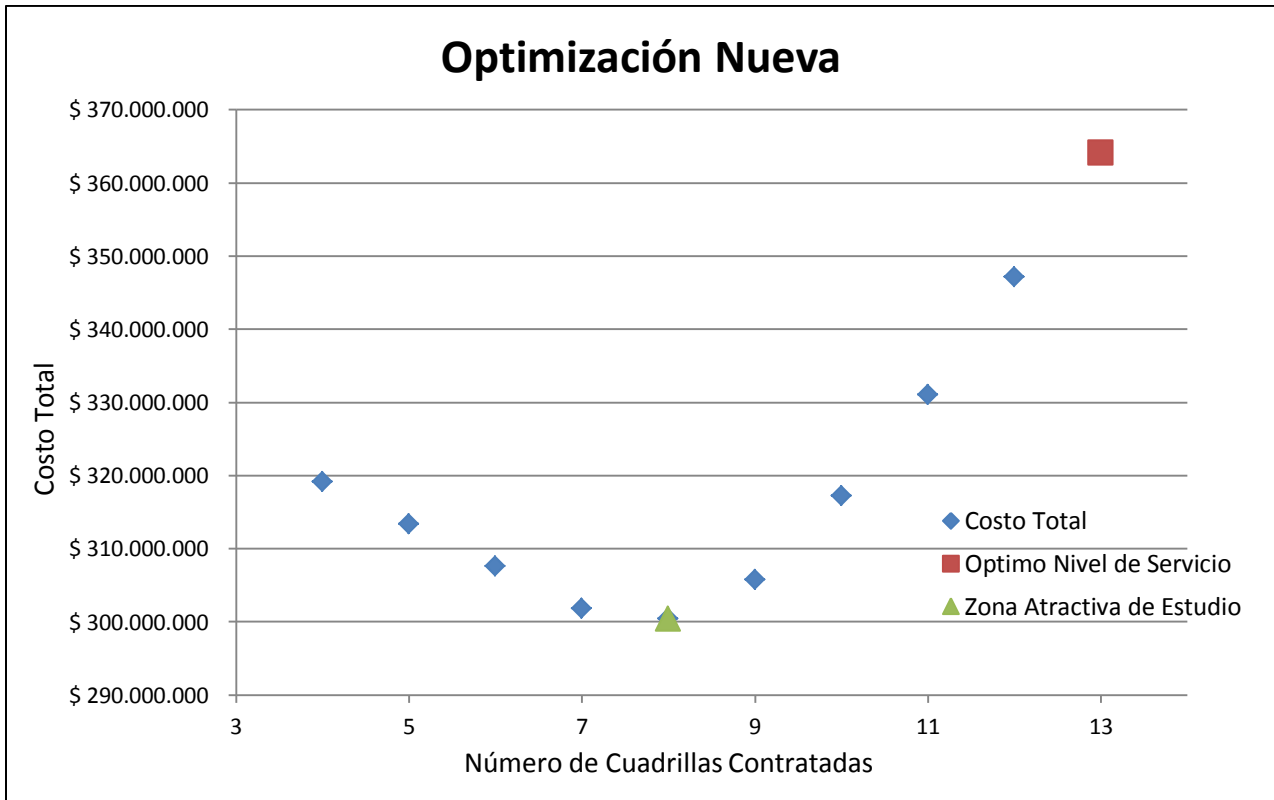
Lo antes mencionado se expresa en la tabla 7.27:

Tabla 7.27: Variación del Costo Total versus la cantidad de cuadrillas contratadas

Cuadrillas	Cuadrillas de	%Utilización	Costo Total
13	4	72,55%	\$ 364.195.500
12	5	77,21%	\$ 347.225.800
11	6	82,43%	\$ 331.130.500
10	7	87,93%	\$ 317.261.200
9	8	93,69%	\$ 305.836.500
8	9	98,06%	\$ 300.433.900
7	10	100,00%	\$ 301.868.200
6	11	100,00%	\$ 307.655.000
5	12	100,00%	\$ 313.441.900
4	13	100,00%	\$ 319.228.800

Se exponen los datos en un gráfico para una visualización más clara del análisis propuesto.

