

**MODELO DE LOCALIZACION Y ASIGNACION PARA LA UNIDAD DE  
NEGOCIO RENTA DE CHILLER EN LA EMPRESA XYZ CON OPERACIÓN EN  
EL MERCADO COLOMBIANO**

**MARIA ALEJANDRA CARDENAS MUÑOZ  
HERMANN JULIAN ESCOBAR DIAZ**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2012**

**MODELO DE LOCALIZACION Y ASIGNACION PARA LA UNIDAD DE  
NEGOCIO RENTA DE CHILLER EN LA EMPRESA XYZ CON OPERACIÓN EN  
EL MERCADO COLOMBIANO**

**MARIA ALEJANDRA CARDENAS MUÑOZ  
HERMANN JULIAN ESCOBAR DIAZ**

**Tesis de grado presentada como requisito  
Para optar al título de Maestría en Ingeniería Industrial**

**Director  
MSc. Andrés Felipe Osorio Muriel**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Santiago de Cali, 14 de Diciembre de 2012**

## CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	9
INTRODUCCION .....	10
1 MARCO DE REFERENCIA .....	13
1.1 ANTECEDENTES .....	13
1.2 MARCO TEORICO .....	16
1.2.1 Metodologías estimación demanda .....	16
1.2.1.1 Métodos cualitativos .....	17
1.2.1.2 Métodos cuantitativos .....	18
1.2.1.3 Métodos mixtos .....	19
1.2.2 Modelos de localización .....	19
1.2.3 Definición de modelos heurísticos .....	23
1.2.4 Definición modelos de optimización .....	23
1.2.5 Programas para la solución de modelos de programación .....	25
2 INFORMACION DE LA EMPRESA Y ANALISIS DEL SECTOR .....	28
2.1 INFORMACION DE LA EMPRESA .....	28
2.2 ANALISIS DEL SECTOR .....	29
2.2.1 Tipos de servicio .....	29
2.2.1.1 Ingeniería de diseño e instalación .....	29
2.2.1.2 Distribución y/o fabricación de partes, repuestos y equipos .....	29
2.2.1.3 Mantenimientos preventivos y correctivos .....	33

2.2.2	Situación actual del mercado.....	33
2.2.3	Competencia.....	34
2.2.4	Estructura logística .....	36
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	37
3.1	ANTECEDENTES.....	37
3.2	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	37
4	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	38
4.1	OBJETIVO GENERAL .....	38
4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	38
5	ALCANCE DEL PROYECTO .....	39
6	METODOLOGIA DEL PROYECTO.....	40
6.1	RECOLECCION DE DATOS.....	40
7	ESTIMACION DE LA DEMANDA.....	43
7.1	DEFINICIÓN DE CLIENTES.....	44
7.2	DEFINICIÓN DEL TIPO CHILLER POR SISTEMA DE REFRIGERACION.....	45
7.3	DEFINICIÓN DE LA ANTIGÜEDAD DE LOS CHILLERS.....	46
7.4	DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS CHILLERS.....	48
7.5	CONSOLIDACION DE LA DEMANDA.....	50
7.6	DIAGRAMACION DEL METODO DE ESTIMACION DE LA DEMANDA .....	51
7.7	LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA DEMANDA.....	54
8	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	56
8.1	MODELO DE OPTIMIZACION.....	56
8.1.1	Consideraciones .....	56
8.1.2	Notación.....	58

8.1.2.1	Conjuntos e índices .....	58
8.1.2.2	Parámetros y variables .....	59
8.1.3	Formulación verbal del modelo .....	60
8.1.4	Desarrollo del modelo .....	60
8.1.5	Análisis de datos .....	62
8.1.5.1	Costo mano de obra .....	62
8.1.5.2	Costo de atención del servicio .....	63
8.1.5.3	Demanda estimada .....	65
8.1.5.4	Tiempos de operación .....	65
8.1.5.5	Tiempo máximo disponible para la atención de la demanda .....	67
8.1.6	Formulación matemática .....	69
8.1.7	Solución del modelo .....	69
8.1.7.1	Construcción y sintaxis del modelo en AMPL .....	69
9	RESULTADOS Y ANALISIS .....	70
9.1	RESULTADOS DEL MODELO .....	70
9.1.1	Análisis de los resultados. ....	72
9.1.2	Mapa de ubicación de centros de servicio .....	75
9.2	ANALISIS DE SENSIBILIDAD .....	76
9.3	PROGRAMACION DE SERVICIOS .....	78
9.4	CONSOLIDACION DEL MODELO .....	81
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
	BIBLIOGRAFÍA .....	85
	ANEXOS .....	87

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Requerimiento clientes base de datos .....	34
Tabla 2 Principales empresas del sector y tipos de servicio .....	35
Tabla 3 Distribución geográfica de los clientes por coordinador de zona .....	44
Tabla 4. Demanda de clientes actuales según tipo de chiller .....	45
Tabla 5. Demanda de clientes potenciales según tipo de chiller .....	45
Tabla 6. Demanda por antigüedad de equipos en clientes actuales.....	47
Tabla 7. Demanda por antigüedad de equipos en clientes potenciales.....	47
Tabla 8. Demanda por rangos de capacidad en clientes actuales.....	49
Tabla 9. Demanda por rangos de capacidad en clientes potenciales .....	49
Tabla 10. Demanda consolidada por tipo de chiller .....	50
Tabla 11. Demanda consolidad por antigüedad de los equipos .....	51
Tabla 12. Demanda consolidada por rangos de capacidad .....	51
Tabla 13. Estimación de demanda por ciudad .....	54
Tabla 14. Cantidad de técnicos requeridos por tipo de chiller .....	62
Tabla 15. Costos de mano de obra requeridos por tipo de chiller.....	63
Tabla 16. Costos de desplazamiento equipos técnicos más auxilio alimentación .	63
Tabla 17. Costos de insumos por tipo de chiller .....	64
Tabla 18. Costos de repuestos preventivos.....	65
Tabla 19. Tiempos de mantenimiento preventivo por tipo de chiller .....	66
Tabla 20. Tiempos de traslado a ciudad demanda .....	66
Tabla 21. Tiempos de operación.....	67

Tabla 22. Costo de atención del servicio .....	68
Tabla 23. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers grandes ..	73
Tabla 24. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers medianos	74
Tabla 25. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers pequeños	74
Tabla 26. Escenarios de respuesta a variaciones en demanda.....	77
Tabla 27. Programación de atención de servicios .....	80



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Método de refrigeración – chiller de condensación por agua.....	31
Figura 2. Método de refrigeración – chiller de condensación por aire.....	32
Figura 3. Diagrama segmentación demanda .....	52
Figura 4. Diagrama del proceso de definición del mercado objetivo.....	53
Figura 5. Ubicación geográfica de la demanda.....	55
Figura 6. Medio de transporte para traslado de personal técnico .....	57
Figura 7. Asignación de la demanda a los centros de servicio .....	75
Figura 8. Relación entre servicios y costos de operación .....	77
Figura 9. Relación entre servicios y equipos de técnicos .....	78
Figura 10. Diagrama de flujo del desarrollo del modelo.....	82

## INTRODUCCION

El sector del acondicionamiento del aire, la refrigeración y ventilación se encuentra principalmente constituido por empresas dedicadas a la prestación de los servicios de ingeniería de diseño e instalación, distribución y/o fabricación de partes, repuestos y equipos y servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.

La atención oportuna y eficiente de este tipo de productos es una variable crítica tratándose de servicios enfocados hacia el confort, calidad de aire y procesos productivos ya que los clientes exigen niveles de confiabilidad muy altos, es por eso que se hace necesario crear una logística interna que evite paros y fallas en los equipos y a su vez aumente la satisfacción del cliente.

Los equipos enfriadores de agua comúnmente llamados chillers, los cuales son el objeto del presente trabajo de grado hacen parte fundamental de la mayoría de procesos productivos y de confort en grandes instalaciones, son los encargados de mejorar el rendimiento, garantizar las condiciones de enfriamiento necesarias para los procesos en plantas de producción y climatizar áreas comunes como lo son oficinas, salas de cine, laboratorios entre otros.

Este tipo de equipos tiene un alto costo debido a la tecnología, vida útil y funcionalidad, pero a su vez es considerado como un bien necesario e indispensable para muchas de las empresas tanto comerciales como productivas que se encuentran en la etapa de crecimiento y no tienen la facilidad económica para adquirirlos, además de aquellas empresas que se encuentran en proceso de reposición o reparación de los chiller existentes y necesitan satisfacer las necesidades de la planta temporalmente; es por esto que tomar la decisión de incursionar en el mercado del alquiler de chiller puede llegar a ser un gran oportunidad de negocio.

Detrás del alquiler del equipo se encuentra toda una logística de servicio en la cual se deben considerar actividades relacionadas con mantenimientos preventivos y correctivos, asistencias técnicas y disponibilidad de repuestos, de manera que se garantice una operación eficiente y segura del equipo.

Actualmente la empresa del presente estudio cuenta con una gama de servicios enfocados hacia el sector industrial, específicamente en el área de mantenimiento de equipos relacionados con los aires acondicionados y enfriadores de agua, para ello cuenta con una infraestructura tanto física como humana en las ciudades de Cali, Bogotá y Barranquilla.

Como directriz de la compañía dentro de su plan estratégico se identificó la oportunidad de ampliar el portafolio de servicios mediante una nueva unidad de negocio dedicada a renta de equipos enfriadores de agua (chiller), para la cual el presente trabajo desarrollará una propuesta de localización y asignación de equipo

humano prestador de servicios de mantenimiento preventivo el cual contenga un modelo eficaz que permita ajustarse tanto a las condiciones y políticas de la empresa como a los requerimientos del posible mercado.

Hasta el momento para la compañía este negocio ya es un hecho, el cual se desea diseñar, sustentar y en un proceso posterior al de este proyecto validar mediante toda una logística interna que facilite identificar las posibles variables, restricciones y condiciones que incidirán en todo su desarrollo entre las cuales se encuentran: demanda del servicio, ubicación de clientes, personal técnico requerido, costos de transporte, tipos de equipos y cantidades, entre otras.

Para lograr identificar y estructurar esta serie de condiciones es necesario recurrir a una de las aristas que posee la administración de la cadena de suministros (Supply Chain Management), "la Administración de la Cadena de Suministro comprende la planeación y administración de todas las actividades de adquisiciones y compras, conversión, y de administración de Logística. Incluye también la coordinación y colaboración entre canales, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de logística y clientes. En esencia, la Administración de la Cadena de Suministro integra las actividades de suministro y demanda dentro y entre las compañías."<sup>1</sup>

Considerando esta definición se pueden evidenciar como elementos propios del desarrollo de la cadena de abastecimiento de la nueva unidad de negocios, puntos tales como:

- Posibles clientes ubicados a nivel nacional, con amplio nivel de dispersión geográfica.
- Los proveedores de este tipo de equipos que son generalmente internacionales.
- El nivel de servicio debe cumplir con los requisitos demandados tratándose de posibles clientes ubicados en el sector industrial.
- Definición de la asignación de equipos técnicos para los centros de servicio localizados en las ciudades de Cali, Bogotá y Barranquilla.
- Programación de los servicios y los equipos técnicos asignados a estos.

Todos estos son elementos propios de una cadena de abastecimiento que en el mundo actual son comúnmente estudiados. La situación se dificulta un poco para el proyecto en la medida en que en este sector de servicios tan específico como lo es la renta de equipos pesados de enfriamiento, chillers, la información que se tiene al respecto sobre el mercado es reducida, puesto que a nivel nacional las empresas competidoras se han dedicado más a la comercialización y

---

<sup>1</sup> Definición de SCM del Council of Logistics Management, 2003. A partir de enero de 2005 el CLM se denomina el CSCMP, Council of Supply Chain Management Professionals.

mantenimiento de estos equipos, los cuales son de propiedad de un tercero mas no de equipos propios como lo propone este caso.

Por otro lado, para cualquier cadena de abastecimiento que se desee desarrollar es válido considerar una serie de costos que se encuentran directa e indirectamente relacionados con esta logística, para el caso específico del sector servicios en el cual el producto no sufre una transformación y por tanto los costos no son tan visibles, es necesario considerar valores tales como el traslado del personal técnico, su manutención, los medios de transporte utilizados, los insumos y los repuestos preventivos requeridos para la correcta prestación del servicio.

Finalmente se informa que el presente trabajo pretende desarrollar un modelo de localización y asignación de equipos técnicos para la nueva unidad de negocio "Renta de Chiller" de la empresa XYZ y la programación de las visitas para el servicio de mantenimiento de estos. Para esto se estimará una demanda a partir de metodologías cualitativas tratándose de un nuevo negocio y desconociendo datos históricos, la cual permitirá determinar necesidades de recurso humano, materiales e insumos que faciliten un nivel de servicio acorde tanto a los requerimientos del cliente como de la compañía; a partir de dicha información se procederá a modelar la red y finalmente con el modelo resultante se explorarán metodologías de solución y software computacionales.

# 1 MARCO DE REFERENCIA

## 1.1 ANTECEDENTES

Desde los inicios de la civilización los grupos humanos buscaron instalarse en zonas donde podían tener acceso a bienes básicos que garantizaran su supervivencia, el agua y los alimentos, sin embargo, debido a las diferencias topográficas y climáticas no en todo lugar se podía acceder a todo tipo de productos. Esto ocasionaba que existiera una brecha entre el lugar donde se producían los diferentes bienes de consumo y el lugar donde se encontraban quienes querían consumirlos, por ello existían dos alternativas, consumir lo que en cada lugar se producía o simplemente tratar de transportar lo que una persona era capaz de cargar.

A medida que los sistemas de transporte fueron surgiendo, la producción y el consumo de los distintos productos fueron distanciándose geográficamente. Las distintas zonas se especializaron en lo que podían producir más eficientemente. Gracias a este hecho, el exceso de producción se podía enviar de forma rentable a otras zonas y los productos que no se fabricaban en la zona pudieron importarse<sup>2</sup>.

De esta forma las condiciones de intercambio comercial fueron mejorando y evolucionando hasta convertirse en lo que siglos después se le dio el nombre de Logística, la cual, según definición de la Real Academia de la lengua se entiende como: “el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución”<sup>3</sup>.

Sin embargo, una definición más técnica es la dada por el Council of Logistics Management, que dice: “Logística es aquella parte del proceso de la Cadena de Suministro que se encarga de planificar, implementar y controlar en forma eficiente y eficaz el flujo y almacenamiento de bienes, servicios y la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo a fin de adecuarse a los requerimientos del cliente”<sup>4</sup>.

Se hace un acercamiento a la definición anterior y se encuentra otro concepto envuelto dentro del desarrollo logístico, la Cadena de Suministro, que en otras palabras no es más que “la red de organizaciones que están involucradas a través

---

<sup>2</sup> Tomado de: BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro, 5° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. México. 2004.

<sup>3</sup> Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*, Vigésima segunda edición. España, Espasa Calpe. 2009.

<sup>4</sup> Definición de SCM del Council of Logistics Management, 2003. A partir de Enero de 2005 el CLM se denomina el CSCMP, Council of Supply Chain Management Professionals.

de uniones hacia arriba y hacia abajo en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios para los clientes finales”<sup>5</sup>.

Por otra parte, a medida que se profundiza e indaga más acerca del desarrollo de la Cadena de Abastecimiento, alejándonos un poco de autores reconocidos, aparecen conceptos un poco más detallados sobre la misma, es así como Capó-Vicedo, Tomás-Miquel y Expósito-Langa en su artículo: “La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro. Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo”, dan su opinión sobre la Gestión de la Cadena de Suministro, a lo cual acotan lo siguiente:

La Gestión de la Cadena de Suministro no es otra cosa que el sistema que establece y controla la cadena de suministro, debe ser un sistema que contemple a todos los componentes de la cadena en toda su magnitud y gestione la cadena en todo su conjunto, consiguiendo la absoluta implicación de todos los componentes de la misma. El objetivo debe ser buscar el beneficio para toda la cadena y, a partir de ese conjunto, llegar a los beneficios individuales de cada uno de los eslabones, en contra del modelo tradicional, en el que cada componente buscaba los beneficios de forma individual<sup>6</sup>.

Este último concepto es, en gran parte, la base para el desarrollo del presente proyecto de grado, “buscar el beneficio de toda la cadena y llegar a los beneficios individuales a partir de este”, no basta con simplemente dedicarse a la comercialización de equipos de enfriamiento industrial y soportar dicho intercambio con órdenes de mantenimiento posterior que se solicitan a discreción del cliente. Hay un eslabón de la cadena que aún queda suelto y es el que la Empresa XYZ ha decidido explorar; la renta de dichos equipos llamados chiller a quienes por diversas circunstancias que se enuncian en el Capítulo 2 no les es posible o no les interesa acceder de forma definitiva.

El “renting de chillers” o renta de chillers es un servicio mediante el cual una compañía puede tomar en arrendamiento uno de estos equipos por un tiempo determinado y disfrutarlo con total autonomía y control. Incluye un paquete de servicios (mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, actualizaciones tecnológicas) dependiendo de las necesidades de la empresa y las características de su operación. El canon se define según diferentes variables como son el tipo de

---

<sup>5</sup> CHRISTOPHER, M., Logistics and Supply Chain Management. Strategies for reducing cost and improving service. Prentice Hall. Londres, 1998.

<sup>6</sup> CAPO-VICEDO Josep, TOMÁS-MIQUEL José V. y EXPÓSITO-LANGA Manuel, La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro. Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo Universidad Politécnica de Valencia, España, 2007.

equipo y sus correspondientes accesorios, el uso que se le dará, la zona de ubicación, el plazo del contrato, entre otros<sup>7</sup>.

En Colombia este concepto se viene desarrollando desde hace ya varios años como idea de negocio, aunque con mayor fuerza y organización en el gremio de los automotores, para ello se pueden mencionar empresas como: Surenting, Renting Bancolombia, quienes han incursionado con éxito en este sistema generándole beneficios a las empresas que deciden tomar el servicio como clientes.

Este tipo de contratos están caracterizados por entre otras cosas: ser de libre acceso tanto a personas naturales como jurídicas con respaldo financiero acorde a la necesidad; la empresa que alquila suele comprar el bien seleccionado por el cliente y lo pone a su disposición en régimen de alquiler, en estos casos, la propiedad del bien la mantiene el arrendador y no el arrendatario; estos contratos son libres y se rigen por los pactos dispuestos en ellos, respetando siempre los Códigos Civil y de Comercio; esto implica que las coberturas, duración o las indemnizaciones por rescisión están fijadas en las cláusulas del contrato y no se contempla opción de compra, por lo que generalmente se utiliza en bienes muebles que se deterioran mucho en el tiempo y por ende su valor de depreciación permite renovarlos con rapidez<sup>8</sup>.

En la actualidad invertir en el desarrollo de la cadena de suministro es una buena decisión que genera ventajas competitivas difíciles de igualar, además de que traerá beneficios económicos y estratégicos al conservar satisfechos los clientes actuales, y por supuesto se ganará una mayor participación de mercado sin sacrificar la rentabilidad, pues es bien sabido que uno de los objetivos más buscados por todas las empresas es la mayor eficiencia al menor costo, sin dejar por un lado los estándares de calidad y servicio al cliente.

Las compañías que aprenden como mejorar la gestión de sus cadenas de suministros se convierten en historias de éxito empresarial, Dell, Toyota, Wallmart, Apple son algunos ejemplos de ello, cada una en su campo, ya que esta mejora puede ser la diferencia entre dominar un mercado o ser solo un seguidor de los líderes. Son precisamente empresas líderes en el mercado del control de temperatura, como es el caso de la norteamericana Carrier<sup>9</sup>, las que han incurrido en el negocio de Renta de Chiller como una manera de expansión horizontal que busca generar mayor valor a los clientes y poder suplir de manera proactiva deficiencias con las que cuentan procesos industriales de muchas compañías, al no contar con recursos suficientes para adquirir equipos especializados de gran valor comercial pero necesarios desde el punto de vista de eficiencia de sus procesos.

---

<sup>7</sup> <http://www.carrierrentalsystems.es/refrigeraci%C3%B3n-alquiler-enfriadora.asp>

<sup>8</sup> Información comercial de la Empresa XYZ en estudio

<sup>9</sup> <http://www.carrierrentalsystems.es/refrigeraci%C3%B3n-alquiler-enfriadora.asp>

Ahora bien, la administración de la cadena de suministro es tan importante para los proveedores de servicios como para las empresas manufactureras. Los proveedores de servicios tienen que comprar el equipo, los suministros y los servicios que necesitan para producir sus propios servicios, esta es otra razón más que refuerza el hecho de que tener una cadena de suministro eficiente genera diferenciación ante la competencia y por ello el presente proyecto busca darle cierto grado de eficiencia a la nueva unidad de negocio enfocándose en la definición y asignación del recurso humano que permitirá mantener la nueva unidad de negocio en operación técnica.

## **1.2 MARCO TEORICO**

### **1.2.1 Metodologías estimación demanda**

El método para estimar la demanda varía según el producto o servicio ofrecido, el caso más sencillo es el de productos no perecederos que cuentan con una amplia demanda, a estos se los siguen la demanda para productos perecederos, especializados o innovadores y como un punto aparte esta la demanda para servicios.

“El estudio de la demanda y las características del mercado en servicios presenta situaciones distintas al estudio de demanda para productos; los servicios se caracterizan por la naturaleza transitoria de su oferta, por lo que cada vez que se ofrece un servicio y no existe un comprador, este servicio se pierde, lo que no ocurre con los costos, ya que toda compañía generará gastos con o sin clientes”<sup>10</sup>.

Adicional a lo anterior el documento de la FAO<sup>11</sup> advierte que la clave en la evaluación de mercado para un servicio está en definir el patrón de demanda durante un lapso de tiempo. Aunque algunos servicios pueden manejar un patrón de demanda más constante que otros, no se debe asumir una demanda de este tipo para un servicio.

Para el caso de estudio de este proyecto se deben tener en consideración que el escenario en el cual se plantea su inicio no es muy favorable en términos de definir la demanda, pues se trata de una nueva unidad de negocio, con cierto grado de novedad para el mercado colombiano, por lo que no existen datos históricos ni información de competidores como referencia para realizar un análisis con cierto grado de certeza.

---

<sup>10</sup> Depósito de Documentos de la FAO, Formulación y Análisis Detallado de Proyectos, Capítulo 3, en <http://www.fao.org>

<sup>11</sup> Ibid., online.



Para estimar la demanda cuando no se cuenta con datos históricos, revistas especializadas en el tema de cadenas de suministro<sup>12</sup> recomiendan varias formas de obtener información que aunque resulta confiable no deja de tener un grado de incertidumbre mayor al que se puede presentar cuando sí se cuenta con datos históricos, dichas formas son: Recurrir a información de productos parecidos o complementarios, lo que permitirá hacer uso de los mismos si el coeficiente de correlación entre estos es cercano a uno, es decir, se comportan de manera similar en el mercado; recurrir a datos económicos es otra alternativa, tales como el comportamiento del sector al que se le ofrecerá el producto o servicio, proyecciones de crecimiento económico del país, tasas de interés y demás; y por último otra forma de estimación es recurrir a información de los expertos, usando metodologías y técnicas que permitan guiar la recolección de los datos que estos poseen.

