



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

**PROGRAMACIÓN DE TURNOS DE CAJEROS BAJO RÉGIMEN DE DEMANDA
SEMANAL VARIABLE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

MARIO RODRIGO SALGADO PARRAGUEZ

**PROFESOR GUÍA:
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RODOLFO URRUTIA URIBE
FERNANDO ORDOÑEZ PIZARRO**

**SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2013**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: MARIO SALGADO PARRAGUEZ
FECHA: 21/01/13
PROF. GUIA: SR. RICARDO SAN MARTÍN

PROGRAMACIÓN DE TURNOS DE CAJEROS BAJO RÉGIMEN DE DEMANDA SEMANAL VARIABLE

El presente Trabajo de Título versa sobre el problema de asignar recursos cuando estos son escasos, permitiendo un mejor control de quiebres y de costos asociados para la empresa interesada en la eficiencia y entrega de un buen servicio.

Se presenta el caso particular de asignación de cajeros para un grupo de 39 estaciones de la red de Metro S.A., encargadas a un Operador de contratos. Este Operador tiene bajo su responsabilidad la respuesta a los requerimientos de servicio de Metro con el personal que estime conveniente. Las condiciones laborales y propias del problema hacen necesario un análisis detallado en cuanto a definición del problema y levantamiento de información, describiéndose la demanda y oferta actual de personal, analizando los contratos celebrados como también las multas y costos involucrados. Así se presenta una metodología que parte desde este punto para luego generar un modelo de asignación de turnos (Shift Assignment Problem), donde el personal es homogéneo y solo interesa determinar cuánto, cuándo y dónde se necesita personal.

Se presenta así la resolución del problema modelado como un Problema de Programación Entera Mixta (MIP), incorporando distintos tipos de contratos y definiendo el modelo base de la programación y sus variantes. Se desarrolla la estrategia de programar de menos a más y se determina que la solución entregada por el modelo corto de una semana resulta beneficiosa para el Operador y en tiempos de ejecución cortos.

Se incorpora una etapa de validación del modelo en la que se compara la solución entregada para el mes de Junio con la del Operador, llegando a una mejora de un 58% de eficiencia en la oferta de Horas Hombre, con una dotación superior en 57 cajeros y con un beneficio por concepto de sueldos superior a los nueve millones de pesos para el total de las 48 mesaninas, repartidas entre las 39 estaciones.

En este trabajo se entrega un set de herramientas computacionales, elaboradas con Visual Studio 2010, en lenguaje de Visual Basic, capaces de traducir los requerimientos de servicio a una programación de turnos, permitiendo ejecutar el software de programación empleado (GAMS) de manera remota y modificando el *output* para ser presentado en un formato estándar de turno. Se desarrolla además una planilla que entrega soporte al área de asignación de cajeros con los turnos generados tras la ejecución del modelo, todo esto usando Macros de Excel, permitiendo al Operador la automatización del proceso y una autonomía de trabajo del mismo, integrando herramientas de TI para una solución completa y amigable.

A mi familia y pareja,
con profunda gratitud.

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
1.1	Antecedentes Generales	1
1.2	Descripción del proyecto	4
1.3	Objetivos	5
1.4	Metodología	5
1.5	Marco conceptual.....	6
1.6	Alcances	8
1.7	Resultados Esperados	8
1.8	Dificultades y estrategias de solución.....	8
2.	Reconocimiento del Problema	10
2.1	Problema de Horarios de Personal.....	10
2.2	Procedimiento Actual de Programación y Asignación	11
2.3	Modelo de Flujo del Proceso	12
2.4	Relación contractual entre el Operador y Metro S.A.....	15
3.	Análisis del levantamiento de información.....	16
3.1	Demanda de servicios de Metro.....	16
3.2	Oferta de Personal del Operador.....	20
3.3	Match entre Oferta y Demanda.....	22
4.	Planteamiento del problema como un Problema de Programación Entera Mixta (MIP).....	24
4.1	Tipos de Contratos	24
4.2	Definiciones básicas del modelo.....	26
4.2.1	Conjuntos de índices.....	26
4.2.2	Parámetros	26
4.2.3	Variables de Decisión.....	27
4.2.4	Variables Auxiliares	27
4.3	Restricciones	28
4.3.1	Propias del contrato	28
4.3.2	Propias del servicio.....	30
4.4	Legislación laboral vigente	31
4.5	Tiempo en Ventanilla.....	35
4.6	Cumplimiento de la demanda	36
4.7	Función Objetivo	37

