



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE TURNOS  
PARA CAJEROS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL**

**RODRIGO IGNACIO BARRERA TUTELEERS**

**PROFESOR GUIA:  
LUIS ABURTO**

**MIEMBROS DE LA COMISION:  
MANUEL REYES  
FERNANDO ORDOÑEZ**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR: RODRIGO BARRERA TUTELEERS  
FECHA: 25/01/2011  
PROF. GUIA: SR. LUIS ABURTO

### **Diseño de un Modelo de Optimización de Turnos para Cajeros**

El presente trabajo de título tiene como objetivo diseñar una metodología que permita obtener una asignación de turnos óptima para los cajeros de una empresa contratista de personal, determinando la dotación de individuos para cada uno de los contratos preestablecidos. Actualmente este proceso se realiza de forma manual, lo que se traduce en pérdidas de tiempo para los encargados y pérdidas de recursos para la organización. Además, debido a que existen más de 27.000 posibles combinaciones de turnos, las soluciones encontradas no logran satisfacer los requerimientos de personal exigidos.

La metodología utilizada para resolver el problema, considera el desarrollo de un modelo de programación lineal entera, que busca minimizar los costos de remuneraciones maximizando el nivel de servicio entregado. Este último se calcula como la cantidad de horas requeridas de trabajo que no fueron satisfechas durante el mes. También se diseña un modelo que permite estimar las ausencias inesperadas al trabajo, basado en información histórica de la empresa y asumiendo que estas siguen una distribución Weibull. Por último, se plantean modificaciones al modelo inicial propuesto permitiendo que los trabajadores se cambien de estación durante el día, lo que busca encontrar sinergias en la utilización de recursos humanos. Para obtener soluciones factibles, se incorporan las restricciones laborales establecidas por el Código del Trabajo, las restricciones contractuales y el cumplimiento mínimo del requerimiento de personal exigido para cada estación.

En el análisis se abordó el caso de dos estaciones, Pajaritos Oriente y San Pablo. Luego de aplicar el modelo, para la primera se obtuvo una reducción del 8,4% de los costos actuales, considerando un aumento de 97,6% a un 99,8% en el nivel de servicio y por ende una asignación que se ajusta de mejor forma a la demanda. Para la estación San Pablo se consiguió disminuir los costos totales en un 7,4% manteniendo el mismo nivel de cumplimiento de demanda que se tiene actualmente. En ambos casos la disminución de costos se debe a un cambio en la proporción de trabajadores Full-Time y Part-Time, lo que resulta en beneficios anuales de MM\$ 2,88 para la estación Pajaritos Oriente y de MM\$ 4,56 para la estación San Pablo. Considerando que la empresa contratista opera treinta y cuatro estaciones, se realiza una estimación del ahorro total anual esperado, cuyo monto asciende a \$ 76 millones.

Como trabajos futuros se propone desarrollar un modelo que permita cambios de cajeros entre todas las estaciones operadas por la empresa, considerando la compatibilidad de estas en términos de requerimiento de personal y los costos asociados a tiempos de viaje. Dada la magnitud de variables de este problema, sería necesario implementar métodos heurísticos que permitan obtener soluciones factibles en tiempos razonables.

## **Agradecimientos**

Al finalizar esta etapa tan importante en mi vida quisiera agradecer a las personas que de alguna forma fueron parte de esta gran experiencia.

Primero que todo a mi madre, Marcela, quien fue la que luchó por hacer posible mi paso por la Universidad. Su incondicional apoyo y convicción acerca del estudio, hoy me significan estar a pocos pasos de obtener el título profesional.

A mi abuela Gloria y mi tía Anita, quienes han estado durante todos estos años a mi lado, en los buenos y malos momentos.

A mis tíos Nicola y Margarita, por haberme dado el sustento necesario para poder realizar mis estudios en las mejores condiciones.

A Mariela, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida durante estos dos años que llevamos juntos.

A mis amigos, quienes han sido mis compañeros de estudio y de tiempo libre y que hicieron de esas largas sesiones de trabajo los mejores momentos de mi paso por la Universidad.

A la consultora Penta Analytics y a los profesores, por haber aportado con sus conocimientos al desarrollo de este trabajo.

## Índice de Contenidos

I. Introducción .....	7
II. Antecedentes Legales de la Subcontratación Laboral .....	9
III. Planteamiento del Problema y Justificación.....	11
IV. Objetivos.....	14
IV.1 Objetivo General .....	14
IV.2 Objetivos Específicos.....	14
V. Marco Conceptual.....	14
VI. Metodología .....	16
VII. Alcances .....	18
VIII. Entregables.....	18
IX. Características del Problema.....	19
IX.1 Tipos de Contrato.....	21
IX.2 Regulación Laboral .....	22
IX.3 Demanda de Personal.....	24
IX.3.1 Demanda Estación Pajaritos Oriente.....	25
IX.3.2 Demanda Estación San Pablo.....	26
IX.4 Periodos de Resolución .....	27
X. Situación Actual .....	28
XI. Resultados Esperados.....	29
XII. Índice de Modelos Propuestos.....	29
XII.1 Modelo Base .....	29
XII.2 Modelo Contratos Especiales .....	29
XII.3 Modelo Inter-Estación .....	30
XII.4 Modelo Volantes .....	30
XIII. Desarrollo Modelo Base y Contratos Especiales .....	30
XIII.1 Modelo Base .....	30
XIII.1.1 Supuestos .....	30
XIII.1.2 Tiempos de ejecución.....	31
XIII.1.3 Índices.....	31
XIII.1.4 Parámetros.....	32
XIII.1.5 Variables .....	32
XIII.1.6 Restricciones.....	33
XIII.1.7 Función Objetivo .....	39

XIII.2	Modelo Contratos Especiales .....	39
XIII.2.1	Supuestos .....	39
XIII.2.2	VARIABLES .....	39
XIII.2.3	Restricciones .....	40
XIII.2.4	Función Objetivo .....	41
XIV.	Resultados Obtenidos .....	42
XIV.1	Resultados Pajaritos Oriente .....	42
XIV.1.1	Dotación .....	42
XIV.1.2	Cumplimiento de Demanda .....	43
XIV.1.3	Asignación de Turnos.....	45
XIV.1.4	Scheduling.....	46
XIV.2	Análisis de Sensibilidad Estación Pajaritos Oriente .....	46
XIV.2.1	Variaciones de Demanda .....	46
XIV.2.2	Variaciones de Costos.....	48
XIV.2.3	Variaciones de Contratos .....	49
XIV.2.4	Escenarios Posibles .....	50
XIV.3	Resultados San Pablo .....	51
XIV.3.1	Escenarios Posibles .....	52
XIV.3.2	Dotación .....	53
XIV.3.3	Cumplimiento de Demanda .....	53
XIV.3.4	Scheduling.....	56
XIV.4	Análisis de Sensibilidad Estación San Pablo .....	57
XIV.4.1	Variaciones de Demanda .....	57
XIV.4.2	Variaciones de Costos.....	60
XIV.4.3	Variaciones de Contratos .....	62
XV.	Beneficios Esperados .....	65
XVI.	Desarrollo Modelo Inter-Estación .....	67
XVI.1	Modelo Inter-Estación .....	67
XVI.1.1	Supuestos .....	67
XVI.1.2	Tiempos de Ejecución .....	67
XVI.1.3	Índices .....	67
XVI.1.4	Parámetros .....	68
XVI.1.5	VARIABLES .....	68
XVI.1.6	Restricciones .....	69
XVI.1.7	Función Objetivo .....	71

XVI.2	Resultados Obtenidos.....	71
XVI.2.1	Cumplimiento de Demanda .....	72
XVII.	Desarrollo Modelo Volantes .....	73
XVIII.	Conclusiones.....	77
XVIII.1	Conclusiones Generales.....	77
XVIII.2	Recomendaciones .....	78
XVIII.3	Trabajos Futuros.....	79
XIX.	Bibliografía .....	79
XX.	Anexos.....	80
XX.1	Modelo de Programación Lineal (GAMS).....	80

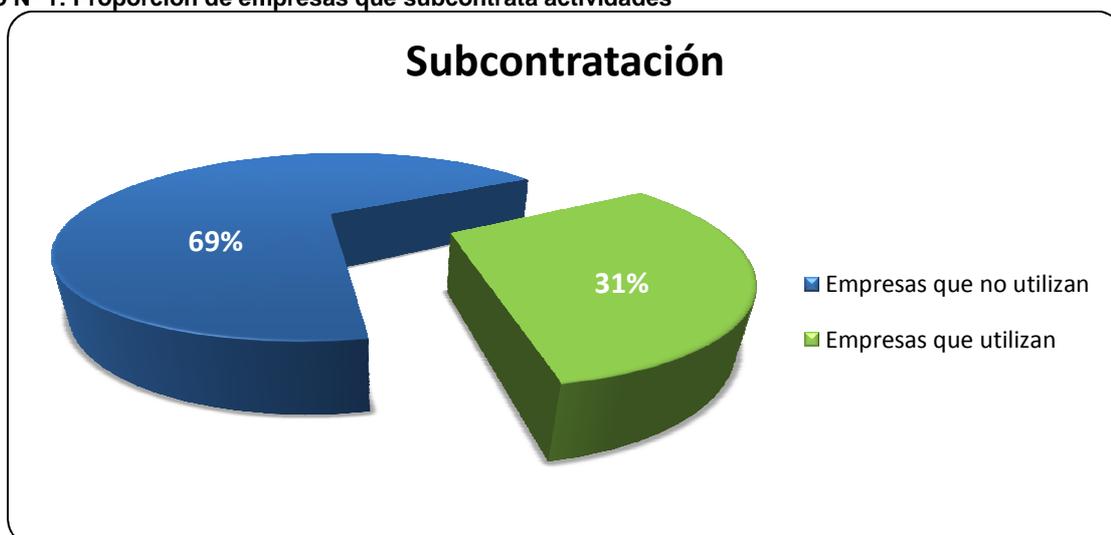
## I. Introducción

Según un estudio realizado por la Dirección del Trabajo [6], la minería es el sector económico que registra la mayor subcontratación laboral del país, considerando la cantidad de empresas que utilizan esta modalidad de empleo como de empresas contratistas que operan para ellas. Los orígenes de la subcontratación se remontan a 1982, en donde fue justamente este sector el que impulsó este fenómeno, específicamente a través de las estatales Enap y Codelco. Sin embargo, hoy en día esta forma de contratar personal se ha masificado a diversos sectores de la industria nacional, ocupando un lugar importante en la generación de empleos.

El Ministerio del Trabajo resume adecuadamente la realidad de la subcontratación: “Las empresas recurren a estas nuevas formas de empleo por diversos motivos: para responder a fluctuaciones en la demanda por causas estacionales, cíclicas o de otro tipo; optimizar el uso de recursos, evitando excesos de capacidad o tiempos muertos; mejora en la calidad de procesos y resultados, cuando carecen de los conocimientos o la tecnología apropiada; reducir costos, si no pueden operar en la escala eficiente o pueden beneficiarse de su mayor tamaño y poder de negociación”.

Originalmente la subcontratación de personal estuvo vinculada a actividades “periféricas” de la empresa tales como el aseo, la alimentación y la vigilancia, pero actualmente ha derivado hacia actividades cada vez más sofisticadas, relacionadas con la confección de partes y piezas, control de calidad, diseño industrial, marketing, logística, servicios ambientales, gestión de venta, investigaciones de mercado, desarrollo e implantación de software y otros, configurando una red muy compleja de relaciones contractuales en las empresas.

Gráfico N° 1: Proporción de empresas que subcontrata actividades



Fuente: Encuesta Laboral, ENCLA 2008

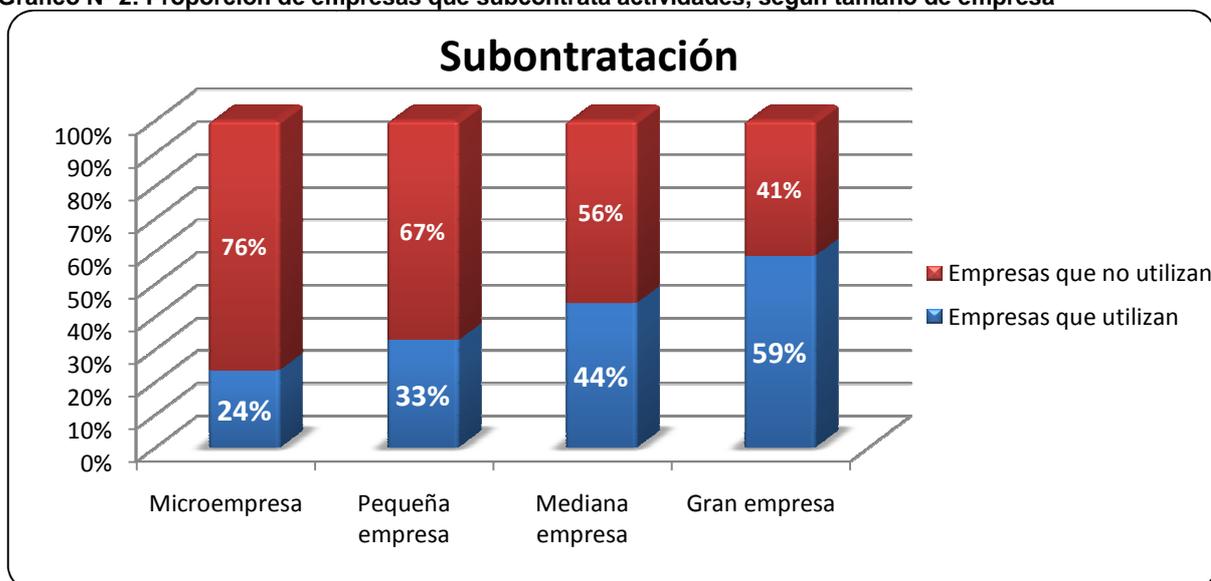
Según los datos proporcionados por la ENCLA 2008 [12], la subcontratación se muestra bastante extendida, abarcando a casi un tercio de las empresas del país. Este

aumento en la externalización de la producción y el trabajo, se puede asociar a una mayor estabilidad en el mercado y a una consecuente mejor capacidad para evaluar e implementar estrategias distintas en la utilización de recursos humanos y materiales.

La subcontratación es una medida que apunta a desarrollar la flexibilidad laboral. Los mecanismos que han permitido avanzar en esta materia se han enfocado en la reducción del costo de la mano de obra, de la duración promedio de la jornada laboral y el tiempo de contratación. Este ahorro en el costo permite generar a las empresas un aumento en su productividad y como consecuencia un aumento en los puestos de trabajo, lo que en el largo plazo resulta en incrementos en el ingreso y en el bienestar. Por otra parte, la reducción de la duración de la jornada permite generar empleos adecuados a las distintas realidades de la población, como los son estudiantes, dueñas de casa, etc.

A continuación se muestra la proporción de empresas que subcontrata actividades en función del tamaño de la empresa:

**Gráfico Nº 2: Proporción de empresas que subcontrata actividades, según tamaño de empresa**



Fuente: Encuesta Laboral, ENCLA 2008

Aunque presente en empresas de todos los tamaños, la subcontratación aparece como una estrategia predominante en los establecimientos de mayor magnitud (la mayoría de las grandes y cerca del 45% de las medianas), en comparación con alrededor de sólo una cuarta parte de las microempresas. A continuación se detalla el marco legal que regula la prestación de este tipo de servicio en Chile.

A través de la Consultora Penta Analytics, se acordó analizar el caso de una empresa subcontratista<sup>1</sup> que actualmente tiene a su cargo a más de cuatrocientos trabajadores. Una tarea importante que se debe llevar a cabo es la programación de turnos, en donde cada individuo debe ser asignado a una de las estaciones de trabajo

<sup>1</sup> De ahora en adelante de contratación de personal, cliente o contratista

en función de los requerimientos de personal correspondientes. Es importante mencionar que esta industria es altamente competitiva, por lo tanto existe una necesidad latente por optimizar la forma en que se asignan los recursos, con el objetivo de mantener o aumentar el nivel de participación actual.

Más adelante, se procede a estudiar las características propias del problema y las restricciones laborales que rigen los turnos, se plantea un modelo de Scheduling y finalmente se obtienen los resultados para cada estación. También se desarrolla un modelo de estimación de ausencias, cuyo objetivo es determinar la cantidad óptima de individuos que se deben contratar para suplir las faltas inesperadas al trabajo.

Finalmente se muestran las conclusiones, recomendaciones y propuestas para trabajos futuros. A continuación se muestran los antecedentes legales que regulan la industria de la subcontratación.

## **II. Antecedentes Legales de la Subcontratación Laboral**

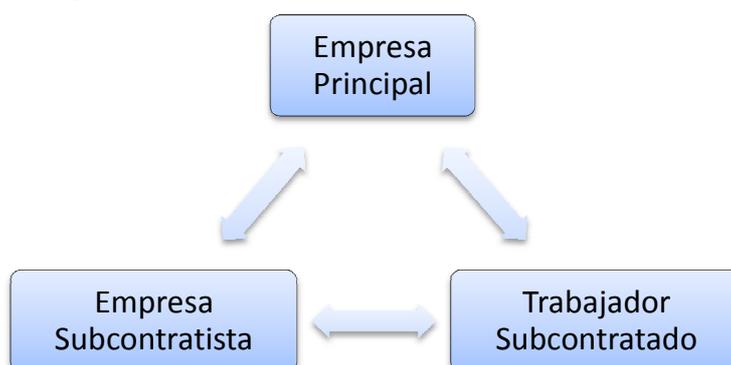
Según el artículo 183-A del Código del Trabajo [5], la Subcontratación Laboral se define de la siguiente forma:

*“Es trabajo en régimen de subcontratación, aquél realizado en virtud de un contrato de trabajo por un trabajador para un empleador, denominado contratista o subcontratista, cuando éste, en razón de un acuerdo contractual, se encarga de ejecutar obras o servicios, por su cuenta y riesgo y con trabajadores bajo su dependencia, para una tercera persona natural o jurídica dueña de la obra, empresa o faena, denominada la empresa principal, en la que se desarrollan los servicios o ejecutan las obras contratadas”.*

En la Subcontratación hay tres partes:

- 1) La empresa principal, que contrata los servicios del subcontratista o contratista.
- 2) El subcontratista o contratista.
- 3) El trabajador subcontratado, que se encuentra vinculado contractualmente únicamente con el subcontratista.

Figura Nº 1: Partes de la Subcontratación



Fuente: Código del Trabajo

La Subcontratación Laboral está regulada en la Ley 20.123 [8] sobre subcontratación y prestación de servicios transitorios, que entró en vigencia el 14 de Enero de 2007. Dentro de los aspectos generales de esta Ley se pueden rescatar las responsabilidades y derechos que tiene la empresa principal:

- Tiene responsabilidad solidaria<sup>2</sup> en las obligaciones laborales y previsionales de dar<sup>3</sup> que afecten a las contratistas en favor de los trabajadores de éstos, incluidas las eventuales indemnizaciones legales que correspondan por término de la relación laboral. Tal responsabilidad estará limitada al tiempo o período durante el cual el o los trabajadores prestaron servicios en régimen de subcontratación para la empresa principal (artículo 183-B).
- Tiene el derecho a ser informada por los contratistas sobre el monto y estado de cumplimiento de las obligaciones laborales y previsionales que a éstos correspondan respecto a sus trabajadores. En el caso que la empresa principal ejerza este derecho y el contratista no acredite oportunamente el cumplimiento íntegro de dichas obligaciones, ella podrá retener de las obligaciones que tenga a favor de aquél o aquéllos, el monto necesario para responder de ellas. Si se efectuara dicha retención, la empresa principal estará obligada a pagar con lo retenido al trabajador o institución previsional acreedora (artículo 183-C).
- Si la empresa principal hiciera efectivo el derecho a ser informada y el derecho de retención mencionados, la responsabilidad solidaria a que se refiere el artículo 183-B se transformará en subsidiaria<sup>4</sup> (artículo 183-D).
- Por último, tiene la responsabilidad directa de adoptar las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y salud de todos los trabajadores que laboran en su obra, empresa o faena, cualquiera sea su dependencia (artículo 183-E).

<sup>2</sup> Que la responsabilidad sea solidaria significa que el trabajador puede demandar indistintamente a la empresa principal o al contratista por el total de sus prestaciones laborales y previsionales.

<sup>3</sup> Obligación de dar es aquella que consiste en entregar una cosa, generalmente una suma de dinero, o constituir un derecho sobre ella.

<sup>4</sup> Cuando la responsabilidad es subsidiaria el trabajador debe en primera instancia demandar a su empleador directo (el contratista), y si éste no responde, deberá realizar una demanda contra la empresa principal, la que deberá responder por lo adeudado al trabajador.

En el Capítulo IX.2 se analiza la regulación relativa a los turnos de trabajo, la cual forma parte de las características del problema y por ende será utilizada para la programación del modelo.

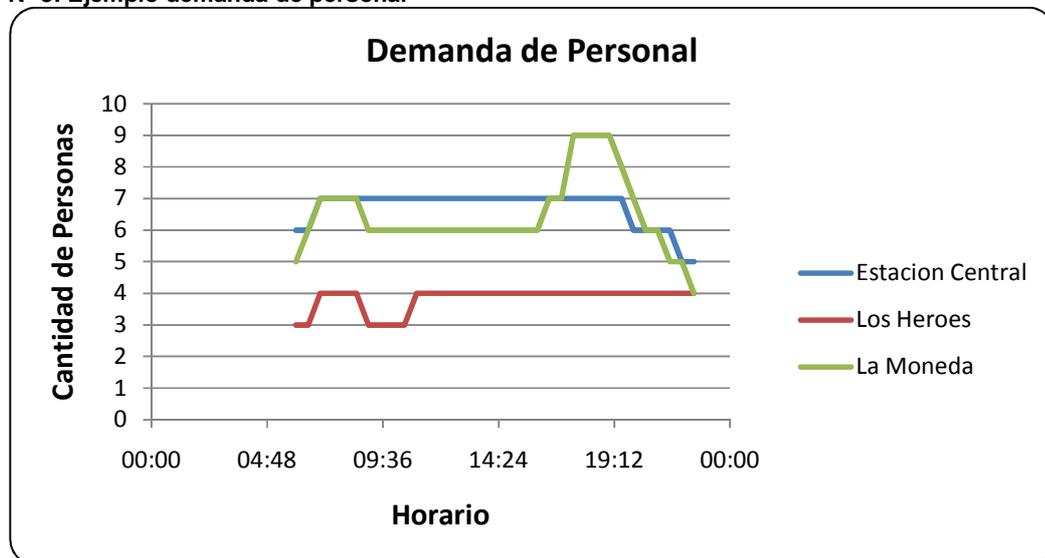
### III. Planteamiento del Problema y Justificación

A primera vista, se puede observar que existe una gran oportunidad de mejorar la forma en que se programan los turnos de los cajeros. Las horas asignadas actualmente son aproximadamente un 45% mayor a las horas demandadas y además existen horas en donde no se logra cumplir con el mínimo de cajeros exigidos.

Las razones de porque la empresa subcontratista no logra tener una asignación óptima, yacen en la forma en que se programan los turnos y las condiciones contractuales. Por una parte, el proceso de asignación se realiza manualmente, lo que resulta sumamente ineficaz en la medida que aumenta la cantidad de individuos por estación. Además, el requerimiento de personal es muy variable, por lo tanto, el problema de asignar turnos respetando las numerosas restricciones involucradas, es significativamente complejo.

En el Gráfico N° 3 se puede observar un ejemplo de demanda de personal para tres estaciones de la Línea 1. En la estación “La Moneda” hay un peak de demanda durante una hora y media, aproximadamente entre las 18:00 y las 19:30. Para esta situación no existe la posibilidad de que un individuo trabaje exclusivamente por ese periodo de tiempo, sino que lo mínimo –según contratos- es de cinco horas.

Gráfico N° 3: Ejemplo demanda de personal



Fuente: Contratista

El problema que se aborda en esta memoria consiste básicamente en la asignación de turnos para los trabajadores de una empresa de outsourcing. Uno de los objetivos principales que tiene esta empresa es disponer de una cantidad de individuos

mínima en las ventanillas de atención al público, para cada hora, cada día y cada estación. Esta cantidad se denomina “Demanda de Personal o Requerimiento de Personal”, es fija y depende de los factores recién mencionados.

Para poder cumplir con estos requerimientos, es necesario buscar la mejor forma de combinar los turnos de los individuos contratados, de manera de poder lograr el mejor ajuste al menor costo posible. A continuación se muestra un ejemplo de una asignación que calza de manera perfecta con la demanda.

**Figura Nº 2: Ejemplo Asignación de Turnos**

	Bloque Horario																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Individuo 1	■	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■			
Individuo 2								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Individuo 3			■	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	
Individuo 4		■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■				
Individuo 5											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Demanda</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración Propia

El problema se abordará mediante un modelo de programación lineal, en donde se busca minimizar los costos asociados a remuneraciones, manteniendo un nivel de servicio satisfactorio. El output del modelo consiste en una malla de asignación de turnos que considera los horarios de almuerzos, los días de trabajo y los días de descanso.

Este problema tiene dos aristas; la primera consiste en determinar la cantidad óptima de individuos para cada tipo de contrato (Dotación) y la segunda encontrar la asignación de turnos que maximice el nivel de servicio que se entrega (Scheduling). Más adelante se podrá ver que existe una relación inversamente proporcional entre el costo total asociado a remuneraciones y la cantidad de horas-hombre que no se están cumpliendo, por lo tanto, parte de la propuesta de este trabajo es establecer un set de soluciones factibles que permitan al cliente decidir que asignación de turnos desea implementar.

El tamaño del problema es determinado por la cantidad de individuos, bloques horarios, días y estaciones. Los datos son los siguientes:

- Individuos: ~400
- Bloques Horarios: 34
- Días: 28
- Estaciones: 34

Para poder resolver el problema de Scheduling y Dotación en un tiempo razonable, se buscan alternativas que consideran un subconjunto del espacio recién definido, de manera de poder obtener una herramienta útil que se pueda implementar en el corto plazo.

En primera instancia, se propone un modelo de asignación que resuelve cada estación por separado, en donde inmediatamente se reduce la cantidad de individuos y el número de estaciones. Bajo este escenario, se tienen treinta y cuatro problemas independientes entres sí, cuyos tiempo de ejecución son razonablemente bajos. Cabe destacar que esta es la forma en que hoy se realiza la asignación de turnos, por lo tanto los resultados entregados por este modelo serán comparables directamente con la situación actual.

Posteriormente, se incorporan nuevos tipos de contrato que buscan hacerse cargo de ciertos tipos de trabajadores que tienen un trato especial, como lo son: Mujeres que se encuentren en periodo pre o post natal y Hombres con derecho a visitas parentales. Si bien estos contratos restringen el modelo y por lo tanto la solución óptima tendrá un mayor costo, es necesario incluirlos en el análisis dado que el cliente debe lidiar con estas situaciones en el día a día.

Además, se propone un modelo inter-estación, el cual permite que los trabajadores puedan desplazarse entre diferentes puntos de atención en función de los requerimientos de personal. Dada la gran cantidad de posibles combinaciones de turnos que existen en esta modalidad, se resolverá una instancia reducida, la cual considera sólo dos estaciones de la red y un día del mes. El objetivo principal bajo este escenario, es encontrar estaciones que sean compatibles entre sí, en donde un exceso de demanda en una, sea contrarrestado por un exceso de oferta en la otra. De esta manera, es posible encontrar sinergias de costos que signifiquen beneficios para el cliente.