Figura 7.19: Gráfico del modelo al variar las cuadrillas a contratar



En la tabla 7.30 se exponen los distintos valores que arroja el modelo para las variaciones en la cantidad de cuadrillas contratadas, como mencionamos anteriormente existe una ineficiente utilización de las cuadrillas contratadas, lo cual eleva el gasto que se realiza en el proceso de ejecuciones, situación que se evidencia en los datos obtenidos al desarrollar la optimización del modelo con las “variaciones de contratación”, datos expuestos en la tabla, y por lo cual es recomendable elaborar un plan de trabajos que tome en cuenta esta situación, pero a su vez no perjudicar el nivel de servicio deseado.

También, se observa en la figura 7.19, a modo de ejemplo, que existe una combinación, 8 cuadrillas contratadas y 9 cuadrillas de apoyo externas, que para este estudio minimiza el costo total (ya optimizado) y propone una disminución cercana a un 10% en los costos totales del Proceso de Ejecuciones de Servicios, en comparación con el estado óptimo

antes calculado, situación que implica ahorros considerables, pero que se debería evaluar de forma concreta, ya que no solo este punto genera expectativas, sino también los demás que dominan la primera solución entregada por el modelo matemático.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo, se demuestra que es posible desarrollar un modelo matemático de Optimización Multiobjetivo en una empresa de servicios con CHILECTRA S.A., logrando con ello disponer de una herramienta que permita evaluar la eficiencia a posteriori en relación a la utilización de recursos y colaboradores.

La construcción del Modelo de Optimización Multiobjetivo permitió apreciar que el gasto total, por concepto de utilización de cuadrillas, que se desembolsaba para el proceso de ejecuciones de servicios de Chilectra Hogar, era excesivo y no se veía reflejado en un nivel eficiente de servicio, que cumpliera tanto, las expectativas del cliente, como también de la empresa. Lo anterior, se debe a que se logró calcular una frontera de puntos óptimos (Frontera de Pareto), que hacían eficiente el desarrollo del proceso, logrando contrastar el desempeño existente con los resultados del modelo y proponiendo un conjunto de puntos que dominan el estado actual del servicio y hacia donde debería apuntar el proceso para alcanzar una eficiencia mayor.

Dentro del análisis, se observó que las cuadrillas contratadas están sobredimensionadas para la demanda de servicios en los periodos entre el 2 y el 10, situación que se refleja en el porcentaje de utilización de cuadrillas en estos periodos, siendo siempre inferior al 80% y llegando a un 55% en algunos periodos, incluso en el escenario donde se trabajó sin demanda pendiente. Esta información nos indicó donde enfocar el análisis de sensibilidad del modelo, ya que presenta una gran oportunidad de optimización de costos, debido a que las cuadrillas contratadas que no se utilizan, significan un desembolso para CHILECTRA S.A.

Dentro de la evaluación de las cuadrillas necesarias para cumplir los requerimientos de cada periodo, los valores para la variable cantidad de cuadrillas los trabajamos como reales, es decir, con decimales. Este pequeño ajuste permitió vislumbrar la posibilidad de implementar la utilización de las cuadrillas de forma porcentual a través de los periodos, es decir, una fracción de tiempo puede realizar una labor y la fracción restante puede desarrollar otro servicio (obviamente si se tienen la capacidad y competencias técnicas para ello), logrando así un uso más eficiente en comparación con el existente modelo,

donde las cuadrillas solo desempeñan un tipo de trabajo, lo cual genera tiempos muertos cuando la demanda disminuye en algún periodo.

Los resultados obtenidos del análisis, donde se propone cambiar la condición de contratación de algunas cuadrillas, se traduce en una disminución de forma considerable el costo total del servicio de un punto eficiente de la Frontera de Pareto calculada con las condiciones existentes, situación que se debe al optimizar el porcentaje de utilización de las cuadrillas contratadas, y que presenta una oportunidad favorable para la empresa en el plano económico.