Es así como el primer problema que surge resulta ser la estimación de la demanda y para ello las aproximaciones que pueden ser tomadas en cuenta en el estudio de este problema pueden estar reagrupadas en tres categorías: los métodos cualitativos, los métodos cuantitativos y los mixtos que no es más que una combinación de los dos primeros.

#### 1.2.1.1 Métodos cualitativos

**Método Delphi:** Desarrollada en la corporación Rand por Norman Dalkey y Olaf Helmer, a consecuencia de un proyecto sobre pronóstico militar patrocinado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, toma su nombre a raíz de las consultas que hacían los habitantes de la Grecia antigua al oráculo Delfos y “consiste en encuestar a un grupo de expertos de manera iterativa y en el anonimato, con el propósito de obtener juicios y propuestas buscando puntos en común y organizando sus respuesta para llegar a un consenso de sus opiniones”<sup>13</sup>.

**Investigación de Mercados:** Es una herramienta de mercadeo que consiste en la identificación, acopio, análisis, difusión y aprovechamiento sistemático de la información mediante herramientas estadísticas (pruebas de hipótesis) para mejorar la toma de decisiones referentes a la solución de problemas y oportunidades de mercadeo<sup>14</sup>.

**Opiniones de Expertos:** Consenso de un panel con conocimientos específicos del producto y del mercado, posee la misma aplicabilidad del método Delphi pero

---

<sup>12</sup> Supply Chain Web. Cómo pronosticar un nuevo producto sin información histórica. en <http://supplychainw.com>

<sup>13</sup> DE LAS NIEVES, Gabriel. técnicas participativas para la planeación. Postgrado de la Facultad de Ingeniería. UNAM, México. 2003.

<sup>14</sup> MALHOTRA, Naresh K. Investigación de mercados: Un enfoque aplicado. 4° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. México. 2004.

no se realiza de forma anónima, se recomienda cuando es probable que las condiciones del pasado no se mantengan a futuro. Este método proporciona buenos pronósticos en muchas situaciones<sup>15</sup>.

**Estimado de fuerza de ventas:** Se basa en las opiniones de los vendedores, ya que estos son los más cercanos a los clientes y se encuentran en buena posición para estimar sus necesidades<sup>16</sup>.

**Pronósticos Visionarios:** Es un método que se usa para hacer una profecía del futuro usando la intuición personal<sup>17</sup>.

**Analogía Histórica:** Este método aplica para productos nuevos basándose en el análisis comparativo con productos similares<sup>18</sup>.

#### 1.2.1.2 Métodos cuantitativos

**Análisis de series de tiempo:** Es un método de estimación que consiste en encontrar el patrón del pasado para ser proyectado al futuro<sup>19</sup>. Dentro de los patrones más comunes de una serie de tiempos están:

- Horizontal o constante
- Con tendencia
- Con efecto estacional

**Métodos de Proyección:** Este método se asemeja al de Series de Tiempos, pues consiste en encontrar el patrón total de los datos para proyectarlos al futuro<sup>20</sup>. Dentro de los patrones más comunes se encuentran:

- Promedios Móviles
- Suavización Exponencial.
- Box-Jenkins

---

<sup>15</sup> ANDERSON, David R., SWEENEY, Dennis J., WILLIAMS, THOMAS A. Métodos cuantitativos para los negocios. 9ª ed. Thomson Internacional. México. 2004.

<sup>16</sup> OSORIO, Andrés F. Optimización de la cadena de abastecimiento de efectivo en una entidad del sector financiero. Tesis de Maestría. Universidad del Valle. Cali. 2009.

<sup>17</sup> CÓRDOBA, Marcial. Formulación y evaluación de proyectos. 20ª ed. Ecoe Ediciones. Bogotá. 2006.

<sup>18</sup> Ibid., p. 196.

<sup>19</sup> Ibid., p. 197.

<sup>20</sup> Ibid., p. 197.

**Modelos Causales:** es un método que se deriva de la premisa que el nivel de la variable pronosticada es producto de otras variables relacionadas<sup>21</sup>. Dentro de los más comunes se tienen:

- Regresión.
- Econométricos
- Entrada - Salida
- Ciclo de Vida
- Simulación

### 1.2.1.3 Métodos mixtos

**Sistemas Expertos:** Este método de estimación considera los conocimientos propios de la empresa y los soporta mediante la aplicación de alguna de las técnicas cuantitativas disponibles<sup>22</sup>.

**Redes Neuronales:** Son modelos matemáticos que se asemejan al funcionamiento de las neuronas biológicas, caracterizado por mejorar su precisión a medida que se obtiene mayor información<sup>23</sup>.

## 1.2.2 Modelos de localización

Los problemas de localización consisten en encontrar la ubicación más adecuada donde establecer uno o más servicios, de forma que se optimice (minimice o maximice) algún o algunos criterios específicos. Estos criterios están usualmente relacionados con la distancia (considerada como medida de costo) existente entre los servicios y los puntos de demanda (clientes).

A partir del estudio realizado por Drexel y Klose en su documento: "Facility location models for distribution system design", los problemas de localización consideran las siguientes tres áreas de investigación:

**Localización continua:** Dicha metodología permite que las localizaciones estén en cualquier lugar dentro de un espacio dimensional. Los modelos de localización continua se caracterizan por dos atributos esenciales: el primero es que la solución en el espacio es continua, es decir, es factible localizar instalaciones en cada punto en el plano (X,Y) y el segundo es que la distancia se mide con una métrica adecuada. Estos modelos se requieren para calcular las coordenadas de

---

<sup>21</sup> ARBONES, Eduardo. Logística empresarial. Editorial Boixereu. España. 1989.

<sup>22</sup> OSORIO. Op. cit.

<sup>23</sup> OSORIO. Op. cit.

las plantas o centros. El objetivo es reducir al mínimo la suma de las distancias entre las instalaciones y los propuestos puntos de demanda<sup>24</sup>.

**Localización en redes:** Es un tipo especial de problemas de localización que se plantea sobre redes, entendiendo como red a un conjunto de puntos o vértices unidos por un conjunto de aristas que representan conexiones entre esos puntos. En los modelos de localización de redes las distancias se calculan como los caminos más cortos en un gráfico. Los nodos representan puntos de demanda y posibles sitios de acopio de recursos que son llevados de un punto a otro de los nodos en arcos que los unen<sup>25</sup>.

**Localización discreta:** Esta metodología permite especificar a priori un número finito de posibles localizaciones en el espacio. A veces también se denomina localización por asignación<sup>26</sup>.

A partir de un conjunto dado de posibles sitios de instalación muchos problemas de ubicación pueden ser modelados como modelos de programación entera-mixta. Al parecer, los modelos de localización de redes sólo se diferencian gradualmente de modelos de programación entera-mixta porque estos se pueden establecer como modelos de optimización discretos. Sin embargo, los modelos de localización de redes de manera explícita toman en cuenta la estructura del conjunto de posibles instalaciones y la distancia métrica mientras que los modelos de programación entera-mixta sólo tienen que utilizar parámetros de entrada sin preguntar de dónde vienen.

Siguiendo el documento de Drexl y Klose, el cual aporta de manera muy sencilla de comprender una clasificación aproximada de los modelos discretos de localización de instalaciones, estos pueden ser definidos de la siguiente manera:

**Modelos de una etapa con capacidad ilimitada:** Este es el modelo más simple de esta categoría y únicamente considera el equilibrio entre los costos operacionales fijos y los costos variables de entrega<sup>27</sup>.

**Modelos de una etapa con capacidad limitada:** En este caso, los depósitos tienen escasas capacidades que se ven limitadas por distintos factores operacionales o logísticos<sup>28</sup>.

**Modelos de etapas múltiples:** Estos modelos consideran la posibilidad de un sistema de distribución que consiste en instalaciones en varios niveles. La

---

<sup>24</sup> DREXL, Andreas, KLOSE, Andreas. Facility location models for distribution system design. European Journal of Operational. Research. Vol. 162 p 4-29. 2005.

<sup>25</sup> Ibid., p. 6.

<sup>26</sup> Ibid., p. 8.

<sup>27</sup> Ibid., p. 9.

<sup>28</sup> Ibid., p. 11.

ubicación de las instalaciones en un nivel más alto puede ser determinada independientemente de los lugares elegidos en un nivel más bajo si se cumplen requisitos como por ejemplo que los nodos de nivel superior tengan una capacidad suficientemente alta, y los costos de manejo, así como los costos de transbordo asociados a estos nodos sean proporcional a la cantidad de elementos que se cargan y envían. El precio de transbordo desde la fuente hasta el depósito podrá ser cargado proporcional al costo de la demanda asignada<sup>29</sup>.

**Modelos de productos de múltiples:** Hasta el momento, los modelos anteriores se basan en valores agregados de demanda, producción, así como el costo de distribución. Además, la capacidad de los nodos de producción, depósito y transbordo es única para todos los productos. Esta forma de agregación no es válida si los diferentes productos guardan relación variada con respecto a la capacidad de algunos nodos de la red. En este caso hay que proceder a un modelo multi-producto donde, por ejemplo, la capacidad de los nodos se separa de la demanda, así como los flujos con respecto a algunos grupos de productos homogéneos<sup>30</sup>.

**Modelos dinámicos:** En este tipo de modelos, las decisiones sobre la ubicación de las instalaciones se realizan sobre una base a largo plazo. Almacenes, centros de distribución y puntos de transbordo, una vez establecidos se utilizarán durante varios períodos. Sin embargo, los factores que influyen en tales decisiones pueden variar con el tiempo. En particular la demanda, por cambios en volumen o en su distribución a nivel nacional y en este caso las estructuras de costos también pueden cambiar, pero la reubicación y/o redimensionamiento de las instalaciones puede ser bastante costoso. Con el fin de dar solución a dichos problemas los modelos de ubicación dinámica y de asignación han sido desarrollados<sup>31</sup>.

**Modelos probabilísticos:** Algunos de los datos de entrada de los modelos de localización están sujetos a la incertidumbre. Dadas ciertas funciones de distribución, datos referentes al proceso de llegada de los clientes, de espera y de tiempos de servicio son aproximados. Los tiempos de espera son una función de la asignación de la demanda y, por lo tanto, de ubicación de la instalación. Desafortunadamente, los modelos estocásticos requieren una gran cantidad de datos con el fin de adaptar las distribuciones observadas empíricamente a los teóricos. Por lo general, para los problemas de ubicación de instalaciones estratégicas dicha información no se encuentra disponible. Probablemente, el cálculo de soluciones, con el apoyo de análisis de sensibilidad, en algunos escenarios es útil para conocer los efectos de los cambios de parámetros. Además, puede ser empleado el análisis de escenarios<sup>32</sup>.

---

<sup>29</sup> Ibid., p. 14.

<sup>30</sup> Ibid., p. 17.

<sup>31</sup> Ibid., p. 18.

<sup>32</sup> Ibid., p. 19.

**Modelos de ubicación con transbordos:** Recientemente los modelos de localización con transbordos han recibido una atención considerable. Por lo general, se estudian en redes radiales. Un subconjunto de nodos "centrales" actúan como nodos de transbordo y los otros nodos están conectados con un arco con uno de los centros. Se dan flujos de un nodo a otro nodo directamente si ambos nodos son nodos de transbordo, o si un nodo es un nodo de transbordo y ambos están conectados a través de un radio. De lo contrario, el flujo se desplaza a través de al menos otro nodo de transbordo<sup>33</sup>.

**Modelos de ruteo:** La aplicación de los modelos de localización requiere que el costo para la asignación de la demanda de un cliente a un depósito se pueda asignar de forma independiente de la asignación de otros puntos de demanda. Una forma muy compleja de costo de los servicios se plantea si los clientes están satisfechos en rutas que cubren varios clientes al mismo tiempo. En este caso, la ubicación y las decisiones de ruteo están fuertemente interrelacionados. Por desgracia, la formulación y solución de ruteo de modelos de localización es muy complicada debido a varias razones. En primer lugar, los problemas de optimización se vuelven muy complejos. En segundo lugar, los horizontes de planificación inherentes a ambos problemas son diferentes. En tercer lugar, la ubicación de las instalaciones requiere a los clientes globales mientras que el ruteo no. Por otra parte, además de la variedad de modelos de ubicación de la instalación no existen muchos modelos diferentes de ruteo. Por lo tanto, es posible un gran número de modelos combinados<sup>34</sup>.

**Modelos de localización multiobjetivo:** Problemas de planificación estratégica como la asignación de las demandas y el emplazamiento de las instalaciones de las redes de distribución son a menudo de naturaleza multi-objetiva. Los posibles objetivos en el diseño del sistema de distribución puede ser, por ejemplo, la minimización de los costos de distribución periódica, un bajo nivel de inversión en nuevas instalaciones, el logro de un alto nivel de servicio al cliente, un equilibrado uso de las capacidades de las instalaciones, o para evitar grandes cambios en el sistema actual. Hasta cierto punto, los múltiples objetivos pueden ser manipulados mediante el uso de minimización de costos como un objetivo primario y modelar otros objetivos como restricciones blandas; alternativas de solución puede ser generada por medio de la reducción de tales restricciones, cambiando coeficientes de función objetivo, o por agregar costos adicionales para la apertura de las nuevas instalaciones y el cierre de las existentes<sup>35</sup>.

---

<sup>33</sup> Ibid., p. 20.

<sup>34</sup> Ibid., p. 21.

<sup>35</sup> Ibid., p. 21.

### 1.2.3 Definición de modelos heurísticos

La modelación heurística es una práctica de aproximación a algunos de los problemas más difíciles de la logística<sup>36</sup>. La heurística es útil cuando se desea encontrar la mejor solución para un modelo, pero la mayoría de veces esta necesita ser complementada con métodos de optimización. Los métodos heurísticos a menudo son utilizados en la planeación, donde esta puede presentarse como principios o conceptos.

Algunos ejemplos de reglas heurísticas podrían ser:

- Los sitios más probables para los centros de servicio son aquellos que se encuentran en los centros de mayor demanda o alrededor de ellos.
- El orden de atención de los servicios en los diferentes puntos de demanda está sujeto a criterios de ordenación previamente definidos y acordes a lógicas de desplazamiento de equipo humano.
- Las ciudades de demanda que deben ser atendidas directamente desde los puntos de origen son aquellas que poseen gran cantidad de industrias que hacen uso del servicio.

### 1.2.4 Definición modelos de optimización

En Ballou<sup>37</sup> se puede apreciar como los modelos de optimización se fundamentan en procedimientos matemáticos precisos para evaluar alternativas que garantizan que se habrá encontrado la solución óptima. Es decir, se puede demostrar matemáticamente que la solución generada es la mejor.

Algunas de las ventajas del método de optimización son:

- Se garantiza que el usuario tendrá la mejor solución posible para un conjunto dado de supuestos e información.
- Se realiza un análisis más eficiente, ya que todas las alternativas se generan y se evalúan.
- Se pueden efectuar comparaciones una y otra vez, ya que se garantiza la mejor solución para cada una.
- Los ahorros de costos o utilidades entre una solución óptima y una generada en forma heurística pueden ser importantes.

El problema de diseño de la red de distribución ha cobrado importancia durante los últimos años debido a la globalización de los mercados que se inició desde la década de los noventa. Debido a esto las empresas han cambiado su enfoque

---

<sup>36</sup> BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro, 5° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. México. 2004.

<sup>37</sup> Ibid., cap. 14.

dirigiéndolo a mantener un nivel de servicio al cliente elevado a la vez que reducen sus costos de manera controlada para mantener los márgenes de ganancia.

La cadena de abastecimiento es una red conformada por centros de producción y distribución que desarrollan actividades de compras de materias primas, transformándolas en productos semiterminados, luego en productos finales para ser llevados a centro de distribución o clientes finales según sea el caso.

Comúnmente estas actividades han funcionado de forma independiente a lo largo de la cadena. Sin embargo se han creado mecanismos para garantizar que las mismas sean integradas y funcionen tal como ocurre en la realidad, es decir, que las decisiones que se toman sobre un eslabón de la cadena necesariamente afecta el resto de la misma.

Por su parte Hillier y Lieberman<sup>38</sup> afirman que el diseño de cadena de suministro consiste en determinar la localización óptima de las instalaciones, la distribución adecuada de los recursos y el desplazamiento eficiente de los productos o servicios de manera que se garantice una gestión efectiva de la cadena de valor empresarial. Esta tarea involucra la escogencia de instalaciones que deben ser abiertas y el flujo de productos y o servicios a través de la red que satisfagan la demanda de los mismos al menor costo posible.

El diseño del sistema de distribución es una cuestión estratégica para casi todas las empresas. El problema de ubicación de las instalaciones y de asignación de clientes es el tema central del diseño del sistema de distribución. Las decisiones sobre el sistema de distribución que se debe emplear es un tema estratégico para casi todas las empresas.

Los modelos de localización y asignación poseen formulaciones que varían en su complejidad desde lineales simples, de una etapa, de un solo producto, determinísticos no lineales hasta los modelos probabilísticos.

Para Ballou<sup>39</sup>, los modelos de localización se pueden clasificar según varios criterios, dentro de los cuales se pueden mencionar algunos como:

- Los objetivos del modelo, que pueden ser o bien de minimizar o maximizar.
- Las limitaciones de capacidad que en caso de existir restringen la asignación de la demanda.
- El alcance del modelo que define que etapas del sistema de distribución cubrirá y cuantos tipos de producto tendrá en cuenta.
- El análisis de la demanda y su variación causada por variaciones en el entorno, lo que determina a su vez si se debe trabajar en minimización de costos o maximización de ingresos.

---

<sup>38</sup> HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Gerald J. Introduction to operations research. 8°ed. 2005.

<sup>39</sup> Ballou. Op. cit.



- El grado de estatismo o dinámica del modelo que define si lo que se debe tener en cuenta es sólo el rendimiento de la instalación o por el contrario informaciones de costo, demanda, capacidad y demás que varían con el tiempo.
- Generalmente, la entrada del modelo no se conoce con certeza. Los datos se basan en las previsiones y, por lo tanto, son propensos a ser inciertos. Como consecuencia, se tienen modelos determinísticos si la entrada es conocida con certeza o modelos probabilísticos si la entrada está sujeta a la incertidumbre.

Según Hillier y Lieberman<sup>40</sup>, los modelos de programación matemática han demostrado ser de gran utilidad como herramientas de toma de decisiones para la resolución de este tipo de problemas complejos. Muchos modelos de optimización de redes son tipos especiales de programación lineal y pertenecen a esta categoría debido a su representación mediante una red.

Hillier y Lieberman<sup>41</sup> agrupan los modelos de redes en cinco (5) tipos de acuerdo a la naturaleza del problema que se quiere solucionar, de esta manera se enuncian así:

- Ruta más corta
- Árbol de mínima expansión
- Flujo máximo
- Flujo de costo mínimo
- Red de proyectos

Dichos modelos en su gran mayoría son modelos de programación lineal entera mixta, los cuales son modelos de programación lineal con la restricción adicional de que algunas de sus variables deben tener valores enteros y que las que no deben cumplir con el supuesto de divisibilidad, es decir, que las variables de decisión puedan tomar valores no enteros.

### **1.2.5 Programas para la solución de modelos de programación**

“Un lenguaje de programación matemática, es un software de diseño para formular modelos de programación lineal grandes. Aun cuando se tengan miles de restricciones estas son de pocos tipos y las de igual tipo siguen un patrón; de la misma manera ocurre con las variables de decisión”<sup>42</sup>. Por este motivo se usan grandes bloques de datos y un lenguaje de programación construye todas las restricciones del mismo tipo a la vez, lo que facilita la administración del modelo, el acceso a los datos la transformación en parámetros, la modificación del modelo y el análisis de las soluciones cuando se desee.

<sup>40</sup> HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN. Op. cit.

<sup>41</sup> HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN. Op. cit.

<sup>42</sup> HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN. Op. cit.

Para ello se han desarrollado lenguajes de programación en las últimas décadas entre los que se destacan AMPL, MPL, GAMS y LINGO. Por su parte Excel posee un sistema para la solución de problemas de programación lineal llamado SOLVER, el cual en algunas ocasiones resulta ser de gran utilidad principalmente cuando los modelos que se desean evaluar no son de gran tamaño.

Para verificar la factibilidad del modelo se utilizará el lenguaje AMPL:

“AMPL es un comprensivo, poderoso y flexible lenguaje de modelación algebraico para problemas lineales, no lineales y de programación integral, a menudo encontrados en optimización. Fue desarrollado por los laboratorios Bell”<sup>43</sup>.

Está basado en modernos principios de modelación y utiliza una avanzada arquitectura proporcionando flexibilidad, carencia que presentan la mayoría de los demás sistemas.

“AMPL permite crear modelos con máxima productividad. Usando la notación algebraica natural del AMPL, incluso modelos muy grandes y complejos se pueden resolver de manera simple (menos de una hoja) y comprensible. Puesto que los modelos del AMPL son fáciles de entender, de eliminar errores y de modificarse, el AMPL también hace que los modelos se mantengan fáciles de controlar”<sup>44</sup>.

AMPL trabaja principalmente con dos tipos de archivos:

- El archivo donde se encuentra el modelo (identificado generalmente por tener una extensión .mod), define el modelo del problema a resolver.
- El archivo donde se le indican los valores numéricos de los diferentes parámetros y los elementos de los conjuntos requeridos (identificado generalmente por tener una extensión .dat).

Existe un tercer archivo opcional de comandos en el que se conjuga los dos archivos anteriores y se indica que variables de respuesta se desea obtener (identificado generalmente por tener una extensión .com).

Algunas ventajas de Ampl<sup>45</sup> son:

- Permite al usuario expresar modelos flexibles en notación algebraica
- Permite la separación de los datos y el modelo
- Cubre la mayoría de los tipos del modelo de optimización:
  - Problemas de programación lineal

---

<sup>43</sup> Curso de AMPL. Grupo de investigación en optimización y análisis numérico. Departamento de matemáticas. Universidad de los Andes. 2007.

<sup>44</sup> Ibid.

<sup>45</sup> Ibid.

- Problemas de la red
- Problemas mezclados de la programación de número entero
- Problemas de la programación cuadrática
- Problemas de programación no lineales generales
- Reduce al mínimo errores en la modelación con el repaso de las faltas, comprobando la sintaxis y consistencia del modelo
- Apoya una variedad amplia de expresiones algebraicas naturales
- Altamente flexible, no impone ninguna orden particular de la entrada de los datos o del modelo
- Se puede utilizar en ambientes interactivos
- El número de caracteres que se pueden teclear en una línea de comandos está limitado por el sistema operacional particular que se esté utilizando y se pueden utilizar tantas líneas como sea necesario para completar un comando de post-proceso donde está listo a recibir comandos para imprimir las peticiones del usuario

Todo problema de optimización se puede describir utilizando los siguientes elementos matemáticos<sup>46</sup>:

**Conjuntos:** Entidad que contiene los elementos de estudio del sistema

**Parámetros:** Elementos conocidos y estáticos que forman parte del problema

**Variables:** Valores que deben ser determinados por el solucionador

**Objetivos:** Funciones de los parámetros y las variables que deben ser minimizados o maximizados

**Restricciones:** Deben ser cumplidas por la solución

Otras consideraciones a tener en cuenta con AMPL<sup>47</sup> son:

- Una referencia a una función consiste de un nombre seguido por un argumento en paréntesis o una lista de argumentos separados por comas; cualquier expresión aritmética puede ser argumento de una función
- AMPL provee funciones de redondeo y una variedad amplia de funciones que generan números aleatorios
- También existe la posibilidad de importar funciones definidas por el usuario (compiladas)
- AMPL permite utilizar operadores (lógicos y matemáticos) y funciones en la definición de conjuntos, parámetros y variables
  - Los operadores iterativos pueden operar sobre cualquier tipo de conjunto.