Finalmente, se analizan los tipos de contrato vigentes y se proponen nuevos tipos de contrato, los cuales apuntan a entregar una mayor flexibilidad laboral tanto para el cliente como para los trabajadores. Los contratos actuales que mantiene la empresa subcontratista son muy rígidos, lo que hace que sea muy difícil encontrar soluciones que se ajusten de manera perfecta a los cambios en la demanda. Además, los contratos actuales solo permiten que los individuos trabajen bajo un régimen mensual, es decir, no hay posibilidad que exista un apoyo puntual durante los días que existe un mayor requerimiento de personal. Esto resulta ser una gran oportunidad de mejora, ya que con este contrato sería posible disponer recursos en el momento y lugar exacto, sin necesidad de incurrir en horas ociosas durante los demás días del mes.

## IV. Objetivos

### IV.1 Objetivo General

Diseñar un modelo que permita obtener una asignación de turnos óptima para el personal de atención.

### IV.2 Objetivos Específicos

- Establecer una asignación de turnos que minimice los costos de operación y los costos por multas, sujeto al cumplimiento mínimo de la demanda exigida.
- Determinar la dotación óptima de personal para cada uno de los contratos vigentes, en función de los requerimientos de demanda.
- Definir indicadores de gestión que permitan cuantificar el nivel de servicio entregado por la empresa contratista.
- Determinar el impacto que tiene en los indicadores de gestión el reciente cambio en la demanda exigida.
- Proponer un tipo de contrato más flexible, que permita hacerse cargo de la alta variabilidad de la demanda durante la semana.
- Proponer y evaluar un modelo que permita cambios de individuos entre estaciones durante su jornada de trabajo.

## V. Marco Conceptual

Scheduling se refiere al proceso de decidir cómo distribuir recursos entre una variedad de posibles tareas que se deben llevar a cabo. Existen varios tipos de problemas que se enmarcan dentro de esta clasificación, dentro de ellos figuran:

- Job Shop Scheduling, posiblemente el primer modelo de Scheduling planteado en optimización. Consiste en asignar un set de " $n$ " trabajos de distintos tamaños, a un número " $m$ " de máquinas idénticas. Se busca minimizar el tiempo total de procesamiento para completar los trabajos. Dentro de este tipo de investigaciones se puede citar los trabajos de Adams Balas y Zawack [1].
- Staff Scheduling, se refiere a la asignación de personal dentro de una empresa u organización, con el objetivo de mantener un nivel mínimo de individuos trabajando simultáneamente.
- Broadcasting Scheduling, busca planificar los contenidos de programas de radio o televisión minuto a minuto, en donde cada programa posee una rentabilidad distinta.
- Futbol Scheduling, permite organizar los partidos entre todos los equipos del futbol de un campeonato, en donde se deben respetar restricciones como:

partidos de local y visita, partidos importantes no pueden ser a la misma hora, etc.

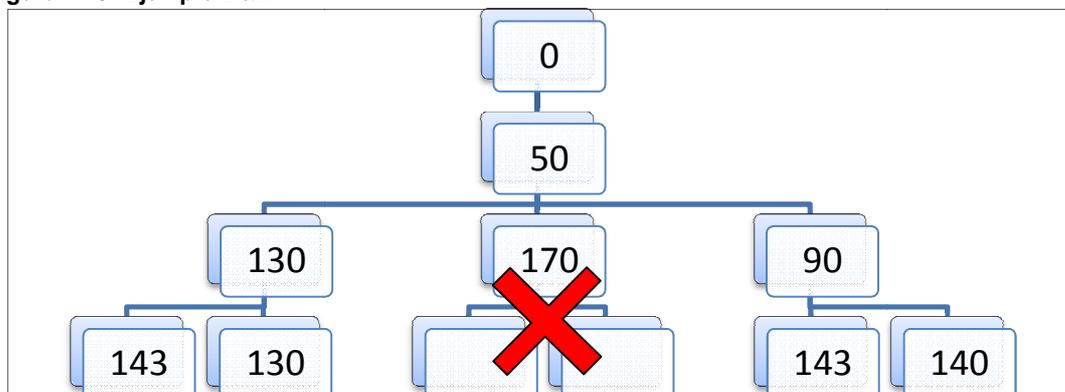
- Route Scheduling, asigna diferentes rutas para entregar productos de manera óptima, en donde se busca minimizar la cantidad de combustible y de tiempo empleado. Se pueden citar los trabajos de Fischetti, Lodi, Martello y Toth [9].

El problema que se presenta en esta memoria corresponde a “Staff Scheduling” o “Employee Scheduling” en donde se busca encontrar el número óptimo de individuos que son necesarios para cubrir los requerimientos de demanda y organizar los turnos de cada uno de los trabajadores a lo largo de un periodo de resolución. Para lograr este objetivo, es necesario satisfacer las restricciones laborales vigentes y cumplir con los contratos definidos.

“Staff Scheduling” se enmarca dentro los problemas de optimización combinatorial, en donde las variables de decisión son enteras. La clasificación para este tipo de problemas corresponde a NP-Completo, el cual es el subconjunto de los problemas de decisión más difíciles de resolver dentro de la clase NP. El hecho de que este problema sea parte de la clase NP, determina que el tiempo de resolución crece exponencialmente al tamaño de la instancia.

Es por esta razón, que para problemas de gran tamaño como este es necesario buscar alternativas más eficientes, de manera de poder obtener soluciones factibles dentro de un tiempo razonable. Una de las técnicas que se utiliza para resolver este tipo de problemas es Branch & Bound (B&B), la cual permite desechar grandes cantidades de soluciones en las primeras etapas de la optimización. El procedimiento requiere dos herramientas, la primera consiste en “Branching” que busca dividir el espacio de soluciones factibles en dos o más subconjuntos, en donde para cada uno de ellos se obtiene la instancia que minimiza la función objetivo. A partir de esta división se genera un árbol cuyos nodos son los subconjuntos mencionados. La segunda herramienta es llamada “Bounding” la cual tiene por objetivo encontrar cotas superiores e inferiores para el mínimo valor de la función objetivo sobre cada subconjunto del espacio factible. Si la cota inferior para algún nodo “A” del árbol es mayor que la cota superior de otro nodo “B”, entonces el nodo “A” puede ser eliminado de la búsqueda de soluciones (considerando un problema de minimización). Esto es lo que se conoce como la “poda”, la cual se repite hasta encontrar el óptimo global del problema.

Figura Nº 3: Ejemplo B&B



En la Figura N° 3 se puede observar un ejemplo simplificado de Branch & Bound, considerando un problema de maximización. El número asociado a cada nodo representa el valor de la función objetivo hasta esa iteración, en donde todas las ramificaciones hacia abajo poseen un valor mayor o igual que el nodo padre. De esta manera, se puede eliminar la segunda rama del árbol -cuyo valor es de 170- sin necesidad de evaluar los valores asociados a los nodos que se derivan de ella.

Finalmente, para resolver el problema de Scheduling se utilizará un modelo de programación lineal entera, en donde el algoritmo de resolución a utilizar será IBM ILOG CPLEX 12.2.

## **VI. Metodología**

En este punto se destacan las etapas involucradas en el trabajo de memoria, partiendo desde la identificación del problema hasta la programación del modelo:

- a) Identificación del problema actual. En este punto se analiza el problema en sí y se buscan las razones que motivan la generación de un modelo matemático para su resolución. Además se fundamentan las razones de porque la situación actual no es óptima.
- b) Recopilación de información y datos. En esta etapa se realiza una recopilación de todos los parámetros relevantes para el análisis, tales como: Demanda, Tipos de Contratos, Disponibilidad de personal, Costos por capacitaciones, Costos por remuneraciones, Costos por multas, etc.
- c) Búsqueda de modelos similares. Esta etapa corresponde a la búsqueda de bibliografía relacionada con problemas de asignación de turnos o Scheduling. El objetivo es identificar aquellos aspectos comunes a otros problemas de optimización y extraer información relevante para el desarrollo del modelo.
- d) Elección del modelo a utilizar. Teniendo a mano la bibliografía adecuada, se procede a escoger los elementos que pueden ser utilizados en el problema en particular. Este punto es muy importante, dado que se establecen líneas de análisis que se abordarán a lo largo del trabajo de memoria. Además se debe decidir qué tipo de modelamiento se utilizará, algunas de las posibles opciones son: Programación Lineal, Heurísticas o una combinación de ambas.
- e) Construcción del modelo. En este punto se definen las variables decisión del problema de Scheduling, las cuales forman parte del entregable una vez terminada la memoria. Deben construirse variables auxiliares que permitan identificar la cantidad de individuos trabajando en un determinado momento. Por último, deben formularse todas las restricciones involucradas en un problema de asignación de personal, dentro de ellas figuran: Restricciones Laborales, Restricciones Horarias, Factibilidad, Satisfacción del cliente, Etc.

- f) Programación del modelo. Una vez formulado el modelo, se procederá con su programación. El lenguaje que se utilizará para programar el modelo es GAMS (General Algebraic Modeling System). La principal razón que motiva la elección de este lenguaje, es que este cuenta con paquetes optimizadores de alto desempeño, como CPLEX, que permiten modelar problemas de gran complejidad.
- g) Validación del modelo. En esta etapa se procederá a estudiar la factibilidad de las soluciones encontradas a partir del modelo. Además, se contrastará la solución entregada por el modelo con la situación actual, determinando cuantitativamente las mejoras en términos de utilidad y satisfacción del cliente.

Para el modelo de estimación de ausencias, se definen las herramientas que permitirán calcular el valor esperado de ausencias inesperadas y por concepto de licencias.

- a) Distribución acumulada de una variable aleatoria distribuida Lognormal:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2} \quad x > 0$$

- b) Esperanza de una variable aleatoria distribuida Lognormal:

$$E(X) = e^{\mu + \sigma^2 / 2}$$

- c) Función de densidad para una variable aleatoria con distribución de Weibull:

$$f(x; \lambda, k, \theta) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x - \theta}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-((x-\theta)/\lambda)^k} \quad x \geq 0$$

- d) Función de distribución acumulada para una variable aleatoria distribuida según Weibull:

$$F(x; \lambda, k, \theta) = 1 - e^{-((x-\theta)/\lambda)^k}$$

- e) Esperanza de una variable aleatoria distribuida según Weibull:

$$E(X) = \theta + \lambda \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$$

Donde,

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$$

## VII. Alcances

En primera instancia el modelamiento del problema se desarrollará individualmente para cada una de las estaciones, es decir no puede haber intercambio de personal. Esto excluye a los individuos de contrato volante<sup>5</sup>, los cuales cumplen la función de suplir ausencias inesperadas en los lugares que se requiera. Cabe destacar que actualmente esta es la forma en que la empresa subcontratista realiza la asignación de personal, por lo tanto los resultados obtenidos serán comparables directamente.

También se desarrollará un modelo inter-estación, el cual permite que exista intercambio de personal. Dada la gran cantidad de variables involucradas en el problema, se obtendrán resultados para una instancia reducida, la cual consiste en:

- 34 Bloques Horarios
- 2 Estaciones
- 1 Día
- 16 Individuos

De esta manera se obtienen resultados para un solo día con la posibilidad que exista intercambio entre dos estaciones. Como se podrá ver más adelante, este resultado es posible replicarlo para todos los días del mes, ingresando como parámetro la cantidad de individuos determinados en el modelo base.

Este problema es considerablemente más difícil desde el punto de vista de la complejidad computacional, sin embargo representa a priori una solución más cercana al óptimo. En el Capítulo XVIII.3 se propone investigar métodos de resolución que sean capaces de resolver el problema inter-estación en un tiempo razonable, considerando todas las variables.

## VIII. Entregables

Al final de esta memoria se pretende contar con un modelo que permita obtener el número óptimo de individuos para cada uno de los tipos de contratos vigentes y además establecer la asignación de turnos que minimice los costos asociados a remuneraciones y multas. Por lo tanto, el entregable consiste en una matriz de turnos que especifica cuando debe trabajar cada uno de los individuos seleccionados por el modelo, identificando claramente los días de trabajo, los días libres, los horarios de entrada, de almuerzos y término de la jornada laboral.

También forman parte de los entregables la definición de los indicadores de gestión relacionados con la asignación de turnos, lo que tiene por objetivo entregar una herramienta que permita cuantificar el nivel de servicio que se entrega.

---

<sup>5</sup> Se define en detalle en el capítulo IX.1

En el análisis de sensibilidad, se medirá el impacto que tiene en la solución final el cambio de la demanda de personal impuesto. A partir de este resultado, se podrá contar con elementos fundamentados para la negociación de futuros contratos.

Se proponen dos tipos de contrato nuevos: “Universitario” y “Universitario Flexible”, los cuales tienen una duración de jornada menor a los contratos actuales y apuntan a obtener una mayor flexibilidad laboral. Bajo este escenario, se mide el impacto que tiene en la solución final la incorporación de estas nuevas condiciones de trabajo.

Por último, el beneficio económico que resulta de aplicar el modelo al problema de Dotación y Scheduling. En este caso se plantean tres escenarios: Optimista, Moderado y Pesimista; en donde se estima una reducción del 8%, 6% y 4% respectivamente.

## IX. Características del Problema

El problema consiste en realizar una asignación de personal que minimice los costos asociados a remuneraciones y multas y que satisfaga las restricciones legales y de recursos humanos. Para proceder con la definición del problema, es preciso establecer algunos de los parámetros relevantes en el análisis, tales como:

- Número de Estaciones:

La administración de las estaciones es subcontratada a diversos operadores, en donde cada uno de ellos tiene la responsabilidad de gestionar la cantidad de trabajadores que deben atender las ventanillas de atención. En el caso que se analiza, son treinta y cuatro estaciones distribuidas a lo largo de las líneas uno y dos de la red. En la Tabla N°1 se puede observar un detalle de las estaciones a considerar en el análisis.

- Número de Ventanillas:

El número de ventanillas corresponde a los puestos de trabajo disponibles en cada una de las estaciones. Este número es variable, es decir depende de cada estación en particular. En la Tabla N°1 se muestra la cantidad de ventanillas que posee cada una de las estaciones involucradas en el estudio.

Tabla N° 1: Estaciones operadas por la empresa contratista

Nº	ESTACIÓN	LINEA	VENTANILLAS
1	<b>C. DEL NIÑO</b>	2	4
2	<b>CEMENTERIOS</b>	2	2
3	<b>CERRO BLANCO</b>	2	2
4	<b>DEPARTAMENTAL</b>	2	4
5	<b>DORSAL</b>	2	2
6	<b>ECUADOR</b>	1	4

7	<b>EINSTEIN</b>	2	2
8	<b>EL LLANO</b>	2	4
9	<b>EL PARRON</b>	2	3
10	<b>EST. CENTRAL</b>	1	6
11	<b>FRANKLIN</b>	2	4
12	<b>HEROES</b>	2	2
13	<b>LA MONEDA</b>	1	8
14	<b>LA CISTERNA</b>	2	4
15	<b>LAS REJAS</b>	1	7
16	<b>LO OVALLE</b>	2	6
17	<b>LO VIAL</b>	2	4
18	<b>LOS HEROES</b>	1	4
19	<b>NEPTUNO</b>	1	4
20	<b>PAJARITOS</b>	1	4
21	<b>PARQUE O'HIGGINS</b>	2	4
22	<b>PATRONATO</b>	2	2
23	<b>PUENTE CAL Y CANTO</b>	2	12
24	<b>REPUBLICA</b>	1	4
25	<b>RONDIZZONI</b>	2	4
26	<b>SAN MIGUEL</b>	2	4
27	<b>SAN PABLO</b>	1	6
28	<b>SAN ALBERTO HURTADO</b>	1	4
29	<b>SANTA ANA</b>	2	8
30	<b>TOESCA</b>	2	4
31	<b>U. DE SANTIAGO</b>	1	4
32	<b>U. LATINO AMERICANA</b>	1	4
33	<b>VESPUCIO NORTE</b>	2	6
34	<b>ZAPADORES</b>	2	2

- Bloques Horarios:

Los bloques horarios consisten en periodos de treinta minutos, partiendo desde las 6:00 AM hasta las 22:30 PM en la semana incluyendo el sábado. Por lo tanto, se puede deducir que son 34 bloques/día. Para el caso del domingo, el horario de atención parte desde las 8:00 AM y termina a las 22:00, por lo tanto corresponden 29 bloques/día.

- Demanda:

La demanda de personal es establecida mediante metodologías internas, es decir esta información se considerará como un parámetro dentro del modelo.

Actualmente se recibe una planilla Excel con los requerimientos de personal para cada bloque horario del día, para cada día y para cada estación en particular. Esta planilla tiene un horizonte de quince días y por lo tanto el flujo de información entre ambas empresas se repite dos veces al mes. En el capítulo IX.3 se realizará un análisis más detallado, identificando la variabilidad de la demanda, la cantidad total de horas requeridas por mes, etc.

- Disponibilidad de Personal:

La empresa contratista cuenta con una disponibilidad de aproximadamente quinientos trabajadores, los cuales poseen diferentes tipos de contratos. Dentro de ellos figuran: Full-Time, Part-Time y Peak-Time. En el capítulo IX.1 se realiza un análisis detallado de cada uno de estos.

## **IX.1 Tipos de Contrato**

Los contratos vigentes que se tienen establecidos son tres:

- Contrato Full-Time:

Este contrato establece turnos con una duración de 8,5 horas diarias y comprende una hora de almuerzo. Deben trabajar seis días y descansan uno (6x1). El día de descanso puede ser cualquier día de la semana.

- Contrato Part-Time:

Este contrato establece turnos con una duración de 5 horas diarias y no tienen horario de almuerzo. Al igual que el contrato Full-Time trabajan según formato (6x1). El día de descanso puede ser cualquier día de la semana.

- Contrato Peak-Time:

Este contrato considera turnos solo los fines de semana y feriados. Los días sábado tienen turnos de 7,5 horas con una hora de almuerzo mientras que los domingos tienen turnos de 7 horas con media hora de almuerzo.

Es importante mencionar que los turnos no pueden traspasar las 14:30, es decir, una persona debe terminar su jornada antes de ese momento o empezar a trabajar a partir de ese horario.

Luego de haber tenido una reunión con la empresa contratista, se pudo identificar tres tipos de condiciones laborales bajo las cuales trabajan algunos individuos. Para efectos del análisis, estos se considerarán como nuevos contratos:

- Embarazadas Tipo 1:

Corresponden a madres que por ley tienen derecho a amamantar a sus bebés. Tienen contrato (6x1) y trabajan 8,5 horas diarias al igual que los de contrato Full-Time. La diferencia es que además de tener una hora de almuerzo, tienen derecho a una hora de amamantamiento, la cual puede ser utilizada solo al principio o al final de la jornada laboral. De esta manera, en términos absolutos trabajan 6,5 horas diarias.

- Embarazadas Tipo 2:

A diferencia de las Embarazadas Tipo 1, estas madres no utilizan su hora de amamantamiento y toman solamente media hora de almuerzo. Mediante esta metodología, ellas tienen la posibilidad de trabajar solamente de Lunes a Viernes, es decir bajo un formato (5x2).

- Parentales:

Este grupo de personas corresponden a aquellos padres que por ley tienen derecho a visitar a sus hijos durante algunos fines de semana. Es por esta razón que ellos deben tener todos los domingos y el último sábado del mes libre. Trabajan bajo el formato (6x1) y sus jornadas laborales tienen una duración de 8,5 horas diarias, al igual que los de contrato Full-Time.

- Coordinadores:

Estas personas son las encargadas de supervisar la estación. Es necesaria la presencia de un trabajador de este tipo de contrato en cada una de las estaciones. La principal función que tienen es verificar que se cumplan los horarios de entrada, de salida y los almuerzos, además de llevar un registro de las inasistencias y horas extras. Un dato importante es que si en la estación hay menos de dos cajeros atendiendo, ellos asumen el rol de cajero y apoyan al servicio de venta. Estos individuos trabajan bajo el formato (5x2) y generalmente hay uno en la mañana y otro en la tarde.

- Volantes:

Los volantes cumplen la función de suplir aquellos requerimientos de personal que no fueron satisfechos por la persona que debía hacerlo. Su función es cubrir inasistencias, licencias y vacaciones, a lo largo de todas las estaciones. Para responder a estas eventualidades, estos individuos se encuentran esperando en la estación Parque O'Higgins hasta que surja una necesidad de personal. Trabajan bajo el formato (6x1).

## **IX.2 Regulación Laboral**

Para poder realizar una asignación de turnos que se encuentre dentro del marco legal, es necesario analizar los artículos correspondientes del Código del Trabajo [5]. A

continuación se muestran los más importantes y que tienen relación directa con la contratación de personal.

- **Art. 22.** La duración de la jornada ordinaria de trabajo no excederá de cuarenta y cinco horas semanales.
- **Art. 28.** El máximo semanal establecido en el inciso primero del artículo 22 no podrá distribuirse en más de seis ni en menos de cinco días. En ningún caso la jornada ordinaria podrá exceder de diez horas por día, sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso final del artículo 38.
- **Art. 34.** La jornada de trabajo se dividirá en dos partes, dejándose entre ellas, a lo menos, el tiempo de media hora para la colación. Este período intermedio no se considerará trabajado para computar la duración de la jornada diaria.
- **Art. 35.** Los días domingo y aquellos que la ley declare festivos serán de descanso, salvo respecto de las actividades autorizadas por ley para trabajar en esos días.
- **Art. 38.** Exceptúense de lo ordenado en los artículos anteriores los trabajadores que se desempeñen:
  - 7.- En los establecimientos de comercio y de servicios que atiendan directamente al público, respecto de los trabajadores que realicen dicha atención y según las modalidades del establecimiento respectivo.

Las empresas exceptuadas de este descanso podrán distribuir la jornada normal de trabajo, en forma que incluya los días domingo y festivos. Las empresas exceptuadas del descanso dominical deberán otorgar un día de descanso a la semana en compensación a las actividades desarrolladas en día domingo, y otro por cada festivo en que los trabajadores debieron prestar servicios.

No obstante, en los casos a que se refieren los números 2 y 7 del inciso primero, al menos dos de los días de descanso en el respectivo mes calendario deberán necesariamente otorgarse en día domingo. Esta norma no se aplicará respecto de los trabajadores que se contraten por un plazo de treinta días o menos, y de aquellos cuya jornada ordinaria no sea superior a veinte horas semanales o se contraten exclusivamente para trabajar los días sábado, domingo o festivos.

- **Art. 40 bis.** Se podrán pactar contratos de trabajo con jornada a tiempo parcial, considerándose afectos a la normativa del presente párrafo, aquéllos en que se ha convenido una jornada de trabajo no superior a dos tercios de la jornada ordinaria.
- **Art. 40 bis A.** En los contratos a tiempo parcial se permitirá el pacto de horas extraordinarias. La base de cálculo para el pago de dichas horas extraordinarias, no podrá ser inferior al ingreso mínimo mensual que determina la ley, calculado proporcionalmente a la cantidad de horas pactadas como jornada ordinaria.

La jornada ordinaria diaria deberá ser continua y no podrá exceder de las 10 horas, pudiendo interrumpirse por un lapso no inferior a media hora ni superior a una hora para la colación.

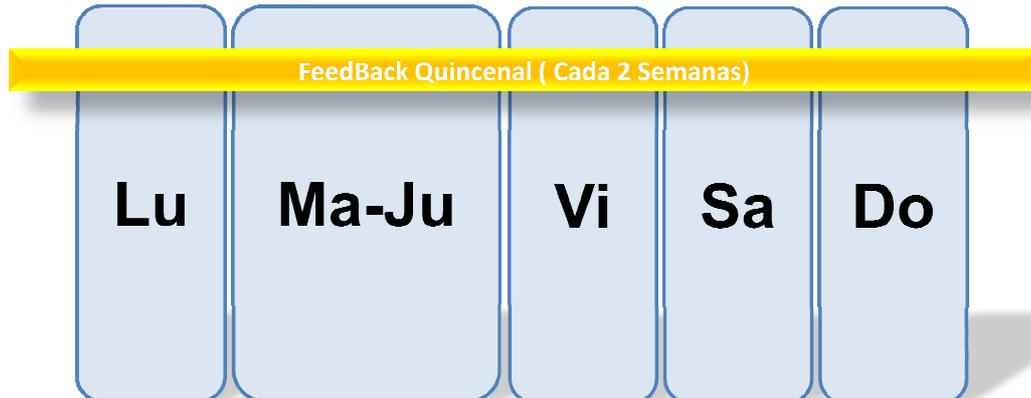
- **Art. 40 bis C.** Las partes podrán pactar alternativas de distribución de jornada. En este caso, el empleador, con una antelación mínima de una semana, estará facultado para determinar entre una de las alternativas pactadas, la que regirá en la semana o período superior siguiente.

Los artículos mencionados definen los límites de horas semanales y días consecutivos que pueden ser trabajados. Esta información se incorpora en el modelo de programación lineal como restricciones, de manera que al resolver el problema de optimización se obtengan soluciones factibles.

### IX.3 Demanda de Personal

La demanda de personal (o requerimiento de personal) corresponde al número de individuos exigidos en el puesto de trabajo para una determinada estación, día del mes y bloque horario en particular. Este es un parámetro que forma parte de los inputs del modelo y no se puede modificar.

Figura Nº 4: Demanda de Personal



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en el esquema anterior, la demanda se encuentra segmentada en cinco tipos de días: lunes, martes a jueves, viernes, sábado y domingo. Antiguamente la demanda era constante para todos los días de la semana, pero se ha decidido que existe una mayor necesidad de los consumidores los días lunes y viernes. Esto ha influido en que algunas de las soluciones encontradas por el modelo determinen que uno o más trabajadores deban tener libres días de semana en vez de sábado y domingo.

Si bien en un principio el cambio en los requerimientos de personal puede parecer perjudicial para la empresa contratista, más adelante se podrá observar que junto con separar los tipos de días se suavizó la curva de demanda, por lo tanto las soluciones entregadas por el modelo tendrán un mejor desempeño que antes.