Este resultado expone la necesidad de realizar un estudio más detallado de la situación, ya que presenta una gran oportunidad para aumentar las ganancias de la empresa. Pero, también hay que considerar la constante búsqueda, por parte de CHILECTRA S.A., de un nivel de servicio de excelencia, nivel que es posible controlar a través de responsabilidades contractuales, acordadas con las empresas que le prestan sus servicios a CHILECTRA S.A., en los procesos de licitación, las que serían difíciles asegurar si no existe este tipo de documentos que expongan las responsabilidades de las empresas externas.

Se ha podido verificar el desconocimiento en la empresa del potencial de este tipo de estudios y el impacto positivo que pueden tener en las finanzas de la empresa. Esto se debe a que, debido a lo imprescindible del servicio entregado por CHILECTRA S.A., no existe un respeto por los clientes, sino que se le recargan a éste los errores que se cometen en el desarrollo de los servicios eléctricos.

El control de la eficiencia en el Proceso de Ejecuciones de Servicios que se realizan en CHILECTRA S.A. es básico, situación que se debe a la falta de profesionales competentes en estas funciones, procesos inadecuados a las capacidades existentes y software obsoletos.

Este trabajo apunta al vacío antes mencionado, el cual fue observado en la estadía en la empresa, proponiendo un poco de ingeniería en los procesos de licitaciones y en la toma de decisiones relacionadas a la contratación y utilización de cuadrillas de trabajo.

8. REFERENCIAS

- [1] Coello, C. (1998): "*Optimización Evolutiva con Objetivos Múltiples: Estado del Arte y Tendencias Futuras*", Centro de Investigación en Computación.
- [2] Coello, C. (2005): "*Introducción a la Optimización Multiobjetivo usando Metaheurísticas*", Sección de Computación.
- [3] Correa, C., Bolaños, R., Molina, A. (2008): "*Algoritmo Multiobjetivo NSGA-II aplicado al Problema de la Mochila*", *Scientia et Technica*, 39, pp. 206-211.
- [4] Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J., Weatherford, L. (2000): "*Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*", México, Quinta Edición, Prentice Hall, Cap. 1 y 2.
- [5] Gaither, N., Frazier, G. (2000): "*Administración de Producción y Operaciones*", México, Octava Edición, International Thomson, Cap. 3.
- [6] Miettinen, K. (1998): "*Nonlinear Multiobjective Optimization*", Estados Unidos, Primera Edición, Kluwer Academic Publishers, Parte I, II.
- [7] Schroeder, R. (1995): "*Administración de Operaciones: Toma de decisiones en la función de Operaciones*", México, Tercera Edición, Mc Graw Hill, Cap. 3.
- [8] Landa, R. (2002): "*Algoritmos Culturales Aplicados a Optimización con Restricciones y Optimización Multiobjetivo*". Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias, en la especialidad de Ingeniería Eléctrica Opción Computación. México D.F., Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de ingeniería Eléctrica Sección de Computación
- [9] De la Fuente, R. A. (2009): "*Diseño de un Modelo de Planeación agregada por las prestaciones médicas en el Hospital Clínico Herminda Martín de Chillán. Caso de estudio:*

Servicio de Ginecología y Obstetricia". Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Concepción, Universidad del Bío-bío, Facultad de Ingeniería. 156p.

[10] Herrera, R. (2013): "*Desarrollo de un Modelo de Optimización lineal Multiobjetivo, como una herramienta de Evaluación de la Eficiencia en el Servicio de Ginecología y Obstetricia de un Hospital del Gran Concepción (VIII Región)*". Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Concepción, Universidad Católica de la Ssma. Concepción, Facultad de Ingeniería. 103p.