---

<sup>46</sup> Ibid.

<sup>47</sup> Ibid.

## 2 INFORMACION DE LA EMPRESA Y ANALISIS DEL SECTOR

### 2.1 INFORMACION DE LA EMPRESA

La empresa del presente estudio, es una compañía de ingeniería y servicios en la especialidad del acondicionamiento y control de la calidad de aire, para procesos y sistemas industriales, comerciales y residenciales, que a partir de este momento se llamará XYZ. Su sede principal se encuentra ubicada en la ciudad de Cali, donde se ubican las oficinas y la Planta de Servicios. Para lograr atender el mercado nacional, también dispone de sedes con personal técnico y administrativo en las ciudades de Bogotá y Barranquilla.

Los principales servicios que presta la empresa son:

- Ingeniería de cálculo, diseño y especificaciones para proyectos comerciales e industriales de aire acondicionado, refrigeración, ventilación mecánica y sistemas de filtración de alta eficiencia
- Montaje de sistemas industriales y comerciales
- Suministro de equipos de alta tecnología
- Servicio de revisión y evaluación de funcionamiento de equipos
- Programas de mantenimiento preventivo y correctivo, mecánico, hidráulico y eléctrico
- Servicios de reparación y suministro de partes y repuestos
- Escuela de entrenamiento técnico para personal propio y de clientes

Como estrategia de la compañía, esta cuenta principalmente con cuatro unidades de negocio para la prestación de los servicios anteriormente mencionados, las cuales se relacionan a continuación:

**Ingeniería y Obras:** Enfocada a la elaboración de proyectos, diseños e interventorías, responsable del montaje de obras, suministro de equipos y sistemas inteligentes de programación.

**Suministros:** Unidad responsable de la venta directa de equipos y repuestos necesarios para normalizar la operación de los equipos objetivo de la compañía.

**Mantenimiento y Reparación:** Unidad encargada de los convenios de mantenimiento preventivo y correctivo, reparación de compresores, análisis de eficiencias energéticas, aplicaciones de enfriadores de agua en procesos industriales.

**División Workclean:** Unidad enfocada a la fabricación y suministro de filtros especiales para la limpieza de aire, análisis de calidad de aire interior, fabricación y evaluación de cámara de aire.

## 2.2 ANALISIS DEL SECTOR

### 2.2.1 Tipos de servicio

El sector del acondicionamiento de aire, la refrigeración y ventilación se encuentra principalmente constituido por empresas dedicadas a la prestación de los servicios de ingeniería de diseño e instalación, distribución y/o fabricación de partes, repuestos y equipos y servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.

#### 2.2.1.1 Ingeniería de diseño e instalación

Servicio enfocado a la elaboración de proyectos, diseño de capacidades de enfriamiento y acondicionamiento de áreas, responsable del suministro y montaje de equipos y sistemas inteligentes de programación.

#### 2.2.1.2 Distribución y/o fabricación de partes, repuestos y equipos

Servicio enfocado hacia la distribución y/o fabricación de los diferentes tipos de repuestos, equipos de aire acondicionado, refrigeración y ventilación requeridos según las necesidades del cliente. A continuación se presentan los principales grupos de equipos y repuestos que componen este servicio:

- **Equipos de aire acondicionado:** Dentro de este grupo encontramos los sistemas minisplit, tipo paquete, piso techo, portátiles, multisplit y centrales, sistemas que son utilizados comercialmente para el acondicionamiento de residencias, oficinas e industrias.
- **Equipos enfriadores de agua (chillers):** Un chiller (o enfriador de agua) es un equipo industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales y comerciales. Su operación está basada en la extracción de calor generado en un proceso, a través del contacto con agua que se encuentra a una temperatura menor, de manera que el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua durante el paso por el proceso se eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

Estos sistemas son comúnmente utilizados para acondicionar procesos productivos o de confort, tales como instalaciones, edificios, hospitales y plantas de producción.

La configuración general de este tipo de equipos cuenta principalmente con los siguientes elementos y componentes:

- **Refrigerante:** Gas comúnmente utilizado para realizar el ciclo de refrigeración.

- **Compresor:** Componente principal del equipo, el cual es el encargado de comprimir el gas de manera que la presión y la temperatura estén por encima de la temperatura ambiente.
- **Condensador:** Componente encargado de realizar el cambio de estado del refrigerante utilizado de gaseoso a líquido, utilizando dos medios:
  - **Ventiladores:** Equipos diseñados para recircular el aire al condensador logrando el cambio de estado requerido.
  - **Torre de enfriamiento:** Equipo diseñado para bajar la temperatura del Agua a través de la mezcla de aire – agua que circula por los eliminadores de la torre.
- **Evaporador:** Componente diseñado para realizar el cambio de estado del refrigerante utilizado, de líquido a vapor, pasando de una alta a una baja presión; este cambio se origina a través de la válvula de expansión, logrando finalmente el cambio de temperatura requerido para el proceso.
- **Bomba de recirculación:** Componente diseñado para recircular el agua del evaporador hacia los diferentes procesos ya sea productivos o de confort.

El tipo de chiller requerido para cada proceso depende de las condiciones operacionales de cada cliente, por tanto y para efecto práctico del presente trabajo de grado se trabajarán dos tipos de chiller:

- **Chillers de condensación por agua:** Sistema que realiza el ciclo de refrigeración por medio de una torre de enfriamiento que utiliza el Agua como medio de refrigeración.

Este tipo de equipo es comúnmente utilizado para procesos que requieren grandes capacidades de enfriamiento, tales como: hospitales, hoteles, teatros entre otros.

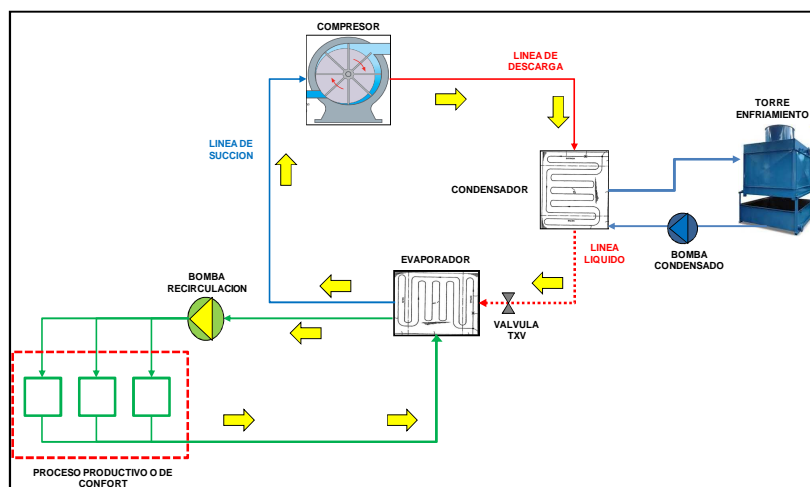
En la Figura No.1 se presenta el método de refrigeración para los chiller de condensación por agua, el cual inicia en el evaporador ya que es allí donde ingresa el agua caliente que viene de los diferentes procesos y requiere perder calor para poder cumplir el objetivo de refrigerar ya sea ambientes de confort o procesos productivos.

En el evaporador se absorbe el calor que ingresa el agua a través de tuberías de cobre bajando así su temperatura. Durante este proceso el fluido que circula (refrigerante) se evapora trasladándose mediante la línea de succión al compresor el cual es el encargado de comprimir el gas elevando la presión y la temperatura por encima de la temperatura ambiente, posteriormente el fluido en estado gaseoso (refrigerante) es llevado mediante la línea de descarga al condensador, el cual es el encargado de trasladar el calor del refrigerante a un medio seleccionado, que para este tipo de chiller se llama torre de enfriamiento, la cual se encarga de extraer el calor del refrigerante mediante una mezcla de agua-aire que circula a

través de sus componentes internos llamados eliminadores, el agua que recircula entre el condensador y la torre movida mediante la bomba de condensado.

Una vez el refrigerante ha perdido calor este se condensa y pasa mediante la línea de líquido al dispositivo de control llamado válvula TXV el cual es el encargado de bajar la presión y la temperatura dejando el refrigerante listo para absorber nuevamente calor del agua que ingresa al evaporador y es impulsada por la bomba de recirculación ubicada entre el chiller y los diferentes procesos.

Figura 1. Método de refrigeración – chiller de condensación por agua



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

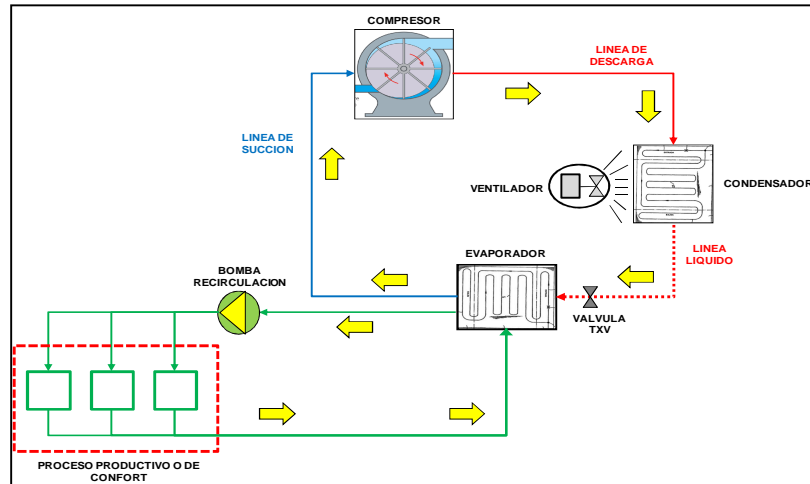
Con base en la figura anterior se identifica que este tipo de sistemas requiere dos equipos adicionales al método de refrigeración convencional, los cuales son la torre de enfriamiento y la bomba de condensación.

- **Chillers de condensación por Aire:** Sistema que realiza el ciclo de refrigeración por medio de ventiladores que utilizan el aire como medio de refrigeración.

Este tipo de equipo es comúnmente utilizado para procesos que requieren capacidades de enfriamiento entre (3TR – 100TR), tales como: pequeñas y medianas empresas, líneas de producción, edificios entre otros.

En la Figura No.2 se presenta el método de refrigeración para los chiller de condensación por aire, el cual funciona igual que el de los chiller enfriados por agua indicado en la figura No.1, a excepción del proceso que se realiza en el condensador ya que para este caso el medio utilizado para trasladar el calor del refrigerante son ventiladores que extraen el calor y lo envían al ambiente externo.

Figura 2. Método de refrigeración – chiller de condensación por aire



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

- **Ventilaciones y extracciones:**

**Ventiladores:** “Son máquinas rotativas capaces de mover una determinada masa de aire, a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que producirán en la circulación por los conductos”<sup>48</sup>.

**Extractores:** Corresponde a los ventiladores en los cuales la boca de aspiración se encuentra conectada a un conducto y la boca de descarga conecta a un espacio libre<sup>49</sup>.

- **Repuestos y partes:** Este grupo compone los diferentes repuestos y partes requeridos para complementar, sustituir, fabricar y reparar los diferentes equipos de aire acondicionado, ventilación, extracción y chillers; entre los principales repuestos encontramos:
  - Compresores.
  - Filtros.
  - Intercambiadores de calor.
  - Partes para compresores tales como: Válvulas, bujes, empaquetaduras, bombas, anillos entre otros.
  - Controles de presión y temperatura.
  - Bombas peristálticas.

<sup>48</sup> Soler & Palau, [http://www.solerpalau.es/docs/manual/sp\\_ventilacion\\_c4.pdf](http://www.solerpalau.es/docs/manual/sp_ventilacion_c4.pdf)

<sup>49</sup> Soler & Palau, [http://www.solerpalau.es/docs/manual/sp\\_ventilacion\\_c4.pdf](http://www.solerpalau.es/docs/manual/sp_ventilacion_c4.pdf)



### **2.2.1.3 Mantenimientos preventivos y correctivos**

Este tipo de servicio ofrece a sus clientes mantenimientos preventivos a los diferentes equipos de aire acondicionado, ventilación, extracción y chillers, generalmente se maneja mediante convenios de mantenimiento con periodos entre 6 meses y 1 año.

Los mantenimientos correctivos son conocidos en el sector como reparaciones, las cuales involucran, servicios tales como: correcciones de fuga, mejoras de eficiencia, cambio de partes y actualización de refrigerantes ecológicos.

### **2.2.2 Situación actual del mercado**

En la actualidad las diferentes compañías que requieren los servicios del sector del aire acondicionado, refrigeración y ventilación cuentan con una amplia oferta de empresas dedicadas a este tipo de servicios, las cuales tienen cobertura en su mayoría a nivel nacional, por tanto es un mercado muy competitivo.

Durante el análisis de expansión y generación de nuevas oportunidades de negocio realizado por la empresa XYZ, se identificó la necesidad por parte del mercado actual de tomar en alquiler chillers, los cuales tendrían como objetivo aplicaciones tales como:

- Sustituir temporalmente los equipos existentes, mientras llegan los nuevos equipos que ya cumplieron su vida útil.
- Mejorar las condiciones de enfriamiento de sus procesos, para este caso específico fue común encontrar pequeñas empresas que no cuentan con este tipo de tecnología, pero que según los requerimientos de calidad actuales se les hace necesario recurrir a este tipo de servicio.
- Empresas que se encuentran en proceso de apertura y crecimiento y por tanto no cuentan con el poder adquisitivo para comprar un chiller.
- Líneas de producción temporales que requieren condiciones de temperatura especiales.
- Emergencias con equipos existentes y que dejan fuera de operación el proceso y deben ser reemplazados temporalmente mientras estos son reparados.

Durante el proceso de identificación la empresa XYZ generó una base de datos en la cual se han registrado los requerimientos referentes al alquiler de chillers de los diferentes clientes nacionales que cuentan con convenios de mantenimiento y los que ocasionalmente solicitan los servicios de la empresa.

A continuación en la Tabla No.1 se presenta un resumen de los diferentes clientes sectorizados a nivel nacional que han solicitado este servicio a través de llamadas

telefónicas, esta estadística fue determinada con clientes que solicitaron el servicio de acuerdo al tipo de equipo y a la capacidad de enfriamiento.

Tabla 1. Requerimiento clientes base de datos

ZONA	No. CHILLER	% PARTICIPACION ZONA	RANGO EQUIPOS SEGÚN TIPO DE CHILLER							
			3TR – 15TR		20TR – 50TR		55TR - 90TR		>100TR	
			AGUA	AIRE	AGUA	AIRE	AGUA	AIRE	AGUA	AIRE
NORTE	10	17%	0	5	0	3	0	1	1	0
CENTRO	18	31%	0	4	1	7	0	4	1	1
OCCIDENTE	30	52%	0	14	1	8	1	5	1	0
<b>TOTAL (UND)</b>	<b>58</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

TIPOS DE CHILLER	No. CHILLERS	% POR TIPO DE CHILLER
CONDENSADOS POR AGUA	6	10%
CONDENSADOS POR AIRE	52	90%

Base de datos empresa XYZ

Como se evidencia en la Tabla No.1 existe un posible mercado potencial de 58 solicitudes de equipos chillers a nivel nacional donde el 52% de estos se encuentran localizados geográficamente en el occidente de Colombia. Adicionalmente los equipos que presentan mayor demanda según los requerimientos de los clientes son los chiller condensados por aire con un 90%.

Teniendo en cuenta este requerimiento del mercado, el conocimiento técnico y el reconocimiento con que cuenta en el gremio, la empresa XYZ ha tomado la decisión de incursionar en este nuevo servicio.

### 2.2.3 Competencia

En la actualidad y con base en la información indicada anteriormente, el alquiler de chillers es un servicio que cuenta con mercado potencial, pero desafortunadamente la oferta por parte del sector es mínima ya que actualmente de las cuarenta y cinco (45) empresas más importantes a nivel nacional que hacen parte del sector del acondicionamiento de aire, refrigeración y ventilación solo se conoce de dos (2) que ofrecen el servicio de alquiler de chillers y no hace parte del esquema formal del negocio<sup>50</sup>. A continuación en la Tabla No.2 se presentan dichas empresas y los servicios que prestan.

<sup>50</sup> Análisis interno realizado por la empresa

Tabla 2 Principales empresas del sector y tipos de servicio

EMPRESA	ING. DE DISEÑO E INSTALACION	DIST Y/O FABRICACION. PARTES, RESPUESTOS Y EQUIPOS	MTTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	ALQUILER DE CHILLERS
Serviparamo	X	X	X	
Com. Y Serv. Larco	X	X	X	
Aire Caribe	X	X	X	
Inverprimos		X		
Aire Ambiente	X	X		
Refrigeracion del Norte	X	X		
TRS Partes		X		
Ind. Thermotar		X		
Refrí.Ind. Rojas Hermanos		X		
Ind. Refridcol		X		
Dismec S.A.		X		
Thermocoil		X		
Minervine y Karaman		X		
Arneg Andina Ltda		X		
Almacen Refrielectric		X		
Proyectos y Servicios	X	X		
Thermoandina S.A.	X	X		
<b>Tecam S.A.</b>		X		<b>X</b>
Frio Costa Ltda		X		
Carvel Ltda	X	X	X	
Carmelo Minervine (almacenes)		X		
Inversiones Mendez Group		X		
Incopar (Industria Col. De Partes)		X		
Polipanel S.A.		X		
Omega Ingenieros S.A.	X	X	X	
Talleres Friocol		X		
Ingenieria y Proyectos del	X	X	X	
Formex S.A.		X		
Alfrio S.A.	X	X	X	
Alejandro Faccini	X	X	X	
Air Andes Y Cia. Ltda	X	X	X	
Importline Ltda		X		
Instalatre Ltda	X	X		
Climatec Servicios Ltda	X	X	X	
Serviaire Matec	X	X	X	
Refrimayor		X		
Delta Ingenieria		X		
Frio Master		X		
<b>Secar Ingenieros</b>	X	X	X	<b>X</b>
Saeg Engineering Group Ltda	X	X	X	
Aire Neiva	X	X	X	
Airflow Ltda	X	X	X	
Tecniconfort Andino Ltda	X	X	X	
Espinosa Ingenieria Ltda	X	X		
Glaciar Ingenieria S.A.S.	X	X	X	
Jose Tobar Arango & Cia Ltda	X	X		
Ambientar de Colombia Ltda	X	X		
Thermocold Ltda	X	X		

María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

#### **2.2.4 Estructura logística**

Con el objetivo de conocer un poco más acerca de la logística del alquiler de chillers y los costos asociados, se logró establecer que las empresas que prestan actualmente este servicio manejan los siguientes criterios:

- El inventario de equipos con el que cuentan es mínimo, no superior a 10 equipos entre chillers condensados por aire y agua, con capacidades entre 3TR – 50TR.
- Para el caso de los chillers condensados por agua, la infraestructura adicional requerida como lo es la torre de enfriamiento y la bomba de condensado deben ser suministradas por el cliente.
- Una vez el cliente solicita el servicio, se define la disponibilidad y la fecha de entrega a este.
- Los gastos de traslado del equipo tanto de la bodega del proveedor hasta la planta o sitio final y los de retorno deberán ser por cuenta del cliente.
- Los costos de la instalación y arranque del equipo son asumidos por el cliente.
- El servicio de mantenimiento del equipo deberá ser contratado por el cliente con personal ajeno o con la misma firma contratista y este tendrá un costo adicional.

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 ANTECEDENTES**

Sustentado en los requerimientos del mercado indicado anteriormente la compañía XYZ ha decidido expandir su portafolio de servicios, el cual se enfocará en la renta de equipos enfriadores de agua, este será manejado a través de una nueva unidad de negocio a la cual denominaremos Renta de Chiller.

Esta decisión está sustentada además de los requerimientos de mercados en situaciones evidentes tales como:

- Actualmente se manejan convenios de mantenimiento en los cuales, se puede identificar el estado actual de los equipos de los clientes.
- Existen clientes que no poseen la capacidad económica para adquirir un equipo nuevo, debido al valor de los mismos.
- Permitir a la compañía un flujo de caja constante a partir del canon que se genere, evitando depender de los ingresos variables que son el 72,71% correspondiente a los servicios de reparación, obras y suministro de repuestos<sup>51</sup>, tanto de los clientes que poseen contrato de mantenimiento con la empresa XYZ y los que no.
- Permitir a los clientes cumplir con las capacidades de enfriamiento que requieren sus procesos y que actualmente no es posible cumplir debido al estado o capacidad de los equipos con los que cuentan.
- Aprovechar el conocimiento técnico y la tecnología con la que se cuenta para adecuar equipos que se encuentran fuera de operación y pueden ser posibles equipos de renta.

#### **3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

A partir de esta oportunidad de negocio que ya está aprobada por la Dirección, se identificó la necesidad de desarrollar un modelo de localización y asignación eficaz de los recursos técnicos y materiales que abarque las demandas de las diferentes regiones del país y que contribuya a la rentabilidad de la nueva unidad de negocio Renta de Chiller de la empresa XYZ.

---

<sup>51</sup> Tomado de Informe Mensual de Facturación 2010 – 2011, Empresa XYZ.

## **4 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo de localización y asignación para la nueva unidad de negocio Renta de Chiller de la empresa XYZ, ajustada a las condiciones de operación tanto de la empresa como de los proveedores y del mercado

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar la estimación de la demanda en las diferentes zonas donde opera la empresa XYZ.
- Identificar las variables, restricciones y parámetros que influyen en el diseño del modelo de localización y asignación de la unidad de negocio Renta de Chiller en la empresa XYZ.
- Desarrollar un modelo de programación lineal que represente la situación de la organización y que permita analizar el impacto de cada uno de los elementos que componen el modelo de asignación y localización.
- Analizar y validar el modelo resultante de asignación y localización, explorando metodologías y herramientas de software.
- Validar la propuesta de diseño y verificar su aplicabilidad.

## **5 ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente trabajo de grado se llevará a cabo en una empresa existente y legalmente constituida, la cual suministrará la información requerida bajo acuerdo de confidencialidad y distorsión de los datos originales. Por tal motivo el diseño del modelo de localización y asignación aplicará única y exclusivamente a esta empresa, quien definirá si hace uso o no de ella y de los resultados que el modelo desarrollado, fruto de su explotación, pueda arrojar.

Como se mencionó anteriormente el espacio de operación de la empresa es nacional, por lo que todo tipo de análisis de ubicación y distribución no saldrá del territorio colombiano.

El proyecto está enfocado únicamente a la unidad de negocio Renta de Chiller, la cual estará limitada a un número finito de productos que serán definidos con base en el estudio de mercado y análisis de la demanda que se llevará a cabo como parte del desarrollo del mismo.

El modelo se limitará a la localización y asignación del recurso humano teniendo en cuenta las restricciones propias de la unidad de negocio y producto de este se llevara a cabo la programación de la red de servicios de mantenimiento preventivo.