### IX.3.1 Demanda Estación Pajaritos Oriente

En los siguientes gráficos se muestra el requerimiento de personal para la estación pajaritos oriente, durante los días de semana y fin de semana:

Gráfico N° 4: Demanda Estación Pajaritos Oriente (Semana)

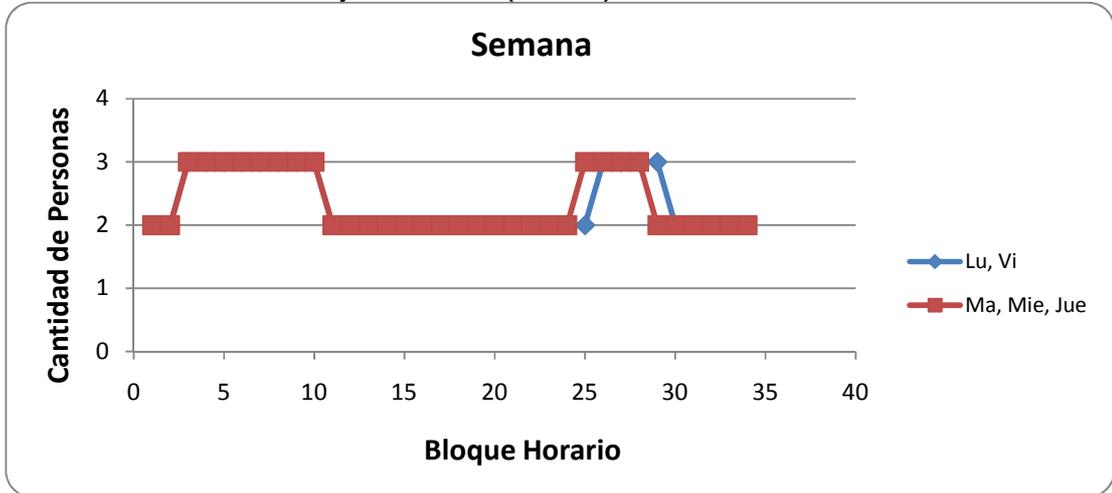
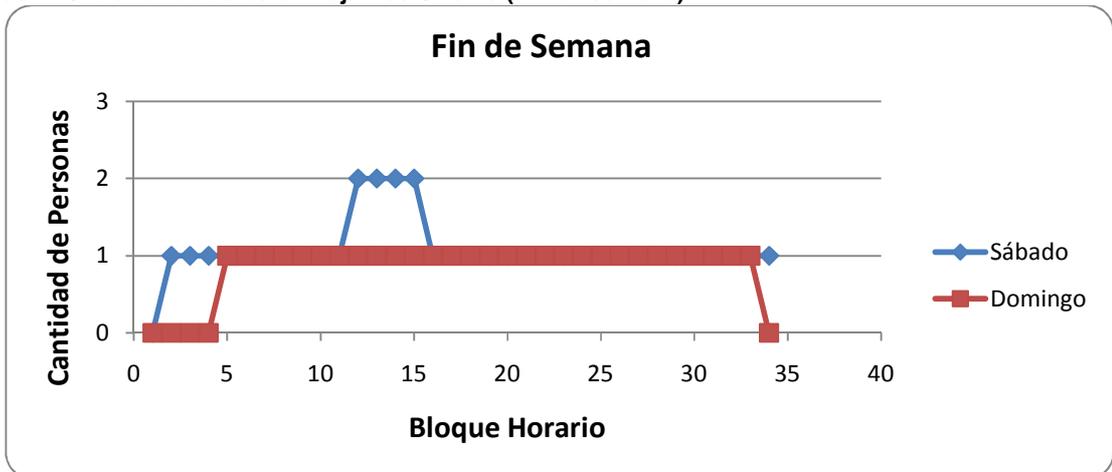


Gráfico N° 5: Demanda Estación Pajaritos Oriente (Fin de semana)



Como se puede ver, la demanda durante los días de semana en la estación Pajaritos Oriente es relativamente estable, es decir, no posee mucha variabilidad. En la siguiente tabla se muestran algunos indicadores relacionados con el requerimiento de personal:

Tabla Nº 2: Indicadores demanda, Estación Pajaritos Oriente

Pajaritos Oriente	Lunes	Ma, Mie, Jue	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Total</b> (horas exigidas/día)	40	40	40	18,5	14,5
<b>Promedio</b> (indv/bloque)	2,4	2,4	2,4	1,1	0,9
<b>Desviación Estándar</b>	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3
<b>Máximo</b> (indv/bloque)	3	3	3	2	1
<b>Mínimo</b> (indv/bloque)	2	2	2	1	1
<b>Coefficiente de Variación</b>	21%	21%	21%	35%	38%

Esta estación requiere un total de 932 horas-hombre al mes, en donde el promedio diario es de 40 horas para los días de semana y de 16,5 horas para el fin de semana. Cabe destacar que el máximo de individuos requeridos determina el mínimo personal simultáneo que debe trabajar en ese momento, por lo tanto representa una cota inferior al número de personas que se deben contratar mensualmente. A continuación se muestra el análisis para la estación San Pablo.

### IX.3.2 Demanda Estación San Pablo

Análogamente al caso anterior, se muestra el requerimiento de personal para días de semana y fin de semana.

Gráfico Nº 6: Demanda Estación San Pablo (Semana)

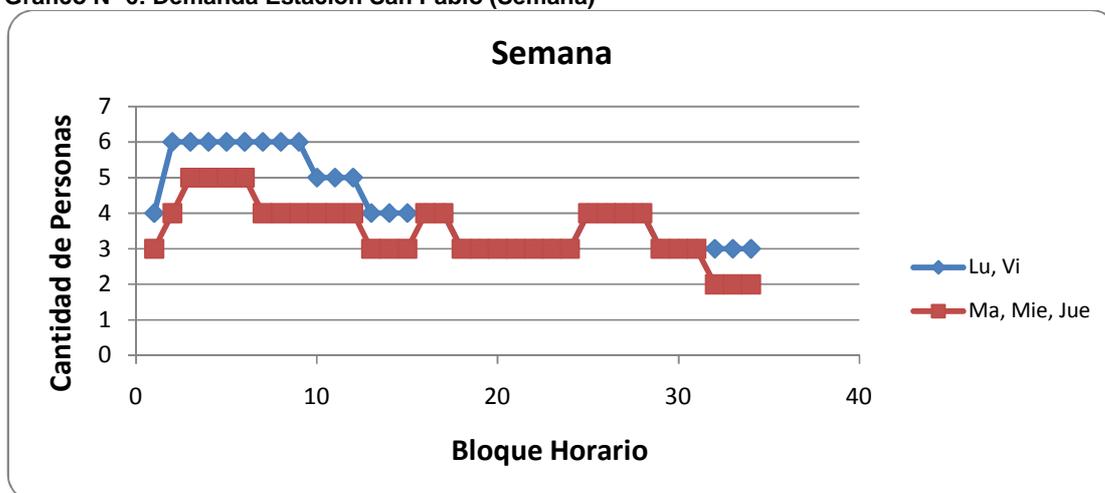
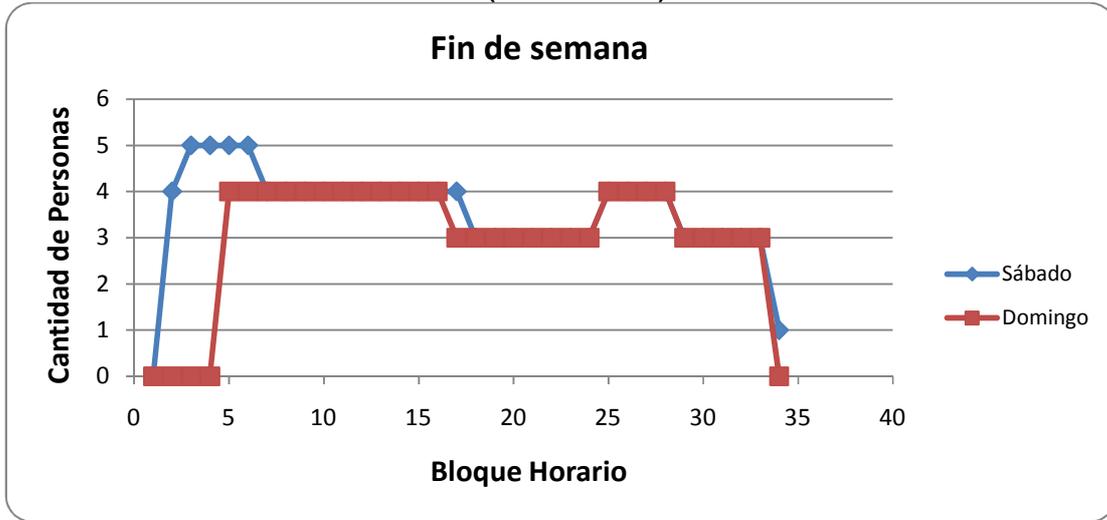


Gráfico Nº 7: Demanda Estación San Pablo (Fin de semana)



En este caso, la demanda de personal tiene una mayor variabilidad que en la estación Pajaritos Oriente. Además, para los días de semana se puede identificar un fuerte requerimiento en la mañana, lo cual es consistente con la calidad de estación origen<sup>6</sup> que tiene San Pablo.

Tabla Nº 3: Indicadores demanda, Estación San Pablo

San Pablo	Lunes	Ma, Mie, Jue	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Total</b> (horas exigidas/día)	71	60	71	60,5	51,5
<b>Promedio</b> (indv/bloque)	4,2	3,6	4,2	3,6	3,1
<b>Desviación Estándar</b>	1,2	0,8	1,2	0,9	1,3
<b>Máximo</b> (indv/bloque)	6	5	6	5	4
<b>Mínimo</b> (indv/bloque)	3	2	3	1	3
<b>Coefficiente de Variación</b>	28%	22%	28%	26%	41%

Para esta estación, la cantidad total de horas-hombre requeridas por mes es de 1.256, en donde la cantidad promedio para días de semana es de 64,4 y para los fines de semana de 56. Aquí se puede ratificar que la variabilidad es mayor que en Pajaritos Oriente, teniendo un coeficiente de variación de 28% para los días lunes y viernes. Además, la cota inferior para la cantidad de trabajadores que se deben contratar es 6, el doble que en el punto anterior.

#### IX.4 Periodos de Resolución

El periodo de resolución considerado en el análisis corresponde al mes de Agosto de 2010, en donde se consideran 28 días (equivalentes a cuatro semanas). La elección de esta cantidad de días es arbitraria y puede modificarse sin problemas en el modelo, por lo tanto, para cada mes es posible tener una herramienta que incluya todos los días correspondientes y que además reconozca los días feriados.

<sup>6</sup> Estación que inicia la ruta hacia puestos de trabajo en las mañanas

## X. Situación Actual

Actualmente la programación de turnos se realiza de forma manual, es decir, el cliente no cuenta con ninguna herramienta que permita obtener turnos de manera óptima. Este proceso aparte de entregar soluciones que no se ajustan al requerimiento de personal con un nivel satisfactorio, demandan una dedicación de tiempo completo, lo que también representa un costo para la empresa. Cabe recordar que la demanda es entregada de manera quincenal, por lo tanto cada vez que se la empresa subcontratista recibe este parámetro debe realizar una asignación completamente nueva.

A continuación se muestra la asignación de turnos que determinó la empresa subcontratista para un día lunes en la estación San Pablo (para los otros días ver Anexos).

Tabla Nº 4: Asignación actual (contratista)

San Pablo	Lunes											
	Total	Turnos										
6:00:00	4	1	1	1	1							
6:30:00	6	1	1	1	1	1	1					
7:00:00	6	1	1	1	1	1	1					
7:30:00	6	1	1	1	1	1	1					
8:00:00	5	A	1	1	1	1	1					
8:30:00	5	A	1	1	1	1	1					
9:00:00	5	1	A	1	1	1	1					
9:30:00	5	1	A	1	1	1	1					
10:00:00	5	1	1	A	1	1	1					
10:30:00	4	1	1	A	A	1	1					
11:00:00	5	1	1	1	A	1	1					
11:30:00	4	1	1	1	1	A						
12:00:00	4	1	1	1	1	A						
12:30:00	5	1	1	1	1	1						
13:00:00	5	1	1	1	1	1						
13:30:00	5	1	1	1	1	1						
14:00:00	5	1	1	1	1	1						
14:30:00	3							1	1	1		
15:00:00	3							1	1	1		
15:30:00	3							1	1	1		
16:00:00	4							1	1	1	1	
16:30:00	3							A	1	1	1	
17:00:00	3							A	1	1	1	
17:30:00	3							1	A	1	1	
18:00:00	3							1	A	1	1	
18:30:00	4							1	1	1	1	
19:00:00	4							1	1	1	1	
19:30:00	4							1	1	1	1	
20:00:00	3							1	1	A	1	
20:30:00	3							1	1	A	1	

21:00:00	3							1	1	1		
21:30:00	3							1	1	1		
22:00:00	3							1	1	1		
22:30:00	3							1	1	1		

En la Tabla N° 4, el valor “1” corresponde a un bloque de trabajo, las celdas con el valor “A” al periodo de almuerzo y las celdas en blanco a un bloque no trabajado. Como se puede ver, en la asignación anterior se encuentra implícita la restricción de no traspasar las 14:30 con un turno, sin embargo, más adelante se concluirá que no existe razón alguna para que esto tenga que ser así.

## XI. Resultados Esperados

Al término de esta memoria se pretende contar con un modelo que permita obtener una malla de asignación de turnos que minimice los costos totales, que cumpla con los requerimientos de personal exigidos y que sea factible. El modelo debe tener la capacidad de individualizar a los trabajadores, es decir, que sepa exactamente en qué momento se encuentra trabajando cada integrante del personal de atención. Además, el tiempo de ejecución del modelo debe ser razonable, de manera que sea posible implementar soluciones en el corto plazo.

Por otra parte, el modelo debe determinar cuál es la cantidad óptima de individuos para cada uno de los contratos establecidos, con el objetivo de brindar la mejor calidad de servicio posible para cada nivel de costos.

## XII. Índice de Modelos Propuestos

### XII.1 Modelo Base

El modelo principal consiste básicamente en decidir en que momento empieza a trabajar un individuo y en que momento comienza su almuerzo. Esta información sumada al tipo de contrato permite definir completamente el turno que será asignado en un determinado día. De esta forma no es necesario contar con matrices de turnos pre-programadas, solo es necesario establecer las restricciones adecuadas para lograr turnos válidos. Esta es una de las grandes ventajas del modelo con respecto a los mencionados en la literatura.

### XII.2 Modelo Contratos Especiales

En este modelo se incorporan los siguientes contratos:

- Embarazadas Tipo 1
- Embarazadas Tipo 2
- Parentales

Como se mencionó en el capítulo IX.1 las “Embarazadas Tipo 1” y “Embarazadas Tipo 2” son aquellas madres que tienen derecho a una hora de amamantamiento en la jornada de trabajo, por lo tanto los turnos asociados a estos contratos tienen características especiales que requieren un modelamiento específico. Además, se encuentran los Parentales que son aquellos padres que tienen derecho a visitar a sus hijos todos los domingos y el último sábado de cada mes, lo cual exige definir restricciones adicionales.

### **XII.3 Modelo Inter-Estación**

El modelo inter-estación tiene por objetivo aprovechar las ventajas particulares del problema para resolver la asignación de turnos, en donde se pueden identificar tres aspectos clave:

- Tiempos de traslado
- Costos de traslado
- Tipos de estaciones

Este modelo tiene como propósito considerar dos estaciones como parte de un mismo problema de asignación, en donde los individuos están disponibles para desplazarse según los requerimientos. El hecho de que los puestos de trabajo estén dentro de las estaciones, hace que sea muy fácil el traslado de los trabajadores en términos de tiempo y costo.

### **XII.4 Modelo Volantes**

Este modelo tiene como objetivo determinar el número óptimo de volantes que se deben contratar de manera de poder suplir las ausencias o eventos puntuales que se presenten. El modelo se basa en los datos históricos de solicitudes de licencias y faltas inesperadas al trabajo y estima una distribución de probabilidad de falta al trabajo. Con esta información se evalúa el costo de tener una ausencia en ventanilla versus tener un trabajador volante contratado.

## **XIII. Desarrollo Modelo Base y Contratos Especiales**

### **XIII.1 Modelo Base**

#### **XIII.1.1 Supuestos**

Los supuestos que se utilizan en este modelo son válidos para los dos modelos siguientes, es decir para el Modelo Contratos Especiales y Modelo Inter-Estación. Primero que todo, se asume que se tiene completa disponibilidad de trabajadores de todos los tipos de contrato definidos en el Capítulo IX.1, sin importar la cantidad que el modelo requiera. Cabe destacar que la empresa contratista cuenta con una gran gama

de individuos actualmente, la que puede distribuir según los requerimientos de cada estación.

En segundo lugar, el costo asociado a contratos y despidos no se considera en la optimización. Este supuesto tiene gran importancia, dado que en el caso de que no existiera disponibilidad de personal, sería necesario incurrir en dicho costo. Se asume también, que los horarios de almuerzo pueden empezar dos horas después del comienzo de la jornada laboral y deben terminar antes de dos horas del término de esta. Por último, para efectos de la programación se considera que no existen inasistencias inesperadas.

### XIII.1.2 Tiempos de ejecución

Los tiempos de ejecución del modelo varían dependiendo de los parámetros definidos para cada escenario. Por ejemplo, si se modifica el costo mensual asociado a remuneraciones, la búsqueda de la solución óptima va a ser distinta al caso normal, por lo tanto el tiempo que tardará en llegar a ella también lo va a ser. Para calcular los tiempos mostrados en la Tabla N° 5 se utiliza el modelo base con los costos reales de cada tipo de contrato.

Tabla N° 5: Tiempos de Ejecución Modelo Base

	Pajaritos Oriente	San Pablo
Restricciones	6.125	6.539
Variables	27.005	30.871
Tiempo de Ejecución	0:01:56	0:02:46

Como se puede observar, los tiempos de ejecución son menores a los tres minutos en ambos casos, hecho que ratifica la aplicabilidad del modelo en el corto plazo.

### XIII.1.3 Índices

- $l$ : Índice para cada individuo (1 a N° de trabajadores de cada estación).
- $i$ : Bloque horario (1 a 34, correspondientes a periodos de 30 minutos partiendo de las 6:00 a las 22:30 hrs.).
- $j$ : Día (de 1 a 28).
- $c$ : Tipo de contrato (1 a 3, Full-Time, Part-Time y Peak-Time).
- *Sábados* ( $j$ ): Corresponde a los días sábado del periodo en consideración (Días 6, 13, 20 y 27).
- *Domingos* ( $j$ ): Corresponde a los días domingo del periodo en consideración (Días 7, 14, 21 y 28).

- *Semana (j)*: Corresponde a los días de semana del periodo en consideración (Días 1 a 34, excluyendo sábados y domingos).

#### XIII.1.4 Parámetros

- *Demanda (i,j)*: La demanda es un parámetro que determina la cantidad de trabajadores necesarios en ventanilla en el bloque “i” del día “j”.
- *ID (i)*: Vector identificador del bloque horario. Al bloque “i” se le asigna el valor i. Este parámetro es necesario para definir restricciones relacionadas con almuerzos y turnos.
- *C (l)*: Costo asociado a remuneraciones, en función del tipo de contrato que posee el individuo l.
- $\alpha (i,j)$ : Costo que se asigna a cada hora no cubierta por la asignación de turnos que entrega el modelo.
- $\beta (i,j)$ : Costo que se asigna a cada hora libre por la asignación de turno que entrega el modelo

#### XIII.1.5 Variables

##### Variables auxiliares:

- *HNC (i,j)*: Corresponde a la cantidad de horas no cubiertas en el bloque “i” del día “j”. Determina cuantas horas están faltando ser trabajadas. Este indicador permite establecer una medida del nivel de servicio que la empresa subcontratista entrega.
- *HL (i,j)*: Corresponde a la cantidad de horas libres en el bloque “i” del día “j”. Determina cuantas horas están siendo trabajadas por sobre lo requerido. Este indicador permite establecer una medida del nivel de eficiencia que posee la empresa subcontratista.
- *Y (l,j)*: Determina si el individuo “l” trabaja el día “j” o no. Toma valores 1 o 0.
- *Y<sup>m</sup> (l)*: Determina si el individuo “l” trabaja en el periodo de resolución o no. Toma valores 1 o 0.
- *X (i,j)*: Corresponde a la cantidad total de individuos que se encuentran trabajando en el bloque “i” del día “j”.
- *X<sup>F</sup> (i,j)*: Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Full-Time” que se encuentran trabajando en el bloque “i” del día “j”.

- $X^P(i,j)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Part-Time” que se encuentran trabajando en el bloque “ $l$ ” del día “ $j$ ”.
- $X^{Pk}(i,j)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Peak-Time” que se encuentran trabajando en el bloque “ $l$ ” del día “ $j$ ”.
- $Z$ : Corresponde al costo total de operación, incluyendo remuneraciones y pagos de multas por incumplimiento de horas trabajadas.

VARIABLES DE DECISIÓN BINARIAS:

- $W(l,i,j)$ : Toma el valor 1 si el individuo “ $l$ ” comienza su jornada laboral en el bloque “ $l$ ” del día “ $j$ ”, 0 si no.
- $V(l,i,j)$ : Toma el valor 1 si el individuo “ $l$ ” comienza su almuerzo en el bloque “ $l$ ” del día “ $j$ ”, 0 si no.

**XIII.1.6 Restricciones**

**XIII.1.6.1 Horarios de entrada y salida**

Estas restricciones tienen como objetivo descartar aquellas posibles soluciones en donde los individuos comienzan su jornada laboral en periodos no factibles. Por ejemplo, un individuo de contrato Full-Time no puede comenzar a trabajar a las 17:00 Hrs mientras que un individuo de contrato Part-Time si puede.

- a) Los días sábado el horario mínimo de entrada es a las 6:30 Hrs. y el domingo es a las 8:30 Hrs.

$$\sum_{i=1}^1 W_{lij} = 0 \quad \forall l, (j \in \text{Sábados})$$

$$\sum_{i=1}^4 W_{lij} = 0 \quad \forall l, (j \in \text{Domingos})$$

- b) Un individuo puede comenzar su jornada laboral a lo más una vez al día.

$$\sum_{i=1}^{34} W_{lij} \leq 1 \quad \forall l, j$$

- c) El horario máximo en que un individuo de contrato Full-Time puede comenzar su jornada laboral es a las 14:30 Hrs (Bloque 18).

$$\sum_{i=19}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Full), j$$

- d) El horario máximo en que un individuo de contrato Part-Time puede comenzar su jornada laboral es a las 18:00 Hrs (Bloque 25).

$$\sum_{i=26}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Part), j$$

- e) Un individuo de contrato Part-Time no puede traspasar las 14:30 Hrs durante su jornada de trabajo.

$$\sum_{i=9}^{17} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Part), j$$

- f) Horario máximo de entrada para individuos de contrato Peak-Time, durante sábados y domingos.

$$\sum_{i=19}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Peak), (j \in \text{Sábados})$$

$$\sum_{i=21}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Peak), (j \in \text{Domingos})$$

- g) Los individuos de contrato Peak-Time no trabajan durante la semana.

$$\sum_{i=1}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Peak), (j \in \text{Semana})$$

### XIII.1.6.2 Relación variable auxiliar

Estas relaciones indican si un individuo trabaja durante un día en particular y si trabaja durante el periodo de resolución. Se definen solo para facilitar la programación del modelo y para ahorrar recursos.

- a) Un individuo trabaja durante el día si y solo si empezó su jornada laboral durante ese día.

$$Y_{lj} = \sum_{i=1}^{34} W_{lij} \quad \forall l, j$$

- b) Un individuo trabaja durante el mes si y solo si trabaja al menos un día.

$$Y_m(l) \geq \sum_{j=1}^{28} Y_{lj} / 28 \quad \forall l, j$$

### XIII.1.6.3 Almuerzos

Al igual que el punto anterior, estas restricciones cumplen con la misión de definir un espacio de soluciones factibles para la variable de decisión  $V(l, i, j)$ . Como ejemplo, un individuo no puede almorzar en un periodo fuera de su jornada laboral.

- a) Un individuo puede almorzar solamente una vez al día, si y solo si ese individuo trabaja durante ese día.

$$\sum_{i=1}^{34} V_{lij} \leq 1 * Y_{lj} \quad \forall l, j$$

- b) El almuerzo no puede comenzar antes del inicio de la jornada laboral y no puede terminar después del término de la misma.

$$\sum_{i=1}^{34} [W_{lij} * ID_i] \leq \sum_{i=1}^{34} [V_{lij} * ID_i] \quad \forall l, j$$

$$\sum_{i=1}^{34} [V_{lij} * ID_i] \leq 15 + \sum_{i=1}^{34} [W_{lij} * ID_i] \quad \forall (l \in Full), j$$

$$\sum_{i=1}^{34} [V_{lij} * ID_i] \leq 13 + \sum_{i=1}^{34} [W_{lij} * ID_i] \quad \forall (l \in Peak), j$$

- c) Los individuos de contrato Part-Time no tienen derecho a almuerzo.

$$\sum_{i=0}^{34} V_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Part), j$$

### XIII.1.6.4 Restricciones laborales

Estas restricciones son aquellas que por ley no pueden ser violadas. Si bien existe una probabilidad de que no haya fiscalización, para efectos de esta memoria el cumplimiento de las restricciones laborales será estricto.

- a) Días consecutivos: Esta restricción corresponde al máximo de días consecutivos que un individuo puede trabajar durante un periodo de cuatro semanas y se debe cumplir para todos los tipos de contrato existentes en la empresa subcontratista. La cantidad de días es igual a seis.

$$\sum_{j'=j-7, j' \geq 0}^j Y_{lj'} \leq 6 \quad \forall l, j$$

Es decir, para cada periodo de siete días durante el mes, el máximo de días trabajados es igual a seis.

- b) Descanso dominical: Los trabajadores tienen derecho a dos domingos libres en un periodo de cuatro semanas. Esta restricción solamente afecta a los contratos individuos con contrato Full-Time, los cuales trabajan un total de cuarenta y cinco horas semanales.

$$\sum_{j \in \text{Domingos}} Y_{lj} \geq 2 \quad \forall l$$

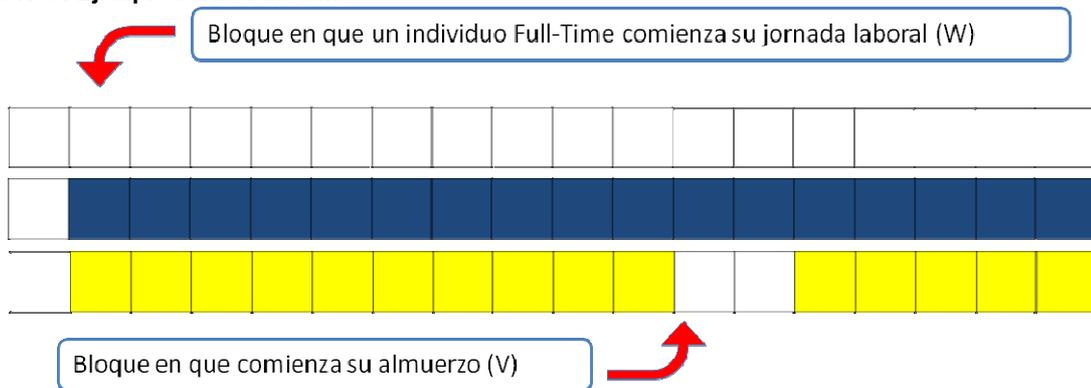
### XIII.1.6.5 Cantidad de horas trabajadas

La cantidad de horas trabajadas se calcula en base a tres conceptos:

- Momento en que comienza la jornada laboral
- Momento en que comienza el almuerzo
- Tipo de contrato

Con esta información es posible definir una variable auxiliar que permite conocer exactamente cuántos individuos se encuentran trabajando en las ventanillas de atención. Para ejemplificar el cálculo se muestra la siguiente figura:

Figura N° 5: Ejemplo Turno Full-Time



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura N° 5 un individuo de contrato Full-Time comienza su jornada laboral en el segundo bloque lo que automáticamente define que el término de esta será en bloque dieciocho. Además su almuerzo comienza en el bloque doce, por lo tanto, sabiendo que este dura una hora, se sabe que el individuo se reincorpora a trabajar en el bloque catorce. En conclusión se sabe exactamente quien está trabajando y quien está en su periodo de almuerzo. Con esta información se definen las siguientes relaciones.

- a) Cantidad de individuos de contrato Full-Time que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^F = \sum_{l \in Full} \left[ \sum_{h=0}^{16} W_{li-hj} - (V_{lij} + V_{li-1j}) \right] \quad \forall i, j$$

- b) Cantidad de individuos de contrato Part-Time que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^P = \sum_{l \in Part} \sum_{h=0}^9 W_{li-hj} \quad \forall i, j$$

- c) Cantidad de individuos de contrato Peak-Time que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^{Pk} = \sum_{l \in Peak} \left[ \sum_{h=0}^{14} W_{li-hj} - (V_{lij} + V_{li-1j}) \right] \quad \forall i, (j \in \text{Sábados})$$

$$X_{ij}^{Pk} = \sum_{l \in Peak} \left[ \sum_{h=0}^{13} W_{li-hj} - V_{lij} \right] \quad \forall i, (j \in \text{Domingos})$$

- d) Por último, la cantidad total de individuos trabajando corresponde a la suma de las cantidades para cada tipo de contrato:

$$X_{ij} = X_{ij}^F + X_{ij}^P + X_{ij}^{Pk} \quad \forall i, j$$

### XIII.1.6.6 Cumplimiento de demanda

En este problema se exige un mínimo de cumplimiento de demanda que es variable en función de la hora, del día y de la estación, en donde existe una multa por no cubrir las horas requeridas. Sin embargo, hay una probabilidad muy alta de que esta multa no se haga efectiva, por lo tanto resulta muy tentador generar asignaciones de turnos que se encuentren por debajo del requerimiento. Ahora bien hay otras variables como la imagen de la empresa subcontratista, que deben ser consideradas al momento de tomar una decisión como esta. Actualmente existen otras tres empresas que proporcionan personal, las cuales tienen a su cargo el resto de las estaciones de la red y que año a año compiten por obtener un mayor "Market Share" en la operación de las ventanillas de atención. Esta intensa rivalidad requiere que no solo se maximice la eficiencia sino también la calidad de servicio que se entrega. En definitiva, para efectos de esta memoria se considerará un cumplimiento mínimo del 85% de la demanda en los horarios punta, y un 70% para el resto del día. Estos porcentajes se exigen para cada bloque horario del día.