[11] Coca, G. (2014). *Diseño y aplicación de una metodología multiobjetivo, basada en los algoritmos genéticos "VEGA" y "MOGA", para mejorar el desempeño de las variables tiempo de procesamiento, porcentaje de producción defectuosa causada por la fatiga del operario y costo de mano de obra directa, en un sistema de fabricación tipo "Job Shob" de una compañía metalmecánica*. Magíster en Ingeniería Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

[12] Díaz-Madroñero, M., Peidro, D., Mula, J., y Feroils, F. (2010). Enfoques de la programación matemática fuzzy para la planificación operativa del transporte en una cadena de suministro del sector del automóvil. *Revista de Método Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, (9), 44 -68.

[13] Bustos, R., Herrera del Canto, L., Zamora, A., *Selección de rutas de Distribución Multiobjetivo para Productos Perecederos en el Mercado de Exportación*. Sanfandila Querétaro: Instituto Mexicano de Transporte: 2014 (Informe Técnico) (Publicación Técnica; n. 410).

[14] Comisión Nacional de Energía. <www.cne.cl>

[15] Comisión Nacional de Energía. *La Regulación del Segmento Transmisión en Chile*. Gobierno de Chile, 2005.

[16] Comisión Nacional de Energía. *La Regulación del Segmento Distribución en Chile*. Gobierno de Chile, 2006.

[17] Comisión Nacional de Energía. *Ley General de Servicios Eléctricos y sus modificaciones*. Gobierno de Chile, 2014.

[18] Ministerio de Energía. <www.minenergia.cl>

[19] Ministerio de Minería. *Ley General de Servicios Eléctricos, en Materia de Energía Eléctrica. Decreto con Fuerza de Ley No1*. Gobierno de Chile, 1982.

[20] *Memoria Anual y Estados Financieros de Chilectra 2013* [en línea]
<http://www.chilectra.cl/wps/wcm/connect/a94aae00438144e8a732bfc8eb86c293/Memoria_Chilectra_2013.pdf?MOD=AJPERES&Tipo=DOC > [consulta: Enero 2015]

[21] CHILECTRA S.A. *Empresa Modelo Vente Ejecución 2014*

[22] CHILECTRA S.A. *Inspecciones de Ejecuciones de Servicios*. Enero – Junio de 2014

9. ANEXOS

9.1. Anexo A: Información para la construcción del Modelo

Se expone la información completa recopilada del Proceso de Ejecuciones de la unidad Chilectra Hogar, información que como se mencionó proviene de la empírica, bases históricas y de proyectos actuales de la unidad de trabajo.

La tabla 1 expone los rendimientos diarios de las cuadrillas en los distintos servicios.

Tabla 1: Rango de Rendimientos diarios de la cuadrillas

Rendimientos	PNT	Gtia y	Programado	Gtia y	P_Esp	Año
Mínimo	0,80	1,50	0,80	1,50	-	2011
Promedio	1	2	1	2	-	
Máximo	1,20	2,50	1,20	2,50	-	
Mínimo	0,80	1,50	0,80	1,50	-	2012
Promedio	1	2	1	2	-	
Máximo	1,20	2,50	1,20	2,50	-	
Mínimo	0,80	4,00	0,30	4,00	-	2013
Promedio	1	6	0,5	6	-	
Máximo	1,20	7,00	0,80	7,00	-	

La tabla 2 explica el dimensionamiento mínimo para cumplir con la demanda media de los servicios de Chilectra Hogar.

Tabla 2: Dimensionamiento de cuadrillas

Dimensionamiento	PNT	Gtia y	Programado	Gtia y	P
Máximo	15,38	1,81	12,17	0,14	1
Promedio	6,50	0,61	6,15	0,04	1,5
Mínimo	5,42	0,52	3,84	0,04	2
Cuadrillas	PNT	Programado	P		
Máximo	18	13	1		
Promedio	8	7	1,5		
Mínimo	6	4	2		