## **6 METODOLOGIA DEL PROYECTO**

Después de hacer este recorrido por las diferentes características y criterios que se tienen en cuenta para los modelos de localización y asignación se puede adelantar que el modelo que se desarrolla a lo largo de este trabajo está caracterizado dentro del campo de los modelos de programación lineal entera, cuyas variables toman valores discretos.

Adicional a lo anterior, se trata de un modelo que consta de una sola etapa y un solo producto, la atención preventiva de los chillers rentados, esto se presenta debido a que la relación de distribución y asignación que se plantea está dada entre los Centros de Servicio y los puntos de demanda distribuidos a nivel nacional y cuya capacidad se ve limitada por la ocupación de los distintos equipos de técnicos que cuentan con restricciones de tiempos de operación y como es de esperar muchos de los datos que se han obtenido para la formulación del modelo cuentan con cierto grado de incertidumbre, en especial la demanda, debido a esto el modelo requiere de análisis de sensibilidad bajo distintos escenarios probables que permitan conocer los efectos de la variación en estos parámetros.

### **6.1 RECOLECCION DE DATOS**

La metodología que se llevó a cabo durante el desarrollo y ejecución del presente proyecto tuvo como fases principales:

- Recolección de datos
- Estimación y proyección de la demanda
- Definición de variables, restricciones, parámetros y modelo
- Optimización y aplicabilidad del modelo
- Análisis de sensibilidad

#### **Recolección de datos**

En esta primera parte de la investigación se recolectó información de los clientes actuales y potenciales, bases de datos existentes y entrevistas con personal técnico de la empresa donde se definió las variables críticas a tratar para iniciar con la estimación de la demanda, para lo cual se identificó información clave como:

- Localización de los equipos
- Tipos de chillers utilizados
- Antigüedad
- Capacidad de refrigeración

Adicionalmente se obtuvo datos concernientes a parámetros y valores básicos que influyen en el diseño del modelo de localización y asignación tales como:



- **Costos:** Traslado, mano de obra, manutención, insumos, repuestos y materiales.
- **Tiempo:** Mantenimiento de equipos y traslado de los equipos de técnicos

### **Estimación y proyección de la demanda**

Una vez se cuenta con la información básica, se procede a escoger uno de los métodos para la estimación de la demanda, que para este caso la técnica aplicada es cualitativa, el juicio de expertos, ya que estamos manejando un nuevo servicio por lo que no se cuenta con datos históricos de demanda y el sondeo a clientes puede no resultar ser tan preciso si ellos desconocen las condiciones actuales de sus equipos y las limitantes que estas pueden traer para sus procesos.

Producto de este estudio se hizo la segmentación y clasificación de los clientes para obtener al final una demanda esperada sobre la cual se lleva a cabo todo el análisis y estructuración del modelo, sin embargo se plantean escenarios alternativos más pesimistas que permitan tomar decisiones en caso de que la demanda final de la unidad de negocio no sea la esperada.

### **Definición de variables, restricciones, parámetros y modelo**

Antes de llevar a cabo el desarrollo del modelo, es necesario definir las consideraciones y antecedentes establecidos como política de la empresa en lo que refiere a la atención de servicios de mantenimiento y que a su vez incidirán en los resultados finales que se quieren obtener los cuales deberán estar enfocados hacia las necesidades actuales de la empresa. Dichas consideraciones y antecedentes serán presentados en el Capítulo 8 del presente documento.

Lo que se busca con la definición del modelo de optimización es lograr obtener un desarrollo de una parte de la cadena de abastecimiento, que se ajuste y cumpla con los requerimientos de la compañía y el mercado, mediante la definición de consideraciones directamente relacionados con clientes, especificaciones técnicas, condiciones de operación, atención de los servicios entre otras.

Es importante resaltar que la naturaleza del modelo de acuerdo a sus características es determinística, por lo tanto el mismo está diseñado bajo criterios de programación lineal entera. Sin embargo no se deja de lado la posibilidad de desarrollar a futuro un modelo probabilístico dada la incertidumbre de la demanda y el costo de adquisición de los equipos para el funcionamiento de la unidad de negocio.

### **Optimización y aplicabilidad del modelo**

La etapa final del proyecto está basada en tomar el modelo que se elaboró en la etapa anterior y codificarlo bajo un lenguaje de programación denominado AMPL de manera que se puedan obtener soluciones óptimas basadas en las condiciones

de entrada del mismo y que reflejen comportamientos que se acerquen a la realidad.

Una vez se tengan dichos resultados por parte del modelo serán puestos a consideración con base en el conocimiento que se tiene de la unidad de negocio, a fin de analizar el comportamiento de los resultados basados en las diferentes condiciones que se puedan presentar a partir de la variación de los parámetros más sensibles.

## 7 ESTIMACION DE LA DEMANDA

Considerando que la unidad de negocios Renta de Chiller es nueva, no cuenta con información de mercado que permita realizar un análisis de pronósticos para la definición de una demanda probable a partir de la cual se tomen decisiones de localización y asignación de los servicios correspondientes a los mantenimientos preventivos de este tipo de equipos.

Por lo anterior se hace necesario recurrir a otro tipo de herramientas de análisis para la estimación de la demanda como son los métodos cualitativos, específicamente juicio de expertos, para este análisis fue necesario la participación del personal con mayor experiencia dentro de la empresa y que conforman las tres (3) sedes a nivel nacional (Cali, Bogotá y Barranquilla). Este grupo fue conformado por el director del departamento de servicios, los dos (2) supervisores nacionales y los diferentes coordinadores de zona de dichas sedes.

Con ellos se definió en reuniones periódicas iniciar con la recolección de toda la información existente relacionada con los chillers tanto de los clientes con los que se manejan contratos de mantenimiento como de los clientes que tienen una relación comercial con la empresa en cuanto a servicios de mantenimiento correctivos pero que actualmente no cuentan con un contrato. Igualmente se definió manejar la demanda en términos de unidad de equipo por localización geográfica.

Para obtener esta información previamente fue necesario definir las características que se tendrían en cuenta para la estimación de la demanda objetivo entre las cuales se encuentran:

- Tipo de chiller
- Modelos
- Capacidad
- Antigüedad
- Ciudad de ubicación
- Periodicidad del mantenimiento
- Tipo de cliente

Toda esta información fue recolectada teniendo en cuenta que a pesar de no ser requerida en su totalidad si podría ser complemento una de la otra, por ejemplo con el modelo se pudo identificar el tipo de chiller, si es condensado por aire o por agua y su capacidad.

Una vez definida la información a recolectar los coordinadores de zona iniciaron con la identificación de posibles clientes y la confirmación de los actuales, esta tarea fue orientada a partir de una base de datos existente de todos los chiller que han sido puestos en operación por la empresa y que a lo largo del tiempo han

sido registrados por los supervisores nacionales. La distribución de los clientes a cada uno de los coordinadores fue asignada de acuerdo con la localización geográfica de los mismos quedando según como se indica en la Tabla No.3.

Tabla 3 Distribución geográfica de los clientes por coordinador de zona

UBICACIÓN GEOGRAFICA CLIENTES	SEDE RESPONSABLE	CANTIDAD DE COORDINADORES
Norte	Barranquilla	2
Centro	Bogotá	2
Occidente	Cali	3

María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

Esta información se recolectó y consolidó en un periodo de tres (3) meses y a partir de allí se inició la clasificación e identificación de las características claves para la segmentación del mercado, esta tarea fue realizada con la orientación de del grupo de expertos definido previamente quienes de acuerdo con su gran experiencia dieron un aporte de confiabilidad a este proceso. A continuación se presenta el orden secuencial para la estimación de la posible demanda.

1. Clientes
2. Tipo de equipos
3. Antigüedad
4. Capacidad

## 7.1 DEFINICIÓN DE CLIENTES

A partir de la información recolectada y tratándose de un negocio nuevo en el cual no se tienen históricos de demanda se definió clasificar los clientes en dos tipos, los actuales y potenciales:

**Clientes actuales:** Corresponden a los clientes que tienen contrato de mantenimiento con la empresa y por tanto se conocen las hojas de vida de los equipos lo cual permite acceder fácilmente a la información requerida para la caracterización, aunque esto no garantiza una adquisición probable del servicio, si es la base para que la fuerza de ventas inicie su proceso de mercadeo.

**Clientes potenciales:** Corresponden a los clientes remotos, que tienen una relación comercial con la empresa la cual se basa en servicios de mantenimiento correctivo, más los clientes que cuentan con chillers pero que no se les ha prestado ningún tipo de servicio, al igual que los clientes actuales la probabilidad de adquisición del servicio es equivalente, ya que el tener o no un contrato de mantenimiento no garantiza que el cliente acceda a tomar en alquiler un chiller, lo que finalmente recae nuevamente en la fuerza de ventas.

Teniendo en cuenta lo anterior se definió consolidar la demanda de los dos tipos de clientes como mercado objetivo siendo este el escenario más optimista. Para analizar la sensibilidad de esta demanda en el Capítulo 9 se presentan diferentes escenarios de demanda variando los porcentajes de participación de cada tipo de cliente.

Sustentado en lo mencionado en el Capítulo 2 donde se indica que la selección del tipo de chiller depende de su aplicación y este a su vez requiere de una infraestructura física adicional y con base en la experiencia del grupo de expertos se definió que la característica principal con la cual se desarrollaría el análisis es el tipo de chiller, a partir de este concepto se realizó la clasificación de las demás características. En el apartado siguiente se complementa la justificación del porque se decidió segmentar la demanda a partir de esta característica.

## 7.2 DEFINICIÓN DEL TIPO CHILLER POR SISTEMA DE REFRIGERACION

Como se explicó en el Capítulo 2 los tipos de chiller fueron definidos en condensación por aire y condensación por agua. Además, la demanda fue catalogada en los clientes potenciales y actuales, mercado que será consolidado al finalizar la clasificación. A continuación se presentan las Tablas 4 y 5 en la cuales se identifican los clientes según el tipo de chiller, estos valores están dados en unidades de equipo.

Tabla 4. Demanda de clientes actuales según tipo de chiller

SISTEMA DE REFRIGERACION CLIENTES ACTUALES		
TIPO DE CHILLER	EQUIPOS (UND)	%
CONDENSACION POR AIRE	94	71%
CONDENSACION POR AGUA	38	29%
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

En la Tabla 4 se evidencia que el 71% de toda la población de clientes actuales cuentan con chillers condensados por aire.

Tabla 5. Demanda de clientes potenciales según tipo de chiller

SISTEMA DE REFRIGERACION CLIENTES POTENCIALES		
TIPO DE CHILLER	EQUIPOS	%
CONDENSACION POR AIRE	71	65%
CONDENSACION POR AGUA	39	35%
<b>TOTAL</b>	<b>110</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

En la Tabla 5 se muestra que el 65% de la totalidad de la población de los clientes potenciales cuentan con chillers condensados por aire.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se pudo establecer que tanto para los clientes actuales como los potenciales los chillers que cuentan con mayor porcentaje en el mercado son los de condensación por aire, lo que puede orientar la demanda objetivo hacia este tipo de chiller.

Adicionalmente a la evidencia en cuanto a chillers existentes en los dos tipos de clientes, se consideró necesario revisar en conjunto con el grupo de expertos si la parte técnica puede soportar la demanda de los chillers de condensación por aire o por el contrario le da peso a los condensados por agua. Una vez realizado este análisis se obtienen las siguientes consideraciones:

**Chillers de condensación por agua:** Estos equipos requieren un tipo de infraestructura física diferente la cual involucra lo siguiente:

- Es necesario que el cliente o la empresa XYZ cuente con equipos adicionales como torres de enfriamiento y bombas de condensado.
- Para el correcto funcionamiento del equipo el cliente deberá contar con una planta de tratamiento de agua que garantice las condiciones de operación del chiller, de lo contrario los servicios de mantenimiento preventivo deberán ser más frecuentes corriendo el riesgo de daño en el equipo,
- El cliente deberá realizar obras de infraestructura física para la instalación del chiller y los equipos auxiliares, lo que aumentaría el costo.

**Chillers de condensación por aire:** Este tipo de equipos no requieren de adecuaciones especiales para su funcionamiento, son de fácil maniobrabilidad, las conexiones, accesorios y componentes facilitan su operación y mantenimiento.

Finalmente y con base en los criterios anteriormente mencionados y validados con el grupo de expertos se define que la unidad de negocios renta de chillers trabajará solo con los chillers de condensación por aire.

### **7.3 DEFINICIÓN DE LA ANTIGÜEDAD DE LOS CHILLERS**

Una vez definido que el mercado objetivo estará enfocado solamente a trabajar con equipos de condensación por aire se procede con la clasificación según la antigüedad de los equipos.

Esta característica fue seleccionada por el grupo de expertos como una consideración clave para la segmentación del mercado objetivo, en la cual se define que la vida útil de un chiller, teniendo en cuenta la eficiencia de diseño de fábrica, es de máximo quince (15) años.

A partir de este argumento los chiller de condensación por aire de los dos tipos de clientes se clasificaron de acuerdo con el tiempo de operación. Estos datos fueron identificados durante la recolección de los datos realizada por cada uno de los coordinadores de zona, es importante resaltar que la antigüedad de estos equipos puede validarse con el modelo del chiller y la serie, al igual que la fecha aproximada en la cual se dio al servicio el equipo. Los resultados de esta clasificación se presentan en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Demanda por antigüedad de equipos en clientes actuales

<b>ANTIGUEDAD CHILLERS - CLIENTES ACTUALES</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>EQUIPOS (UND)</b>	<b>%</b>
≥ 15 AÑOS	63	67%
< 15 AÑOS	31	33%
<b>TOTAL</b>	<b>94</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

De acuerdo con la clasificación de los clientes actuales se observa que el 67% de los chillers tienen un tiempo de operación mayor o igual a 15 años, equivalente a 63 equipos.

Tabla 7. Demanda por antigüedad de equipos en clientes potenciales

<b>ANTIGUEDAD CHILLERS - CLIENTES POTENCIALES</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>%</b>
≥ 15 AÑOS	45	63%
< 15 AÑOS	26	37%
<b>TOTAL</b>	<b>71</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

En la tabla 7 es posible identificar un total de 45 equipos de condensación por aire que cuentan con una antigüedad superior a 15 años, convirtiéndolos en nuevo segmento de la demanda objetivo.

El total de chillers condensados por aire con una antigüedad mayor o igual a 15 años que harán parte del nuevo segmento del mercado a estimar es de 116 equipos.

#### **7.4 DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS CHILLERS**

Como característica final para la clasificación de los chillers condensados por aire tanto de los clientes actuales como potenciales con una antigüedad mayor o igual a 15 años se procede a definir el rango de capacidad en toneladas de refrigeración (TR) en la cual se encuentra este segmento de la demanda, ya que a partir de esta característica se definen aspectos relevantes para la coordinación y logística de los servicios de mantenimiento preventivo que son la razón de ser de este proyecto, tales como recurso humano necesario e insumos para realizar el servicio.

Teniendo en cuenta que los chillers previamente clasificados cuentan con diferentes capacidades de refrigeración, en conjunto con el grupo de expertos se definió clasificar los equipos en cinco (5) diferentes rangos (3TR a 15TR), (20TR a 50TR), (55TR a 90TR), (106TR a 170TR) y (300TR a 500TR). Esta segmentación fue sustentada en las siguientes consideraciones:

- Los chillers de acuerdo con la capacidad, requieren un número mínimo de horas hombre, insumos y repuestos preventivos durante los servicios de mantenimiento y por tanto se manejan con equipos de técnicos definidos. Consideración principal para el diseño del modelo objetivo del presente proyecto de grado.
- Dependiendo de la capacidad del equipo se define el número y tipo de compresores con el cual el chiller debe trabajar.
- Los chillers según producción de fábrica y requerimientos de procesos productivos son fabricados en las capacidades indicadas en los rangos.

Como directriz de la gerencia de la empresa se informa que esta incursionará en el mercado con chillers que se encuentren en capacidades no superiores a 90TR, esta política, según sus directivos, está sustentada en el alto costo que tienen los equipos con capacidades superiores, adicional a que se cuenta actualmente con un inventario de equipos disponibles para la renta con capacidades entre 5TR y 50TR.

A partir de esta directriz se definió en conjunto con el grupo de expertos analizar el comportamiento de la segmentación del mercado de los dos tipos de clientes de acuerdo con las características ya mencionadas. A continuación se presentan las Tablas 8 y 9 en las cuales se encuentra dicho análisis.



Tabla 8. Demanda por rangos de capacidad en clientes actuales

RANGO DE CAPACIDAD CHILLERS - CLIENTES ACTUALES			
TR (Toneladas de Refrigeración)	EQUIPOS (UND)	%	% TOTAL
3 - 15	31	49%	94%
20 - 50	19	30%	
55 - 90	9	14%	
106 - 170	3	5%	6%
300 - 500	1	2%	
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

Como se observa en la Tabla 8 el 94% de los chillers de condensación por aire pertenecientes a los clientes actuales con una antigüedad mayor o igual a 15 años se encuentran en los tres primeros rangos de capacidad.

Tabla 9. Demanda por rangos de capacidad en clientes potenciales

RANGO DE CAPACIDAD CHILLERS - CLIENTES POTENCIALES			
TR (Toneladas de Refrigeración)	EQUIPOS (UND)	%	% TOTAL
3 - 15	0	0%	58%
20 - 50	12	27%	
55 - 90	14	31%	
106 - 170	15	33%	42%
300 - 500	4	9%	
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

El 58% de los chillers condensados por aire y que cumplen con la caracterización de la antigüedad en los clientes potenciales se encuentra en rangos de capacidad de 20TR a 90TR, lo que ratifica el comportamiento de los clientes actuales.

Adicionalmente y como complemento del análisis anterior en conjunto con el grupo de expertos se decidió investigar en registros internos de la empresa donde se reportan las diferentes llamadas de servicio si existen solicitudes de clientes interesados en el alquiler de chiller, encontrando que en los dos últimos años efectivamente ha sido solicitado este tipo de servicio con un porcentaje del 85% enfocado hacia equipos con capacidades entre 3TR y 50 TR.

Complementariamente y de acuerdo a un estudio realizado hace algunos años por la compañía, las empresas que cuentan con equipos de gran capacidad, es decir

superior a 106TR, son compañías que nos les interesa alquilar equipos puesto que el análisis costo-beneficio los inclina hacia la compra del equipo más no el alquiler.

Finalmente y soportados en los criterios y características anteriormente mencionadas se define en conjunto con el grupo de expertos que para el diseño del modelo se trabajará tanto con la demanda de los clientes actuales y potenciales que tengan chillers de condensación por aire, con una antigüedad mayor o igual a 15 años de operación y que manejan capacidades entre (3TR a 15TR), (20TR a 50TR) y (55TR a 90TR).

## 7.5 CONSOLIDACION DE LA DEMANDA

Como se mencionó al inicio del presente capítulo la demanda tanto de los clientes actuales como de los potenciales tendrá la misma probabilidad de solicitud de servicio, teniendo esta como el escenario más optimista y al cual la fuerza de ventas de la compañía deberá enfocar sus esfuerzos.

A continuación se presenta la clasificación de la demanda consolidada de acuerdo con las características indicadas y establecidas anteriormente.

En la Tabla 10 se presenta la clasificación de la demanda de acuerdo con el tipo de chiller.

Tabla 10. Demanda consolidada por tipo de chiller

<b>SISTEMA DE REFRIGERACION MERCADO OBJETIVO</b>		
<b>TIPO DE CHILLER</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>%</b>
CONDENSACION POR AIRE	165	68%
CONDENSACION POR AGUA	77	32%
<b>TOTAL</b>	<b>242</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

Del total de la demanda tanto de los clientes actuales como potenciales el 68% de los chillers corresponden a los condensados por aire, equivalente a 165 equipos ubicados a nivel nacional, a partir de los cuales se procederá a clasificar de acuerdo con sus antigüedades y rangos de capacidad.

En la Tabla 11 se presenta la clasificación de los 165 chillers enfriados por aire que presenta una antigüedad en tiempo de operación equivalente o superior a 15 años.

Tabla 11. Demanda consolidada por antigüedad de los equipos

ANTIGUEDAD CHILLERS MERCADO OBJETIVO		
AÑOS	EQUIPOS	%
≥ 15 AÑOS	108	65%
< 15 AÑOS	57	35%
<b>TOTAL</b>	<b>165</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

Como se evidencia en la Tabla 11 el 65% de estos equipos cuentan con un tiempo de operación superior o igual a los 15 años, equivalente a 108 chillers que serán el nuevo segmento a utilizar para la clasificación según los rangos de capacidad.

En la Tabla 12 se presenta la segmentación del mercado consolidado y clasificado de acuerdo con las características de tipo de chiller y antigüedad.

Tabla 12. Demanda consolidada por rangos de capacidad

RANGO DE CAPACIDAD CHILLERS MERCADO OBJETIVO				
TR (Toneladas de Refrigeración)	EQUIPOS (UND)	TOTAL EQUIPOS (UND)	%	% TOTAL
3 - 15	31	85	29%	79%
20 - 50	31		29%	
55 - 90	23		21%	
106 - 170	18	23	17%	21%
300 - 500	5		5%	
<b>TOTAL</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bases de datos de clientes empresa XYZ

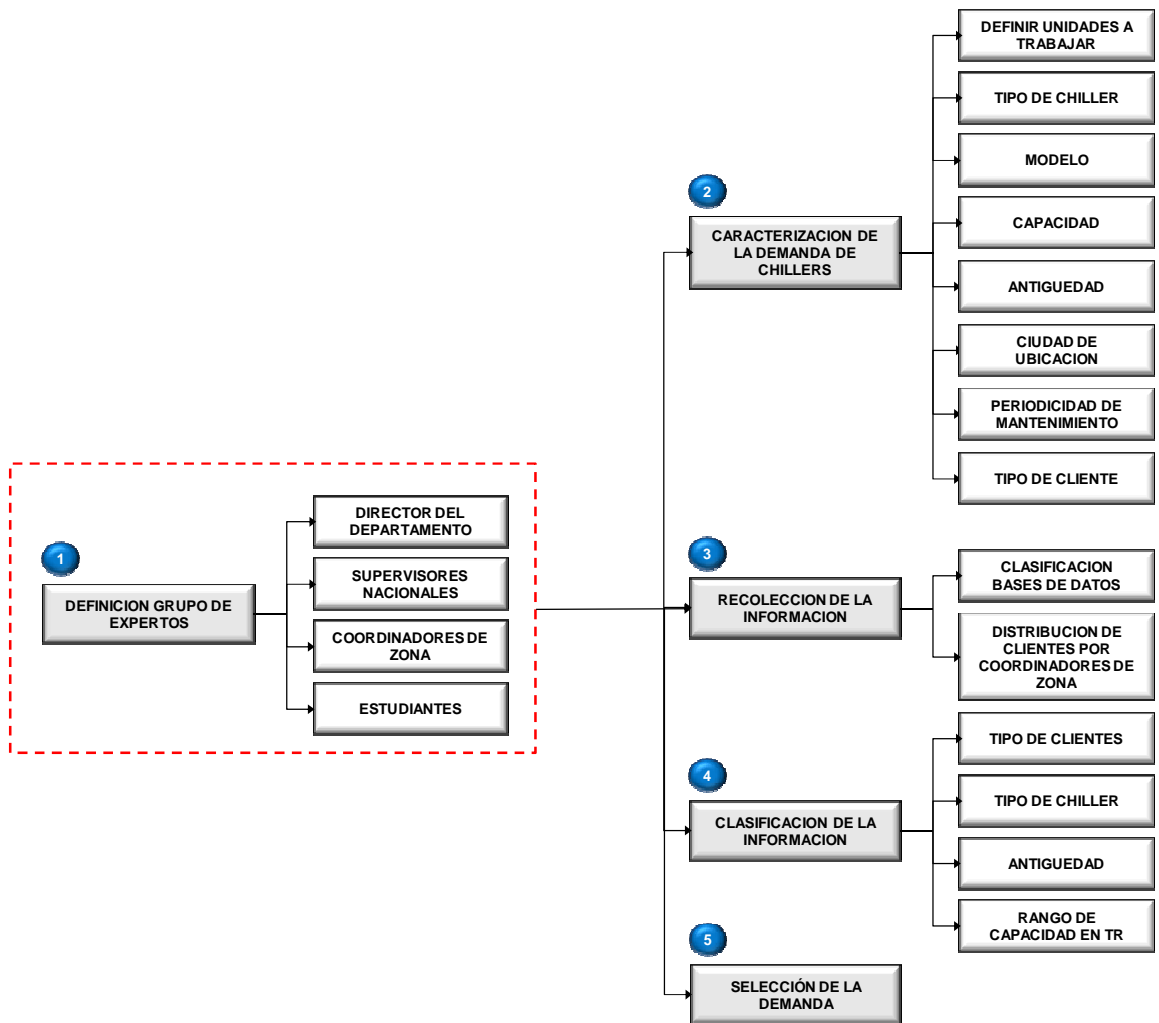
Finalmente y después de consolidar la totalidad de la demanda tanto de los clientes actuales como de los potenciales según características y orden secuencial definido se establece que la demanda objetivo para el diseño del modelo de localización y asignación de la nueva unidad de negocios renta de chillers equivale al 79% del segmento de la población definida como objetivo, representada en 85 unidades de equipos chiller condensados por aire, con un tiempo de operación superior o equivalente a 15 años con rangos de capacidad entre 3TR y 90TR.