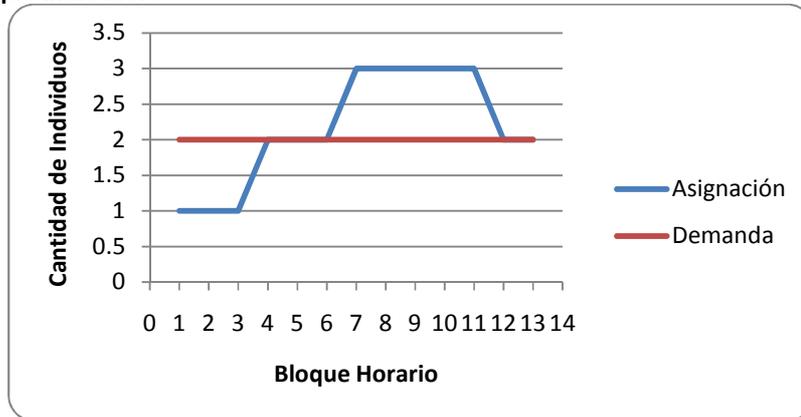
$$X_{ij} \geq \text{Demanda}(i, j) * 0,85 \quad \forall (i \in \text{Punta}), j$$

$$X_{ij} \geq \text{Demanda}(i, j) * 0,70 \quad \forall (i \in \text{Valle}), j$$

### XIII.1.6.7 Indicadores de desempeño

Se definen dos indicadores de desempeño: las horas no cubiertas y las horas libres. En el siguiente gráfico, se puede observar un ejemplo muy simplificado de estos dos conceptos.

Gráfico N° 8: Ejemplo Indicadores



Como se puede observar en el Gráfico N°8, entre los bloques uno y tres la cantidad de individuos trabajando es menor a la cantidad demandada, por lo tanto existen horas no cubiertas. En este caso es una hora y media. Por otra parte entre los bloques siete y once, la asignación está por sobre la demanda, lo que resulta en dos horas y media libres. La manera de calcular estos valores viene dado por las siguientes relaciones:

a) Horas no cubiertas:

$$HNC(i, j) = \max[0, Demanda(i, j) - X_{ij}] / 2 \quad \forall i, j$$

b) Horas libres:

$$HL(i, j) = (-1) * \min[0, Demanda(i, j) - X_{ij}] / 2 \quad \forall i, j$$

Dado que el problema es de carácter lineal, la formulación anterior no es adecuada para efectos de la programación, por lo tanto es necesario definir estos indicadores de manera que el lenguaje GAMS pueda reconocerlo. Se utiliza la siguiente formulación:

a) Horas no cubiertas deben cumplir:

$$X_{ij} + HNC(i, j) \geq Demanda(i, j) \quad \forall i, j$$

b) Horas libres deben cumplir:

$$Demanda(i, j) + HL(i, j) \geq X_{ij} \quad \forall i, j$$

De esta manera es posible definir la función objetivo.

### **XIII.1.7 Función Objetivo**

La función objetivo se calcula como la suma de los costos totales. Estos corresponden a los costos por concepto de remuneraciones sumados con los costos por multas. Además, para efectos de la optimización se asigna un costo por hora libre, el cual no forma parte de los costos reales pero tiene valor en términos de eficiencia.

$$\min_{W,V} Z = \sum_l Ym(l) * C(l) + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{28} [\alpha_{ij} HNC_{ij} + \beta_{ij} HL_{ij}]$$

Es importante mencionar que el problema se puede abordar de muchas formas. Una de ellas es exigir un porcentaje mínimo de cumplimiento de demanda y minimizar solo los costos asociados a multas, en cuyo caso los parámetros alfa y beta se igualan a cero. Otra manera consiste en fijar la cantidad de trabajadores que se van a contratar durante el mes y minimizar solo las horas no cubiertas (HNC). En ambos casos es necesario crear escenarios de solución, debido a que no existe un valor fijo para la multa por incumplimiento de demanda. En el capítulo XIV.4 se realiza un análisis detallado de esta situación.

### **XIII.2 Modelo Contratos Especiales**

Este modelo posee las mismas características que el Modelo Base, con la diferencia que se incorporan los tres contratos mencionados en el punto IX.1. Dado que estos individuos poseen un trato especial se definen también restricciones que representan las condiciones reales de trabajo actualmente.

#### **XIII.2.1 Supuestos**

Esta variante del modelo tiene por objetivo incorporar situaciones particulares que enfrentan los programadores de turnos con sus trabajadores. La cantidad de individuos que cumplen con estas características es fija, es decir no es posible modificarla durante el periodo de resolución y por ende no es parte de las variables de decisión del modelo.

Para efectos de la programación y de la obtención de resultados, se determina una cantidad estimada de Embarazadas Tipo I y II y Parentales para el mes en curso. En base a esta información se determina la mejor forma de realizar la asignación de turnos y días que deben trabajar cada uno de ellos.

#### **XIII.2.2 Variables**

Para esta modificación del Modelo Base, se definen tres variables auxiliares adicionales, las cuales representan las cantidades de individuos trabajando.

- $X^{E1}(i,j)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Embarazadas Tipo I” que se encuentran trabajando en el bloque “i” del día “j”.
- $X^{E2}(i,j)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Embarazadas Tipo II” que se encuentran trabajando en el bloque “i” del día “j”.
- $X^{Prt}(i,j)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato “Parentales” que se encuentran trabajando en el bloque “i” del día “j”.

### XIII.2.3 Restricciones

Se define la cantidad de individuos trabajando en el bloque “i” del día “j” para cada uno de los contratos mencionados anteriormente:

- a) Cantidad de individuos de contrato “Embarazadas Tipo I” que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^{E1} = \sum_{l \in Emb1} \left[ \sum_{h=0}^{14} W_{li-hj} - (V_{lij} + V_{li-1j}) \right] \quad \forall i, j$$

- b) Cantidad de individuos de contrato “Embarazadas Tipo II” que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^{E2} = \sum_{l \in Emb2} \left[ \sum_{h=0}^{16} W_{li-hj} - (V_{lij}) \right] \quad \forall i, j$$

- c) Cantidad de individuos de contrato “Parentales” que actualmente se encuentran trabajando:

$$X_{ij}^{Prt} = \sum_{l \in Parent} \left[ \sum_{h=0}^{16} W_{li-hj} - (V_{lij} + V_{li-1j}) \right] \quad \forall i, j$$

La restricción del punto a) indica que las Embarazadas Tipo I trabajan 7,5 horas diarias con derecho a una hora de almuerzo mientras que la restricción b) indica que las Embarazadas Tipo II trabajan 8,5 horas diarias con derecho a media hora de almuerzo. Dado que ahora existen tres tipos de contratos nuevos, es necesario modificar la función X:

- d) Cantidad total de individuos trabajando en el bloque “i” del día “j”:

$$X_{ij} = X_{ij}^F + X_{ij}^P + X_{ij}^{Pk} + X_{ij}^{E1} + X_{ij}^{E2} + X_{ij}^{Prt} \quad \forall i, j$$

A continuación se define la cantidad de días que se deben trabajar al mes para cada tipo de contrato:

e) Días a trabajar “Embarazadas Tipo I”:

$$\sum_{j=1}^{28} Y_{lj} = 23 \quad \forall (l \in Emb1)$$

f) Días a trabajar “Embarazadas Tipo II”:

$$\sum_{j=1}^{28} Y_{lj} = 20 \quad \forall (l \in Emb1)$$

g) Días libres “Parentales”:

$$\begin{aligned} Y_{lj} &= 0 & \forall (l \in Parent), (j \in Domingos) \\ Y_{lj} &= 0 & \forall (l \in Parent), (j = 'D27') \end{aligned}$$

La restricción d) determina que las “Embarazadas Tipo I” poseen contrato 6x1, mientras que en la restricción e) determina que las “Embarazadas Tipo II” poseen contrato 5x2. Esta modalidad es de libre elección para las madres encinta. Por otra parte los “Parentales” deben tener libres todos los domingos y el último sábado del mes para realizar las visitas a sus hijos. A continuación se definen las restricciones asociadas a los horarios máximos de salida:

h) Horario máximo de entrada para “Embarazadas Tipo I”:

$$\sum_{i=21}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Emb1), j$$

i) Horario máximo de entrada para “Embarazadas Tipo II” y “Parentales”

$$\sum_{i=19}^{34} W_{lij} = 0 \quad \forall (l \in \{Emb2, Parent\}), j$$

### XIII.2.4 Función Objetivo

La función objetivo no difiere a la del Modelo Base:

$$\min_{W,V} Z = \sum_l Y_m(l) * C(l) + \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{28} [\alpha_{ij} HNC_{ij} + \beta_{ij} HL_{ij}]$$

## **XIV. Resultados Obtenidos**

Para poder realizar una evaluación de los resultados obtenidos, se comparan las soluciones entregadas por el modelo con la situación actual. En este punto se utilizan los indicadores de gestión definidos en la sección XIII.1.5, de manera de poder cuantificar las mejoras.

En la comparación se consideran dos estaciones, San Pablo y Pajaritos Oriente, en donde el periodo de a considerar corresponde al mes de Agosto de 2010. Cabe destacar que por razones de confidencialidad solo se tiene información relativa a días de semana, por lo tanto no forma parte del análisis los resultados obtenidos para los días Sábado y Domingo.

También es importante mencionar que el modelo fue programado para entregar tres outputs:

- 1) Excedentes: Este archivo permite obtener información acerca de la cantidad de individuos trabajando y el requerimiento de demanda en un determinado bloque horario. Por lo tanto, mediante estas dos variables es posible obtener los indicadores de gestión definidos en el punto XIII.1.5.
- 2) Turnos: Este archivo entrega información relativa al comienzo de jornada y almuerzo para cada individuo que trabaja durante el mes.
- 3) Scheduling: Por último, este archivo determina que días del mes trabaja cada individuo.

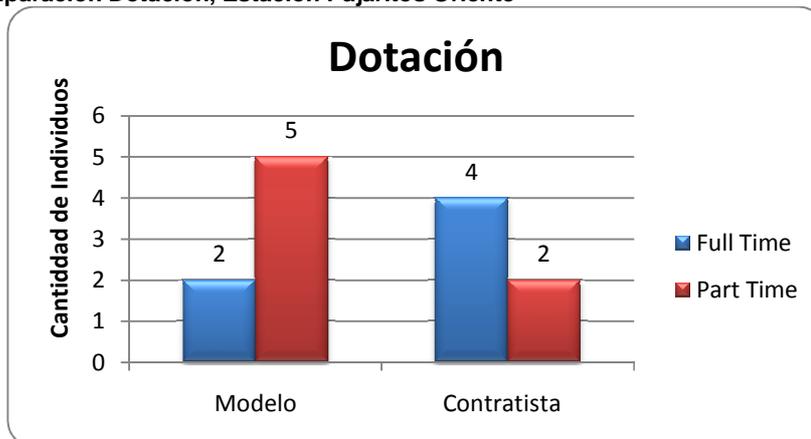
### **XIV.1 Resultados Pajaritos Oriente**

La estación Pajaritos Oriente posee cuatro ventanillas de atención, número que determina la cantidad máxima de individuos que pueden trabajar simultáneamente. El hecho de que este valor es relativamente pequeño hace que el problema de Scheduling no sea significativamente complejo, dado que las posibles combinaciones de turnos, almuerzos y días a trabajar durante el mes son limitadas. Por esta razón, se podrá observar más adelante que la solución entregada por el modelo difiere en un pequeño porcentaje de la solución actual.

#### **XIV.1.1 Dotación**

Como se mencionó en el Capítulo III, el problema posee dos aristas. Por una parte se busca obtener el número óptimo de individuos para cada uno de los contratos definidos por la empresa subcontratista y a su vez determinar la mejor asignación de turnos posible para la dotación contratada.

Gráfico N° 9: Comparación Dotación, Estación Pajaritos Oriente

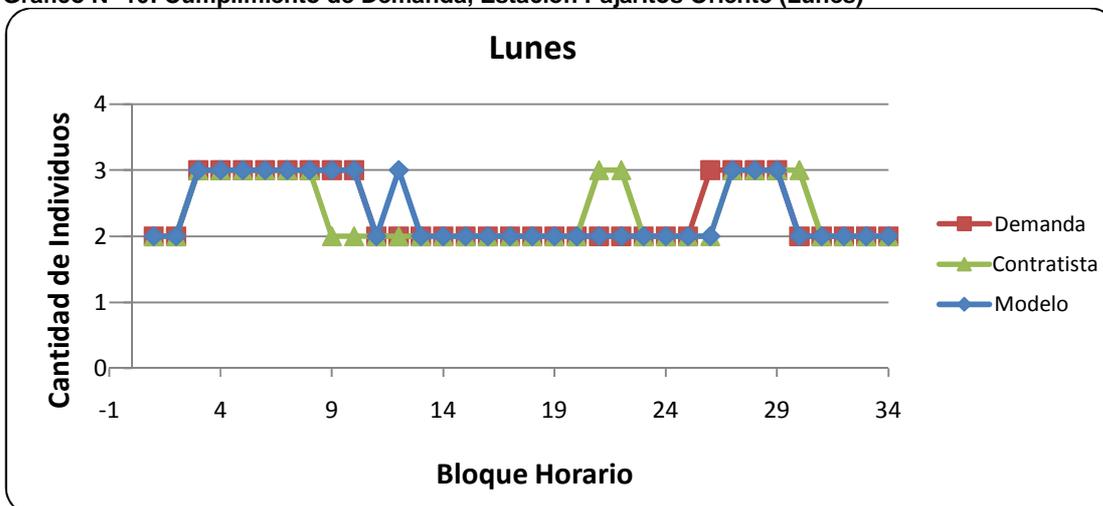


Como se puede apreciar en el Gráfico N° 9, el modelo determinó aumentar la cantidad total de trabajadores, disminuyendo en un 50% los individuos Full-time y aumentando en un 150% los individuos Part-Time. En el siguiente punto se analiza como este cambio de dotación influye en la solución final y en los indicadores de gestión.

#### XIV.1.2 Cumplimiento de Demanda

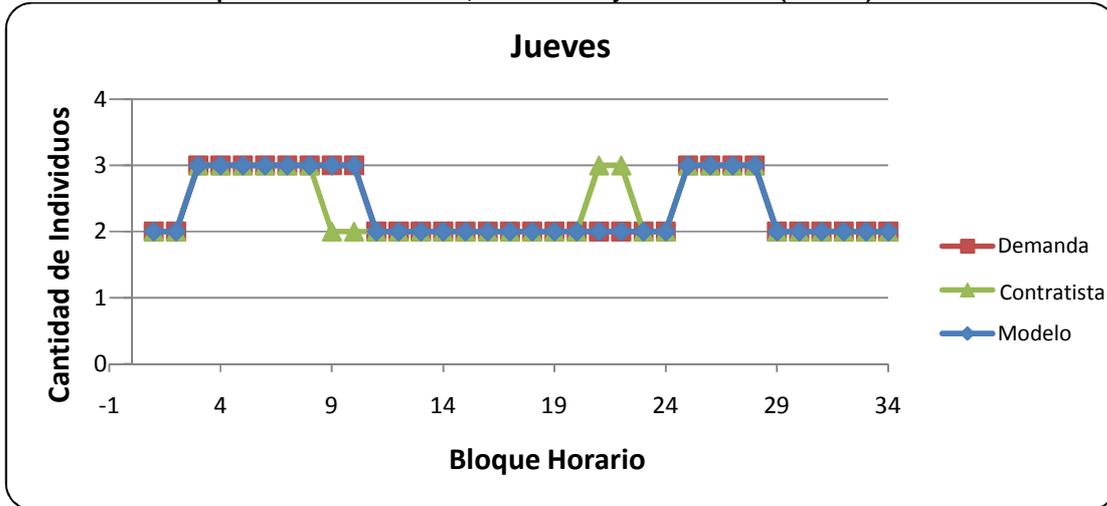
En el Gráfico N° 10 se puede observar el requerimiento de personal establecido, la solución actual determinada por la empresa contratista y la solución entregada por el modelo para un día lunes.

Gráfico N° 10: Cumplimiento de Demanda, Estación Pajaritos Oriente (Lunes)



Se puede apreciar que la calidad de ajuste del modelo se asemeja al requerimiento exigido, teniendo solo un bloque no cubierto (media hora no cubierta). A continuación se muestra el resultado para un día jueves.

Gráfico N° 11: Cumplimiento de Demanda, Estación Pajaritos Oriente (Jueves)



Para el día jueves, el modelo entrega una asignación de turnos que se ajusta de manera perfecta al requerimiento de personal, superando considerablemente a la situación actual. Más adelante se ven los resultados agregados para esta estación.

Con respecto a la asignación actual, la empresa contratista sobreestima el requerimiento en tres ocasiones (Bloques 21,22 y 30). Además, se tienen tres bloques en donde existe una carencia de personal, es decir, la cantidad de individuos trabajando es menor al requerimiento exigido. En la siguiente tabla se muestra una comparación de los indicadores de gestión para ambas soluciones.

Tabla N° 6: Comparación Indicadores de Gestión, Estación Pajaritos Oriente

PAJARITOS ORIENTE	MODELO	CONTRATISTA	% Diferencia
HNC	2	22	-91%
HL	2	22	-91%
COSTO	\$ 2.600.000	\$ 2.640.000	-1,5%
# Full-Time	2	4	-50%
# Part-Time	5	2	150%

Como se puede observar, la solución entregada por el modelo domina completamente a la solución determinada por la empresa subcontratista, dado que las Horas no Cubiertas (HNC), las Horas Libres (HL) y el Costo Total, son inferiores. Esta mejora puede ser explicada por varios factores:

- La primera corresponde a la efectividad de un modelo de optimización por sobre una asignación manual. Esta última puede pasar por alto soluciones que garanticen un mejor uso de los recursos disponibles.

- La segunda corresponde a la relajación de una restricción auto-impuesta por la empresa subcontratista, la cual establece que los turnos de los trabajadores no pueden traspasar las 14:30 Hrs. Luego de conversar con el cliente acerca de este tema, se acordó no considerar esta restricción.
- Si bien la cantidad de individuos determinada por el modelo es la misma que la actual, el mix de trabajadores cambia. El resultado de la optimización propone el cambio de un trabajador Full-Time por uno Part-Time.

Si se asume que el costo de una hora no cubierta es de diez mil pesos, entonces se tienen los siguientes resultados:

**Tabla Nº 7: Comparación solución actual v/s modelo**

Pajaritos Oriente	Modelo	Contratista
Costo Planilla	\$ 2.600.000	\$ 2.640.000
Costo HNC	\$ 20.000	\$ 220.000
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 2.620.000</b>	<b>\$ 2.860.000</b>

En resumen, el costo de la solución entregada por el modelo es un 8,4% inferior a la situación actual. En el capítulo XV se realiza una estimación de los beneficios esperados para todas las estaciones.

#### **XIV.1.3 Asignación de Turnos**

Para poder entregar una solución factible al problema de Scheduling es necesario especificar para cada individuo el momento en que comienza su jornada laboral y el momento en que comienza su almuerzo. De esta manera, entregando esta información para todos los días de trabajo, se tiene totalmente definida la propuesta de asignación de turnos. A continuación se muestran los resultados para la solución encontrada anteriormente, proveniente del archivo Turnos.txt.

**Tabla Nº 8: Asignación de Turnos, Pajaritos Oriente**

Individuo	Día	Bloque	Comienzo Jornada	Comienzo Almuerzo
I1	D1	B3	1	0
I1	D1	B9	0	1
I1	D2	B18	1	0
I1	D2	B29	0	1
I1	D3	B12	1	0
I1	D3	B19	0	1
I1	D4	B18	1	0
I1	D4	B30	0	1
I1	D5	B18	1	0
I1	D5	B29	0	1

En la Tabla Nº 8 se puede observar una parte de la solución entregada por el modelo, para la estación Pajaritos Oriente. La información se debe leer de la siguiente

manera: “El individuo 1, en el día 2, comienza su jornada en el bloque 18 y comienza su almuerzo en el bloque 29” (Véase en Anexos Tabla Completa).

#### XIV.1.4 Scheduling

Por último, el archivo Scheduling.txt entrega el calendario mensual.

Tabla Nº 9: Scheduling Mensual, Estación Pajaritos Oriente

Individuo	Día													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I1							x							x
I2							x							x
I3							x							x
I4						x							x	
I5						x							x	
I6						x							x	

Individuo	Día													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
I1							x							x
I2							x							x
I3							x							x
I4						x							x	
I5						x							x	
I6						x							x	

En la Tabla Nº 9, se marca con una “x” los días libres que tiene un individuo. Por ejemplo, el individuo 2 no trabaja los días 7, 14, 20 y 27.

La principal razón de porque el modelo determina que los individuos no deben trabajar en la semana, es debido a que no se está considerando cumplir el requerimiento de personal para los días Sábado y Domingo. Esto sumado a que la demanda durante la semana es prácticamente constante, hace que no sea necesario dar días libres en estos periodos.

#### XIV.2 Análisis de Sensibilidad Estación Pajaritos Oriente

##### XIV.2.1 Variaciones de Demanda

En este punto se busca entender cómo se comporta el costo total al variar la cantidad de individuos requeridos para cada momento del día. Es preciso señalar que para poder realizar este análisis se fijó el costo de la hora no cubierta (HNC) en diez mil pesos, valor obtenido mediante juicio experto. De esta forma, la función objetivo a minimizar corresponde a la suma de los costos asociados a remuneraciones y los costos por incumplimiento de demanda. Los parámetros para realizar este análisis se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 10: Costos de Remuneraciones y Multas**

Costo Full-Time (Mensual)	\$ 500.000
Costo Part-Time (Mensual)	\$ 320.000
Costo HNC	\$ 10.000

Los escenarios considerados al variar la demanda de personal consisten en:

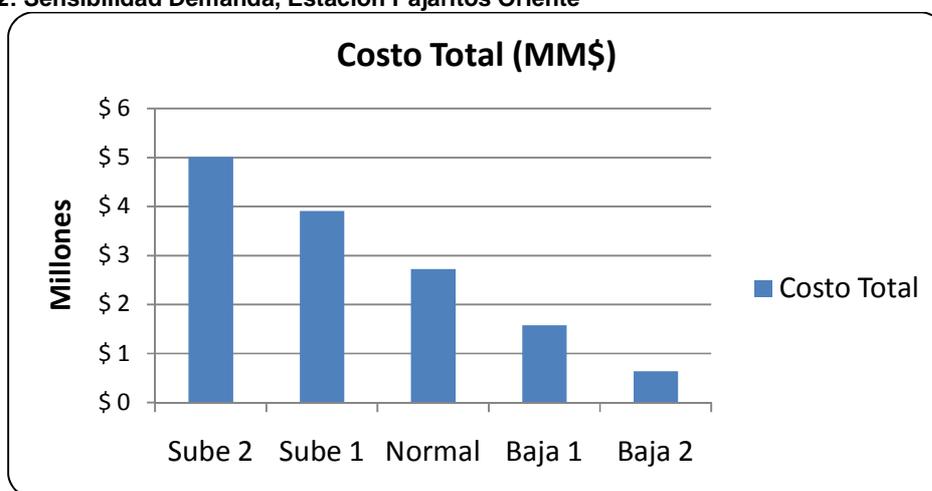
- 1) Aumento de una hora-hombre (Sube 1)
- 2) Aumento de dos horas-hombre (Sube 2)
- 3) Disminución de una hora-hombre (Baja 1)
- 4) Disminución de dos horas-hombre (Baja 2)

La razón de porque no se consideran variaciones porcentuales, se debe a que la demanda de personal debe ser un valor entero, dado que no se puede disponer de una fracción de un trabajador. De esta forma se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla Nº 11: Sensibilidad Demanda Estación Pajaritos Oriente**

Escenario	Sube 2	Sube 1	Normal	Baja 1	Baja 2
Total Full-Time	4	3	2	1	0
Total Part-Time	9	7	5	3	2
Total HNC	13	17	12,5	11,5	0
Costo Total	\$ 5.010.000	\$ 3.910.000	\$ 2.725.000	\$ 1.575.000	\$ 640.000

**Gráfico Nº 12: Sensibilidad Demanda, Estación Pajaritos Oriente**



Como era de esperar, a medida que disminuye la demanda, los costos totales también disminuyen. En promedio, una disminución de una hora-hombre en el requerimiento, le significa a la empresa contratista un ahorro de \$ 1.092.500 mensual, lo que equivale a dos individuos Full-Time aproximadamente.

En este caso, los incrementos en el costo debido al aumento en la demanda de personal no dependen de la cantidad actual de trabajadores. Esto se puede ver en el

Gráfico N° 12, en donde las diferencias entre costos son las mismas para cada par de escenarios.

#### XIV.2.2 Variaciones de Costos

Al igual que en el punto anterior, para realizar este análisis se considera un costo fijo para el incumplimiento de demanda (multas), el cual corresponde a diez mil pesos por hora no cubierta. El objetivo ahora es identificar cual es la valoración que tiene el modelo por los diferentes tipos de contrato, es por esta razón que se realizan variaciones en el costo mensual de remuneración para individuos Full-Time y Part-Time, considerando los siguientes escenarios:

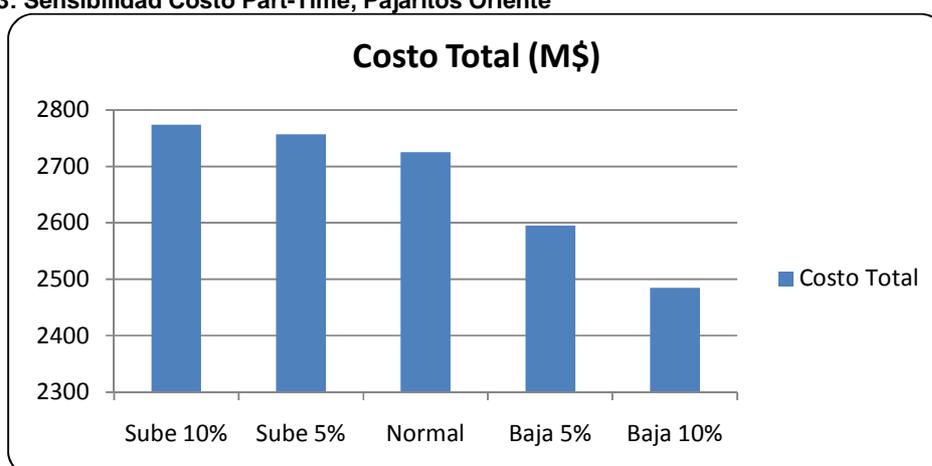
- 1) Aumento de un 5%
- 2) Aumento de un 10%
- 3) Disminución de un 5%
- 4) Disminución de un 10%

Tabla N° 12: Sensibilidad Costo Part-Time, Pajaritos Oriente

Escenario	Baja 10%	Baja 5%	Normal	Sube 5%	Sube 10%
Total Full-Time	2	2	2	4	4
Total Part-Time	5	5	5	2	2
Total HNC	4,5	7,5	12,5	8,5	7
Costo Total	\$ 2.485.000	\$ 2.595.000	\$ 2.725.000	\$ 2.757.000	\$ 2.774.000

A partir de la Tabla N° 12 se puede desprender que la dotación es muy sensible al costo de los individuos Part-Time cuando este sube. Cuando este baja, no existen cambios en la dotación. Esto sucede porque la existencia de individuos Full-Time es muy valorada por el modelo para poder cubrir el requerimiento diario, por lo tanto no es una solución óptima considerar cero trabajadores de este tipo de contrato.