Tabla 3: Recursos utilizados por las cuadrillas

Diesel	\$ 21.747.917
<i>Número de cuadrillas</i>	13
<i>Kilometros por cuadrilla diarios [6 días]</i>	100
<i>Rendimiento en kilometros por litro de</i>	12
<i>Precio litro diesel</i>	\$ 730
<i>Costo diesel total cuadrillas anual</i>	\$ 21.747.917
Leasing, Mantenición y Tag de	\$ 31.800.000
<i>Costo leasing por vehículo</i>	\$ 400.000
<i>Costo leasing total vehículos anual</i>	\$ -
<i>Costo mantención por cuadrilla</i>	\$ 75.000
<i>Costo mantención total cuadrillas anual</i>	\$ 12.600.000
<i>Costo tag cuadrilla mensual</i>	\$ 100.000
<i>Costo tag total cuadrillas anual</i>	\$ 19.200.000
<i>Mantenición y Tag de vehículos</i>	\$ 31.800.000
<i>Diesel</i>	\$ 21.747.917
<i>Equipamiento</i>	\$ 15.823.592
<i>Servicios Básicos</i>	\$ 5.640.000
<i>Infraestructura</i>	\$ 18.720.000
<i>Imprevistos</i>	\$ 26.000.000
<i>Gastos Generales</i>	\$ 13.000.000
<i>Telecomunicaciones</i>	\$ 8.160.000
<i>Varios</i>	\$ 3.180.000
<i>Capacitaciones</i>	\$ 1.440.000
<i>Ferretería</i>	\$ 2.367.400
<i>Provisiones</i>	\$ 6.274.442
<i>Seguros</i>	\$ 4.200.000

Tabla 4: Costos de RRHH del proceso de Ejecuciones de Servicios

Recurso	Cantidad	Renta Líq Mensual	Renta Bruta	Costo Total
Administrador de contrato	1	\$ 1.200.000	\$ 1.800.000	\$ 21.600.000
Prevencionista de riesgo	1	\$ 400.000	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Coordinador PNT	1	\$ 500.000	\$ 750.000	\$ 9.000.000
Coordinador Programado	1	\$ 500.000	\$ 750.000	\$ 9.000.000
Supervisor SEC	1	\$ 800.000	\$ 1.200.000	\$ 14.400.000
Supervisor	1	\$ 600.000	\$ 900.000	\$ 10.800.000
Jefe administración (contador)	1	\$ 600.000	\$ 900.000	\$ 10.800.000
Asistente administración	1	\$ 400.000	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Jefe adquisiciones y bodega	1	\$ 600.000	\$ 900.000	\$ 10.800.000
Asistente adquisiciones y	1	\$ 400.000	\$ 600.000	\$ 7.200.000
Técnico Electricista Avanzado	2	\$ 600.000	\$ 900.000	\$ 21.600.000
Técnico Electricista Básico	10	\$ 500.000	\$ 750.000	\$ 90.000.000

Ayudante Electricista	13	\$ 400.000	\$ 600.000	\$ 93.600.000
-----------------------	----	------------	------------	---------------

Total RRHH			\$ 313.200.000
Costo Recurso de Administración			\$ 108.000.000
Costo Recurso Operacional			\$ 205.200.000

La tabla 3 y tabla 4 exponen los costos operacionales que se deben realizar para que las cuadrillas cumplan con los requisitos establecidos por la Norma de la SEC y CHILECTRA S.A., y que están estipuladas en el proceso de licitación de empresas externas.

- 9.2. Anexo B: Resultados de la Optimización en LINGO 11.0 para el cálculo de la Frontera de Pareto.

Los resultados de las variables, para las 50 iteraciones del modelo, se exponen en un Excel adjunto en un cd-rom.

- 9.3. Anexo C: Resultados de la Optimización en LINGO 11.0 para el Análisis de Sensibilidad

Se exponen los resultados de las variables en los distintos casos que se evaluaron en el análisis de sensibilidad.

Como se evaluaba en el escenario donde $ND_{i,t}=0$, para cualquier periodo, no es necesario exponer los resultados de esta variable, ni los de la variable $S_{i,t}$, ya que obviamente se cumple con toda la demanda en todas las iteraciones y estos datos no cambian.