## 7.6 DIAGRAMACION DEL METODO DE ESTIMACION DE LA DEMANDA

Como complemento y una forma de contextualizar el análisis realizado para la estimación de la demanda objetivo se realizó un diagrama donde se especifican los pasos que fueron seguidos para dicha segmentación.

En la Figura 3 presenta el orden secuencial en el cual se realizó el proceso de estimación de la demanda objetivo, el cual como se pudo evidenciar a lo largo del Capítulo 7 estuvo sustentado en el juicio de expertos, la cual fue la alternativa seleccionada producto de la inexistencia de datos históricos que permitieran realizar pronósticos mediante métodos cuantitativos y la carencia de información de competidores a nivel nacional para este tipo de negocio, al igual que información de productos complementarios que permitieran hacer análisis por asociación.

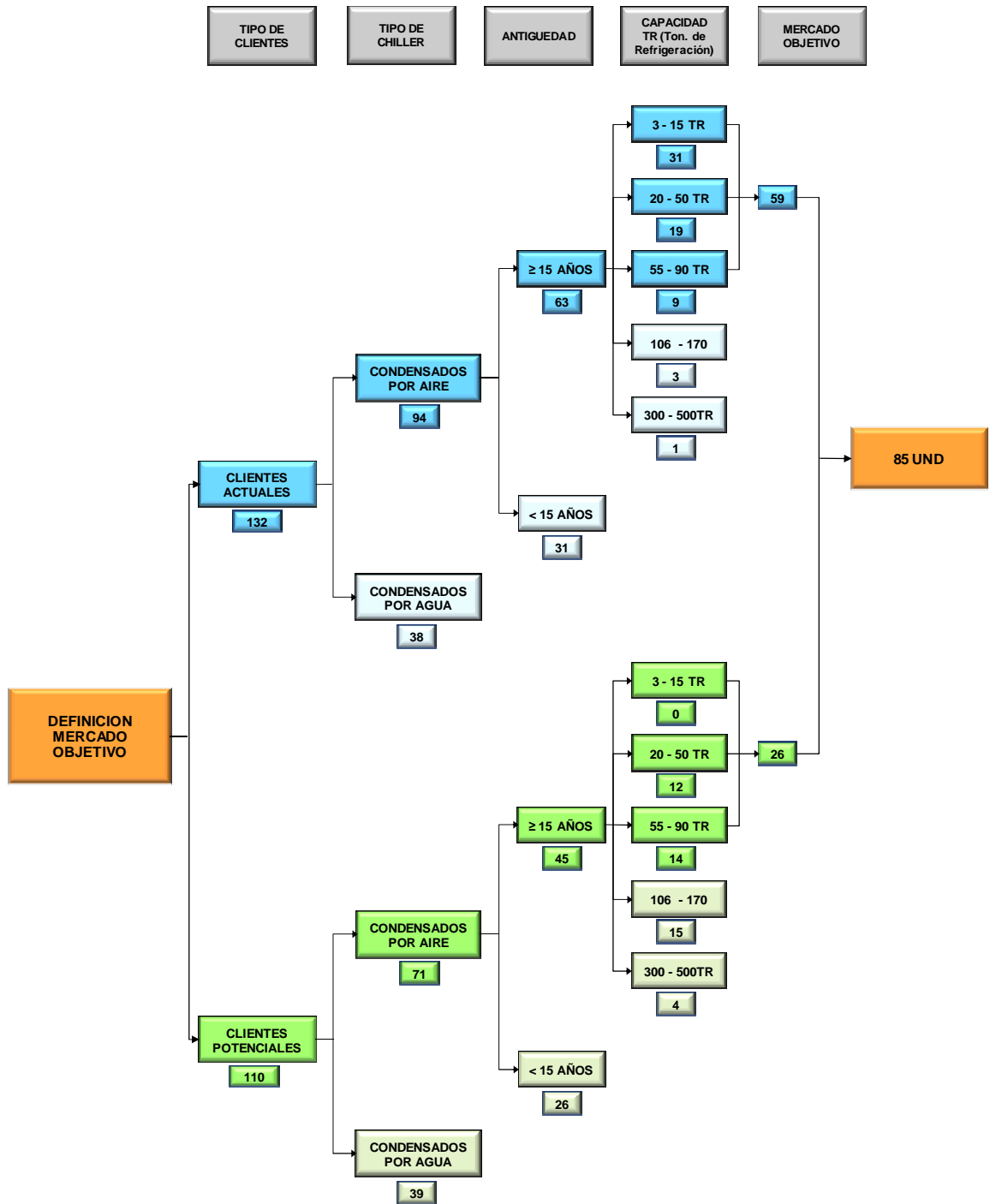
Figura 3. Diagrama segmentación demanda



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

Adicionalmente la Figura 4 presenta el resumen gráfico del proceso de definición del mercado objetivo, el cual es la base de demanda para todos los análisis del modelo que se planteará en el Capítulo 8.

Figura 4. Diagrama del proceso de definición del mercado objetivo



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

La Figura 4 muestra por la parte superior todo el proceso de segmentación del mercado de clientes actuales enunciando debajo de cada recuadro la cantidad agregada de chillers que clasificarían bajo las condiciones planteadas, resaltando en azul la ruta que condujo al resultado final de un objetivo de 59 chillers. Igualmente por la parte inferior se tratan los clientes potenciales, dando el resultado, a través de la ruta en color verde, de 26 chillers; todo esto para obtener el consolidado final de demanda estimada equivalente a 85 chillers, que será la base de análisis para el modelo que se desarrollará.

## 7.7 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA DEMANDA

Una vez definida la demanda se procedió con la localización de los clientes a nivel nacional a quienes se les deberá prestar los servicios de mantenimiento preventivo y para los cuales será diseñado el modelo.

En la Tabla 13 se presenta la cantidad de equipos a atender, su ubicación geográfica y el rango de capacidad.

Tabla 13. Estimación de demanda por ciudad

CIUDADES	MERCADO OBJETIVO No. DE EQUIPOS (UND)	RANGOS EN TR (Toneladas de Refrigeración)		
		3TR - 15TR	20TR- 50TR	55TR - 90TR
CALOTO (CAL)	16	11	4	1
CALI (CLO)	14	5	5	4
BOGOTA (BOG)	12	3	3	6
B/QUILLA (BAR)	8	7		1
VILLAVICENCIO (VLO)	7		7	
PTO TEJADA (PTO)	5		3	2
FLORIDABLANCA (FLO)	5	1	2	2
SANTANDER DE QUILICHAO (SDQ)	4		2	2
TOCANCIPÁ (TOC)	3		2	1
PALMIRA (PAL)	3		1	2
JAMUNDI (JAM)	2	2		
MANIZALES (MZL)	2	2		
SAN ANDRÉS (SAN)	1		1	
VILLETA (VIL)	1		1	
BUCARAMANGA (BUC)	1	1		
FUNZA (FUN)	1	1		
<b>TOTAL</b>	<b>85</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>21</b>

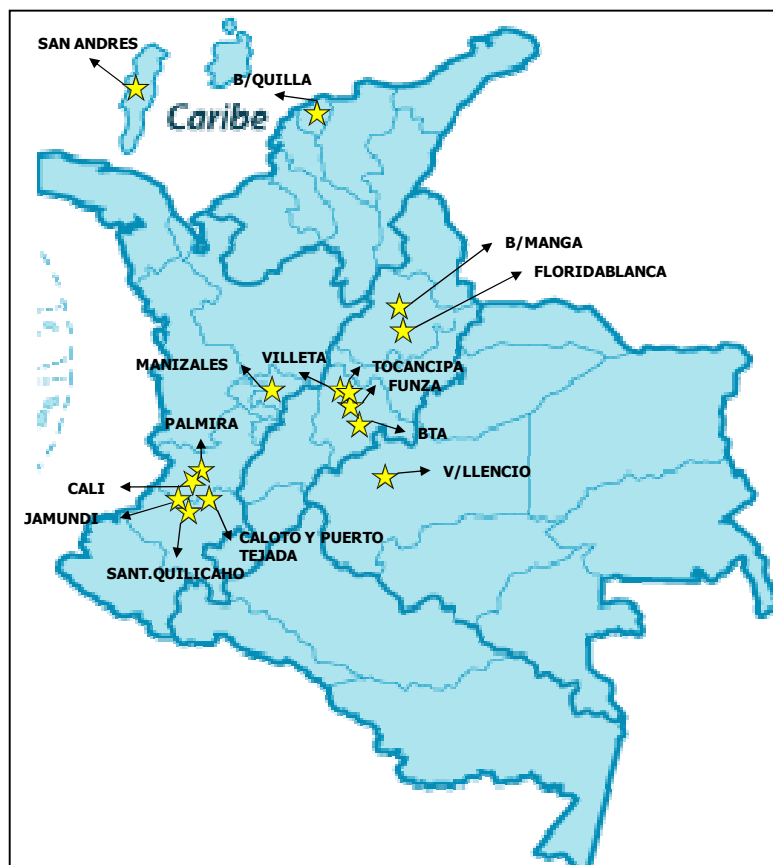
Bases de datos de clientes empresa XYZ

Como se observa en la Tabla 13 existe demanda de los 3 tipos de chillers según su capacidad de enfriamiento, la cual fue la última consideración realizada durante el proceso de estimación de la demanda, dicha división se ha adelantado gráficamente, aunque su razón tomará sentido en el Capítulo 8, puesto que la misma servirá para determinar costos de mano de obra y asignación de equipos de técnicos.

Además la Tabla 13 muestra las distintas ciudades donde se encuentra la demanda objetivo del estudio, a estas ciudades se les ha creado una abreviatura, la cual se encuentra entre paréntesis y que servirá de aquí en adelante para nombrar a dichas ciudades de forma que se facilite su escritura tanto en el modelo como en otros entornos de análisis.

En la Figura 5 se presenta gráficamente la localización geográfica de las ciudades en las cuales se segmentó la demanda objetivo.

Figura 5. Ubicación geográfica de la demanda



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

## **8 DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **8.1 MODELO DE OPTIMIZACION**

El modelo se enfoca en la asignación y localización de los centros de servicio para la nueva unidad de negocios renta de chiller de la empresa XYZ, el cual tendrá como objetivo principal la localización de un(os) centro(s) de servicios y la cantidad de personal requerido para la atención de los servicios asociados al alquiler de los chillers bajo los parámetros definidos. Las variables que se manejarán serán discretas buscando siempre optimizar el recurso respetando las consideraciones necesarias y establecidas por la empresa.

#### **8.1.1 Consideraciones**

El modelo que se explica en el presente capítulo corresponde a un modelo estratégico, que parte de una serie de consideraciones, las cuales, como ya se ha venido mencionando a lo largo del desarrollo de los anteriores capítulos, son definiciones de base aportadas por la empresa y que hayan soporte en diferentes procedimientos de servicio técnico y estructura operacional de la misma. Por este motivo deben ser tenidas en cuenta, a fin de que los resultados del modelo presenten una solución ajustada a la realidad de la compañía; aunque esto no niega la posibilidad de que a partir de las respuestas obtenidas se puedan hacer sugerencias de mejora que permitan una operación más eficiente para la unidad. Las consideraciones a tener en cuenta se enuncian a continuación:

- El modelo que se plantea es de carácter estratégico, el cual decidirá la localización y cantidad de equipos de técnicos necesarios para atender los posibles clientes y a su vez determinará costo total de la operación logística del servicio de mantenimiento preventivo para la nueva unidad de negocio, incluida la mano de obra, en un período de tiempo equivalente a un mes.
- El traslado de los chillers una vez sean alquilados, el canon, la instalación y la puesta en operación, están por fuera del análisis del proyecto, puesto que todo esto hace parte de la negociación entre la empresa y el cliente y cuyo valor está asociado a diferentes condiciones propias del proceso de negociación. Por tal motivo vale aclarar una vez más que el proyecto sólo se enfocará en la localización y asignación de la mano de obra requerida para atender los servicios de mantenimiento preventivo y los costos que dicha atención demanda.
- El número de centros de servicios estipulado para el modelo a diseñar es de máximo 3 centros, estos están ubicados cada uno en las ciudades donde la empresa cuenta con sedes propias actualmente, las cuales son Cali, Bogotá y



Barranquilla. Al tratarse de una unidad de negocio nueva, la empresa tomó la decisión de no incurrir en costos adicionales que supone abrir nuevos centros de servicio, por lo que hará uso de los existentes y los costos fijos de operación de los centros se continuarán asumiendo a través de las otras unidades de negocio que allí operan hasta tanto no se tenga una demanda y operación consolidada para la nueva unidad.

- Los traslados del personal para los servicios asociados al alquiler se llevarán a cabo mediante transporte terrestre, aéreo o la combinación de ambos dependiendo de la localización del centro(s) de servicio(s) y el cliente, los cuales han sido definidos previamente por la empresa teniendo en cuenta que para sus otras unidades de negocio, la misma presta servicios de mantenimiento, lo que la obliga a tratar de hacer un buen uso del recurso humano con que cuenta y cuidar el margen en cada negocio. Dicha asignación de medio de transporte está basada en la distancia entre el origen y el destino y la facilidad de acceso al punto de atención.

A continuación se presenta la Figura 6 que muestra el tipo de transporte definido para el traslado de los técnicos entre las ciudades de origen (centros de servicio) y destino.

Figura 6. Medio de transporte para traslado de personal técnico

MODO DE TRASLADO	TERRESTRE	AÉREO	MIXTO
CIUDADES DEMANDA	CLO	BOG	BAR
SDQ	TERRESTRE	MIXTO	MIXTO
JAM	TERRESTRE	MIXTO	MIXTO
CLO	TERRESTRE	AÉREO	AÉREO
PAL	TERRESTRE	AÉREO	AÉREO
VLO	MIXTO	TERRESTRE	MIXTO
BOG	AÉREO	TERRESTRE	AÉREO
VIL	MIXTO	TERRESTRE	MIXTO
FLO	MIXTO	MIXTO	MIXTO
BAR	AÉREO	AÉREO	TERRESTRE
MZL	TERRESTRE	AÉREO	AÉREO
CAL	TERRESTRE	MIXTO	MIXTO
PTO	TERRESTRE	MIXTO	MIXTO
TOC	MIXTO	TERRESTRE	MIXTO
SAN	AÉREO	AÉREO	AÉREO
BUC	AÉREO	AÉREO	AÉREO
FUN	MIXTO	TERRESTRE	MIXTO

Procedimiento de viáticos empresa XYZ

- Los servicios a prestar durante el tiempo en el cual se alquila el equipo considera mantenimientos preventivos mensuales, los cuales son el objeto de

estudio y análisis a través del modelo que se pretende plantear. Adicional a esto, existe un porcentaje de llamadas por emergencias al mes a las cuales el cliente tiene derecho contractualmente, sin embargo, dichas llamadas serán atendidas por el personal técnico que actualmente existe en cada uno de los centros de servicio y que tienen como responsabilidad la atención de mantenimientos correctivos, puesto que la operación logística de los mismos es diferente debido a que ante emergencias no se pueden realizar programaciones previas para su atención, los horarios que manejan dichos técnicos son diferentes y los insumos y repuestos que demandan también lo son para cada uno de los casos; por tal motivo la empresa ha decidido dejarlos bajo un dominio aparte.

- El alcance del modelo es a nivel nacional, por tanto no se consideran servicios internacionales. Se busca entonces la minimización de los costos asociados con la prestación del servicio de mantenimiento preventivo, que incluye la mano de obra calificada necesaria.

## **8.1.2 Notación**

### **8.1.2.1 Conjuntos e índices**

Los conjuntos utilizados son los siguientes:

**$I$  = Conjunto de Tipo de Chillers, indexados por (i).**

Definido en tres rangos pequeños, medianos y grandes, de acuerdo con la capacidad de toneladas de refrigeración (TR) de cada uno y por tanto se requieren equipos de técnicos con variación en el número de personas, información que se amplía en apartado del costo de mano de obra del presente capítulo.

A continuación se detalla la clasificación por rango de capacidad para facilidad de uso en el desarrollo del modelo, la cual incluye entre paréntesis la abreviatura asignada para cada uno:

- Pequeño (P): Chiller con capacidad de refrigeración entre 3 TR y 15 TR.
- Mediano (M): Chiller con capacidad de refrigeración entre 20 TR y 50 TR.
- Grande (G): Chiller con capacidad de refrigeración entre 55 TR y 90 TR.

**$J$  = Conjunto de Ciudades Demanda, indexadas a (j).**

Ciudades donde se encuentran concentrados los posibles clientes y fueron definidas a partir del análisis de la demanda indicado en el capítulo 7 del presente documento.

**$K$  = Conjunto de Centros de Servicio a abrir, indexadas a (k).**

Los centros de servicio definidos para este conjunto, como se dijo anteriormente, fueron una directriz de la empresa, considerando que actualmente esta cuenta con sedes propias en tres ciudades Cali (CLO), Bogotá (BOG) y Barranquilla (BAR) y por tanto no es necesario asumir costos fijos de administración.

Estos conjuntos son expresados como:

$$I = \{P, M, G\} \text{ Indexado a } i$$

$$J = \{SDQ, JAM, CLO, PAL, VLO, BOG, VIL, FLO, \} \\ \{BAR, MZL, CAL, PTO, TOC, SAN, BUC, FUN\} \text{ Indexado a } j$$

$$K = \{CLO, BOG, BAR\} \text{ Indexado a } k$$

### 8.1.2.2 Parámetros y variables

Los parámetros a utilizar son los siguientes:

$DEM_{ij}$  = Cantidad estimada de Chiller a atender tipo (i) en la ciudad demanda (j); [Unidades de chiller].

$CMO_i$  = Costo de Mano de Obra mensual por Equipo de Técnicos según tipo de Chiller (i) [\$].

$CO_{ijk}$  = Costos de Atención del Servicio para atender un Chiller Tipo (i) en la ciudad demanda (j) desde el centro de servicios (k); [\$/mes].

$TO_{ijk}$  = Tiempos de Operación para atender un Chiller Tipo (i) en la ciudad demanda (j) desde el centro de servicios (k); [Horas/mes].

$TDD$  = Tiempo máximo disponible en el mes para la atención de toda la demanda de servicios por cada equipo de técnicos; [Horas/mes].

Las variables de decisión quedan definidas de la siguiente manera:

$X_{ik}$  = Cantidad de equipos de técnicos requeridos para atender un Chiller tipo (i) desde el centro de servicio (k); [Equipos técnicos].

$Y_{ijk}$  = Número de servicios atendidos según Chiller tipo (i) en la ciudad demanda (j) desde el centro de servicio (k); [Servicios].

### 8.1.3 Formulación verbal del modelo

El objetivo del presente modelo es minimizar los costos de operación asociados a la atención del servicio de mantenimiento preventivo para chillers rentados incluida la mano de obra necesaria.

La función objetivo se define de la siguiente manera:

**Minimizar:** Costo de atención del servicio \* Numero de servicios atendidos + Costo de Mano de Obra \* Cantidad de Equipos de técnicos.

Las restricciones de la función objetivo son las siguientes:

- a. Restricción a la atención de la totalidad de la demanda.
- b. Restricción a la atención de la demanda de chillers grandes con periodicidad mensual
- c. Restricción a la atención de la demanda con periodicidad mensual.
- d. Restricción de no negatividad.

### 8.1.4 Desarrollo del modelo

El modelo que se plantea para la solución del problema en estudio contiene los siguientes componentes en su función objetivo y restricciones:

**Costo mano de obra:** Los costos de mano de obra se calculan como la cantidad de equipos de técnicos requeridos para atender los chillers tipo (i) desde el centro de servicios (k) multiplicado por el valor mensual de mano de obra según chiller tipo (i). De acuerdo a los parámetros expresados anteriormente los costos de mano de obra se pueden calcular como:

$$\sum_{ik} X_{ik} * CMO_i$$

**Costo de atención del servicio:** El costo total de atención se calcula como el número de servicios atendidos del chiller tipo (i) en la ciudad demanda (j) desde el

centro de servicios (k) multiplicado por el costo de operación de atender un chiller tipo (i) en la ciudad demanda (j) desde el centro de servicios (k). De acuerdo a los parámetros expresados anteriormente los costos de mano de obra se pueden calcular como:

$$\sum_{ijk} (Y_{ijk} * CO_{ijk})$$

Para lograr el objetivo, el presente modelo está sujeto a las restricciones expresadas a continuación:

**Atención de la totalidad de la demanda:** Se debe satisfacer la demanda del tipo de chiller (i) en la ciudad de demanda (j).

$$\sum_k Y_{ijk} \geq DEM_{ij} \quad \forall i, j$$

**Atención de la demanda de chillers grandes con periodicidad mensual:** Se debe atender la totalidad de la demanda de chillers grandes haciendo uso de equipos de técnicos para chillers grandes, es decir conformado por tres personas, en un periodo correspondiente a un mes hábil.

$$\sum_j (Y_{ijk} * TO_{ijk}) \leq (TDD * X_{ik}) \quad \forall i = G, k$$

**Atención de la demanda con periodicidad mensual:** Se debe atender la totalidad de la demanda de acuerdo a la frecuencia establecida para mantenimientos preventivos, correspondiente a un mes hábil.

$$\sum_{ij} (Y_{ijk} * TO_{ijk}) \leq \left( TDD * \sum_i X_{ik} \right) \quad \forall k$$

**No negatividad:** Las variables de flujo del modelo deben ser mayor o igual a cero; es decir la cantidad de equipos de técnicos requeridos para atender los chillers tipo (i) desde es el centro de servicios (k) y la cantidad de servicios atendidos del tipo de Chiller (i) en la ciudad demanda (j) desde el centro de servicios (k) siempre serán positivas.

$$X_{ik} Y_{ijk} \geq 0$$

### 8.1.5 Análisis de datos

Teniendo en cuenta los parámetros que requiere el modelo a continuación se procederá a hacer el análisis y justificación de los valores obtenidos para estos.