Gráfico N° 13: Sensibilidad Costo Part-Time, Pajaritos Oriente



A diferencia de la dotación, el costo total es más sensible al costo de los individuos Part-Time cuando este baja. Esto se debe a que al mantenerse constante la

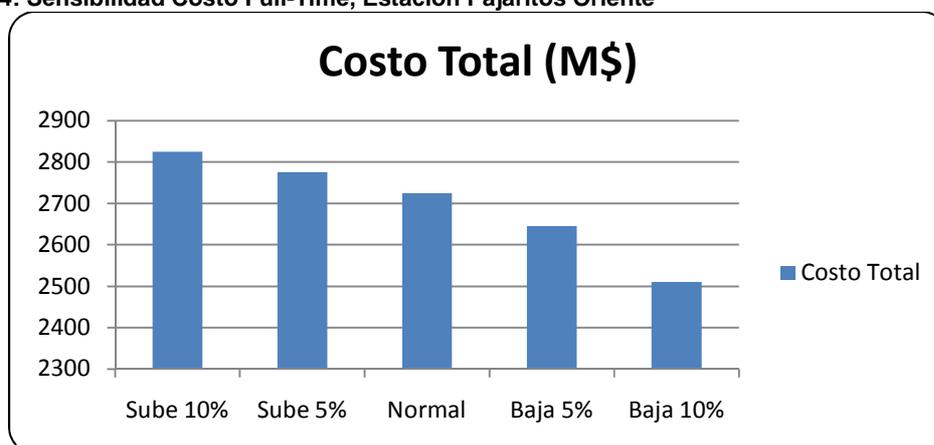
dotación, la solución encontrada por el modelo es prácticamente la misma, por lo tanto toda la disminución en el costo asociado a remuneraciones se traspasa completamente al costo total. A continuación se muestran los resultados del análisis de sensibilidad para el costo de individuos Full-Time.

**Tabla N° 13: Sensibilidad Costo Full-Time, Pajaritos Oriente**

Escenario	Baja 10%	Baja 5%	Normal	Sube 5%	Sube 10%
Total Full-Time	4	4	2	2	2
Total Part-Time	2	2	5	5	5
Total HNC	7	10,5	12,5	12,5	12,5
Costo Total	\$ 2.510.000	\$ 2.645.000	\$ 2.725.000	\$ 2.775.000	\$ 2.825.000

Este caso es análogo al anterior y se debe principalmente a que al haber sólo dos tipos de contrato en análisis, el incremento en el costo de uno es equivalente a una disminución del costo del otro, aún cuando las magnitudes sean diferentes.

**Gráfico N° 14: Sensibilidad Costo Full-Time, Estación Pajaritos Oriente**



Para esta estación un aumento del 5% en el costo de un individuo Full-Time representa un alza del 3% promedio en el costo total.

### **XIV.2.3 Variaciones de Contratos**

En este punto se realizarán dos análisis de sensibilidad distintos. Primero se estudia el impacto que tiene en la solución final la incorporación de un nuevo contrato variando únicamente el costo de remuneración correspondiente. Luego, se estudia el comportamiento del resto de las variables involucradas – horas no cubiertas, horas ociosas y cumplimiento de demanda – al variar la cantidad de individuos que se encuentran trabajando. En este punto el modelo no determina la cantidad óptima de trabajadores que se deben considerar, sino que es un parámetro.

#### **XIV.2.3.1 Incorporación de Contrato “Universitario”**

Dada la alta variabilidad de los requerimientos de personal impuestos, es razonable pensar en contratos que tengan un mayor grado de flexibilidad. Hipotéticamente hablando, en el escenario ideal bastaría con tener contratos de media hora de duración para cubrir la demanda al cien por ciento y no tener horas ociosas. Claramente esto no es posible debido a las restricciones laborales vigentes y por razones de factibilidad, dado que el solo hecho de abrir y cerrar el puesto de trabajo toma veinte minutos aproximadamente.

Sin embargo, el operador ya cuenta con un contrato Part-Time que tiene una duración de cinco horas diarias, las cuales pueden ser trabajadas en cualquier momento del día. Este tipo de contrato ha permitido establecer asignaciones de turnos que se adapten en mejor medida a los requerimientos de personal. Aun así esto no es suficiente, es por esta razón que se incluye un nuevo contrato denominado “Universitario”, el cual tiene una duración de tres horas diarias.

Bajo estas nuevas condiciones, se obtiene la máxima disposición a pagar por un individuo de contrato “Universitario” en la estación “Pajaritos Oriente”:

**Tabla N° 14: Sensibilidad costo nuevo contrato (Pajaritos Oriente)**

Costo Univ/Mes	Modelo				Contratista
	\$ 150.000	\$ 160.000	\$ 170.000	\$ 180.000	
HNC	0	0	0	0	22
HL	3,5	4	16	8	22
Full-Time	1	1	2	3	4
Part-Time	4	4	3	3	2
Universitario	4	4	3	0	0
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 2.380.000</b>	<b>\$ 2.420.000</b>	<b>\$ 2.470.000</b>	<b>\$ 2.460.000</b>	<b>\$ 2.640.000</b>

Cabe destacar, que los resultados mostrados en la Tabla N° 14 corresponden al mejor escenario obtenido por el modelo, en donde se busca minimizar los costos totales. Además se exige que el cumplimiento de la demanda sea de un cien por ciento, de manera de poder comparar las diferentes combinaciones de individuos trabajando. En base a estos valores, se observa el comportamiento de los indicadores de gestión asociados y se encuentra la máxima remuneración que estaría dispuesto a pagar el operador por un individuo de contrato universitario de tres horas. Este valor asciende a \$170.000 mensuales, considerando seis días de trabajo y uno de descanso.

#### **XIV.2.4 Escenarios Posibles**

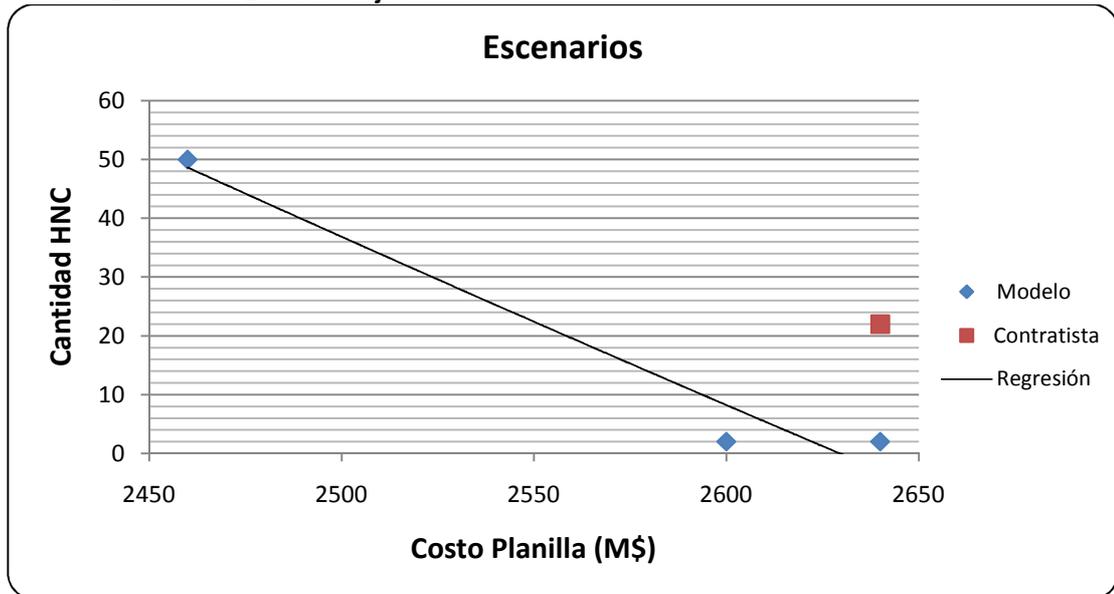
Para poder definir un escenario de solución, es apropiado pensar en valores extremos. Por ejemplo, se tienen dos casos:

- 1) Se contratan cero trabajadores: Bajo este escenario el costo de planilla tiene un valor igual a cero, pero el indicador HNC (Horas No Cubiertas) llega a su nivel máximo.

- 2) Se contratan infinitos trabajadores: Bajo este escenario, el indicador HNC llega a su valor mínimo (cero), pero el costo de planilla tiende a infinito.

En el siguiente gráfico se pueden apreciar diversos escenarios de asignación de turnos, en donde en el eje de las ordenadas se muestra la cantidad de horas no cubiertas y en el eje de las abscisas el costo total de la planilla mensual. En este caso el número de individuos es un parámetro que se varía manualmente, de manera de poder observar el comportamiento de los dos indicadores mencionados.

Gráfico Nº 15: Escenarios Estación Pajaritos Oriente



Como se mencionó en el punto XIV.3.1, dentro de las soluciones encontradas se puede identificar una relación inversamente proporcional entre la cantidad de horas no cubiertas y el costo total. Se puede observar que existe un “trade-off” entre el nivel de servicio y el costo operacional que debe incurrir la empresa contratista, por lo tanto, la decisión acerca de qué asignación es la indicada para esta estación, debe tomarse en conjunto con el cliente.

Es preciso también mencionar que dado lo estable de la demanda de esta estación, la incorporación de un contrato de tres horas como este no aporta significativamente a la mejora de la asignación de turnos. Este tipo de contrato está diseñado para hacerse cargo de la alta variabilidad que presenta la demanda de otras estaciones de mayor tamaño. Por esta razón, se procede a analizar los resultados para la estación San Pablo.

### XIV.3 Resultados San Pablo

Los resultados obtenidos en el punto anterior, representan una solución que se encuentra más cerca del óptimo que la actual asignación utilizada actualmente. Como

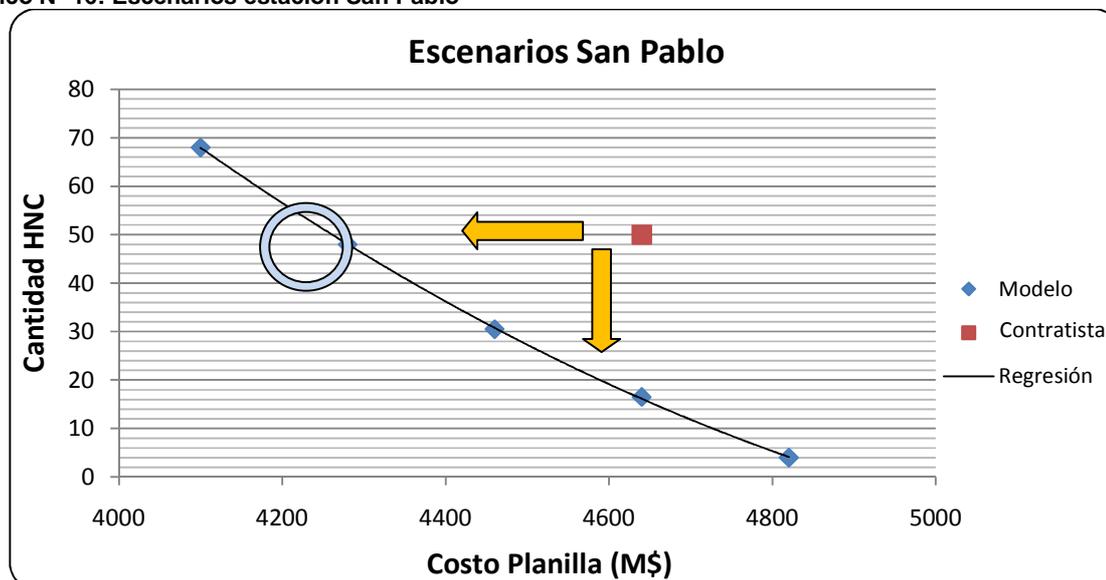
se pudo apreciar, los tres indicadores de gestión tienen mejoras significativas al aplicar el modelo.

A partir de esta idea, es razonable tratar de entender cómo se relacionan estos indicadores, de manera de poder estimar hasta qué punto es posible disminuir el costo total de planilla manteniendo un buen nivel de servicio. Por esta razón, se construyen diversos escenarios de soluciones.

### XIV.3.1 Escenarios Posibles

En este punto, se construyen cinco escenarios de solución, variando la cantidad máxima de individuos para cada tipo de contrato, el costo asociado a horas no cubiertas y el costo ficticio asociado a horas libres.

Gráfico N° 16: Escenarios estación San Pablo



En el gráfico anterior, el eje de las ordenadas representa la cantidad de Horas No Cubiertas (HNC) mientras que el eje de las abscisas el Costo Total de planilla. La solución actual que utiliza la empresa contratista corresponde al cuadrado rojo, en donde bajo un costo total de \$4.640.000 posee cincuenta horas no cubiertas durante los días de semana. Las flechas amarillas determinan el espacio de soluciones determinadas por el modelo, que son absolutamente dominantes a la solución actual (es decir, tanto los costos como las horas no cubiertas son menores).

La principal razón de porque se construye este gráfico es porque en la práctica la probabilidad de que se cobren multas por horas no cubiertas es muy baja. Por lo tanto, la decisión de que escenario elegir para realizar la asignación de turnos, debe ser tomada en conjunto con el cliente, ya que depende de cuál es el objetivo principal. Cabe recordar que la empresa subcontratista debe mantener un nivel de servicio de

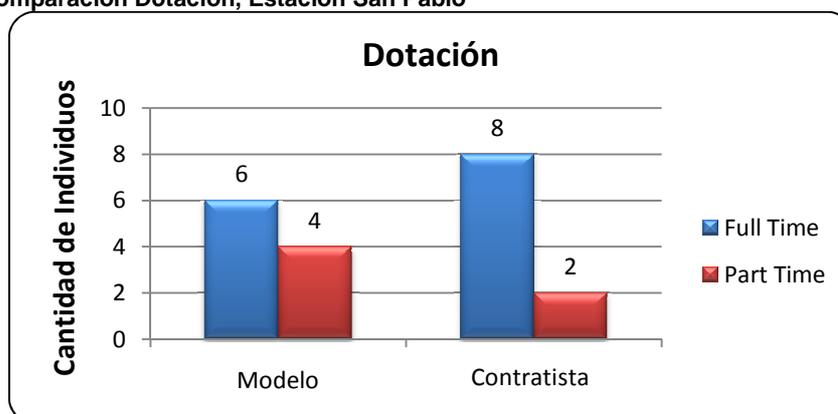
excelencia, con el propósito de poder aumentar su participación en la operación de estaciones.

Teniendo esto en consideración, se procede a analizar el escenario seleccionado (la elección es arbitraria).

### XIV.3.2 Dotación

Análogamente al caso de la estación Pajaritos Oriente, la cantidad total de individuos se mantiene constante. Sin embargo el mix de trabajadores cambia.

Gráfico N° 17: Comparación Dotación, Estación San Pablo



En el Gráfico N° 17 se puede identificar un cambio de dos trabajadores de contrato Full-Time, por dos de contrato Part-Time. Al igual que en el caso anterior, esto significa una reducción de costos significativa, que alcanza la cifra de \$360.000 mensuales.

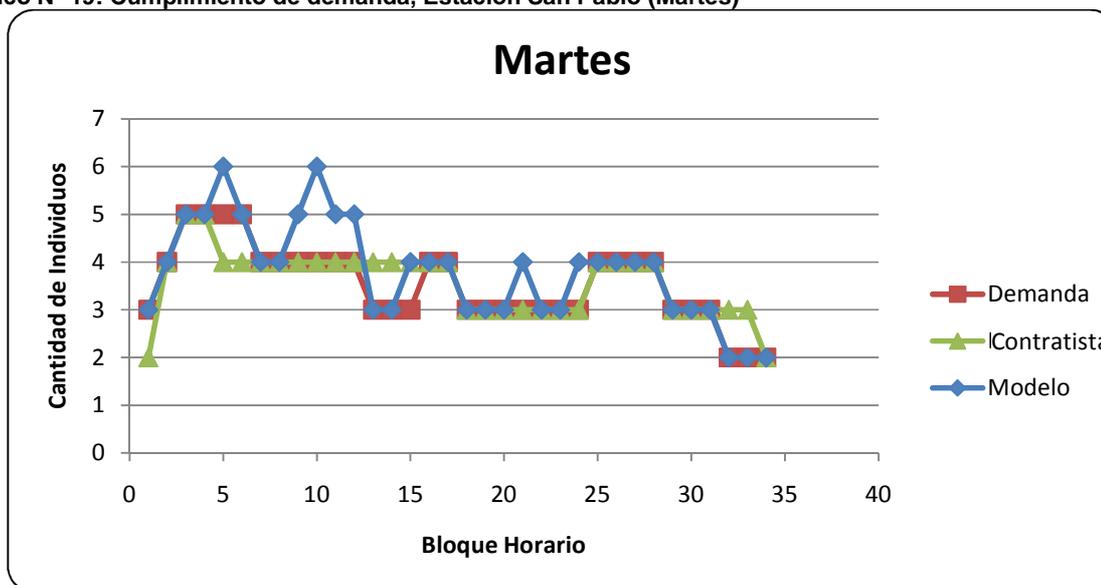
Es preciso mencionar que bajo otro escenario sería posible lograr una asignación de turnos con un costo aún menor pero sacrificando el nivel de servicio que actualmente se entrega. También es interesante notar que a medida que el tamaño de la estación aumenta, las posibilidades de generar mejoras en los indicadores de gestión crecen considerablemente.

### XIV.3.3 Cumplimiento de Demanda

A continuación se muestra una comparación entre la solución entregada por el modelo, la situación actual y el requerimiento de personal.



Gráfico N° 19: Cumplimiento de demanda, Estación San Pablo (Martes)



En el Gráfico N° 19 se encuentra la misma comparación para un día martes. Como se puede observar, en este caso la asignación entregada por el modelo tiene un mejor ajuste que en el día lunes, teniendo cero horas no cubiertas. Como se mencionó en el párrafo anterior, esto se puede explicar por la variabilidad de la demanda a través de los días de la semana. En el Capítulo IX.3 se explican los cambios que se realizaron en la estructura de requerimiento de personal, determinando que no todos los días de la semana tienen las mismas características. Por esta razón, se puede apreciar que existe una sobre dotación de individuos en los bloques 5, 9, 10, 11, 12, 15, 21 y 24, la cual viene forzada por la cantidad de individuos contratados para satisfacer los requerimientos de los días “peak” (lunes y viernes).

Para poder determinar cual asignación es mejor, es necesario analizar los resultados agregados. A continuación se muestra una comparación entre la solución entregada por el modelo y la situación actual.

Tabla N° 15: Comparación Indicadores de Gestión, Estación San Pablo

SAN PABLO	MODELO	CONTRATISTA	% Diferencia
HNC	48	50	-4%
HL	56	50	12%
COSTO	\$ 4.280.000	\$ 4.640.000	-7,8%
# Full-Time	6	8	-25%
# Part-Time	4	2	100%

Como se puede observar en la Tabla N° 15, las horas no cubiertas (HNC) disminuyeron en un 4%, bajando de cincuenta a cuarenta y ocho. Por otra parte, debido

al cambio de trabajadores Full-Time a Part-Time, el costo total disminuyó un 7,8%, llegando a un valor de \$4.280.000 mensual. Si bien, las horas libres (HL) aumentaron, este indicador no representa un costo real, sino más bien una medida de eficiencia. Por lo tanto, la solución encontrada es dominante a la solución actual. En Capítulo XIV.4.3 se realiza un análisis de sensibilidad asociado a la incorporación de nuevos contratos de menor duración. Estos contratos apuntan a disminuir las horas ociosas en los turnos de trabajo, de manera de poder obtener soluciones más eficientes.

Al igual que en el caso de Pajaritos Oriente, se realiza una comparación absoluta entre la solución entregada por el modelo y la situación actual:

**Tabla Nº 16: Comparación situación actual v/s modelo**

San Pablo	Modelo	Contratista
Costo Planilla	\$ 4.280.000	\$ 4.640.000
Costo HNC	\$ 480.000	\$ 500.000
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 4.760.000</b>	<b>\$ 5.140.000</b>

Es decir, el costo entregado por el modelo es un 7,4% menor al costo actual. En el Capítulo XV se realiza una estimación de los beneficios esperados para el total de las estaciones.

#### **XIV.3.4 Scheduling**

A continuación se muestra la asignación de días de trabajo para los diez individuos contratados.

**Tabla Nº 17: Scheduling mensual, Estación San Pablo**

Individuo	Día													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>I1</b>							x							x
<b>I2</b>							x							x
<b>I3</b>							x							x
<b>I4</b>							x							x
<b>I5</b>							x							x
<b>I6</b>							x							x
<b>I7</b>							x							x
<b>I8</b>							x							x
<b>I9</b>							x							x
<b>I10</b>							x							x

Individuo	Día													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
I1							x							x
I2			x							x				
I3		x							x					
I4							x							x
I5				x							x			
I6							x							x
I7						x					x			
I8						x							x	
I9				x					x					
I10							x						x	

A partir de la Tabla N° 17 se puede concluir que el cambio de demanda a través de los días de semana, tiene impacto en la solución entregada por el modelo. Para la segunda quincena, a los individuos 2, 3, 5 y 9, se les asignó días libres durante la semana, específicamente en los días martes, miércoles y jueves. Como se mencionó en el Capítulo IX.3 estos son precisamente los días en donde el requerimiento de personal disminuye, lo que hace que el resultado sea consistente. En el siguiente punto, se realizará un análisis de sensibilidad para la estación San Pablo, en donde se busca cuantificar las diferencias en los indicadores de gestión al mantener una demanda constante para todos los días de la semana.

#### **XIV.4 Análisis de Sensibilidad Estación San Pablo**

##### **XIV.4.1 Variaciones de Demanda**

En este capítulo se realizan dos tipos de análisis. El primero consiste en correr el modelo con las demandas antigua y nueva, de manera de poder evaluar las diferencias en términos de nivel de servicio al modificar este parámetro. Este punto es muy importante para el cliente, ya que en base a estos resultados es posible negociar un aumento en los honorarios por concepto de operación de las ventanillas de atención.

En segundo lugar, se realiza un análisis de sensibilidad variando en pequeños incrementos la cantidad de individuos requeridos en cada horario del día.

##### **XIV.4.1.1 Cambios Impuestos en la Demanda de Personal**

A continuación, se muestra un cuadro que resume el comportamiento de la demanda impuesta para la estación San Pablo durante los meses de Marzo y Agosto de 2010 (antigua y nueva).

**Tabla Nº 18: Comparación entre Demanda antigua y nueva**

San Pablo	Demanda Nueva	Demanda Antigua
Cantidad total de horas requeridas	3472	3380
Desviación estándar	1,11	1,24
Promedio	3,6	3,6
Coefficiente de Variación	30%	35%

A partir de esta información, se puede concluir que la cantidad de horas requeridas aumentó un 2,72%, por lo tanto, este es un factor perjudicial para la empresa contratista. Sin embargo, la nueva demanda posee menor variabilidad, lo que se ve reflejado en la disminución tanto de la desviación estándar como la del coeficiente de variación.

Se asume que mientras más estable sea la cantidad de individuos requeridos a lo largo del día y de la semana, más fácil es encontrar una solución que tenga un buen ajuste. Es por esta razón que se desea probar esta hipótesis mediante una comparación de los indicadores definidos anteriormente al encontrar soluciones con las diferentes demandas.

Para realizar la comparación se corrió el modelo manteniendo todo constante excepto por el requerimiento de personal. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla Nº 19: Comparación entre demandas antigua y nueva**

	Demanda Antigua	Demanda Nueva
<b>HNC</b>	39	13
<b>HL</b>	162	77

Como se puede apreciar, ambos indicadores de gestión disminuyeron considerablemente. Esto significa un beneficio para la empresa contratista, dado que manteniendo la misma asignación de recursos, es posible entregar un nivel de servicio de mayor calidad.

También es interesante analizar qué pasa si se replican los dos tipos de días durante toda la semana. Para realizar esto se generan dos archivos, uno con la demanda del día lunes repetida para todos los días de semana y otro con la demanda de un día martes. Manteniendo todos los demás parámetros constantes se corre el modelo y se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla N° 20: Sensibilidad cambio de Demanda**

	<b>Demanda Normal</b>	<b>Demanda Plana (Máx.)</b>	<b>Demanda Plana (Mín.)</b>
<b>HNC</b>	13	49,5	0
<b>HL</b>	77	7	143,5

El escenario “Demanda Normal” corresponde al actual requerimiento de personal exigido para la estación San Pablo. Los escenarios “Demanda Plana (Máx.)” y “Demanda Plana (Mín.)” se refieren a la situación explicada en el párrafo anterior.

De la Tabla N° 20, se puede observar que para una demanda plana máxima, las horas no cubiertas aumentan alrededor de cuatro veces, mientras que las horas libres disminuyen considerablemente. Esto es razonable en el sentido de que los días martes, miércoles y jueves, bajo este escenario son más exigentes de personal, por lo tanto es más difícil para el modelo cumplir con estos requerimientos.

En el caso de la demanda plana mínima, el resultado es totalmente opuesto. Las horas no cubiertas llegan a su nivel mínimo, mientras que las horas libre aumentan al doble. Esto también hace sentido, si es que se considera que se está desplazando la curva de demanda hacia abajo para los días lunes y viernes.

#### **XIV.4.1.2 Variaciones puntuales**

En este punto se realiza un análisis análogo al de la estación Pajaritos Oriente, considerando los mismos parámetros y los mismos escenarios para la demanda de personal.

**Tabla N° 21: Costos de Remuneraciones y Multas**

Costo Full-Time (Mensual)	\$ 500.000
Costo Part-Time (Mensual)	\$ 320.000
Costo HNC	\$ 10.000

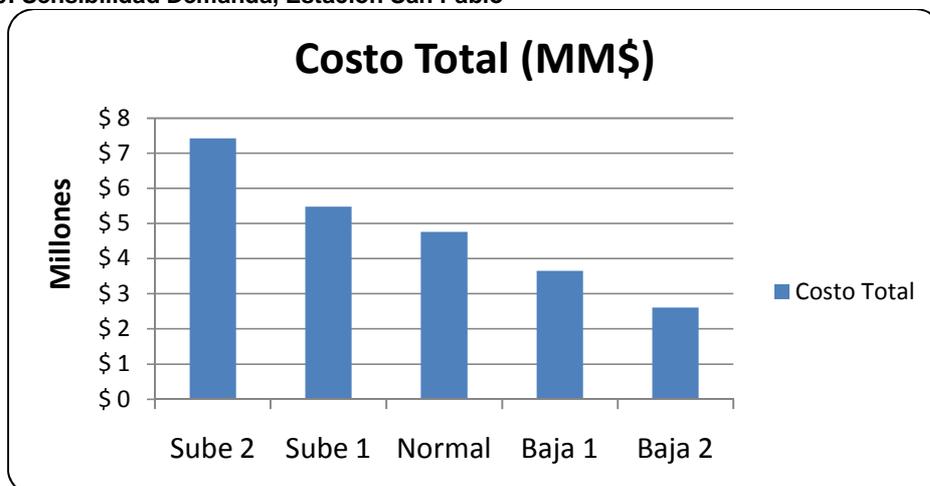
**Tabla N° 22: Sensibilidad Demanda Estación San Pablo**

Escenario	Sube 2	Sube 1	Normal	Baja 1	Baja 2
Total Full-Time	10	5	6	2	1
Total Part-Time	7	9	5	7	5
Total HNC	18,5	9,5	16,5	41	50,5
Costo Total	\$ 7.425.000	\$ 5.475.000	\$ 4.765.000	\$ 3.650.000	\$ 2.605.000

Como se puede observar, a medida que aumenta la demanda aumentan los costos totales, los cual es esperable. También es interesante notar que a medida que baja el requerimiento de personal, las horas no cubiertas aumentan. Esto se debe a que el modelo decide incurrir en el pago de multas en vez de la contratación de otro

individuo, cuyo costo fijo mensual resulta ser mayor. A continuación se muestran gráficamente estos resultados:

**Gráfico N° 20: Sensibilidad Demanda, Estación San Pablo**



A partir del Gráfico N° 20, se puede concluir que en promedio, el costo asociado al aumento de una hora-hombre en la demanda, asciende a \$1.205.000. Esto es consistente con la realidad, ya que en el caso hipotético de que se contrataran dos individuos Full-Time que cubrieran todo el día, sería posible satisfacer este incremento en la demanda y el costo mensual adicional sería de \$1.000.000.