Las tablas a continuación exponen los resultados de la optimización para las variables $X_{i,j,t}$ y XNC_t , al variar la relación “cuadrillas contratadas/cuadrillas de apoyo externas”.

Tabla 4: Relación 12/5 variable $X_{i,j,t}$													
X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	6,00	5,34	5,48	5,29	5,02	4,48	0,00	4,68	5,44	5,19	6,00	6,00
	Coolelectric	1,38	0,44	1,20	0,00	0,00	0,00	3,96	0,00	0,00	1,52	3,45	1,95
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,53
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,00	0,59	0,35	0,81	0,00	0,00
	Coolelectric	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,03	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,06	0,00	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,39	0,50	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,39	0,40	0,00	0,00	0,38	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,22	0,04	0,22	0,00	0,45	0,20	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,00	0,19	0,00	0,21	0,00	0,26	0,42	0,00	0,43
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
										PROMEDIO	9,87		

Tabla 5: Relación 12/5 variable XNC_t

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,63	3,02	2,67	3,96	3,75	4,90	4,97	3,57	3,65	1,70	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	94,72%	74,81%	77,77%	66,96%	68,74%	59,20%	58,61%	70,23%	69,61%	85,83%	100%	100%

Tabla 6: Relación 11/6 variable $X_{i,j,t}$

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	5,00	3,88	4,48	4,54	4,06	4,45	3,96	4,41	4,65	5,00	5,00	5,00
	Coolelectric	2,01	1,89	2,20	0,75	0,96	0,03	0,00	0,27	0,80	1,71	3,45	2,39
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,09
	Weslim	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,63	0,59	0,35	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,37	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,00	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,00	0,21	0,22	0,22	0,22	0,00	0,45	0,47	0,42	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,43
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	TOTAL MENSUAL	11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
										PROMEDIO	9,87		

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	2,02	1,67	2,96	2,75	3,90	3,97	2,57	2,65	0,70	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	81,61%	84,84%	73,05%	74,99%	64,58%	63,94%	76,61%	75,94%	93,64%	100%	100%

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	4,00	3,34	4,00	3,54	3,06	3,45	3,37	3,41	3,65	4,00	4,00	4,00
	Coolelectric	2,01	2,44	2,68	1,75	1,96	1,03	0,59	1,27	1,80	2,71	3,45	1,95
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,53
	Weslim	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,66	0,00	0,46	0,94	0,55	0,63	0,59	0,35	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,39	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03

Progr	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,45	0,47	0,42	0,00	0,43
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53

Tabla 9: Relación 10/7 variable XNC_t

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	1,02	0,67	1,96	1,75	2,90	2,97	1,57	1,65	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	89,77%	93,32%	80,36%	82,49%	71,04%	70,33%	84,27%	83,53%	100%	100%	100%

Tabla 10: Relación 9/8 variable $X_{i,j,t}$

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
PNT	PSB	3,00	2,55	2,79	2,54	2,78	2,45	2,37	2,41	2,65	3,00	3,00	1,53	
	Coolelectric	2,01	3,23	3,89	2,75	2,24	2,03	1,59	2,27	2,80	2,41	3,45	3,42	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,53
	Weslim	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	3,00	3,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,55	0,63	0,59	0,35	0,00	0,00	1,03	
	Coolelectric	1,39	0,66	0,19	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,45	0,21	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
	Coolelectric	0,42	0,00	0,00	0,22	0,00	0,22	0,21	0,45	0,47	0,42	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
PROMEDIO										9,87			

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,02	0,00	0,96	0,75	1,90	1,97	0,57	0,65	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	99,75%	100%	89,28%	91,65%	78,94%	78,15%	93,64%	92,82%	100%	100%	100%