Los valores de los datos obtenidos para la función objetivo se expresan a continuación:

#### 8.1.5.1 Costo mano de obra

$$\sum_{ik} X_{ik} * CMO_i$$

$CMO_i$  = El Costo de Mano de Obra fue suministrado por la empresa considerando el salario actual con el cual es remunerado un técnico con el perfil requerido para realizar este tipo de servicio, sumado a los aportes parafiscales adicionales que debe hacer la empresa. Este parámetro considera un costo total de mano de obra mensual por técnico equivalente a \$ 2.400.000, el cual se multiplica por la cantidad de técnicos requeridos según el tipo de chiller (i).

La Tabla 14 muestra la composición requerida en número de personas para cada uno de los equipos de técnicos que están asociados a los tres tipos de chiller que se enunciaron en la sección 8.1.2, de ella se puede deducir que los equipos de técnicos para chillers grandes pueden atender servicios de mantenimiento preventivo para cualquier tipo de chiller, mientras que los equipos de técnicos de chiller pequeños y medianos no pueden atender servicios de chiller grandes debido a la falta de una persona que es condición necesaria para dicha operación. Producto de esto fue necesario crear la restricción “atención de la demanda de chillers grandes con periodicidad mensual”, la cual garantiza que para dicho tipo de chiller solo sea posible asignar un equipo de técnicos de la misma naturaleza.

Tabla 14. Cantidad de técnicos requeridos por tipo de chiller

	PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)
CARACTERISTICAS	TON 3-15	TON 20-50	TON 55-90
NºTECNICOS	2	2	3

Manual de operaciones empresa XYZ

La Tabla 15 muestra el costo de mano de obra asociado a cada uno de los tipos de equipos de técnicos que se requieren para atender los servicios de mantenimiento preventivo de chillers tipo (i) rentados. Dicho valor total es el que se incluirá en los datos del parámetro  $CMO_i$  y con el cual el modelo hará los cálculos correspondientes, es decir que el modelo nunca trabajará con número de técnicos sino con número de equipos de técnicos.

Tabla 15. Costos de mano de obra requeridos por tipo de chiller

	PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)
NIVEL TECNICO	TON 3-15	TON 20-50	TON 55-90
Técnico I	\$ 2,400,000	\$ 2,400,000	\$ 2,400,000
Técnico II	\$ 2,400,000	\$ 2,400,000	\$ 2,400,000
Técnico III	-	-	\$ 2,400,000
<b>COSTO DE EQUIPO DE TÉCNICOS / MES</b>	<b>\$ 4,800,000</b>	<b>\$ 4,800,000</b>	<b>\$ 7,200,000</b>

Tabla salarial empresa XYZ

### 8.1.5.2 Costo de atención del servicio

$$\sum_{ijk} (Y_{ijk} * CO_{ijk})$$

$CO_{ijk}$  = El costo de atención del servicio se definió como la sumatoria de los diferentes costos asociados presentados a continuación.

**Costo de Desplazamiento:** Valor asociado a los traslados entre centros de servicios tipo (i) y las ciudades demanda tipo (j), determinado a partir de las páginas web de la aerolínea Avianca, la terminal de transporte de Bogotá y las diferentes empresas de transporte terrestre de Cali y Barranquilla. A continuación se presenta la tabla resumen de dichos datos, la cual incluye además el auxilio de alimentación que se explica con más detalle en el apartado siguiente:

Tabla 16. Costos de desplazamiento equipos técnicos más auxilio alimentación

CIUDADES DEMANDA	CALI (CLO)	BOGOTA (BOG)	BARRANQUILLA (BAR)
SANTANDER QUI. (SDQ)	\$ 27,000	\$ 481,000	\$ 611,000
JAMUNDI (JAM)	\$ 21,000	\$ 475,000	\$ 605,000
CALI (CLO)	\$ 9,000	\$ 468,000	\$ 598,000
PALMIRA (PAL)	\$ 19,000	\$ 473,000	\$ 603,000
VILLAVICENCIO (VLO)	\$ 518,000	\$ 64,000	\$ 634,000
BOGOTA (BOG)	\$ 468,000	\$ 9,000	\$ 584,000
VILLETA (VIL)	\$ 502,000	\$ 48,000	\$ 618,000
FLORIDABLANCA (FLO)	\$ 687,000	\$ 455,000	\$ 637,000
BARRANQUILLA (BAR)	\$ 598,000	\$ 584,000	\$ 9,000
MANIZALES (MZL)	\$ 114,000	\$ 404,000	\$ 664,000
CALOTO (CAL)	\$ 19,000	\$ 478,000	\$ 608,000
PUERTO TEJADA (PTO)	\$ 19,000	\$ 478,000	\$ 608,000
TOCANCIPA (TOC)	\$ 488,000	\$ 34,000	\$ 604,000
SAN ANDRES (SAN)	\$ 774,000	\$ 734,000	\$ 754,000
BUCARAMANGA (BUC)	\$ 664,000	\$ 432,000	\$ 614,000
FUNZA (FUN)	\$ 502,000	\$ 48,000	\$ 618,000

Aerolíneas y terminales de transportes nacionales

**Costo de Alimentación:** Valor estándar establecido por la empresa para la alimentación diaria de los técnicos, equivalente a \$ 4.000 (auxilio de alimentación) si el tiempo de operación es menor a doce (12) horas/día (este valor ya está incluido en la Tabla 16 debido a que todo servicio de mantenimiento preventivo tiene al menos este valor para alimentación), pero si es mayor o igual a las doce (12) horas a este valor se le suma \$ 16.000.

**Costo de Hospedaje:** Valor estándar establecido por la empresa para el hospedaje de los técnicos, equivalente a \$ 80.000 diarios; este costo se suma solo si el tiempo de operación es mayor o igual a dieciséis (16) horas.

**Costo de Traslado Urbano:** Valor estándar establecido por la empresa para el traslado urbano, equivalente a \$ 10.000 diarios; este costo se suma si el tiempo de operación es mayor o igual a dieciséis (16) horas.

Al fin de evitar que los costos de alimentación, hospedaje y traslado urbano generaran restricciones al modelo de carácter no lineal, se realizó un proceso dispendioso de asignación de dichos costos de acuerdo al tiempo total de operación, dicho tiempo se explica con detalle en la sección 8.1.5.4; de manera que el valor asignado a cada posible servicio sea el determinado por dicho tiempo.

**Costo de Insumos:** Valor establecido por la empresa para los insumos requeridos durante la prestación del servicio según tipo de Chiller (i); A continuación se presenta en la Tabla 17 el resumen de dichos datos:

Tabla 17. Costos de insumos por tipo de chiller

	PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)
INSUMOS / MTTO-EQUIPO	TON 3-15	TON 20-50	TON 55-90
Jabón	\$ 5,000	\$ 7,500	\$ 10,000
Acido	\$ 3,000	\$ 4,500	\$ 6,000
Otros	\$ 15,000	\$ 15,000	\$ 15,000
<b>VALOR TOTAL INSUMOS POR RANGO</b>	<b>\$ 23,000</b>	<b>\$ 27,000</b>	<b>\$ 31,000</b>

Valor en inventario empresa XYZ

**Costo de Repuestos Preventivos:** Valor establecido por la empresa para los repuestos requeridos durante la prestación del servicio y que deben ser reemplazados de manera preventiva bajo una frecuencia de cambio establecida por la empresa y según tipo de Chiller (i); A continuación se presenta en la Tabla 18 el resumen de dichos datos:



Tabla 18. Costos de repuestos preventivos

REPUESTOS	ORIGEN	CAMBIO EN No.MESES	VALORES POR UND	CANTIDADES POR RANGOS			VALORES POR RANGOS		
				PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)	PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)
				TON 3 - 15	TON 20 - 50	TON 55 - 90	TON 3 - 15	TON 20 - 50	TON 55 - 90
Rodamientos (Und)	NACIONAL	12	\$ 56,057	4	8	12	\$ 18,686	\$ 37,372	\$ 56,057
Sensores de temperatura (Und)	NACIONAL	12	\$ 81,000	2	4	4	\$ 13,500	\$ 27,000	\$ 27,000
Transducer (Und)	NACIONAL	12	\$ 566,667	0	0	8	\$ -	\$ -	\$ 377,778
Controles de presión (Und)	NACIONAL	12	\$ 44,733	2	4	6	\$ 7,456	\$ 14,911	\$ 22,367
Temporizadores (Und)	NACIONAL	6	\$ 120,000	1	2	3	\$ 20,000	\$ 40,000	\$ 60,000
Contactores (Und)	NACIONAL	12	\$ 100,000	1	2	4	\$ 8,333	\$ 16,667	\$ 33,333
Relevos (Und)	NACIONAL	12	\$ 71,667	2	4	4	\$ 11,944	\$ 23,889	\$ 23,889
Terminales (Und)	NACIONAL	6	\$ 350	15	50	50	\$ 874	\$ 2,914	\$ 2,914
Aceite (Galones)	NACIONAL	6	\$ 128,333	0	10	10	\$ -	\$ 213,889	\$ 213,889
Filtros secadores (Und)	NACIONAL	6	\$ 19,400	1	2	2	\$ 3,233	\$ 6,467	\$ 6,467
Filtros internos y externos de aceite (Und)	IMPORTADO	6	\$ 340,000	0	0	2	\$ -	\$ -	\$ 113,333
Switche de flujo (Und)	NACIONAL	12	\$ 157,000	1	1	1	\$ 13,083	\$ 13,083	\$ 13,083
Termómetros (Und)	NACIONAL	6	\$ 86,667	2	2	2	\$ 28,889	\$ 28,889	\$ 28,889
Manómetros (Und)	NACIONAL	6	\$ 180,000	2	2	2	\$ 60,000	\$ 60,000	\$ 60,000
Control de Seguridad (Und)	NACIONAL	12	\$ 97,750	1	1	1	\$ 8,146	\$ 8,146	\$ 8,146
<b>TOTAL</b>							<b>\$ 194,145</b>	<b>\$ 493,226</b>	<b>\$ 1,047,145</b>

Valor en inventario empresa XYZ

### 8.1.5.3 Demanda estimada

$DEM_{ij}$  = La demanda fue estimada de acuerdo a las consideraciones y orden secuencial indicado en el Capítulo 7.

### 8.1.5.4 Tiempos de operación

$TO_{ijk}$  = Los tiempos de operación se definieron como la sumatoria de los tiempos de mantenimiento y traslado.

**Tiempos de Mantenimiento:** Tiempo establecido por la empresa para la ejecución de un servicio de mantenimiento, el cual considera el tamaño del chiller. A continuación se presenta la Tabla 19 que resume dichos datos:

Tabla 19. Tiempos de mantenimiento preventivo por tipo de chiller

CARACTERISTICAS	PEQUEÑO (P)	MEDIANO (M)	GRANDE (G)
	TON 3-15	TON 20-50	TON 55-90
HORAS	4.5	8	8

Manual de operaciones empresa XYZ

**Tiempos de Traslado:** Tiempo en horas que toma el desplazamiento del equipo de técnicos desde el centro de servicios (k) a la ciudad demanda (j) ya sea por vía terrestre, aérea o la combinación de ambas, dependiendo de las distancias entre el punto de origen y destino y la facilidad de acceso. Esto ya se aclaró en la sección 8.1.1 y se mostró de forma gráfica en la Figura 6. Dichos tiempos fueron determinados a partir de las páginas web de la aerolínea Avianca, la terminal de transporte de Bogotá y las diferentes empresas de transporte terrestre de Cali y Barranquilla.

Adicional a lo anterior, se consideró un tiempo de traslado al interior de las distintas localidades que depende del tamaño de la misma; para el caso de Bogotá se consideró 4 horas, para otras ciudades capitales se consideró 2 horas y para el resto de las poblaciones se consideró 1 hora.

A continuación se presenta la Tabla 20 que consolida los datos de tiempo de traslado según las definiciones dadas:

Tabla 20. Tiempos de traslado a ciudad demanda

CIUDADES DEMANDA	CALI (CLO)	BOGOTA (BOG)	BARRANQUILLA (BAR)
SANTANDER QUI. (SDQ)	2	9	8
JAMUNDI (JAM)	1	8	7
CALI (CLO)	2	5	6
PALMIRA (PAL)	2	7	6
VILLAVICENCIO (VLO)	10	6	10
BOGOTA (BOG)	5	4	4
VILLETA (VIL)	10	5	11
FLORIDABLANCA (FLO)	9	5	6
BARRANQUILLA (BAR)	6	4	2
MANIZALES (MZL)	9	3	5
CALOTO (CAL)	2	8	8
PUERTO TEJADA (PTO)	2	8	8
TOCANCIPA (TOC)	9	3	7
SAN ANDRES (SAN)	6	4	10
BUCARAMANGA (BUC)	8	4	6
FUNZA (FUN)	9	2	7

Aerolíneas y terminales de transportes nacionales

### 8.1.5.5 Tiempo máximo disponible para la atención de la demanda

*TDD* = Tiempo máximo disponible en el mes para la atención de toda la demanda de servicios. Parámetro que indica que todos los equipos deberán ser atendidos en un periodo equivalente a un mes hábil, es decir 276 horas, considerando que el equipo de técnicos tiene un límite en las horas de operación al día (mantenimiento más traslado), equivalente a 12 horas y 23 días hábiles al mes.

Una vez definidos con detalle cada uno de los parámetros que posee el modelo que se plantea en este proyecto, se ha llevado a cabo por los autores un proceso a partir de la suma de los Tiempos de Mantenimiento y los Tiempos de Traslado dando como resultado la Tabla 21, la cual contiene los Tiempos de Operación. Estos datos se incluyen en el modelo, los mismos dependen de la capacidad del chiller y son una de las entradas para que el modelo pueda dar cumplimiento a las restricciones planteadas.

Tabla 21. Tiempos de operación

CIUDADES DEMANDA	CAPACIDAD	CENTRO DE SERVICIO		
		CALI (CLO)	BOGOTA (BOG)	BARRANQUILLA (BAR)
SANTANDER QUI. (SDQ)	TON 3-15 (P)	6,5	13,5	12,5
	TON 20-50 (M)	10	17	16
	TON 55-90 (G)	10	17	16
JAMUNDI (JAM)	TON 3-15 (P)	5,5	12,5	11,5
	TON 20-50 (M)	9	16	15
	TON 55-90 (G)	9	16	15
CALI (CLO)	TON 3-15 (P)	6,5	9,5	10,5
	TON 20-50 (M)	10	13	14
	TON 55-90 (G)	10	13	14
PALMIRA (PAL)	TON 3-15 (P)	6,5	11,5	10,5
	TON 20-50 (M)	10	15	14
	TON 55-90 (G)	10	15	14
VILLAVICENCIO (VLO)	TON 3-15 (P)	14,5	10,5	14,5
	TON 20-50 (M)	18	14	18
	TON 55-90 (G)	18	14	18
BOGOTA (BOG)	TON 3-15 (P)	9,5	8,5	8,5
	TON 20-50 (M)	13	12	12
	TON 55-90 (G)	13	12	12
VILLETA (VIL)	TON 3-15 (P)	14,5	9,5	15,5
	TON 20-50 (M)	18	13	19
	TON 55-90 (G)	18	13	19
FLORIDABLANCA (FLO)	TON 3-15 (P)	13,5	9,5	10,5
	TON 20-50 (M)	17	13	14
	TON 55-90 (G)	17	13	14
BARRANQUILLA (BAR)	TON 3-15 (P)	10,5	8,5	6,5
	TON 20-50 (M)	14	12	10
	TON 55-90 (G)	14	12	10
MANIZALES (MZL)	TON 3-15 (P)	13,5	7,5	9,5
	TON 20-50 (M)	17	11	13
	TON 55-90 (G)	17	11	13
CALOTO (CAL)	TON 3-15 (P)	6,5	12,5	12,5
	TON 20-50 (M)	10	16	16
	TON 55-90 (G)	10	16	16
PUERTO TEJADA (PTO)	TON 3-15 (P)	6,5	12,5	12,5
	TON 20-50 (M)	10	16	16
	TON 55-90 (G)	10	16	16
TOCANCIPA (TOC)	TON 3-15 (P)	13,5	7,5	11,5
	TON 20-50 (M)	17	11	15
	TON 55-90 (G)	17	11	15
SAN ANDRES (SAN)	TON 3-15 (P)	10,5	8,5	14,5
	TON 20-50 (M)	14	12	18
	TON 55-90 (G)	14	12	18
BUCARAMANGA (BUC)	TON 3-15 (P)	12,5	8,5	10,5
	TON 20-50 (M)	16	12	14
	TON 55-90 (G)	16	12	14
FUNZA (FUN)	TON 3-15 (P)	13,5	6,5	11,5
	TON 20-50 (M)	17	10	15
	TON 55-90 (G)	17	10	15

María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

De igual manera la Tabla 22 surge a partir de la suma de los Costos de Atención del Servicio, que no es más que la suma de los Costos de Desplazamiento, Alimentación, Hospedaje, Traslado urbano, Insumos y Repuestos Preventivos; para los cuales la decisión de sumarlos o no depende de la capacidad del chiller y de los Tiempos de Operación observados en la Tabla 21, ya que algunos de estos costos, como se explicó en el apartado 8.1.5.2., dependen de dicho tiempo; por tal motivo los autores de este proyecto se dieron a la tarea de hacer dicho análisis y consolidarlo, de manera que esta información sea otra de las entradas de datos para la ejecución del modelo y la posterior solución dada por el mismo.

Tabla 22. Costo de atención del servicio

CIUDADES DEMANDA	CAPACIDAD	CENTRO DE SERVICIO		
		CALI (CLO)	BOGOTA (BOG)	BARRANQUILLA (BAR)
SANTANDER QUI. (SDQ)	TON 3-15 (P)	\$ 271,145	\$ 1,211,145	\$ 1,471,145
	TON 20-50 (M)	\$ 574,226	\$ 1,694,226	\$ 1,954,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,159,145	\$ 2,839,145	\$ 3,229,145
JAMUNDI (JAM)	TON 3-15 (P)	\$ 259,145	\$ 1,199,145	\$ 1,427,145
	TON 20-50 (M)	\$ 562,226	\$ 1,682,226	\$ 1,762,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,141,145	\$ 2,821,145	\$ 2,941,145
CALI (CLO)	TON 3-15 (P)	\$ 235,145	\$ 1,153,145	\$ 1,413,145
	TON 20-50 (M)	\$ 538,226	\$ 1,488,226	\$ 1,748,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,105,145	\$ 2,530,145	\$ 2,920,145
PALMIRA (PAL)	TON 3-15 (P)	\$ 255,145	\$ 1,163,145	\$ 1,423,145
	TON 20-50 (M)	\$ 558,226	\$ 1,498,226	\$ 1,758,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,135,145	\$ 2,545,145	\$ 2,935,145
VILLAVICENCIO (VLO)	TON 3-15 (P)	\$ 1,285,145	\$ 345,145	\$ 1,517,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,768,226	\$ 680,226	\$ 2,000,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,950,145	\$ 1,318,145	\$ 3,298,145
BOGOTA (BOG)	TON 3-15 (P)	\$ 1,153,145	\$ 235,145	\$ 1,385,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,488,226	\$ 570,226	\$ 1,720,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,530,145	\$ 1,153,145	\$ 2,878,145
VILLETA (VIL)	TON 3-15 (P)	\$ 1,253,145	\$ 313,145	\$ 1,485,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,736,226	\$ 648,226	\$ 1,968,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,902,145	\$ 1,270,145	\$ 3,250,145
FLORIDABLANCA (FLO)	TON 3-15 (P)	\$ 1,623,145	\$ 1,127,145	\$ 1,491,145
	TON 20-50 (M)	\$ 2,106,226	\$ 1,462,226	\$ 1,826,226
	TON 55-90 (G)	\$ 3,457,145	\$ 2,491,145	\$ 3,037,145
BARRANQUILLA (BAR)	TON 3-15 (P)	\$ 1,413,145	\$ 1,385,145	\$ 235,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,748,226	\$ 1,720,226	\$ 538,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,920,145	\$ 2,878,145	\$ 1,105,145
MANIZALES (MZL)	TON 3-15 (P)	\$ 477,145	\$ 1,025,145	\$ 1,545,145
	TON 20-50 (M)	\$ 960,226	\$ 1,328,226	\$ 1,880,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,738,145	\$ 2,290,145	\$ 3,118,145
CALOTO (CAL)	TON 3-15 (P)	\$ 255,145	\$ 1,205,145	\$ 1,465,145
	TON 20-50 (M)	\$ 558,226	\$ 1,688,226	\$ 1,948,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,135,145	\$ 2,830,145	\$ 3,220,145
PUERTO TEJADA (PTO)	TON 3-15 (P)	\$ 255,145	\$ 1,205,145	\$ 1,465,145
	TON 20-50 (M)	\$ 558,226	\$ 1,688,226	\$ 1,948,226
	TON 55-90 (G)	\$ 1,135,145	\$ 2,830,145	\$ 3,220,145
TOCANCIPA (TOC)	TON 3-15 (P)	\$ 1,225,145	\$ 285,145	\$ 1,425,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,708,226	\$ 588,226	\$ 1,760,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,860,145	\$ 1,180,145	\$ 2,938,145
SAN ANDRES (SAN)	TON 3-15 (P)	\$ 1,765,145	\$ 1,685,145	\$ 1,757,145
	TON 20-50 (M)	\$ 2,100,226	\$ 2,020,226	\$ 2,240,226
	TON 55-90 (G)	\$ 3,448,145	\$ 3,328,145	\$ 3,658,145
BUCARAMANGA (BUC)	TON 3-15 (P)	\$ 1,577,145	\$ 1,081,145	\$ 1,445,145
	TON 20-50 (M)	\$ 2,060,226	\$ 1,416,226	\$ 1,780,226
	TON 55-90 (G)	\$ 3,388,145	\$ 2,422,145	\$ 2,968,145
FUNZA (FUN)	TON 3-15 (P)	\$ 1,253,145	\$ 313,145	\$ 1,453,145
	TON 20-50 (M)	\$ 1,736,226	\$ 616,226	\$ 1,788,226
	TON 55-90 (G)	\$ 2,902,145	\$ 1,222,145	\$ 2,980,145

María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

### 8.1.6 Formulación matemática

Después de considerar y analizar los valores necesarios para el desarrollo del modelo se procede a la formulación de este el cual se presenta a continuación:

La función objetivo queda definida de la siguiente manera:

Minimizar:

$$\sum_{ik} (X_{ik} * CMO_i) + \sum_{ijk} (Y_{ijk} * CO_{ijk})$$

Las restricciones para esta función son las siguientes:

$$\sum_k Y_{ijk} \geq DEM_{ij} \quad \forall i, j \quad (\text{Atención de la demanda})$$

$$\sum_j (Y_{ijk} * TO_{ijk}) \leq TDD * X_{ik} \quad \forall i = G, k \quad (\text{Atención de la demanda de chiller grandes con periodicidad mensual})$$

$$\sum_{ij} (Y_{ijk} * TO_{ijk}) \leq TDD * \sum_i X_{ik} \quad \forall k \quad (\text{Atención de la demanda con periodicidad mensual})$$

$$X_{ik}, Y_{ijk} \geq 0 \quad (\text{No negatividad})$$

### 8.1.7 Solución del modelo

De acuerdo al modelo expuesto anteriormente, a los datos analizados y a las consideraciones hechas para el sistema de localización y asignación de los equipos de técnicos necesarios para el servicio de mantenimiento preventivo, y que es fuente de estudio en la presente investigación, se ha desarrollado un proceso de solución para las variables de interés. Este proceso involucra la solución en un Solver<sup>52</sup> denominado CPLEX que utiliza el lenguaje AMPL para describir los modelos, posteriormente se valida la solución mediante una hoja de cálculo.