Es interesante notar que a diferencia de la estación Pajaritos Oriente, en esta estación las diferencias de costos no son constantes para cada par de escenarios. Por ejemplo, el incremento en el costo total al aumentar de una a dos horas-hombre el requerimiento, asciende a \$ 1.950.000, valor que supera al promedio en un 62%. Esto se explica a partir de la alta variabilidad que tiene la demanda de personal en esta estación, lo cual restringe las posibles combinaciones de turnos factibles y por ende requiere de una mayor cantidad de trabajadores para mantener un buen nivel de servicio.

#### **XIV.4.2 Variaciones de Costos**

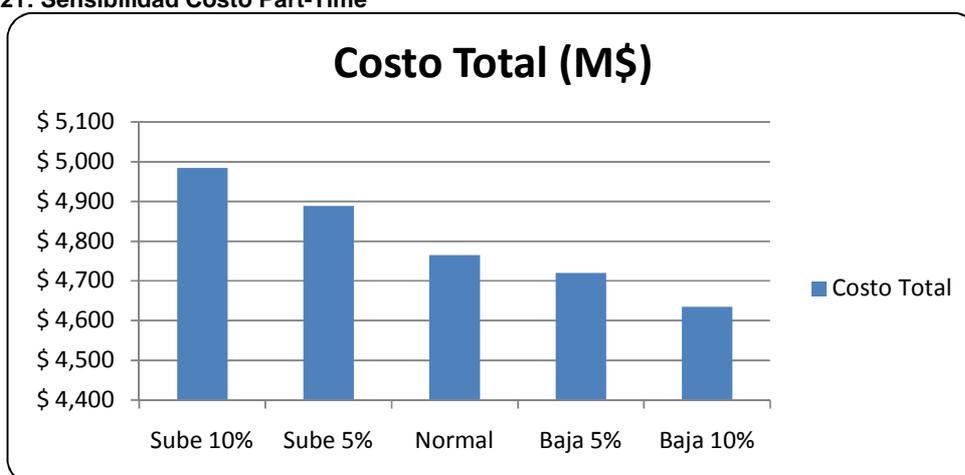
En este punto se cuantifican las diferencias totales en términos de nivel de servicio y cumplimiento de demanda, al variar los costos asociados a la remuneración del personal (se utilizan los mismos supuestos del punto anterior). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 23: Sensibilidad Costo Part-Time**

Escenario	Baja 10%	Baja 5%	Normal	Sube 5%	Sube 10%
Total Full-Time	6	6	6	7	8
Total Part-Time	5	5	5	4	2
Total HNC	19,5	20	16,5	4,5	28
Costo Total	\$ 4.635.000	\$ 4.720.000	\$ 4.765.000	\$ 4.889.000	\$ 4.984.000

Como se puede apreciar, a medida que aumenta el costo de remuneración para individuos Part-Time, disminuye la cantidad de personal bajo este tipo de contrato. Por otra parte, aumenta el costo total de planilla, hecho que se puede explicar por dos razones. La primera se debe a que el incremento del costo asociado a Part-Time se traspasa en un determinado porcentaje al costo total, lo cual es directo. En segundo lugar, el modelo determina que resulta más rentable contratar individuos Full-Time. Sin embargo, este contrato tiene una menor flexibilidad, por lo tanto las soluciones no se ajustan en gran medida a la curva de demanda, lo que radica en una mayor cantidad de horas no cubiertas y por ende un mayor monto asociado a multas.

**Gráfico Nº 21: Sensibilidad Costo Part-Time**



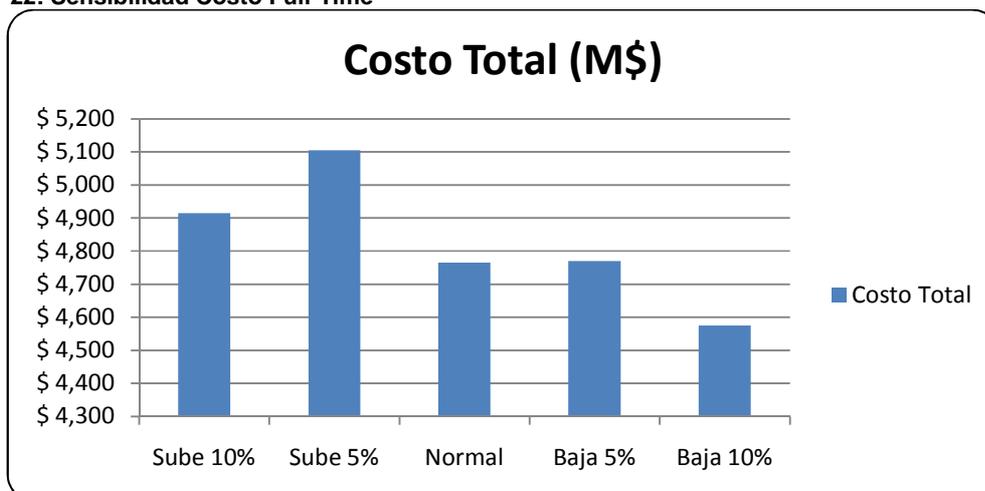
A continuación se muestran los resultados para la sensibilidad del costo Full-Time.

**Tabla Nº 24: Sensibilidad Costo Full-Time**

Escenario	Baja 10%	Baja 5%	Normal	Sube 5%	Sube 10%
Total Full-Time	8	7	6	4	1
Total Part-Time	1	3	5	9	11
Total HNC	65,5	30,5	16,5	12,5	84,5
Costo Total	\$ 4.575.000	\$ 4.765.000	\$ 4.765.000	\$ 5.105.000	\$ 4.915.000

Como se observa en la Tabla Nº 24, la cantidad de individuos bajo el contrato Full-Time es muy sensible a la remuneración respectiva. También es interesante notar que las horas no cubiertas aumentan a medida que disminuye la presencia de este tipo de individuos, exceptuando el escenario "Sube 10%" en el cual el total de HNC alcanza su valor máximo (84,5). Esto se debe a que el modelo determinó romper la tendencia para este caso, bajando la dotación total en vez de aumentarla.

Gráfico N° 22: Sensibilidad Costo Full-Time



A diferencia de la Pajaritos Oriente, en esta estación no hay una correlación directa entre el costo total de planilla con el costo Full-Time. En el Gráfico N° 22 se puede ver que el costo total más elevado se logra cuando el costo Full-Time sube un 5%. Además, el escenario “Baja 5%” representa un costo total equivalente al escenario normal, hecho que se explica en base a un intercambio entre horas no cubiertas y nivel de dotación (aumenta la cantidad de individuos Full-Time en una unidad y baja la cantidad de individuos Part-Time en dos unidades, lo que resulta en un aumento de horas no cubiertas al doble).

#### XIV.4.3 Variaciones de Contratos

En este punto se realizarán dos análisis de sensibilidad distintos. Primero se estudia el impacto que tiene en la solución final la incorporación de un nuevo contrato, variando únicamente el costo de remuneración correspondiente. Luego, se estudia el comportamiento del resto de las variables involucradas –horas no cubiertas, horas ociosas y cumplimiento de demanda – al variar la cantidad de individuos que se encuentran trabajando. En este punto el modelo no determina la cantidad óptima de trabajadores que se deben considerar, sino que es un parámetro.

##### XIV.4.3.1 Incorporación de Contrato “Universitario”

A continuación se muestra un análisis de sensibilidad análogo al caso de la estación Pajaritos Oriente, para el costo de planilla que eventualmente podría tener un individuo de contrato universitario en esta estación:

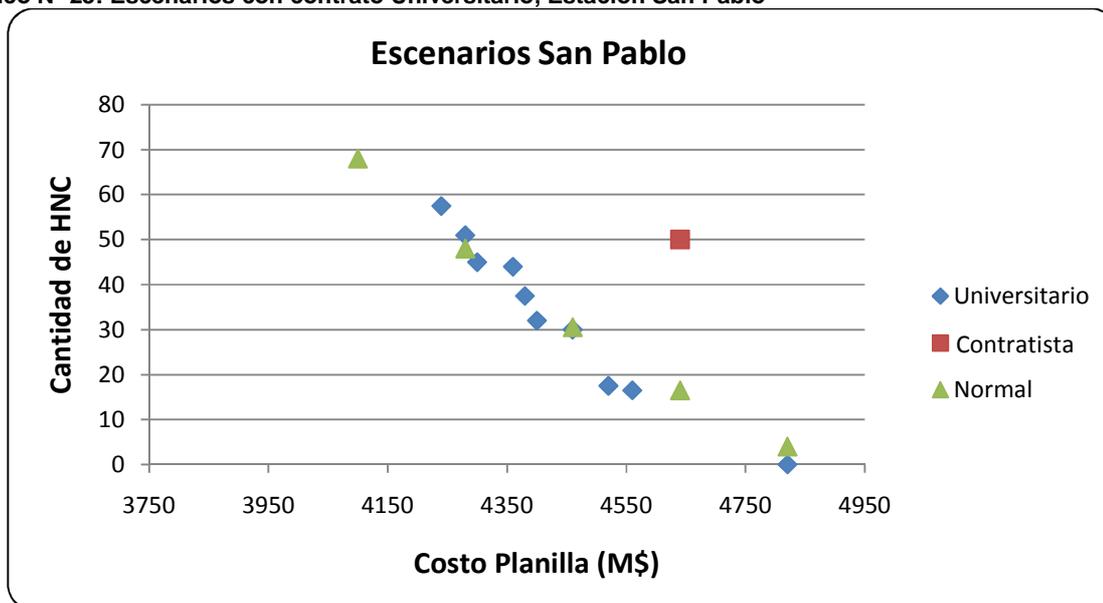
**Tabla N° 25: Sensibilidad costo nuevo contrato (San Pablo)**

Costo Univ/Mes	Modelo					Contratista
	\$ 160.000	\$ 170.000	\$ 180.000	\$ 200.000	\$ 210.000	
HNC	0	0	0	0	0	50
HL	94	103	96	102	171	50
Full-Time	3	3	5	6	7	8
Part-Time	5	5	4	3	3	2
Univ	7	7	4	2	0	0
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 4.220.000</b>	<b>\$ 4.290.000</b>	<b>\$ 4.500.000</b>	<b>\$ 4.440.000</b>	<b>\$ 4.460.000</b>	<b>\$ 4.640.000</b>

Como se puede observar en la Tabla N° 25, en la estación San Pablo existe una mayor disposición a pagar por un individuo universitario. Esto se ve reflejado en la cantidad de trabajadores con este tipo de contrato que son exigidos por el modelo para lograr una solución óptima, aún cuando la remuneración alcanza la suma de \$200.000 mensuales.

Este resultado avala la hipótesis de que el contrato universitario tiene un mayor impacto en estaciones con alta variabilidad en la demanda.

**Gráfico N° 23: Escenarios con contrato Universitario, Estación San Pablo**

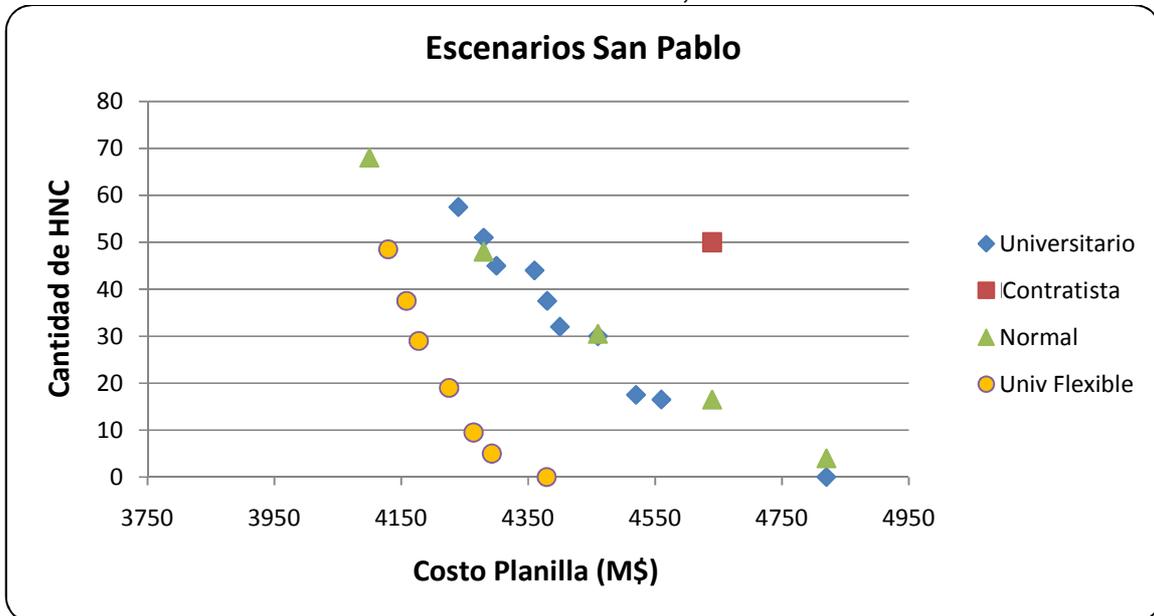


#### XIV.4.3.2 Incorporación de Contrato “Universitario Flexible”

A continuación se realiza el mismo ejercicio, pero esta vez levantando la restricción asociada a la cantidad de días que debe trabajar un individuo al mes. Este contrato se denomina “Universitario Flexible” y está enfocado a jóvenes que se encuentran estudiando y tienen disponibilidad para desempeñar este tipo de trabajo durante periodos cortos de tiempo. A diferencia del contrato “Universitario” ahora es

posible poner recursos en los días con mayor demanda sin necesidad de forzar al individuo a trabajar durante el resto de los días.

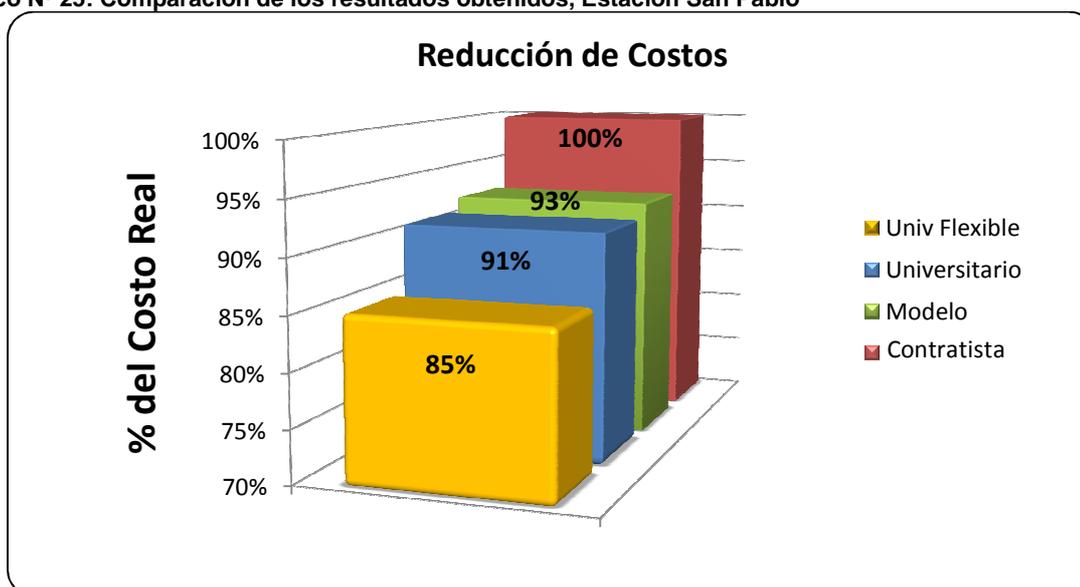
Gráfico N° 24: Escenarios con contrato Universitario Flexible, Estación San Pablo



En el Gráfico N° 24 se puede observar que la curva “HNC-Costo” tuvo un desplazamiento hacia el origen. Esto significa que para cada nivel de Horas No Cubiertas es posible encontrar una asignación de turnos que represente un costo inferior a la actual forma en que se desempeña la empresa contratista y además sea inferior a las soluciones entregadas por el modelo base.

A continuación se realiza una comparación de las soluciones encontradas en el gráfico anterior. Para poder hacer esto se asume un costo de \$10.000 la hora no cubierta y se busca el escenario que tenga el menor costo total.

Gráfico N° 25: Comparación de los resultados obtenidos, Estación San Pablo



Como era de esperar, la reducción de costos es secuencial a medida que se van relajando las restricciones contractuales. Esto tiene sentido, ya que a medida que el modelo se encuentra más restringido, más lejos del óptimo se encontrará la solución.

Sin embargo, las relajaciones mostradas en el gráfico anterior no tienen el mismo impacto en la solución final. Como se puede observar, al implementar el modelo universitario se logra un disminución del 9% la cual es levemente superior al 7% obtenido con el modelo base. En cambio, con el modelo universitario flexible, se logra una disminución del 15% de los costos totales, lo que resulta significativamente mayor a los modelos anteriores.

Lo que revelan estos resultados es de vital importancia para entender el problema de la asignación de turnos. Al haber un aumento de tal magnitud en el ahorro mensual de planilla cuando se levanta la restricción de días de trabajo, se puede concluir que la variabilidad de la demanda a través de la semana es uno de los principales problemas.

## XV. Beneficios Esperados

A partir de los resultados obtenidos en el capítulo anterior (sin considerar la incorporación de nuevos contratos), se puede identificar una correlación entre el ahorro máximo que se puede lograr aplicando el modelo y el tamaño de la estación. En el caso de Pajaritos Oriente, que tiene un máximo de tres individuos simultáneos trabajando, el ahorro generado fue de un 1,5% del costo total, bajando las horas no cubiertas en un 91%. Por otra parte, en la estación San Pablo, el ahorro obtenido fue de un 7,8% del costo total, bajando las horas no cubiertas en un 4%.

Para poder realizar la comparación absoluta, se considera que las horas no cubiertas tienen un valor de \$10.000. De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados para las estaciones Pajaritos Oriente y San Pablo:

**Tabla Nº 26: Resumen resultados obtenidos**

	Pajaritos Oriente		San Pablo	
	Modelo	Contratista	Modelo	Contratista
Costo Planilla	\$ 2.600.000	\$ 2.640.000	\$ 4.280.000	\$ 4.640.000
Costo HNC	\$ 20.000	\$ 220.000	\$ 480.000	\$ 500.000
Costo Total	\$ 2.620.000	\$ 2.860.000	\$ 4.760.000	\$ 5.140.000

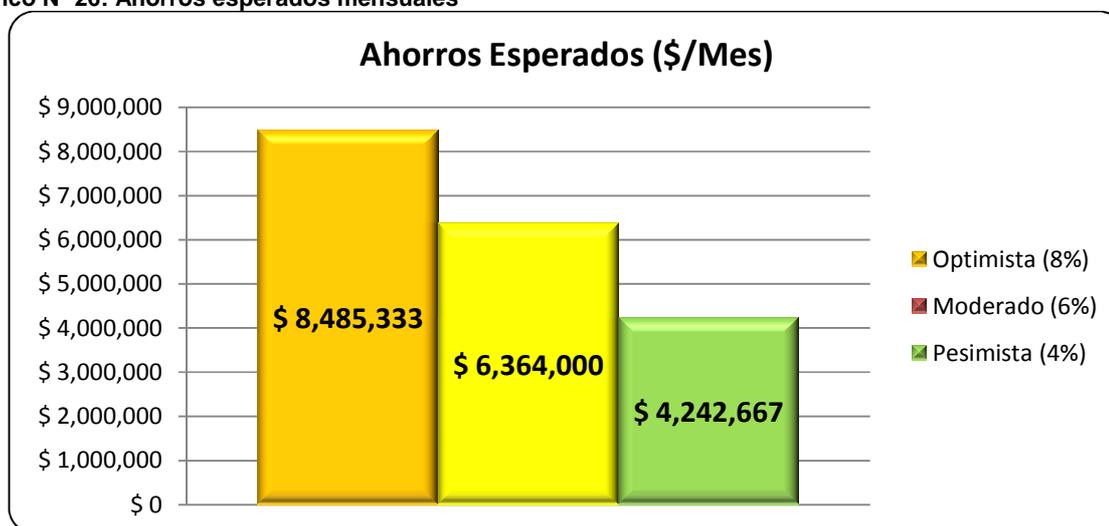
Lo que equivale a un ahorro de:

**Tabla Nº 27: Beneficios por estación**

	Pajaritos Oriente	San Pablo
% Ahorro	8,4%	7,4%
Beneficio Neto	\$ 240.000	\$ 380.000

Asumiendo que estos resultados se pueden replicar, se realiza una estimación del beneficio para cada una de las estaciones operadas por el cliente, en función del número máximo de individuos que se requieren simultáneamente. De esta manera, se proponen tres escenarios: Optimista, Moderado y Pesimista. Los resultados se muestran a continuación.

**Gráfico Nº 26: Ahorros esperados mensuales**



Como se puede observar, el mínimo ahorro que es posible esperar aplicando el modelo, asciende a la suma total de \$ 4.242.667 mensual.

## XVI. Desarrollo Modelo Inter-Estación

### XVI.1 Modelo Inter-Estación

En este modelo existe la posibilidad de que los individuos se cambien de estación durante el día y durante el mes. Es decir, existe la posibilidad de que se trabaje la mitad del mes en la estación "A" y la otra mitad en la estación "B". Esta modalidad permite optimizar la asignación de capital humano, dado que en muchas ocasiones existe una sobre dotación de personal en una estación y una carencia importante en otras, dejando un vacío en momentos puntuales. Con el modelo base, la solución se centra en contratar un individuo extra para cubrir los requerimientos, mientras que en este modelo se pueden suplir con individuos ya contratados, provenientes de otras estaciones.

#### XVI.1.1 Supuestos

Dada la complejidad del problema y la gran cantidad de variables involucradas, el problema se abordará buscando estaciones que sean compatibles en términos de requerimientos de personal. Esto se refiere a que a que la suma de las demandas de las dos estaciones sea relativamente constante, en donde una disminución en la cantidad de trabajadores requeridos en una sea contrarrestada por un aumento en la otra. Mediante esta modalidad es posible disminuir considerablemente el tamaño del problema y por ende los tiempos de resolución.

#### XVI.1.2 Tiempos de Ejecución

En la Tabla N° 28 se muestran los tiempos de ejecución para el modelo inter-estación.

Tabla N° 28: Tiempo de Ejecución, Modelo Inter-estación

	Pajaritos Oriente-San Pablo
Restricciones	2.745
Variables	4.161
Tiempo de Ejecución	0:00:31

Si bien el tiempo de resolución es significativamente bajo, hay que recordar que se consideró solo un subconjunto de las variables para resolver el problema. La principal reducción de tamaño se debe a la cantidad de días en análisis, pasando de veintiocho a sólo uno. Cabe destacar que al correr el modelo completo, el algoritmo no pudo obtener una solución factible.

#### XVI.1.3 Índices

- $l$ : Índice para cada individuo (1 a N° de puestos de trabajo disponibles por estación).

- $i$ : Bloque horario (1 a 34, correspondientes a periodos de 30 minutos partiendo de las 6:00 a las 22:30 hrs.).
- $j$ : Día (Se considera solo un día en el análisis inter-estación).
- $k$ : Estación (1 a 2, Se consideran 2 estaciones, San Pablo y Pajaritos Oriente).
- $c$ : Tipo de contrato (1 a 2, Full-Time y Part-Time).

#### XVI.1.4 Parámetros

- $Demanda (i,j,k)$ : La demanda es un parámetro que determina la cantidad de trabajadores necesarios en ventanilla en el bloque " $i$ " del día " $j$ " en la estación " $k$ ".
- $ID (i)$ : Vector identificador del bloque horario. Al bloque " $i$ " se le asigna el valor  $i$ . Este parámetro es necesario para definir restricciones relacionadas con almuerzos y turnos.
- $C (l)$ : Costo asociado a remuneraciones, en función del tipo de contrato que posee el individuo  $l$ .
- $\alpha (i,j)$ : Costo que se asigna a cada hora no cubierta por la asignación de turnos que entrega el modelo.
- $\beta (i,j)$ : Costo que se asigna a cada hora libre por la asignación de turno que entrega el modelo.
- $\delta$ : Costo que se asigna a cada viaje entre estaciones que determina el modelo.

#### XVI.1.5 Variables

##### Variables auxiliares:

- $HNC (i,j,k)$ : Corresponde a la cantidad de horas no cubiertas en el bloque " $i$ " del día " $j$ " en la estación " $k$ ". Determina cuantas horas están faltando ser trabajadas. Este indicador permite establecer una medida del nivel de servicio que entrega la empresa subcontratista.
- $HL (i,j,k)$ : Corresponde a la cantidad de horas libres en el bloque " $i$ " del día " $j$ " en la estación " $k$ ". Determina cuantas horas están siendo trabajadas por sobre lo requerido. Este indicador permite establecer una medida del nivel de eficiencia que posee la empresa subcontratista.
- $Y (l,j)$ : Determina si el individuo " $l$ " trabaja el día " $j$ " o no. Toma valores 1 o 0.

- $Y_m(l)$ : Determina si el individuo "l" trabaja en el periodo de resolución o no. Toma valores 1 o 0.
- $X(i,j,k)$ : Corresponde a la cantidad total de individuos que se encuentran trabajando en el bloque "i" del día "j" en la estación "k".
- $X^F(i,j,k)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato "Full-Time" que se encuentran trabajando en el bloque "i" del día "j" en la estación "k".
- $X^P(i,j,k)$ : Corresponde a la cantidad de individuos de contrato "Part-Time" que se encuentran trabajando en el bloque "i" del día "j" en la estación "k".
- Z: Corresponde al costo total de operación, incluyendo remuneraciones, pagos de multas por incumplimiento de horas trabajadas y costos asociados a viajes entre estaciones.

Variables de decisión binarias:

- $W(l,i,j)$ : Toma el valor 1 si el individuo "l" comienza su jornada laboral en el bloque "i" del día "j", 0 si no.
- $S(l,i,j,k)$ : Toma el valor 1 si el individuo "l" trabaja durante el bloque "i" del día "j" en la estación "k", 0 si no.
- $V(l,i,j)$ : Toma el valor 1 si el individuo "l" comienza su almuerzo en el bloque "i" del día "j", 0 si no.
- $R(l,i,j)$ : Toma el valor 1 si el individuo "l" viaja durante el bloque "i" del día "j", 0 si no.