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	2,00	2,00	1,27	2,00	1,78	1,45	2,00	1,55	1,18	2,00	2,00	0,53
	Coolelectric	2,01	2,80	4,08	3,25	3,24	3,03	1,96	3,14	3,91	2,41	3,45	3,42
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,53
	Weslim	3,37	0,98	1,33	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	2,30	4,00	4,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	1,03
	Coolelectric	1,39	0,66	0,00	0,46	0,69	0,00	0,63	0,16	0,00	0,81	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,21	0,00	0,22	0,00	0,00	0,45	0,47	0,00	0,00	0,43
	Coolelectric	0,42	0,45	0,00	0,22	0,00	0,22	0,21	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
PROMEDIO										9,87			

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	100%	100%	100%	100%	88,80%	87,92%	100%	100%	100%	100%	100%

X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	1,00	0,00	0,27	0,32	1,00	0,34	0,19	0,00	0,18	1,00	1,00	0,00
	Coolelectric	2,01	3,80	4,08	3,94	2,77	4,14	3,77	3,25	3,91	2,41	3,45	2,99
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	3,53
	Weslim	4,00	1,98	2,33	1,04	1,25	0,00	0,00	1,43	1,35	3,30	4,00	3,97
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,66	0,52	0,46	0,00	0,55	0,63	0,59	0,35	0,00	0,00	1,00
	Coolelectric	1,39	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03

Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,34	0,21	0,22	0,00	0,11	0,18	0,41	0,47	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	0,42	0,12	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,05	0,00	0,42	0,00	0,43
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
PROMEDIO										9,87			

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

X	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooelectric	2,01	2,80	3,35	3,25	2,77	3,37	2,93	2,25	3,09	2,41	3,45
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55
	Solgelec	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00

	Weslim	5,00	2,98	3,33	2,04	2,25	1,10	1,03	2,43	2,35	4,30	5,00	5,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,39	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,63	0,59	0,35	0,81	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectri	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,45	0,47	0,42	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,43
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
PROMEDIO										9,87			

XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 18: Relación 5/12 variable $X_{i,j,t}$													
X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,01	1,80	2,35	2,25	1,77	2,37	2,56	1,25	2,09	1,41	2,45	1,39
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00
	Solgelec	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	5,00	4,09
	Weslim	5,00	3,98	4,33	3,04	3,25	2,10	1,40	3,43	3,35	5,00	5,00	5,00
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,39	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,00	0,59	0,35	0,81	0,00	1,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coolelectric	0,42	0,45	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,45	0,47	0,42	0,00	0,00
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,43
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL		11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
										PROMEDIO	9,87		

Tabla 19: Relación 5/12 variable XNC_t												
XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 20: Relación 4/13 variable $X_{ij,t}$														
X		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	0,01	0,80	1,35	1,25	0,77	1,37	1,56	0,25	1,09	0,41	1,45	0,39	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	
	Solgelec	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	5,00	4,09
	Weslim	6,00	4,98	5,33	4,04	4,25	3,10	2,40	4,43	4,35	6,00	6,00	6,00	
Gtia y Mant PNT	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	1,39	0,66	0,52	0,46	0,94	0,55	0,00	0,59	0,35	0,81	0,00	1,03	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 80%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	1,21	1,20	1,09	1,20	1,16	1,04	1,21	1,50	1,16	1,29	1,39	1,46	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 15%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	0,46	0,45	0,43	0,44	0,44	0,39	0,46	0,55	0,42	0,50	0,50	0,57	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Progr 5%	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectri	0,50	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,50	0,55	0,42	0,50	0,55	0,52	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gtia y Mant Progr	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,07	0,11	0,09	0,08	0,12	0,03	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
P Esp	PSB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cooelectric	0,42	0,45	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,45	0,47	0,42	0,00	0,00	
	Sinec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,43	
	Solgelec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Weslim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
TOTAL MENSUAL	11,37	8,98	9,33	8,04	8,25	7,10	7,03	8,43	8,35	10,30	16,70	14,53
PROMEDIO										9,87		

Tabla 21: Relación 4/13 variable XNC_t												
XNC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuadr. No Utilizadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% Utilización CC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%