#### 8.1.7.1 Construcción y sintaxis del modelo en AMPL

Para la solución del modelo se ha recurrido al lenguaje denominado AMPL. Este lenguaje se compone de un modelo, datos y comandos de solución. Se ha recurrido a este lenguaje por la flexibilidad que él tiene para modelar problemas que cuenten con un gran número de variables y restricciones la sintaxis se encuentra en los ANEXOS.

---

<sup>52</sup> <http://www-neos.mcs.anl.gov/>

## 9 RESULTADOS Y ANALISIS

### 9.1 RESULTADOS DEL MODELO

Los resultados arrojados por el programa AMPL se muestran a continuación. La diagramación presentada es igual a la que muestra el software utilizado.

#### RESULTADOS DEL MODELO DE ASIGNACIÓN Y LOCALIZACIÓN PARA LA NUEVA UNIDAD DE NEGOCIO RENTA DE CHILLER

COSTO DE OPERACIÓN MENSUAL: \$ 90.943.836

**X: CANTIDAD DE EQUIPOS DE TÉCNICOS REQUERIDOS PARA ATENDER UN CHILLER TIPO (I) DESDE EL CENTRO DE SERVICIO (K).**

X:=

G	BAR	1
G	BOG	1
G	CLO	1
M	BAR	0
M	BOG	0
M	CLO	0
P	BAR	0
P	BOG	0
P	CLO	1

**Y: NÚMERO DE SERVICIOS ATENDIDOS SEGÚN CHILLER TIPO (I) EN LA CIUDAD DEMANDA (J) DESDE EL CENTRO DE SERVICIO (K)**

Y [G,\*,\*]

	BAR	BOG	CLO	:=
BAR	1	0	0	
BOG	0	6	0	
BUC	0	0	0	
CAL	0	0	1	
CLO	0	0	4	
FLO	2	0	0	
FUN	0	0	0	
JAM	0	0	0	
MZL	0	0	2	
PAL	0	0	2	
PTO	0	0	2	

SAN	0	0	0
SDQ	0	0	2
TOC	0	1	0
VIL	0	0	0
VLO	0	0	0

[M,\*,\*]

	BAR	BOG	CLO	:=
BAR	0	0	0	
BOG	0	2	1	
BUC	0	0	0	
CAL	0	0	4	
CLO	0	0	5	
FLO	2	0	0	
FUN	0	0	0	
JAM	0	0	0	
MZL	0	0	0	
PAL	0	0	1	
PTO	0	0	3	
SAN	0	0	1	
SDQ	0	0	2	
TOC	0	2	0	
VIL	0	1	0	
VLO	0	7	0	

[P,\*,\*]

	BAR	BOG	CLO	:=
BAR	7	0	0	
BOG	0	3	0	
BUC	1	0	0	
CAL	0	0	11	
CLO	0	0	5	
FLO	1	0	0	
FUN	0	1	0	
JAM	0	0	2	
MZL	0	0	0	
PAL	0	0	0	
PTO	0	0	0	
SAN	0	0	0	
SDQ	0	0	0	
TOC	0	0	0	
VIL	0	0	0	
VLO	0	0	0	

### **9.1.1 Análisis de los resultados.**

La solución anterior indica que cada centro de servicio tendrá al menos un equipo de técnicos para atender las diferentes ciudades de demanda en las cuales la unidad de negocio renta de chillers tendrá operación.

Se debe asignar un equipo de técnicos con centro de servicio en Barranquilla, otro equipo con centro de servicio en Bogotá y otro con centro de servicio en Cali, dichos equipos deben tener la capacidad de atender chillers grandes, medianos y pequeños, es decir que cada equipo estará conformado por tres personas. Adicional a lo anterior la solución también indica que se debe asignar otro equipo de técnicos con centro de servicio en Cali pero este con capacidad para atender solo chillers medianos o pequeños, es decir que estará conformado por dos personas. En conclusión, la nueva unidad de negocio Renta de Chillers contará en total con un grupo humano de 11 personas a nivel nacional, las cuales tendrán la capacidad de atender los 85 servicios de mantenimiento preventivo en un periodo de tiempo no mayor a un mes calendario.

La operación de la unidad de negocio desde el punto de vista logístico o de atención de los servicios de mantenimiento preventivo tendrá un costo total de \$ 90.943.836 por cada mes.

El número de servicios de mantenimiento preventivo para chillers grandes, atendidos por cada equipo de técnicos y las ciudades en las cuales se ubican los chillers que serán intervenidos se presentan en la Tabla 23.

La Tabla 23 muestra como desde el centro de servicios de Barranquilla serán atendidos los chillers ubicados en las ciudades de Barranquilla y Floridablanca. Por su parte, desde la ciudad de Bogotá se atenderán los servicios de mantenimiento preventivo de las poblaciones de Bogotá y Tocancipá; mientras tanto, desde Cali, se atenderán los servicios de Caloto, Cali, Manizales, Palmira, Puerto Tejada y Santander de Quilichao. En total serán atendidos 23 chillers grandes.



Tabla 23. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers grandes

CHILLERS GRANDES			
CIUDAD DEMANDA	CENTROS DE SERVICIO		
	BAR	BOG	CLO
BAR	1	0	0
BOG	0	6	0
BUC	0	0	0
CAL	0	0	1
CLO	0	0	4
FLO	2	0	0
FUN	0	0	0
JAM	0	0	0
MZL	0	0	2
PAL	0	0	2
PTO	0	0	2
SAN	0	0	0
SDQ	0	0	2
TOC	0	1	0
VIL	0	0	0
VLO	0	0	0

Software AMPL

En la Tabla 24, se puede observar el número de servicios de mantenimiento preventivo para chillers medianos, atendidos por cada equipo de técnicos y las ciudades en las cuales se ubican los chillers que serán intervenidos.

De la Tabla 24 se puede deducir que desde la ciudad de Barranquilla serán atendidos los servicios de mantenimiento preventivo de la ciudad de Floridablanca. De igual manera, desde la ciudad de Bogotá serán atendidos los servicios en las ciudades de Bogotá, Tocancipá y Villavicencio. Finalmente, desde Cali se atenderán los chillers ubicados en las ciudades de Bogotá, Caloto, Cali; Palmira, Puerto Tejada, San Andrés y Santander de Quilichao. En conclusión, serán atendidos 31 chillers medianos a nivel nacional.

Igualmente, el ejercicio se repite con la Tabla 25, pero esta vez para los mantenimientos preventivos de chillers pequeños; la misma muestra que desde Barranquilla se atenderán los servicios de Barranquilla, Bucaramanga y Floridablanca, desde Bogotá serán atendidos los servicios en Bogotá y Funza y desde Cali se atenderán los servicios de mantenimiento preventivo de Caloto, Cali y Jamundí. En total serán 31 chillers pequeños los que recibirán la atención preventiva.

Tabla 24. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers medianos

<b>CHILLERS MEDIANOS</b>			
<b>CIUDAD DEMANDA</b>	<b>CENTROS DE SERVICIO</b>		
	<b>BAR</b>	<b>BOG</b>	<b>CLO</b>
BAR	0	0	0
BOG	0	2	1
BUC	0	0	0
CAL	0	0	4
CLO	0	0	5
FLO	2	0	0
FUN	0	0	0
JAM	0	0	0
MZL	0	0	0
PAL	0	0	1
PTO	0	0	3
SAN	0	0	1
SDQ	0	0	2
TOC	0	2	0
VIL	0	1	0
VLO	0	7	0

Software AMPL

Tabla 25. Distribución de demanda por centro de servicio para chillers pequeños

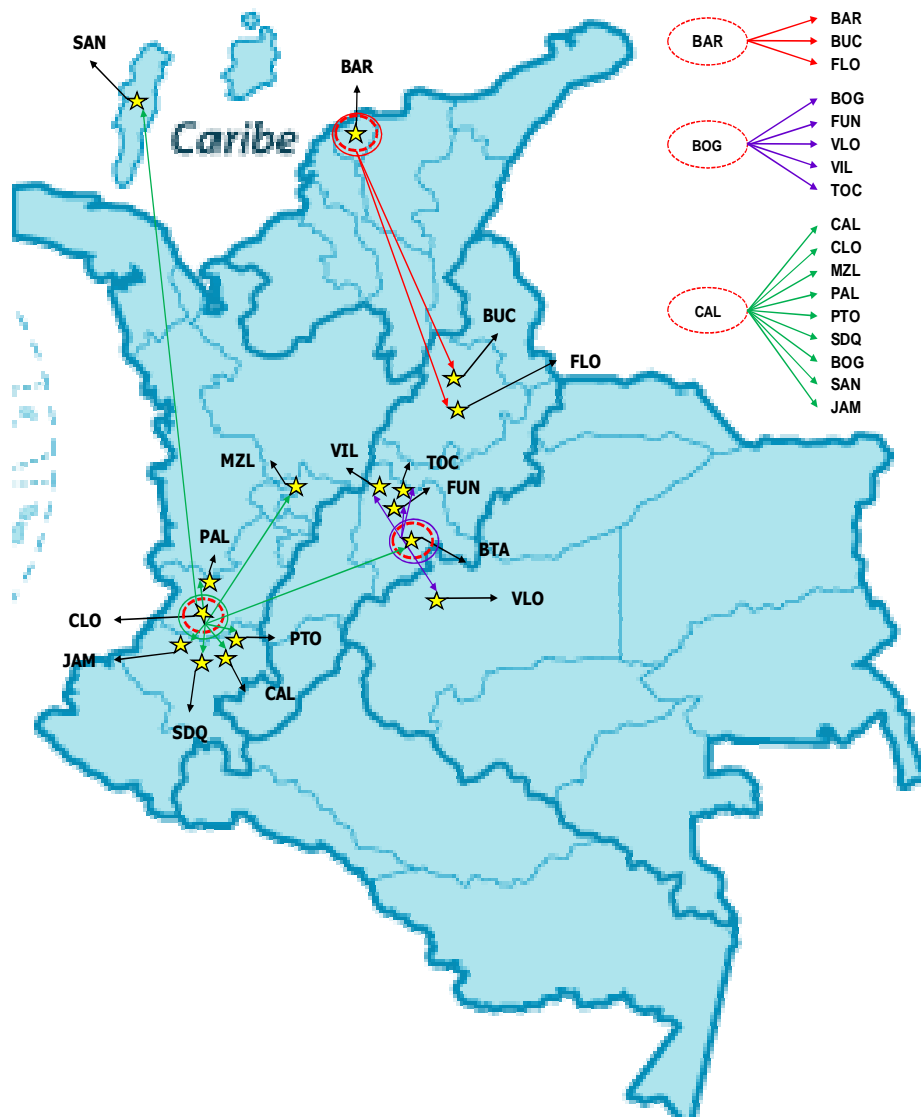
<b>CHILLERS PEQUEÑOS</b>			
<b>CIUDAD DEMANDA</b>	<b>CENTROS DE SERVICIO</b>		
	<b>BAR</b>	<b>BOG</b>	<b>CLO</b>
BAR	7	0	0
BOG	0	3	0
BUC	1	0	0
CAL	0	0	11
CLO	0	0	5
FLO	1	0	0
FUN	0	1	0
JAM	0	0	2
MZL	0	0	0
PAL	0	0	0
PTO	0	0	0
SAN	0	0	0
SDQ	0	0	0
TOC	0	0	0
VIL	0	0	0
VLO	0	0	0

Software AMPL

### 9.1.2 Mapa de ubicación de centros de servicio.

El mapa de Colombia que se presenta en la Figura 7, contiene la ubicación geográfica de los 3 centros de servicio, los cuales están marcados con una estrella amarilla encerrada por una elipse roja punteada, desde dichos puntos salen flechas que apuntan hacia las ciudades donde se encuentran ubicados los chillers que serán atendidos por los distintos equipos de técnicos definidos por la solución del modelo y que están representados por estrellas amarillas.

Figura 7. Asignación de la demanda a los centros de servicio



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

## 9.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis del modelo es necesario evaluar la estabilidad de la solución presentada en el apartado anterior. Para ello es necesario evaluar el impacto que tiene la variación de los parámetros sobre la solución óptima presentada. Por criterio de los investigadores se decidió evaluar el cambio en el siguiente parámetro del modelo:

$DEM_{ij}$  = Se evaluará el efecto de la variación de la demanda sobre el número de equipos de técnicos de cada tipo asignados a los diferentes centros de servicio y como consecuencia el saber si se hace necesario el uso de dichos centros.

Es necesario indicar que la variación de este parámetro incide directamente sobre la solución de la función objetivo y de acuerdo al análisis realizado es el parámetro que presenta una mayor incidencia sobre la solución del modelo de optimización de localización y asignación.

Para modificar el parámetro  $DEM_{ij}$  se varió el número de chillers de la categoría grande, mediano y pequeño que debían ser atendidos por los equipos de técnicos, lo cual se puede observar en las columnas 3, 4 y 5, contadas de izquierda a derecha, de la Tabla 26.

Al modificar los valores de demanda, lo que se buscaba era variar el porcentaje (%) del mercado objetivo, tal como se puede evidenciar en la columna 10 de la misma tabla, puesto que al tratarse de una demanda definida a partir del juicio de expertos, su incertidumbre puede ser mayor; por lo que los investigadores determinaron modificarla a la baja, planteando posibles escenarios menos optimistas, pero que conservaran un patrón de distribución geográfica similar al definido inicialmente para llevar a cabo todo el desarrollo del modelo hasta este momento.

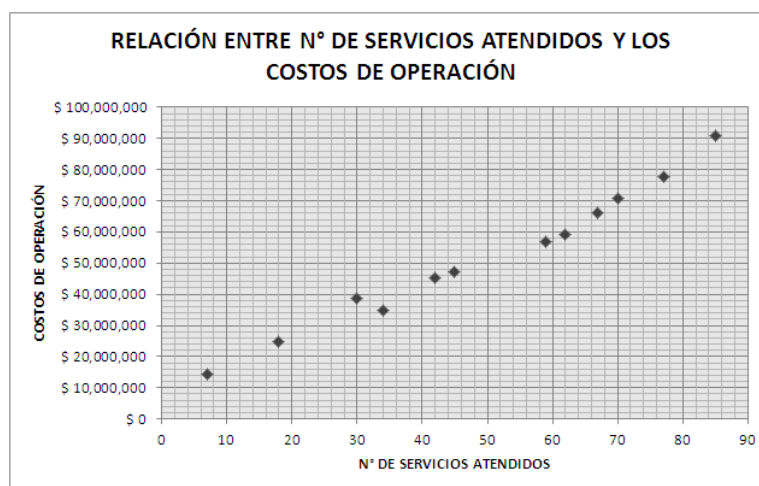
La Tabla 26 muestra los resultados bajo los distintos escenarios de variación de la demanda, en la cual se puede observar que las soluciones que involucran tres equipos de técnicos en adelante siempre hacen uso de los tres centros de servicio (zonas marcadas con verde).

Tabla 26. Escenarios de respuesta a variaciones en demanda

Escenarios	N° Servicios	N° Servicios Pequeños	N° Servicios Medianos	N° Servicios Grandes	N° Equipos Técnicos	N° Equipos Técnicos Pequeños y/o Medianos	N° Equipos Técnicos Grandes	Costo de Operación (\$)	% MERCADO OBJETIVO	Centros de Servicio Abiertos
Escenario_1_com.bt;	85	31	31	23	4	1	3	\$ 90,943,836	100%	CLO,BAR,BOG
Escenario_12_com.bt;	77	35	26	16	4	2	2	\$ 77,560,271	91%	CLO,BAR,BOG
Escenario_2_com.bt;	70	31	24	15	3	0	3	\$ 70,657,094	82%	CLO,BAR,BOG
Escenario_3_com.bt;	67	31	22	14	3	1	2	\$ 66,056,497	79%	CLO,BAR,BOG
Escenario_4_com.bt;	62	31	21	10	3	1	2	\$ 59,232,691	73%	CLO,BAR,BOG
Escenario_5_com.bt;	59	31	19	9	3	1	2	\$ 57,011,094	69%	CLO,BAR,BOG
Escenario_8_com.bt;	45	20	15	10	3	1	2	\$ 47,302,740	53%	CLO,BAR,BOG
Escenario_7_com.bt;	42	20	13	9	3	1	2	\$ 45,081,143	49%	CLO,BAR,BOG
Escenario_6_com.bt;	34	20	10	4	3	2	1	\$ 34,685,740	40%	CLO,BAR,BOG
Escenario_9_com.bt;	30	12	10	8	2	0	2	\$ 38,738,160	35%	CLO,BOG
Escenario_11_com.bt;	18	10	6	2	1	0	1	\$ 24,678,096	21%	CLO
Escenario_10_com.bt;	7	4	2	1	1	0	1	\$ 14,195,177	8%	CLO

Software AMPL

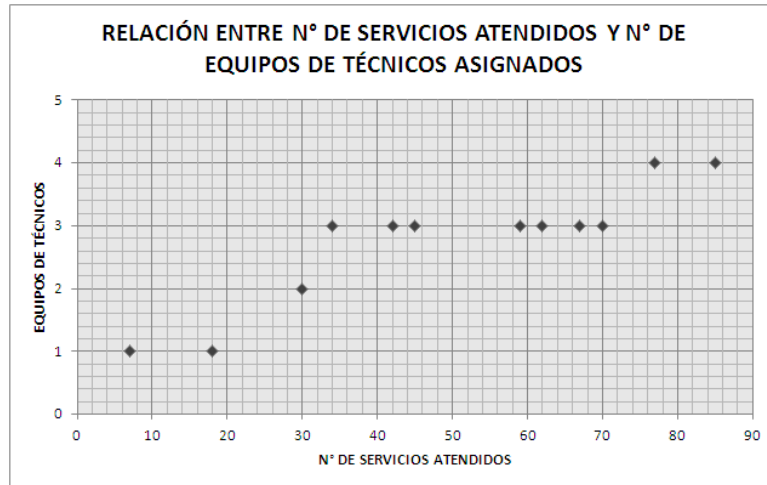
Figura 8. Relación entre servicios y costos de operación



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

La Figura 8 muestra que existe una relación directamente proporcional entre los servicios atendidos y los costos de operación, lo que permitiría en algún momento hacer uso de una extrapolación para calcular costos de operación a partir de datos de demanda que se encuentran por fuera del rango estimado. Esto solo sería posible si los datos de demanda conservan similar distribución geográfica que los usados en los escenarios planteados, pues de no ser así, los costos de desplazamiento y hospedaje se alterarían considerablemente y como consecuencia de esto, la tendencia ascendente de la gráfica también sufriría alteraciones, lo que no permitiría hacer deducciones sobre los Costos de Operación ni dentro, ni fuera del rango de demanda marcado en los escenarios.

Figura 9. Relación entre servicios y equipos de técnicos



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

En la Figura 9 se evidencia que la asignación de equipos de técnicos no es sensible al aumento en la demanda, lo cual puede hallar cierta explicación en el hecho de que al estar la demanda distribuida geográficamente de manera similar en los distintos escenarios planteados, el modelo busca que a los equipos de técnicos se les asigne tantos servicios como sea posible, siempre buscando la alternativa de menor costo entre desplazar equipos de técnicos de una ciudad a otra o crear un nuevo equipo, por lo que la demanda deberá tener aumentos sustanciales que permitan que se lleve a cabo esta última acción.

Por el contrario, si la distribución de la demanda entre un escenario y otro fuera totalmente diferente, lo que no pasa en los escenarios planteados en la Tabla 26, los costos de desplazamiento y hospedaje serían menores y por tal motivo, el modelo intentaría ocupar de manera completa los equipos de técnicos antes de crear un nuevo equipo de trabajo.

### 9.3 PROGRAMACION DE SERVICIOS

Una vez el modelo permitió conocer la localización y la asignación de los equipos de técnicos en los centros de servicio surge la inquietud de en qué orden atender dicha demanda, puesto que se cuenta con un tiempo disponible de atención de demanda por cada equipo de técnicos, lo que obliga a la unidad de negocio a hacer uso eficiente de este recurso; puesto que al tratarse de personas se debe velar por su bienestar haciendo que los desplazamientos para atención de los servicios sigan un orden lógico y apegado a lo que definió el modelo.

Para llevar a cabo la programación de los servicios se hizo uso de la herramienta Excel diseñando una tabla que es operada a través de una macro que permite

programar los servicios de mantenimiento preventivo de manera lógica y ordenada basándose en la información de respuesta que arroja el modelo en AMPL para cualquier escenario que se quiera plantear. Dicha tabla y su respectiva macro fue tabulada y ordenada bajo los siguientes criterios:

1. **Centro de servicio:** La programación de atención de la demanda debe hacerse agrupada por cada centro de servicio que el modelo determinó que tenga asignado al menos un equipo de técnicos para los mantenimientos. El orden definido alfabéticamente es Barranquilla, Bogotá y Cali.
2. **Tipo de chiller:** Una vez se tiene agrupada la demanda por centro de servicio que la atenderá, se procede a reagruparla internamente por el tipo de chiller que se maneja, puesto que como se ha hablado anteriormente y fue parte de una de las restricciones del modelo, los chillers grandes solo pueden ser atendidos por equipos de técnicos grandes. El orden definido para este criterio es chillers grandes, chillers medianos y chillers pequeños.
3. **Proximidad:** Una vez localizada y segmentada la demanda por centro de servicio y tipo de chiller respectivamente se procede a especificar aún más la programación dándole un orden lógico de atención a los equipos de técnicos de manera que sea eficiente sus desplazamientos; para esto se creó una matriz de ponderación de proximidad entre ciudad de origen y destino (10 puntos para ciudades cercanas, 5 puntos para ciudades intermedias y 1 punto para ciudades lejanas entre sí) de acuerdo con la ubicación geográfica y facilidad de desplazamiento. El orden definido para este criterio es de mayor a menor puntuación.

A partir de los resultados obtenidos del modelo se realizó el ordenamiento de atención de los servicios de mantenimiento preventivo para los chillers rentados generando la Tabla 27 de programación.