**XVI.1.6 Restricciones**

**XVI.1.6.1 Variables Auxiliares:**

- a) Un individuo trabaja durante el día si tiene asignado un turno en cualquier estación.

$$Y_{lj} \geq \sum_{i=1}^{34} W_{lij} \quad \forall l, j$$

- b) Un individuo trabaja durante el mes si y solo si trabaja al menos un día.

$$Y_m(l) \geq \sum_{j=1}^{28} Y_{lj} / 28 \quad \forall l, j$$

### XVI.1.6.2 Horarios, turnos, viajes y almuerzos:

- a) Los días sábados el horario mínimo de entrada es a las 6:30 Hrs. y el domingo es a las 8:30 Hrs.

$$\sum_{i=1}^1 W_{lijk} = 0 \quad \forall l, (j \in \text{Sábados}), k$$

$$\sum_{i=1}^4 W_{lijk} = 0 \quad \forall l, (j \in \text{Domingos}), k$$

- b) Si es que los individuos empezaron su jornada laboral, estos pueden estar viajando o pueden estar trabajando en alguna estación:

$$R_{lij} + \sum_k S_{lijk} = \sum_{h=0}^{16} W_{li-hj} \quad \forall (l \in \text{Full}), i, j$$

$$R_{lij} + \sum_k S_{lijk} = \sum_{h=0}^9 W_{li-hj} \quad \forall (l \in \text{Part}), i, j$$

- c) Máximo de viajes que un individuo puede realizar durante su jornada laboral:

$$\sum_{i=1}^{34} R_{lij} \leq J * Y_{lj}$$

- d) Un individuo puede viajar solamente dentro de la jornada de trabajo:

$$1 + \sum_{i=1}^{34} W_{lij} ID_i \leq \sum_{i=1}^{34} R_{lij} ID_i \quad \forall l, j$$

$$\sum_{i=1}^{34} R_{lij} ID_i \leq 16 + \sum_{i=1}^{34} W_{lij} ID_i \quad \forall (l \in \text{Full}), j$$

$$\sum_{i=1}^{34} R_{lij} ID_i \leq 9 + \sum_{i=1}^{34} W_{lij} ID_i \quad \forall (l \in \text{Part}), j$$

- e) Un individuo no puede estar viajando y almorzando a la vez:

$$R_{lij} + V_{lijk} + V_{li-1jk} \leq 1 \quad \forall l, (i \geq 2), j, k$$

- f) Un individuo no puede cambiarse de estación sin viajar:

$$\sum_{k' \neq k} S_{li+1jk'} \leq 1 - S_{lijk} \quad \forall l, (i \leq 33), j, k$$

g) Un individuo no puede viajar el primer y último bloque del día:

$$R_{lij} = 0 \quad \forall l, (i \in \{1,34\}), j, k$$

h) Almuerzos dentro de la jornada laboral:

$$4 + \sum_{i=1}^{34} W_{lij} ID_i \leq \sum_{i=1}^{34} V_{lij} ID_i \quad \forall (l \in Full), j$$

$$\sum_{i=1}^{34} V_{lij} ID_i \leq 13 + \sum_{i=1}^{34} W_{lij} ID_i \quad \forall (l \in Full), j$$

i) Máximo un almuerzo por día:

$$\sum_{i=1}^{34} V_{lij} \leq 1 * Y_{lj} \quad \forall l, j$$

j) No puede haber almuerzos al principio ni al final del día:

$$V_{lij} = 0 \quad \forall l, (i \in \{1,2,3,32,33,34\}), j$$

k) Individuos Part-Time no tienen derecho a almuerzo:

$$V_{lij} = 0 \quad \forall (l \in Part), i, j$$

l) Cantidad Total de individuos trabajando:

$$X_{ijk} = \sum_l (S_{lijk} - (V_{lij} + V_{li-1j})) \quad \forall i, j, k$$

### XVI.1.7 Función Objetivo

$$\min_{W,V} Z = \sum_l Ym(l) * C(l) + \sum_i \sum_j [\alpha_{ij} HNC_{ij} + \beta_{ij} HL_{ij}] + \delta \sum_l \sum_i \sum_j R_{lij}$$

Como se puede observar, la función objetivo ahora contiene un término adicional, el cual corresponde al costo del total de viajes que se realizan en el periodo de resolución.

### XVI.2 Resultados Obtenidos

Para poder saber si el modelo inter-estación representa un aporte en la solución final, se mantiene constante la dotación de individuos y se realiza la comparación entre los dos escenarios siguientes:

- 1) Situación con viajes entre estaciones
- 2) Situación sin viajes entre estaciones

### XVI.2.1 Cumplimiento de Demanda

El día escogido para realizar corresponde a un lunes. A continuación se muestran la solución del modelo inter-estación, el modelo base y el requerimiento de personal:

Gráfico Nº 27: Cumplimiento de demanda modelo inter-estación, Estación San Pablo

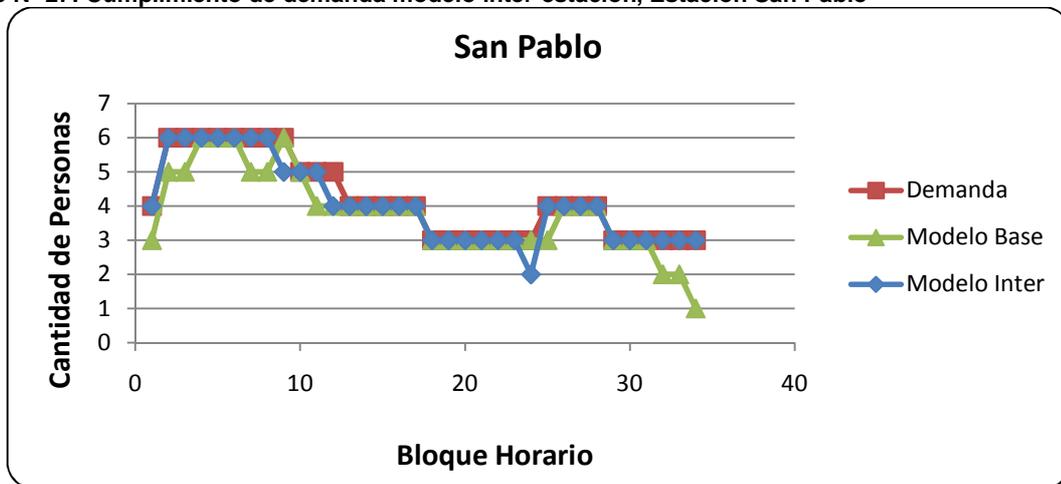
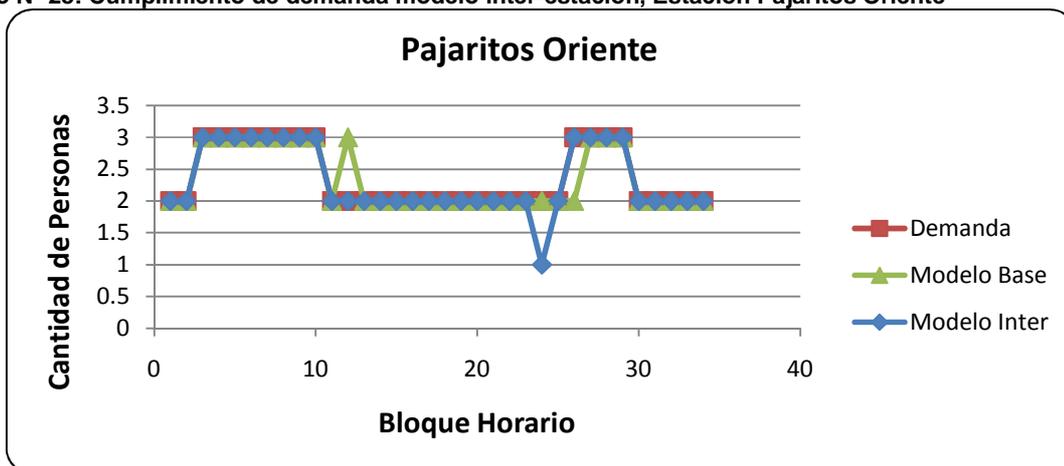


Gráfico Nº 28: Cumplimiento de demanda modelo inter-estación, Estación Pajaritos Oriente



A partir de estas soluciones, se obtiene que la cantidad de horas no cubiertas disminuye de trece a cuatro, considerando la suma de las dos estaciones. Si bien esto puede significar un beneficio para la empresa subcontratista en términos de nivel de servicio, aún se puede mejorar el modelo, considerando estaciones que tengan una

mayor compatibilidad entre sí (es decir que una disminución en la cantidad de personal requerida en una, sea contrarrestada por un aumento en la otra)

## XVII. Desarrollo Modelo Volantes

Como se mencionó en el Capítulo IX.1, los individuos de contrato volantes cumplen la función de cubrir los puestos de trabajo que no están siendo atendidos producto de una ausencia inesperada. Estos trabajadores deben esperar en la estación Parque O'Higgins hasta que se produzca una eventualidad como esta, en cuyo caso realizan las funciones normales como cajero. A partir de este problema, surge la pregunta de cuantos volantes se deben contratar, de manera de poder tener la certeza de que se podrá contar con el personal de atención necesario y a la vez no tener individuos ociosos.

Para poder estimar la cantidad de volantes óptima que permita mantener un buen nivel de servicio, se utilizará un historial de cuatro meses, en donde se cuenta con información relativa a ausencias, licencias y vacaciones. Es preciso mencionar que esta última generalmente es un evento programado, pero muchas veces los trabajadores hacen coincidir sus licencias con el periodo de vacaciones con el objetivo de extenderlas. Este efecto no será considerado en el análisis principalmente por la poca cantidad de datos.

Los meses a considerar son Abril, Mayo, Junio y Julio de 2010. En la siguiente tabla se puede observar todas las ausencias para el mes de Abril, considerando el total de las estaciones asignadas al operador:

**Tabla N° 29: Ausencias mes de Abril 2010**

ABRIL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PRESENTES	306	304	220	210	307	295	298	285	296	234	192	317	315	307	304
AUSENTES	14	16	19	19	10	10	10	12	17	17	17	11	11	11	13
LICENCIAS	43	42	42	42	46	46	43	47	47	39	38	39	39	39	42
VACACIONES	9	9	9	9	15	14	14	14	14	14	15	23	19	17	17

ABRIL	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRESENTES	317	243	197	332	316	318	312	325	257	195	333	325	311	321	326
AUSENTES	11	15	22	6	9	6	7	9	10	17	10	8	9	10	14
LICENCIAS	39	39	36	36	37	36	34	34	37	38	38	40	42	42	40
VACACIONES	17	17	16	16	16	18	17	17	16	16	10	10	10	10	10

Fuente: Contratista

Para los cuatro meses en análisis se calcula el promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de ausencias que han ocurrido en alguna estación:

**Tabla N° 30: Indicadores ausencias**

	Cantidad de Ausencias + Licencias
Promedio	59
Desviación	9
Mínimo	41
Máximo	86

Con esta información se procede a estimar la función de distribución para las ausencias. Para realizar esta estimación se utilizó el programa “Stat::Fit ® Geer Mountain Software Corp.”, el cual permite determinar el grado de ajuste de los datos con diferentes distribuciones de probabilidad conocidas. Se obtienen los siguientes resultados:

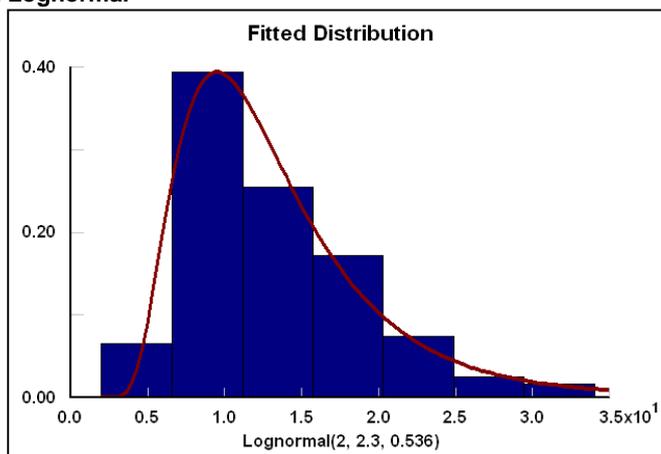
1. Ausencias:

Para efectos del análisis, se consideran las ausencias como una variable aleatoria. En la Figura N° 7 se puede observar que la distribución Lognormal posee la mayor calidad de ajuste relativa al total de distribuciones usadas para explicar los datos.

Figura N° 6: Ajuste de distribuciones (ausencias)

Auto::Fit Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[2, 2.3, 0.536]	98.7	accept
Pearson 6[2, 32.5, 5.18, 15.8]	88.3	accept
Log-Logistic[2, 3.36, 10.1]	63.8	accept
Erlang[2, 4, 2.81]	61.8	accept
Gamma[2, 4.24, 2.65]	49.5	accept
Inverse Gaussian[2, 33, 11.3]	36	accept
Beta[2, 553, 3.9, 185]	30.1	accept
Weibull[2, 2.1, 12.8]	12.9	accept
Pearson 5[2, 3.08, 25.9]	5.7	reject
Triangular[1, 34.5, 9.51]	0.000306	reject
Pareto[2, 0.557]	0	reject
Exponential[2, 11.3]	0	reject
Uniform[2, 34]	0	reject

Figura N° 7: Distribución Lognormal



2. Ausencias totales:

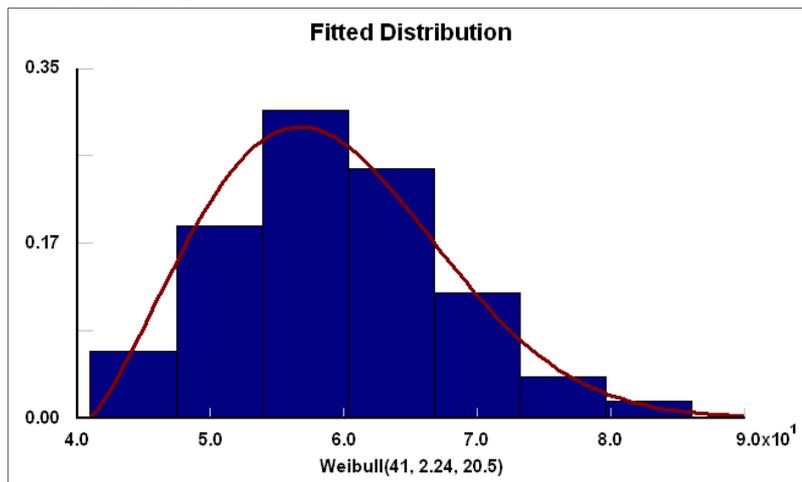
En este caso se incluyen las licencias. Con esta variable es posible generar escenarios de confiabilidad para el cubrimiento de turnos, los cuales serán discutidos

más adelante. En la Figura N° 9 se puede observar que la distribución de Weibull posee la mejor calidad de ajuste en términos relativos:

Figura N° 8: Ajuste de distribuciones (ausencias totales)

Auto::Fit Distributions		
distribution	rank	acceptance
Weibull[41, 2.24, 20.5]	100	accept
Log-Logistic[41, 3.19, 16.9]	26.7	accept
Erlang[41, 4, 4.51]	25.3	accept
Pearson 6[41, 2.85e+04, 3.66, 5.76e+03]	18.1	accept
Gamma[41, 3.73, 4.83]	17.9	accept
Beta[41, 831, 3.48, 147]	9.35	accept
Lognormal[41, 2.75, 0.636]	0.445	reject
Triangular[40, 86.7, 56]	0.0386	reject
Inverse Gaussian[41, 30.3, 18]	0.000107	reject
Pearson 5[41, 1.68, 19]	1.03e-05	reject
Pareto[41, 2.82]	0	reject
Exponential[41, 18]	0	reject
Uniform[41, 86]	0	reject

Figura N° 9: Distribución de Weibull



A continuación se muestran las expresiones necesarias para construir los escenarios de confiabilidad:

En base a las herramientas definidas en la metodología y los parámetros obtenidos del modelo, se calcula el valor esperado de ausencias diarias:

Tabla N° 31: Número esperado de ausencias diarias

$\lambda$	20.5
K	2.24
$\theta$	41
Valor Esperado	60

Como se puede apreciar, la cantidad esperada de ausencias es prácticamente igual al promedio. Esto se debe a que la distribución de probabilidad determinada es bastante simétrica, por lo tanto es esperable que estos valores coincidan.

También resulta interesante determinar cuántos individuos bajo el contrato de volante son necesarios para tener un nivel de confiabilidad dado. Para realizar este análisis es necesario encontrar la inversa de la función de distribución acumulada:

$$X = \theta + \lambda[-\ln(1 - P)]^{1/k}$$

En base a la expresión anterior se construye la siguiente tabla:

**Tabla N° 32: Confiabilidad**

Confiabilidad									
Porcentaje	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Cantidad de Volantes	48.5067	51.4941	53.94	56.1886	58.4058	60.7153	63.2712	66.3524	70.748
	49	52	54	57	59	61	64	67	71

Para los resultados obtenidos en la Tabla N° 32 son equivalentes:

- La probabilidad de que existan 71 ausencias o menos, es de un 90%
- La probabilidad de que existan más de 71 ausencias, es de un 10%
- Es necesario disponer de 71 volantes para tener una confiabilidad del 90%

Por lo tanto, esta es otra decisión que debe ser tomada en conjunto con el cliente, dependiendo del nivel de confiabilidad que desea mantener.

Cabe destacar que actualmente se contratan 40 volantes para suplir las ausencias, valor que se encuentra bajo el nivel mínimo de ausencias diarias históricas. Esto quiere decir que la empresa contratista incurre en un costo menor al propuesto por el modelo, pero al mismo tiempo sacrifica el nivel de servicio que entrega. Nuevamente se llega a la misma disyuntiva que ha sido transversal en este trabajo, el “trade-off” entre una hora no cubierta y el costo de una hora hombre adicional. Dado que la multa por horas no cubiertas tiene una probabilidad menor a uno de hacerse efectiva, existen muchos incentivos de mantener un nivel mediocre de servicio, lo que corresponde a una estrategia de reducción de costos a corto plazo. Sin embargo, las consecuencias a mediano o largo plazo de la entrega de un mal servicio tienen directa relación con la participación en la operación de estaciones.

## **XVIII. Conclusiones**

### **XVIII.1 Conclusiones Generales**

En este trabajo se logró desarrollar un modelo de optimización de turnos que resuelve dos problemas: La cantidad de individuos para cada uno de los tipos de contrato preestablecidos y la asignación de las jornadas laborales que cada uno de estos trabajadores debe cumplir. Cabe destacar que este es uno de los problemas más difíciles de resolver en términos de complejidad computacional y que forma parte de los temas de investigación activos.

La forma en que se abordó el problema fue mediante programación lineal, metodología que permitió establecer todas las restricciones, los indicadores de gestión y las variables a minimizar, de acuerdo a lo planteado por el cliente. Actualmente el proceso de asignación de turnos toma bastante tiempo, por lo tanto esta herramienta no sólo representa una mejora en la calidad de las soluciones encontradas sino también en el uso de los recursos disponibles.

En este problema se abordó el caso de dos estaciones, Pajaritos Oriente y San Pablo. Para la primera se obtuvo una reducción del 8,4% de los costos actuales, considerando un aumento en el nivel de servicio y por ende una asignación que se ajusta en mayor medida a los requerimientos de personal. Para la segunda se consiguió disminuir los costos totales en un 7,4%, manteniendo el mismo nivel de incumplimiento de demanda actual.

Es importante mencionar que la reducción de costos se debe a dos componentes, una son los costos de planilla y la otra son las multas por no cubrir las horas-hombre requeridas. Sin embargo, en términos reales la probabilidad de que se cobre multa por estas horas es muy baja, por lo tanto los costos asociados a este punto no son significativos a nivel agregado. Pero por otra parte, la participación en la operación de estaciones se decide al final de cada año, en donde la principal variable de decisión es la calidad del servicio prestado por las empresas subcontratistas. Es por esta razón que se tiene un "trade-off" entre la cantidad de horas no cubiertas y el costo total asociado a remuneraciones.

Para poder determinar la solución óptima, no basta con calcular el costo unitario asociado a multa e ingresarlo como parámetro al modelo, ya que no sería significativo y llevaría a soluciones con bajísimos estándares de servicio (al tener un costo tan bajo el modelo decide aumentar la cantidad de horas no cubiertas (HNC) y reducir el costo de planilla). En base a este análisis, se decide construir escenarios de solución, los cuales se obtienen minimizando las horas no cubiertas manteniendo un nivel de personal fijo. De esta forma, la decisión de que escenario elegir para realizar la asignación de turnos, se puede tomar en conjunto con el cliente, permitiéndole elegir el nivel de servicio que desea entregar.

Posteriormente, se definió un valor fijo para cada hora no cubierta, el cual asciende a diez mil pesos. Este valor es utilizado para comparar las soluciones

obtenidas con los diferentes modelos y la situación actual y para realizar los análisis de sensibilidad.

Con respecto a los resultados obtenidos con el modelo base, se puede concluir que la principal componente que permite mejorar la asignación de turnos, es la cantidad de posibles combinaciones de individuos para cada tipo de contrato. Realizar manualmente esta tarea tardaría días o incluso semanas, dado que la cantidad de soluciones para este problema es altísima. Es así como en las dos estaciones el modelo determinó cambiar la dotación, bajando la cantidad de trabajadores Full-Time y aumentando los Part-Time, reduciendo el costo total de remuneraciones.

Otro resultado importante de señalar, fue la incorporación de dos tipos de contrato: Universitario y Universitario Flexible. El primero no aportó significativamente a la solución del problema, bajando los costos totales sólo en un 2% más que el modelo normal. Sin embargo, el contrato Universitario Flexible entregó soluciones que tuvieron una muy buena calidad de ajuste al requerimiento de personal, logrando costos del orden de un 15% menor a la situación actual.

En este problema, la escala es un factor extremadamente relevante. Actualmente el cliente opera treinta y cuatro estaciones, en donde cada una de estas estaciones tiene un costo total promedio de tres millones de pesos. Por lo tanto, una pequeña reducción en dicho costo para cada estación, representa un ahorro total muy significativo. Por ejemplo, para las dos estaciones en análisis se lograron beneficios mensuales de \$ 620.000. Si estos resultados se extrapolan al resto de las estaciones, se obtienen beneficios del orden de los \$ 8.485.333 para el escenario optimista, \$ 6.364.000 para el escenario moderado y \$ 4.242.667 para el escenario pesimista.

Desde el punto de vista del cliente, tanto la incorporación de nuevos contratos como la utilización de modelos de optimización para obtener los turnos, son un requisito fundamental. El mercado de la subcontratación de personal es altamente competitivo y en el corto plazo es muy probable que los demás operadores empiecen a contratar este tipo de servicio.

Esto plantea una oportunidad de negocio, dado que no solo las empresas subcontratistas requieren una asignación de turnos óptima, sino toda organización en donde haya que administrar personal.

## **XVIII.2 Recomendaciones**

Para efectos de la implementación de esta herramienta es necesario ajustar los parámetros a las condiciones específicas de cada periodo de resolución. Por ejemplo, la cantidad de días que se consideran debe ser la apropiada, los días feriados deben incluirse como restricciones, etc. Además, deben identificarse todos los individuos que trabajan bajo contratos especiales, para poder ingresar en el modelo dicha información y que los resultados satisfagan las restricciones correspondientes.

También sería recomendable aplicar el modelo gradualmente, de manera de poder evaluar la factibilidad y los resultados de la nueva asignación de turnos, de manera de correr el menor riesgo posible.

### **XVIII.3 Trabajos Futuros**

Se propone para trabajos futuros buscar alternativas de resolución que permitan modelar el problema inter-estación en su totalidad. Es decir, considerando las treinta y cuatro estaciones y los veintiocho días del mes. Para resolver esta variante se deben considerar variables como la distancia entre las estaciones y el tiempo total de viaje entre ellas. Para lograr esto podrían utilizarse heurísticas o modelos de optimización en varias etapas, de manera de poder obtener soluciones en tiempos razonables.

También se propone analizar el problema cuando la demanda es incierta, es decir, cuando el requerimiento de personal sigue una distribución conocida. Esto se asemeja al problema real que debe resolver la empresa de transporte y puede extrapolarse a cualquier industria en donde exista un flujo constante de individuos que necesiten de un determinado servicio.

## **XIX. Bibliografía**

- [1] **Adams J, Balas E. e Zawack D. (1988).** “*The shifting bottleneck procedure for job-shop scheduling*”. Management Science, 34/3 Marzo, pag. 391-401.
- [2] **Agnihotri S., Taylor P. (1998),** “*Staffing a Centralized Appointment Scheduling Department in Lourdes Hospital*”. INTERFACES Vol. 21, No. 5, September-October 1991, pp. 1-11
- [3] **Amar Z. (2007),** “*Optimización y planificación de turnos de la fuerza de venta en Empresas La Polar S.A.*”. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Año 2007.
- [4] **Atlason J., Epelman M., and Henderson S. (2008),** “*Optimizing call center staffing using simulation and analytic center cutting-plane methods*”. Management Science, 54(2):295–309, Año 2008.
- [5] **Burk E., Li J., Qu R. (2009),** “*A hybrid model of integer programming and variable neighborhood search for highly-constrained nurse rostering problems*”.
- [6] **Código del Trabajo (actualizado), (2003),** “*Diario Oficial de la República de Chile*”. Santiago, 16 Enero, Año 2003.
- [7] **Echeverría M., (1997),** “*Subcontratación de la producción y subcontratación del trabajo*”. Dirección del Trabajo, Gobierno de Chile. Año 1997.

[8] **Fauguenbaum D. (2010)**, “*Scheduling para Fuerza de Ventas en un Retailer Especialista*”, Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Año 2010.

[9] **Fischetti, M., Lodi, A., Martello, S., Toth, P. (2001)**, “*A polyedral approach to simplified crew scheduling and vehicle scheduling problems*”, Management Science Vol 47, N°6, 833-850, Año 2001

[10] **Ley N° 20.123 sobre subcontratación y trabajo transitorio, (2006)**, “*Diario Oficial de la República de Chile*”. Santiago, 16 Octubre, Año 2006.

[11] **Linn R., Centeno M., Giachetti R., Ismail A. (2003)**. “*A simulation ILP Based Tool for Scheduling ER Staff*”. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.

[12] **Reyes M. (2009)**, “*Modelo de Optimización de personal para una tienda por departamento*”, Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Año 2009.

[13] **Toth P., Caprara A., Monaci M. (2003)**, “*Models and algorithms for a staff scheduling problem*”. Volume 98, Numbers 1-3, pp. 445-476.

[14] **Dirección del Trabajo (2008)**, “*Encuesta Laboral ENCLA*”. Gobierno de Chile. Año 2008.

## XX. Anexos

### XX.1 Modelo de Programación Lineal (GAMS)

```

$title      Scheduling
$ontext
           Modelo de Planificación Mensual de Dotación y Scheduling
$offtext
option limcol=1000;
option limrow=1000;
$offlisting
*desactiva listado de símbolos empleados
$onempty
*admite conjuntos vacios
option solprint=on;

***** Índices *****
sets

l      Individuo           /I1*I14/
i      Bloque              /B1*B34/
j      Día                 /D1*D28/
k      Estación           /E1*E34/
c      Contrato           /C1*C3/

Sábados(j)  Días Sábado   /D6,D13,D20,D27/
Domingos(j) Días Domingo  /D7,D14,D21,D28/
Semana(j)   Días Semana   /D1,D2,D3,D4,D5,D8,D9,D10,D11,D12,D15,D16,D17,D18,D19,D22,D23,D24,D25,D26/

Full(l)     Contrato Full  /I1*I6/
Part(l)     Contrato Part  /I7*I8/
Univ(l)     Contrato Universitario /I9*I14/

alias(i,ii)
alias(j,jj)
;

```

```

***** Setup *****
*Incluir la demanda para cada estacion (POR HACER)
table DemandaEst(i,k,j) "Matriz de demanda"
$include C:\Users\Rodrigo\Desktop\Modelo Memoria 11 Nov\Demanda\DemandaSP.txt
;
*Incluir vector ID para identificar el inicio del turno
$include "C:\Users\Rodrigo\Desktop\Modelo Memoria 11 Nov\Matriz_Id.txt"
***** Parámetros *****
parameter Demanda(i,j);
Demanda(i,j) = 0;
***** Variables *****
variable
Z "Costo Total Mensual"
;
integer variable
X(i,j) "Cantidad de individuos trabajando en el bloque i, día j"
Xc(c,i,j) "Cantidad total de individuos del contrato c, trabajando en el bloque i, día j"
HNC(i,j) "Horas no cubiertas"
HL(i,j) "Horas libres"
;
binary variable
W(l,i,j) "1 si el individuo l comienza su jornada en el bloque i, día j. 0 si no"
V(l,i,j) "1 si el individuo l comienza su almuerzo en el bloque i, día j. 0 si no"
Y(l,j) "1 si el individuo l trabaja el día j"
Ym(l) "1 si el individuo l trabaja en el mes, 0 si no"
;
***** Declaración Ecuaciones *****
equations

*Variables Auxiliares
VarAux1(l,j) "Indica si trabaja o no en el día"
VarAux2(l) "Indica si trabaja en el mes"
CantTotal(i,j) "Cantidad total de individuos trabajando"
CantFull(i,j) "Cantidad total de full time trabajando"
CantPart(i,j) "Cantidad total de part time trabajando"
CantUniv(i,j) "Cantidad total de universitarios trabajando"

*Horarios de entrada y salida
HorarioT1(l,j) "Horario mínimo de entrada para el sábado"
HorarioT2(l,j) "Horario de entrada para el domingo"
HorarioT3(l,j) "Se empieza la jornada a lo mas una vez"
HorarioI(l,j) "Horario máximo de entrada para todos los días"
HorarioPart2(l,j) "Horario máximo de entrada para part time"

*Almuerzos
Almuerzo1(l,j) "Un almuerzo por día, si es que trabaja"
AlmzoDentroFPE1(l,j) "Almuerzo dentro del x% de la jornada de trabajo"
AlmzoDentroFPE2(l,j) "Almuerzo dentro del x% de la jornada de trabajo"
AlmuerzoPart(l,j) "Los part-time no tienen almuerzo"

*Restricciones laborales
DiasConsec(l,j) "Días consecutivos por ley"
DomingosLbr(l) "Dos domingos libres al mes por ley"
DiasTrabajo(l) "Días mínimos de trabajo"
DiasTrabajoU(l)

*Turnos
Costo

*Indicadores
HorasNC(i,j) "Horas no cubiertas"
HorasL(i,j) "Horas libres"
Limite1
*Limite2
;
***** Ecuaciones *****
*Variables Auxiliares
VarAux1(l,j).. Y(l,j) =e= sum(i,W(l,i,j));
VarAux2(l).. Ym(l) =g= sum(j,Y(l,j))/28;

*Cantidad de individuos trabajando
CantTotal(i,j).. X(i,j) =e= sum(c,Xc(c,i,j));
CantPart(i,j).. Xc('C1',i,j) =e= sum((l,ii)$((ord(ii)ge(ord(i)-9))and(ord(ii) le
ord(i))and(Part(1))),W(l,ii,j));
CantFull(i,j).. Xc('C2',i,j) =e= sum((l,ii)$((ord(ii)ge(ord(i)-16))and(ord(ii) le
ord(i))and(Full(1))),W(l,ii,j)) - sum((l,ii)$((ord(ii) ge (ord(i)-1))and(ord(ii) le
(ord(i))and(Full(1))),V(l,ii,j));
CantUniv(i,j).. Xc('C3',i,j) =e= sum((l,ii)$((ord(ii)ge(ord(i)-5))and(ord(ii) le
ord(i))and(Univ(1))),W(l,ii,j));

```

```

*Horarios de entrada y salida
HorarioT1(l,j)$(Sábados(j))..          sum(i$(ord(i) le 1),W(l,i,j)) =e= 0;
HorarioT2(l,j)$(Domingos(j))..        sum(i$(ord(i) le 4),W(l,i,j)) =e= 0;
HorarioT3(l,j)..                        sum(i,W(l,i,j)) =l= 1;
Horario1(l,j)$(Full(1))..              sum(i$(ord(i) gt 19),W(l,i,j)) =e= 0;
HorarioPart2(l,j)$(Part(1))..          sum(i$(ord(i) gt 26),W(l,i,j)) =e= 0;

*Almuerzos
Almuerzo1(l,j)..                        sum(i,V(l,i,j)) =l= 1*Y(l,j);
AlmzoDentroFPE1(l,j)$(Full(1))..      sum(i,W(l,i,j)*(Id(i)+4)) =l=
sum(i,V(l,i,j)*Id(i));
AlmzoDentroFPE2(l,j)$(Full(1))..      sum(i,V(l,i,j)*Id(i)) =l= sum(i,W(l,i,j)*Id(i)) +
l3;
AlmuerzoPart(l,j)$(Part(1))..          sum(i,V(l,i,j)) =e= 0;

*Indicadores
HorasNC(i,j)..                          X(i,j) + HNC(i,j) =g= Demanda(i,j);
HorasL(i,j)..                           Demanda(i,j) + HL(i,j) =g= X(i,j);
Limitel..                                sum((i,j)$(Semana(j)),HNC(i,j)/2) =l= 0;

*Restricciones laborales
DiasConsec(l,j)..                        sum(jj$((ord(jj) gt (ord(j)-7)and(ord(jj) le ord(j))and(ord(jj)
gt 0))),Y(l,jj)) =l= 6;
DomingosLbr(l)..                        sum(j$(Domingos(j)),Y(l,j)) =l= 2;
DiasTrabajo1(l)$(Full(1)and(Part(1))).. sum(j,Y(l,j)) =g= 24*Ym(1);
DiasTrabajoU(l)$(Univ(1))..            sum(j,Y(l,j)) =l= 24*Ym(1);

***** Funcion Objetivo *****
Costo.. Z =e= 500000*sum(l$(Full(1)),Ym(1)) + 320000*sum(l$(Part(1)),Ym(1));

*****

model Scheduling Modelo de asignacion de turnos /ALL/;
*limite de iteraciones
Scheduling.iterlim=120000;
*tiempo de iteracion limite
Scheduling.reslim=60000;
*gap entre el optimo y solucion
Scheduling.optcr=0.1;

option mip = cplex;

scalars
Suma "Totabilizador auxiliar para Suma" /0/
;
parameters
Z_OUT(*) "Costos"
W_OUT(*,l,i,j) "Horarios de comienzo de jornada"
V_OUT(*,l,i,j) "Horarios de comienzo de almuerzo"
Y_OUT(*,l,j) "Individuo l trabaja o no en el dia j"
Ym_OUT(*,l) "Individuo l trabaja o no en el mes"
X_OUT(*,i,j) "Cantidad de individuos trabajando"
Status_OUT(*) "Status de resolucion"
;

***** Ejecucion *****

Demanda(i,j)= DemandaEst(i,'E1',j);

solve Scheduling using mip minimizing Z;
Z_OUT("Z")=Z.l;
W_OUT("W",l,i,j)= W.l(l,i,j);
V_OUT("W",l,i,j)= V.l(l,i,j);
Y_OUT("Y",l,j)=Y.l(l,j);
Ym_OUT("Ym",l)=Ym.l(l);
X_OUT("X",i,j)=X.l(i,j);
Status_OUT("Optimalidad") = Scheduling.modelstat;
;

***** Mostrar los Resultados *****

option decimals=0;
display Z_OUT,W_OUT,V_OUT,Y_OUT,Ym_OUT,X_OUT;

***** Informe Final *****
***** Excedentes *****

file exced /Excedentes.txt/;

```

```

put exceed;
put /;
loop(j,
    loop(i,
        put ',','j.tl','i.tl;
        put ',',' ( X_OUT("X",i,j))
        put ',',' ceil(DemandaEst(i,'E1',j)):4:0;
        put /;
    ));
putclose exceed;
file turnos /Turnos.txt/;
put turnos;
put /;
loop(l,
    loop(j,
        loop(i,
            if( W_OUT("W",l,i,j) gt 0.01 or V_OUT("W",l,i,j) gt 0.01,
                put ',','l.tl','j.tl','i.tl;
                put ',',' ( W_OUT("W",l,i,j)
                )
                put ',',' ( V_OUT("W",l,i,j)
                )
                put /;
            )
        )
    );
);
file sche /Schedule.txt/;
put sche;
put /;
loop(l,
    if(Ym_OUT("Ym",l) gt 0.01,
        put ',','l.tl;
        loop(j,
            put ',',' ( Y_OUT("Y",l,j)):0
            )
        put /;
    )
);

```

**Tabla Nº 33: Asignación de Turnos, Estación Pajaritos Oriente (Tabla Completa)**

Individuo	Día	Bloque	Comienzo Jornada	Comienzo Almuerzo
l1	D1	B3	1	0
l1	D1	B9	0	1
l1	D2	B18	1	0
l1	D2	B29	0	1
l1	D3	B12	1	0
l1	D3	B19	0	1
l1	D4	B18	1	0
l1	D4	B30	0	1
l1	D5	B18	1	0
l1	D5	B29	0	1
l1	D6	B19	1	0
l1	D6	B23	0	1
l1	D8	B13	1	0
l1	D8	B17	0	1
l1	D9	B18	1	0
l1	D9	B31	0	1
l1	D10	B13	1	0
l1	D10	B20	0	1
l1	D11	B1	1	0
l1	D11	B13	0	1
l1	D12	B1	1	0

I1	D12	B13	0	1
I1	D13	B6	1	0
I1	D13	B13	0	1
I1	D15	B1	1	0
I1	D15	B7	0	1
I1	D16	B1	1	0
I1	D16	B6	0	1
I1	D17	B2	1	0
I1	D17	B13	0	1
I1	D18	B18	1	0
I1	D18	B31	0	1
I1	D19	B18	1	0
I1	D19	B29	0	1
I1	D21	B5	1	0
I1	D21	B13	0	1
I1	D22	B3	1	0
I1	D22	B13	0	1
I1	D23	B12	1	0
I1	D23	B19	0	1
I1	D24	B1	1	0
I1	D24	B14	0	1
I1	D25	B1	1	0
I1	D25	B6	0	1
I1	D26	B18	1	0
I1	D26	B29	0	1
I1	D28	B6	1	0
I1	D28	B16	0	1
I2	D1	B18	1	0
I2	D1	B27	0	1
I2	D2	B3	1	0
I2	D2	B15	0	1
I2	D3	B1	1	0
I2	D3	B7	0	1
I2	D4	B13	1	0
I2	D4	B24	0	1
I2	D5	B12	1	0
I2	D5	B17	0	1
I2	D6	B19	1	0
I2	D6	B27	0	1
I2	D8	B1	1	0
I2	D8	B11	0	1
I2	D9	B3	1	0
I2	D9	B16	0	1
I2	D10	B1	1	0
I2	D10	B6	0	1
I2	D11	B3	1	0
I2	D11	B11	0	1

I2	D12	B18	1	0
I2	D12	B26	0	1
I2	D13	B2	1	0
I2	D13	B13	0	1
I2	D15	B18	1	0
I2	D15	B25	0	1
I2	D16	B12	1	0
I2	D16	B22	0	1
I2	D17	B18	1	0
I2	D17	B30	0	1
I2	D18	B1	1	0
I2	D18	B13	0	1
I2	D19	B3	1	0
I2	D19	B9	0	1
I2	D21	B18	1	0
I2	D21	B31	0	1
I2	D22	B18	1	0
I2	D22	B23	0	1
I2	D23	B1	1	0
I2	D23	B8	0	1
I2	D24	B18	1	0
I2	D24	B27	0	1
I2	D25	B18	1	0
I2	D25	B29	0	1
I2	D26	B1	1	0
I2	D26	B14	0	1
I2	D28	B6	1	0
I2	D28	B13	0	1
I6	D1	B1	1	0
I6	D1	B12	0	1
I6	D2	B1	1	0
I6	D2	B13	0	1
I6	D3	B18	1	0
I6	D3	B31	0	1
I6	D4	B1	1	0
I6	D4	B13	0	1
I6	D5	B1	1	0
I6	D5	B6	0	1
I6	D6	B19	1	0
I6	D6	B25	0	1
I6	D8	B18	1	0
I6	D8	B23	0	1
I6	D9	B1	1	0
I6	D9	B10	0	1
I6	D10	B18	1	0
I6	D10	B23	0	1
I6	D11	B18	1	0

I6	D11	B25	0	1
I6	D12	B3	1	0
I6	D12	B8	0	1
I6	D13	B2	1	0
I6	D13	B13	0	1
I6	D15	B3	1	0
I6	D15	B11	0	1
I6	D16	B18	1	0
I6	D16	B31	0	1
I6	D17	B1	1	0
I6	D17	B7	0	1
I6	D18	B12	1	0
I6	D18	B16	0	1
I6	D19	B1	1	0
I6	D19	B8	0	1
I6	D21	B18	1	0
I6	D21	B24	0	1
I6	D22	B1	1	0
I6	D22	B13	0	1
I6	D23	B18	1	0
I6	D23	B31	0	1
I6	D24	B3	1	0
I6	D24	B14	0	1
I6	D25	B13	1	0
I6	D25	B25	0	1
I6	D26	B3	1	0
I6	D26	B8	0	1
I6	D28	B5	1	0
I6	D28	B13	0	1
I7	D1	B1	1	0
I7	D2	B1	1	0
I7	D3	B1	1	0
I7	D4	B1	1	0
I7	D5	B1	1	0
I7	D6	B24	1	0
I7	D8	B3	1	0
I7	D9	B25	1	0
I7	D10	B3	1	0
I7	D11	B1	1	0
I7	D12	B20	1	0
I7	D13	B24	1	0
I7	D15	B26	1	0
I7	D16	B2	1	0
I7	D17	B19	1	0
I7	D18	B1	1	0
I7	D19	B25	1	0
I7	D20	B26	1	0

I7	D22	B25	1	0
I7	D23	B3	1	0
I7	D24	B1	1	0
I7	D25	B1	1	0
I7	D26	B19	1	0
I7	D27	B2	1	0
I9	D1	B26	1	0
I9	D2	B25	1	0
I9	D3	B3	1	0
I9	D4	B3	1	0
I9	D5	B3	1	0
I9	D6	B2	1	0
I9	D8	B1	1	0
I9	D9	B1	1	0
I9	D10	B1	1	0
I9	D11	B25	1	0
I9	D12	B1	1	0
I9	D13	B11	1	0
I9	D15	B1	1	0
I9	D16	B1	1	0
I9	D17	B25	1	0
I9	D18	B2	1	0
I9	D19	B20	1	0
I9	D21	B26	1	0
I9	D22	B20	1	0
I9	D23	B25	1	0
I9	D24	B20	1	0
I9	D25	B25	1	0
I9	D26	B1	1	0
I9	D28	B5	1	0
I10	D1	B20	1	0
I10	D2	B19	1	0
I10	D3	B25	1	0
I10	D4	B25	1	0
I10	D5	B25	1	0
I10	D6	B2	1	0
I10	D8	B26	1	0
I10	D9	B19	1	0
I10	D10	B25	1	0
I10	D11	B19	1	0
I10	D12	B25	1	0
I10	D13	B5	1	0
I10	D15	B20	1	0
I10	D16	B25	1	0
I10	D17	B1	1	0
I10	D18	B25	1	0
I10	D19	B1	1	0

I10	D21	B24	1	0
I10	D22	B1	1	0
I10	D23	B1	1	0
I10	D24	B25	1	0
I10	D25	B3	1	0
I10	D26	B25	1	0
I10	D28	B5	1	0

**Tabla N° 34: Asignación de Turnos, Estación San Pablo (Tabla Completa)**

Individuo	Día	Bloque	Comienzo Jornada	Comienzo Almuerzo
I1	D1	B18	1	0
I1	D1	B31	0	1
I1	D2	B1	1	0
I1	D2	B6	0	1
I1	D3	B18	1	0
I1	D3	B27	0	1
I1	D4	B1	1	0
I1	D4	B12	0	1
I1	D5	B18	1	0
I1	D5	B23	0	1
I1	D6	B2	1	0
I1	D6	B6	0	1
I1	D8	B18	1	0
I1	D8	B22	0	1
I1	D9	B1	1	0
I1	D9	B8	0	1
I1	D10	B19	1	0
I1	D10	B28	0	1
I1	D11	B18	1	0
I1	D11	B24	0	1
I1	D12	B1	1	0
I1	D12	B13	0	1
I1	D13	B17	1	0
I1	D13	B29	0	1
I1	D15	B1	1	0
I1	D15	B13	0	1
I1	D16	B18	1	0
I1	D16	B26	0	1
I1	D17	B2	1	0
I1	D17	B13	0	1
I1	D18	B1	1	0
I1	D18	B13	0	1
I1	D19	B18	1	0
I1	D19	B27	0	1
I1	D20	B2	1	0

I1	D20	B13	0	1
I1	D22	B18	1	0
I1	D22	B31	0	1
I1	D23	B16	1	0
I1	D23	B29	0	1
I1	D24	B1	1	0
I1	D24	B6	0	1
I1	D25	B1	1	0
I1	D25	B13	0	1
I1	D26	B18	1	0
I1	D26	B25	0	1
I1	D27	B2	1	0
I1	D27	B13	0	1
I2	D1	B1	1	0
I2	D1	B5	0	1
I2	D2	B1	1	0
I2	D2	B13	0	1
I2	D3	B19	1	0
I2	D3	B32	0	1
I2	D4	B16	1	0
I2	D4	B23	0	1
I2	D5	B18	1	0
I2	D5	B25	0	1
I2	D6	B19	1	0
I2	D6	B32	0	1
I2	D8	B2	1	0
I2	D8	B13	0	1
I2	D9	B18	1	0
I2	D9	B22	0	1
I2	D10	B19	1	0
I2	D10	B25	0	1
I2	D11	B16	1	0
I2	D11	B28	0	1
I2	D12	B1	1	0
I2	D12	B5	0	1
I2	D13	B19	1	0
I2	D13	B26	0	1
I2	D15	B1	1	0
I2	D15	B5	0	1
I2	D16	B1	1	0
I2	D16	B13	0	1
I2	D18	B18	1	0

I2	D18	B28	0	1
I2	D19	B18	1	0
I2	D19	B29	0	1
I2	D20	B19	1	0
I2	D20	B26	0	1
I2	D21	B6	1	0
I2	D21	B13	0	1
I2	D22	B18	1	0
I2	D22	B30	0	1
I2	D23	B1	1	0
I2	D23	B13	0	1
I2	D25	B12	1	0
I2	D25	B16	0	1
I2	D26	B1	1	0
I2	D26	B13	0	1
I2	D27	B19	1	0
I2	D27	B25	0	1
I2	D28	B15	1	0
I2	D28	B23	0	1
I3	D1	B1	1	0
I3	D1	B13	0	1
I3	D2	B18	1	0
I3	D2	B24	0	1
I3	D3	B1	1	0
I3	D3	B7	0	1
I3	D4	B18	1	0
I3	D4	B26	0	1
I3	D5	B2	1	0
I3	D5	B13	0	1
I3	D6	B17	1	0
I3	D6	B25	0	1
I3	D8	B1	1	0
I3	D8	B13	0	1
I3	D9	B1	1	0
I3	D9	B13	0	1
I3	D10	B2	1	0
I3	D10	B11	0	1
I3	D11	B2	1	0
I3	D11	B6	0	1
I3	D12	B18	1	0
I3	D12	B22	0	1
I3	D13	B18	1	0

I3	D13	B28	0	1
I3	D15	B18	1	0
I3	D15	B25	0	1
I3	D17	B15	1	0
I3	D17	B19	0	1
I3	D18	B15	1	0
I3	D18	B28	0	1
I3	D19	B1	1	0
I3	D19	B13	0	1
I3	D20	B19	1	0
I3	D20	B32	0	1
I3	D21	B17	1	0
I3	D21	B30	0	1
I3	D22	B1	1	0
I3	D22	B13	0	1
I3	D24	B18	1	0
I3	D24	B23	0	1
I3	D25	B1	1	0
I3	D25	B13	0	1
I3	D26	B12	1	0
I3	D26	B16	0	1
I3	D27	B2	1	0
I3	D27	B14	0	1
I3	D28	B15	1	0
I3	D28	B24	0	1
I4	D1	B12	1	0
I4	D1	B16	0	1
I4	D2	B1	1	0
I4	D2	B13	0	1
I4	D3	B1	1	0
I4	D3	B13	0	1
I4	D4	B1	1	0
I4	D4	B13	0	1
I4	D5	B1	1	0
I4	D5	B13	0	1
I4	D6	B2	1	0
I4	D6	B13	0	1
I4	D8	B1	1	0
I4	D8	B7	0	1
I4	D9	B15	1	0
I4	D9	B22	0	1
I4	D10	B2	1	0

I4	D10	B13	0	1
I4	D11	B1	1	0
I4	D11	B13	0	1
I4	D12	B18	1	0
I4	D12	B31	0	1
I4	D13	B2	1	0
I4	D13	B14	0	1
I4	D15	B18	1	0
I4	D15	B31	0	1
I4	D16	B12	1	0
I4	D16	B23	0	1
I4	D17	B1	1	0
I4	D17	B5	0	1
I4	D18	B1	1	0
I4	D18	B13	0	1
I4	D19	B1	1	0
I4	D19	B13	0	1
I4	D20	B2	1	0
I4	D20	B13	0	1
I4	D22	B1	1	0
I4	D22	B13	0	1
I4	D23	B1	1	0
I4	D23	B13	0	1
I4	D24	B2	1	0
I4	D24	B13	0	1
I4	D25	B16	1	0
I4	D25	B25	0	1
I4	D26	B18	1	0
I4	D26	B28	0	1
I4	D27	B18	1	0
I4	D27	B22	0	1
I5	D1	B1	1	0
I5	D1	B13	0	1
I5	D2	B14	1	0
I5	D2	B25	0	1
I5	D3	B18	1	0
I5	D3	B26	0	1
I5	D4	B1	1	0
I5	D4	B13	0	1
I5	D5	B1	1	0
I5	D5	B13	0	1
I5	D6	B17	1	0

I5	D6	B21	0	1
I5	D8	B18	1	0
I5	D8	B31	0	1
I5	D9	B18	1	0
I5	D9	B25	0	1
I5	D10	B1	1	0
I5	D10	B8	0	1
I5	D11	B1	1	0
I5	D11	B10	0	1
I5	D12	B2	1	0
I5	D12	B13	0	1
I5	D13	B3	1	0
I5	D13	B13	0	1
I5	D15	B2	1	0
I5	D15	B13	0	1
I5	D16	B16	1	0
I5	D16	B29	0	1
I5	D17	B18	1	0
I5	D17	B26	0	1
I5	D19	B2	1	0
I5	D19	B13	0	1
I5	D20	B12	1	0
I5	D20	B16	0	1
I5	D21	B6	1	0
I5	D21	B13	0	1
I5	D22	B2	1	0
I5	D22	B10	0	1
I5	D23	B12	1	0
I5	D23	B24	0	1
I5	D24	B1	1	0
I5	D24	B5	0	1
I5	D26	B1	1	0
I5	D26	B13	0	1
I5	D27	B2	1	0
I5	D27	B8	0	1
I5	D28	B7	1	0
I5	D28	B13	0	1
I6	D1	B18	1	0
I6	D1	B24	0	1
I6	D2	B16	1	0
I6	D2	B24	0	1
I6	D3	B16	1	0

I6	D3	B21	0	1
I6	D4	B18	1	0
I6	D4	B23	0	1
I6	D5	B1	1	0
I6	D5	B13	0	1
I6	D6	B2	1	0
I6	D6	B13	0	1
I6	D8	B1	1	0
I6	D8	B13	0	1
I6	D9	B1	1	0
I6	D9	B13	0	1
I6	D10	B19	1	0
I6	D10	B31	0	1
I6	D11	B1	1	0
I6	D11	B14	0	1
I6	D12	B1	1	0
I6	D12	B13	0	1
I6	D13	B2	1	0
I6	D13	B13	0	1
I6	D15	B1	1	0
I6	D15	B13	0	1
I6	D16	B1	1	0
I6	D16	B9	0	1
I6	D17	B1	1	0
I6	D17	B13	0	1
I6	D18	B2	1	0
I6	D18	B13	0	1
I6	D19	B1	1	0
I6	D19	B11	0	1
I6	D20	B2	1	0
I6	D20	B15	0	1
I6	D22	B1	1	0
I6	D22	B13	0	1
I6	D23	B18	1	0
I6	D23	B30	0	1
I6	D24	B16	1	0
I6	D24	B20	0	1
I6	D25	B18	1	0
I6	D25	B22	0	1
I6	D26	B1	1	0
I6	D26	B13	0	1
I6	D27	B12	1	0

16	D27	B23	0	1
17	D1	B2	1	0
17	D2	B3	1	0
17	D3	B3	1	0
17	D4	B3	1	0
17	D5	B2	1	0
17	D6	B7	1	0
17	D8	B1	1	0
17	D9	B19	1	0
17	D10	B24	1	0
17	D11	B19	1	0
17	D12	B1	1	0
17	D13	B2	1	0
17	D15	B1	1	0
17	D16	B25	1	0
17	D17	B19	1	0
17	D18	B19	1	0
17	D19	B2	1	0
17	D21	B24	1	0
17	D22	B1	1	0
17	D23	B3	1	0
17	D24	B3	1	0
17	D26	B2	1	0
17	D27	B2	1	0
17	D28	B24	1	0
18	D1	B25	1	0
18	D2	B1	1	0
18	D3	B9	1	0
18	D4	B19	1	0
18	D5	B25	1	0
18	D6	B2	1	0
18	D8	B19	1	0
18	D9	B1	1	0
18	D10	B11	1	0
18	D11	B1	1	0
18	D12	B25	1	0
18	D13	B2	1	0
18	D15	B25	1	0
18	D16	B2	1	0
18	D17	B25	1	0
18	D18	B1	1	0
18	D19	B1	1	0

18	D21	B5	1	0
18	D22	B19	1	0
18	D23	B2	1	0
18	D24	B1	1	0
18	D25	B1	1	0
18	D26	B25	1	0
18	D28	B5	1	0
19	D1	B2	1	0
19	D2	B25	1	0
19	D3	B1	1	0
19	D4	B1	1	0
19	D5	B19	1	0
19	D6	B2	1	0
19	D8	B2	1	0
19	D9	B3	1	0
19	D10	B1	1	0
19	D11	B25	1	0
19	D12	B19	1	0
19	D13	B7	1	0
19	D15	B3	1	0
19	D16	B3	1	0
19	D17	B1	1	0
19	D19	B25	1	0
19	D20	B2	1	0
19	D21	B24	1	0
19	D22	B3	1	0
19	D24	B19	1	0
19	D25	B2	1	0
19	D26	B3	1	0
19	D27	B25	1	0
19	D28	B5	1	0
110	D1	B1	1	0
110	D2	B23	1	0
110	D3	B1	1	0
110	D4	B1	1	0
110	D5	B1	1	0
110	D6	B24	1	0
110	D8	B25	1	0
110	D9	B25	1	0
110	D10	B1	1	0
110	D11	B3	1	0
110	D12	B2	1	0

I10	D13	B23	1	0
I10	D15	B19	1	0
I10	D16	B1	1	0
I10	D17	B3	1	0
I10	D18	B25	1	0
I10	D19	B19	1	0
I10	D20	B25	1	0
I10	D22	B25	1	0
I10	D23	B25	1	0
I10	D24	B25	1	0
I10	D25	B25	1	0
I10	D26	B1	1	0
I10	D28	B5	1	0