Tabla 27. Programación de atención de servicios

N°	CENTRO SERVICIO	ATIENDE	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIPO DE CHILLER	PROXIMIDAD	N° DE SERVICIOS ATENDIDOS	EQUIPO TÉCNICO ASIGNADO	TO ACUM	ÚLTIMO DÍA DE SERVICIO EN ESA CIUDAD	TDD RESTANTE
1	BAR	BAR	10	GRANDE	10	1	1	10.0	1	266.0
2	BAR	FLO	28	GRANDE	5	2	1	38.0	4	238.0
3	BAR	FLO	28	MEDIANO	5	2	1	66.0	6	210.0
4	BAR	BAR	45.5	PEQUEÑO	10	7	1	111.5	10	164.5
5	BAR	BUC	10.5	PEQUEÑO	5	1	1	122.0	11	154.0
6	BAR	FLO	10.5	PEQUEÑO	5	1	1	132.5	12	143.5
7	BOG	BOG	72	GRANDE	10	6	2	72.0	6	204.0
8	BOG	TOC	11	GRANDE	10	1	2	83.0	7	193.0
9	BOG	BOG	24	MEDIANO	10	2	2	107.0	9	169.0
10	BOG	TOC	22	MEDIANO	10	2	2	129.0	11	147.0
11	BOG	VIL	13	MEDIANO	10	1	2	142.0	12	134.0
12	BOG	VLO	98	MEDIANO	5	7	2	240.0	20	36.0
13	BOG	BOG	25.5	PEQUEÑO	10	3	2	265.5	23	10.5
14	BOG	FUN	6.5	PEQUEÑO	10	1	2	272.0	23	4.0
15	CLO	CAL	10	GRANDE	10	1	3	10.0	1	266.0
16	CLO	CLO	40	GRANDE	10	4	3	50.0	5	226.0
17	CLO	PAL	20	GRANDE	10	2	3	70.0	6	206.0
18	CLO	PTO	20	GRANDE	10	2	3	90.0	8	186.0
19	CLO	SDQ	20	GRANDE	10	2	3	110.0	10	166.0
20	CLO	MZL	34	GRANDE	5	2	3	144.0	12	132.0
21	CLO	CAL	40	MEDIANO	10	4	3	184.0	16	92.0
22	CLO	CLO	50	MEDIANO	10	5	3	234.0	20	42.0
23	CLO	PAL	10	MEDIANO	10	1	3	244.0	21	32.0
24	CLO	PTO	30	MEDIANO	10	3	3	274.0	23	2.0
25	CLO	SDQ	20	MEDIANO	10	2	4	20.0	2	256.0
26	CLO	BOG	13	MEDIANO	1	1	4	33.0	3	243.0
27	CLO	SAN	14	MEDIANO	1	1	4	47.0	4	229.0
28	CLO	CAL	71.5	PEQUEÑO	10	11	4	118.5	10	157.5
29	CLO	CLO	32.5	PEQUEÑO	10	5	4	151.0	13	125.0
30	CLO	JAM	11	PEQUEÑO	10	2	4	162.0	14	114.0

María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

Como resultado de la corrida de la macro programada en Excel se puede observar cómo quedan distribuidos los servicios para cada uno de los equipos de técnicos asignados por el modelo, adicional a esto se puede observar el tiempo de operación acumulado de cada uno de los equipos de técnicos (TO ACUM) que no puede superar el límite máximo de 276 horas/equipo-mes, el número exacto del día en que se realiza cada tipo de servicio en la ciudad respectiva y el tiempo disponible que queda a cada uno de los equipos de técnicos (TDD RESTANTE) a medida que va desarrollando su labor. Esto permite hacer ajustes de programación en el camino, puesto que se cuenta con información bajo la línea de tiempo y el panorama completo de la operación.

La Tabla 27 muestra que los equipos de técnicos presentan al final de su labor asignada en el mes un tiempo disponible, que bajo otros ambientes productivos se conoce como tiempo ocioso; para el equipo de técnicos 1 este tiempo es de 143.5 horas, para el equipo 2 es de 4 horas, para el equipo 3 es de 2 horas y para el equipo 4 es de 114 horas. Se recuerda que según el resultado arrojado por el programa AMPL, los equipos de técnicos 1, 2 y 3 constan de 3 personas y el equipo 4 consta de 2 personas. El análisis lógico del modelo, desde la perspectiva de los investigadores, considera que genera menor costo dejar en un momento determinado “quieto” un equipo de técnicos para dar paso a la creación de un nuevo equipo; puesto que el costo de mano de obra por equipo en un mes es fijo,



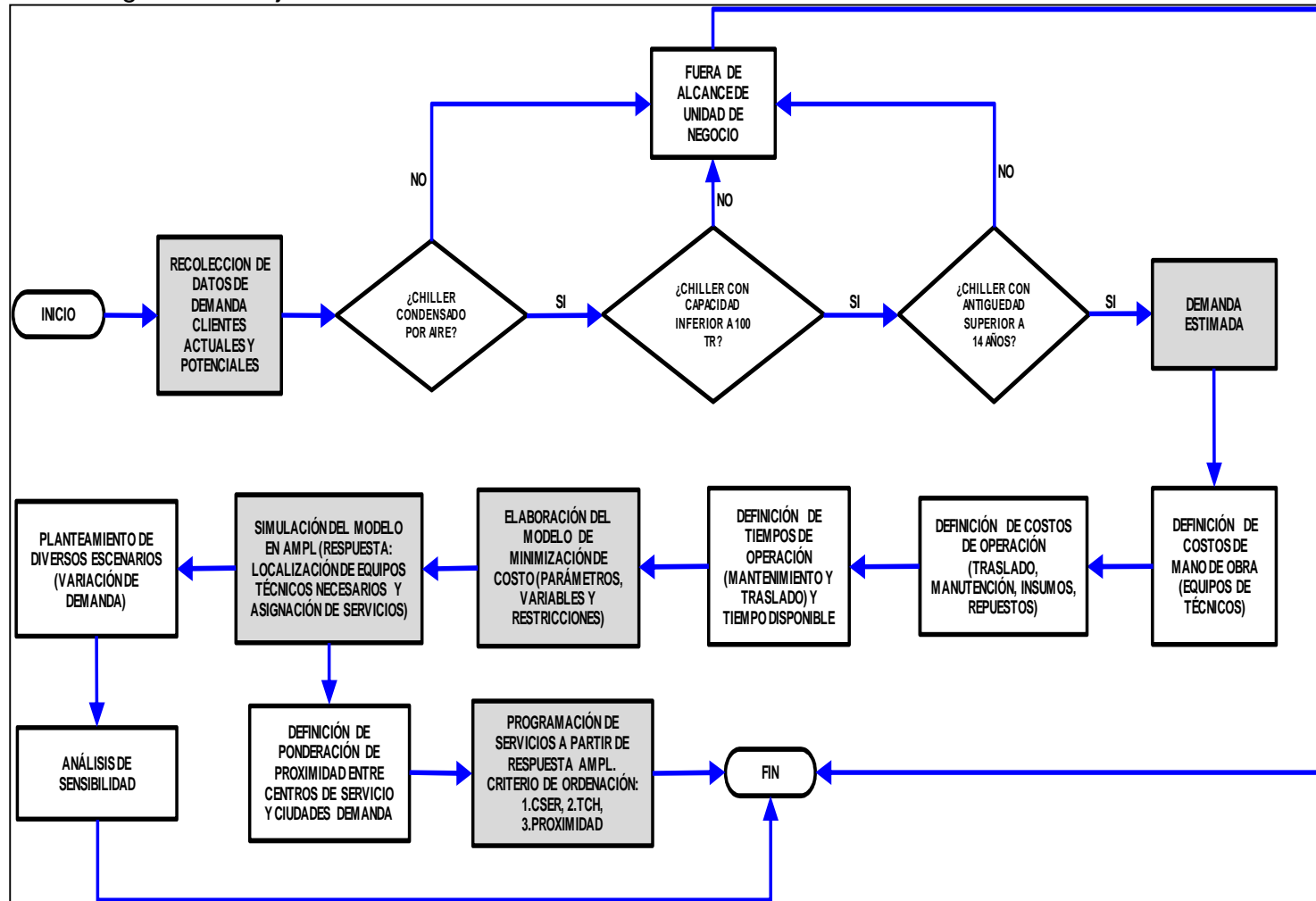
mientras que los costos de atención del servicio varían dependiendo de los desplazamientos que deba hacer el equipo de técnicos.

Como detalle adicional la diagramación con distintos colores permite identificar de manera rápida los parámetros más importantes de la programación como lo son: el centro de servicio, el tipo de chiller y el equipo técnico que presta el servicio.

#### **9.4 CONSOLIDACION DEL MODELO**

A continuación se presenta la Figura 10 en la cual se muestra la secuencia lógica del desarrollo del modelo desde la recolección de datos hasta la programación de los servicios, de manera que se tenga una idea clara del paso a paso llevado a cabo a lo largo del proyecto.

Figura 10. Diagrama de flujo del desarrollo del modelo



María Alejandra Cárdenas – Julián Escobar

## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis del sector se pudo establecer que la nueva unidad de negocio compite por el momento con solo 2 empresas, las cuales no tienen este servicio dentro de su target y su oferta se ha hecho a través de modos de comunicación informal, por lo que la oportunidad de desarrollo y crecimiento de la Renta de Chillers de manera formal para la empresa XYZ está latente y se convierte en un alternativa atractiva, confiable y flexible para las empresas que hacen uso de chillers en sus procesos operacionales.

Está claro que obtener información a partir del juicio de expertos es una técnica de estimación de la demanda totalmente válida, sobretodo en circunstancias en las que no se cuenta con información histórica de la misma ni tampoco con datos de productos similares o complementarios que permitan hacer una asociación; es a través de este método que se logró caracterizar de manera clara los factores que influían en la decisión del cliente y del producto a ofrecer, y así, se obtuvo una demanda estimada de 85 chillers, los cuales se convirtieron en el objetivo de la fuerza de ventas para la nueva unidad de negocio.

A partir del análisis de las condiciones de operación de la nueva unidad de negocio y teniendo en cuenta los requerimientos exigidos por la empresa y el entorno en el cual se desarrolla, fue diseñado un modelo simple pero aplicativo que permitió determinar un número óptimo de equipos de técnicos para la atención de los mantenimientos preventivos de la unidad de negocio Renta de Chillers y cuyo número fue de tres (3) equipos para atención de chillers grandes, mediano y/o pequeños y uno (1) para atención de chillers medianos y/o pequeños.

Conscientes que la demanda estimada inicialmente contiene alto grado de incertidumbre debido al método cualitativo utilizado, se plantearon escenarios variados de demanda, haciendo menos optimistas los resultados y de esta forma se pudo determinar que existe una relación directamente proporcional entre los costos de operación y los servicios atendidos. Aunque la misma se sustenta en la similar distribución geográfica de los datos de demanda utilizados en los distintos escenarios, por lo cual si la misma varía, dicha relación puede sufrir variaciones que vayan en contra de dicha proporcionalidad, lo que obligaría a tomar decisiones diferentes.

Al tener dentro de las consideraciones del modelo que las alternativas de ubicación de los centros de servicio solo son tres (3), Bogotá, Cali y Barranquilla y que las mismas no son objeto de decisión de abrir o cerrar por parte de este, las decisiones que se puedan tomar a partir de los resultados del modelo no impactarán de alguna manera el costo de operación de la nueva unidad de negocio, puesto que dichos costos son asumidos por las unidades de negocio ya existentes.

A partir de los resultados arrojados por el modelo, se procedió a realizar la distribución de los equipos de técnicos para las visitas de mantenimiento preventivo, de forma que se pudiera comprobar la aplicabilidad de la respuesta. Esto permitió observar que los cuatro (4) equipos de técnicos cuentan con un tiempo disponible total equivalente a 263,5 horas/mes (tiempo ocioso), lo que desde el punto de vista de un estado ideal de optimización parecería ser poco factible, pero que enmarcado en el entorno real de la empresa y su desarrollo en este campo es normal y aceptable, puesto que a la luz de los costos de operación tenidos en cuenta en el desarrollo del modelo, resulta más eficiente asignar equipos de técnicos cerca de las zonas de demanda antes que trasladarlos desde puntos lejanos.

La demanda estimada para la empresa XYZ está concentrada en 3 zonas específicas del territorio nacional, centro, suroccidente y norte, lo que deja una gran parte del país como zonas potenciales de crecimiento para la nueva unidad de negocio, el oriente del país, la zona de Antioquia se convierten en futuros focos de exploración y por ende de variación en las posibilidades de modelación.

Se recomienda para futuras investigaciones analizar otro componente de la cadena de abastecimiento de la nueva unidad de negocio, el cual estuvo por fuera del alcance de este proyecto y es el que se refiere a la gestión de inventarios, esto debido a que el servicio amarra la asignación de un producto cuyo valor total y en partes resulta muy elevado y de difícil consecución como lo son los chillers. Por esto el control y las decisiones que se tomen sobre políticas de inventarios deben ser precisos de manera que garanticen la satisfacción del servicio a la vez que permita la rotación del producto que no es más que el patrimonio de los accionistas puesto a disposición de un mercado.

Otro campo de exploración que puede dar pie a decisiones de mayor envergadura es el que se refiere a la no limitación del modelo a los centros de servicio existentes en la actualidad para la empresa XYZ, ya que la apertura total en términos de localización podría mostrar que una reubicación de los centros traería consigo ahorros en costos comparados con los que se tienen hoy en día, puesto que el mayor componente en el costo de operación radica en los traslados del recurso humano y este a su vez está ligado a la distancia entre los centros de servicio y los clientes, lo que hipotéticamente da para pensar que entre más cerca logre estar el uno del otro menor costo se generará.

## BIBLIOGRAFÍA

AGNIHOTRI, S. R. A mean value analysis of the travelling repairman problem, IIE Transactions, p. 223–229, 1998.

ANDERSON, David R., SWEENEY, Dennis J., WILLIAMS, THOMAS A. Métodos cuantitativos para los negocios. 9° ed. Thomson Internacional. México. 2004.

BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro, 5° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. México. 2004.

BAZARAA, M. y JARVIS, J. Programación lineal y flujo en redes. 2° ed. Limusa. 1991.

BRADLEY, S.P., HAX, A.C. y MAGNANTI, T.L. Applied mathematical programming. Addison Wesley Publishing Company. 1977.

CAPÓ-VICEDO Josep, TOMÁS-MIQUEL José V. y EXPÓSITO-LANGA Manuel, La gestión del conocimiento en la cadena de suministro. Análisis de la influencia del contexto organizativo. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2007.

CHOPRA, S., y MEINDL, P. Supply management: strategy, Planning and operation. Editorial Prentice Hall. Third Edition. Estados Unidos: Pearson Education, 2007.

CHRISTOPHER, Martin, Logistics and supply chain management. Strategies for reducing cost and improving service. Prentice Hall. Londres, 1998.

CÓRDOBA, Marcial. Formulación y evaluación de proyectos. 20° ed. Ecoe Ediciones. Bogotá. 2006.

CURSO DE AMPL. Grupo de investigación en optimización y análisis numérico. Departamento de matemáticas. Universidad de los Andes. 2007.

DE LAS NIEVES, Gabriel. Técnicas participativas para la planeación. Postgrado de la Facultad de Ingeniería. UNAM, México. 2003.

DREXL, Andreas; KLOSE, Andreas; Facility location models for distribution system design. European Journal of Operational. Research. Vol. 162 p 4-29. 2005.

FLETCHER, R. Practical methods of optimization. 2° ed. Wiley. 1987.

GOEMANS, M. y WILLIAMSON, D. A general approximation technique for constrained forest problems, SIAM Journal on Computing 24, 296-317, 1995.

GOETSCHALCKX, Marc, VIDAL, Carlos J. y DOGAN, Koray. Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*. Vol 143. 2002.

HAAS, de Henning, y HANSEN, Anders P. Facilities management in a service supply chain perspective. *Logistics and supply chain management in a globalised economy*. 22° Conferencia Anual NOFOMA. University of Southern Denmark. Kolding. 2010.

HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Gerald J. *Introduction to operations research*. 8° ed. 2005.

JESPERSEN, B. D. y SKJOTT-LARSEN, T. *Supply chain management: In theory and practice*: Copenhagen Business School Press DK. 2005.

JIMENEZ, José E. y GARCIA, Salvador. *Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico*. Publicación Técnica No. 215 Sanfandila, Qro. 2002.

MALHOTRA, Naresh K. *Investigación de mercados: Un enfoque aplicado*. 4° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. México. 2004.

MONTGOMERY, Douglas C., LYNWOOD, A. Johnson y GARDINER, John S. *Forecasting and time series analysis*. 2° ed. McGraw–Hill, Inc. New York. 1990.

OSORIO, Andrés F. *Optimización de la cadena de abastecimiento de efectivo en una entidad del sector financiero*. Tesis de Maestría. Universidad del Valle. Cali. 2009.

POLYAK, B.T. *Introduction to optimization*. Optimization Software, Inc. New York (USA). 1987.

SIPPER, Daniel y BULFIN, Robert L. Jr. *Planeación y control de la producción*. McGraw–Hill. México. 1998.

STADTLER, H. y KILGER, C. *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies*: Springer, 2000.

TAHA, Hamdy A. *Investigación de operaciones*. 7° ed. Prentice Hall. Pearson Educación. 2004.

VIDAL, Carlos J. *Fundamentos de gestión de inventarios*. 4° ed. Universidad del Valle. Santiago de Cali. 2006.

## ANEXOS

### DESCRIPCIÓN MODELO

#### Conjuntos

set TCH; #Tipo de Chiller  
set CDEM; #Ciudad de Demanda  
set CSER; #Centros de Servicio

#### Parámetros

param DEM{j in CDEM, i in TCH}>=0; #Demanda por servicio para  
Tipo de Chiller i en la Ciudad de Demanda j  
param TO{i in TCH, k in CSER, j in CDEM}>=0; #Tiempos de Operación para  
atender Tipo de Chiller i en la Ciudad de Demanda j desde el Centro de Servicio k  
param CO{i in TCH, k in CSER, j in CDEM}>=0; #Costos de Operación para  
atender Tipo de Chiller i en la Ciudad de Demanda j desde el Centro de Servicio k  
param CMO{i in TCH}>=0; #Costos de Mano de Obra  
para atender Tipo de Chiller i  
param TDD>=0; #Tiempo Máximo Disponible  
en el mes para la atención de toda la Demanda de servicios

#### Variables

var X{i in TCH, k in CSER}integer>=0; #Cantidad de Equipos de  
Técnicos necesarios para atender Tipo de Chiller i desde el Centro de Servicio k  
var Y{i in TCH, j in CDEM, k in CSER}integer>=0; #Cantidad de Servicios  
atendidos para Tipo de Chiller i en la Ciudad de Demanda j desde el Centro de  
Servicio k

#### Función Objetivo

minimize costo\_total: sum{i in TCH, k in CSER}(X[i,k]\*CMO[i])+sum{i in TCH, j in  
CDEM, k in CSER}(Y[i,j,k]\*CO[i,k,j]);

## Restricciones

#Se debe atender toda la demanda de cada Tipo de Chiller i en la Ciudad de Demanda j

subject to Atencion\_Total\_Demanda{j in CDEM, i in TCH}: sum{k in CSER}Y[i,j,k] >= DEM[j,i];

#Se debe atender toda la demanda de acuerdo a la frecuencia establecida para mantenimientos preventivos

subject to Atencion\_Demanda\_Mensual\_ETGrande{k in CSER}: sum{j in CDEM}(Y["G",j,k]\*TO["G",k,j]) <= TDD\*X["G",k];

subject to Atencion\_Demanda\_Mensual\_General{k in CSER}: sum{i in TCH, j in CDEM}(Y[i,j,k]\*TO[i,k,j]) <= TDD\*sum{i in TCH}X[i,k];

## DATOS DEL MODELO

Escenario_1_dat.txt - Bloc de notas																	
Archivo	Edición	Fgmat	Ver	Ayuda													
set TCH:=	P	M	G	:													
set CDEM:=	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:
set CSER:=	CLO	JAM	BOG	BAR													
param DEM:	P	M	G	:=													
SDQ	0	2	2														
JAM	2	0	0														
CLO	5	5	4														
PAL	0	1	2														
VLO	0	7	0														
BOG	3	3	0														
VIL	0	1	0														
FLO	1	2	2														
BAR	7	0	1														
MZL	0	0	2														
CAL	11	4	1														
PTO	0	3	2														
TOC	0	2	1														
SAN	0	1	0														
BUC	1	0	0														
FUN	1	0	0	:													
param TO:=																	
[P,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	6.5	5.5	6.5	6.5	14.5	9.5	14.5	13.5	10.5	13.5	6.5	6.5	13.5	10.5	12.5	13.5	
BOG	13.5	12.5	9.5	11.5	10.5	8.5	9.5	9.5	8.5	7.5	12.5	12.5	7.5	8.5	8.5	6.5	
BAR	12.5	11.5	10.5	10.5	14.5	8.5	15.5	10.5	6.5	9.5	12.5	12.5	11.5	14.5	10.5	11.5	
[M,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	10	9	10	10	18	13	18	17	14	17	10	10	17	14	16	17	
BOG	17	16	13	15	14	12	13	13	12	11	16	16	11	12	12	10	
BAR	16	15	14	14	18	12	19	14	10	13	16	16	15	18	14	15	
[G,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	10	9	10	10	18	13	18	17	14	17	10	10	17	14	16	17	
BOG	17	16	13	15	14	12	13	13	12	11	16	16	11	12	12	10	
BAR	16	15	14	14	18	12	19	14	10	13	16	16	15	18	14	15	
param CO:=																	
[P,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	271145	259145	235145	255145	1285145	1135145	1235145	1623145	1413145	477145	255145	255145	1225145	1765145	1577145	1235145	
BOG	1211145	1199145	1135145	1163145	345145	235145	313145	1127145	1385145	1025145	1205145	1205145	285145	1685145	1081145	313145	
BAR	1471145	1427145	1413145	1423145	1517145	1385145	1485145	1491145	235145	1545145	1465145	1465145	1425145	1757145	1445145	1453145	
[M,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	574226	562226	538226	558226	1768226	1488226	1736226	2106226	1748226	960226	558226	558226	1708226	2100226	2060226	1736226	
BOG	1694226	1682226	1488226	1498226	680226	570226	648226	1462226	1720226	1328226	1688226	1688226	588226	2020226	1416226	616226	
BAR	1954226	1762226	1748226	1758226	2000226	1720226	1968226	1826226	538226	1880226	1948226	1948226	1760226	2240226	1780226	1788226	
[G,*,*]:	SDQ	JAM	CLO	PAL	VLO	BOG	VIL	FLO	BAR	MZL	CAL	PTO	TOC	SAN	BUC	FUN	:=
CLO	1139145	1141145	1105145	1135145	2950145	2530145	2902145	3457145	2920145	1738145	1135145	1135145	2860145	3448145	3388145	2902145	
BOG	2839145	2821145	2530145	2545145	1318145	1153145	1270145	2491145	2878145	2290145	2830145	2830145	1180145	3328145	2422145	1222145	
BAR	3229145	2941145	2920145	2935145	3298145	2878145	3250145	3037145	1105145	3118145	3220145	3220145	2938145	3658145	2968145	2980145	
param CM0:=																	
P	4800000																
M	4800000																
G	7200000																
param TDD:=	276																



## COMANDOS

```
model Escenarios_mod.txt;  
data Escenario_1_dat.txt;  
option solver cplex;  
solve;
```

```
display X;  
display Y;
```