4.8	Variante de la formulación del modelo.....	38
4.8.1	Hora de colación.....	38
4.9	Supuestos del modelo	41
5.	Asignación del personal	43
5.1	Planilla de asignación de personal	44
6.	Elaboración de un Modelo de solución.....	46
6.1	Elaboración de la solución en GAMS.....	46
6.2	Sistema computacional de uso	46
6.3	Elaboración de escenarios de prueba	47
7.	Modelo semanal	49
7.0.1	Conjuntos de índices.....	49
7.0.2	Parámetros	49
7.0.3	Variables de Decisión.....	49
7.0.4	Variables Auxiliares	50
7.1	Restricciones	51
7.1.1	Propias del contrato	51
7.1.2	Propias del servicio.....	53
7.2	Cumplimiento de la demanda	54
7.3	Función Objetivo	54
7.4	Implicaciones de la programación semanal	54
8.	Resultados y Validación.....	55
8.1	Solución para el total de las mesaninas	55
8.2	Proceso de validación	58
8.3	Comparativa de la programación de un mes completo.....	58
8.4	Mejoras al modelo	60
8.5	Escenario base de implementación	60
9.	Interfaz Gráfica	61
9.1	Diseño de la interfaz	61
9.2	Funcionalidades	63
9.3	Compatibilidad de Programas.....	65
9.4	Ejecución	66
9.4.1	Paso 1.....	66
9.4.2	Paso 2.....	67
9.4.3	Paso 3.....	67

9.4.4	Paso 4.....	68
9.4.5	Paso 5.....	70
10.	Conclusiones.....	72
10.1	Trabajos futuros	73
Bibliografía.....		73
Anexos.....		75
Anexo A	- Modelo para una semana.....	75
Anexo B	- Modelo para el mes completo	79
Anexo C	- Clase con los distintos procedimientos para elaborar el programa "Planilla de Servicios"	85
Anexo D	- Clase con los distintos procedimientos para elaborar el programa "Generación de Turnos"	91
Anexo E	- Abreviaturas.....	94

1. Introducción

1.1 Antecedentes Generales

En el año 2007 entra en operación Transantiago, un nuevo plan de transporte para la ciudad de Santiago, con el fin de cambiar y mejorar el antiguo sistema de transporte de pasajeros de la ciudad. Dentro de sus planes se establece la conexión entre el servicio de microbuses con la infraestructura del tren subterráneo de la capital, a cargo de la empresa Metro S.A., considerando tanto el transporte como el canal de ventas. Esto implicó que el Administrador Financiero del Transantiago (AFT) exigiera a Metro cumplir con ciertos estándares de calidad de servicio en cuanto a la atención de los pasajeros, traducidos en restricciones sobre el largo de fila y el tiempo de espera en las boleterías. Para esto, Metro desarrolló un sistema computacional de optimización el que determina, en base a la demanda estimada, la dotación de personal necesaria (servicios) para cada horario y día, con el objetivo de satisfacer las exigencias del AFT al mínimo costo [11]. El proceso final de programación de cajeros es dejado en manos de empresas privadas (Operadores) quienes deben administrar el personal necesario para cumplir con los requerimientos de servicios determinados por Metro, a cambio de un pago por éstos.

Los requerimientos de servicios de Metro (o demanda desde el punto de vista del Operador) son entregados para cada quincena del mes, con una anticipación de 15 días antes de que entren en funcionamiento. Estos requerimientos se dividen en 5 días tipo, presentados en la Tabla 1.

Tabla 1.- División de la semana por días tipo.

Tipo	Sigla	Días
Tipo 1	DL	Lunes
Tipo 2	MMJ	Martes, Miércoles y Jueves
Tipo 3	DV	Viernes
Tipo 4	DS	Sábado
Tipo 5	DF	Domingo y festivos

Fuente: Metro S.A. Especificaciones técnicas

Adicionalmente, cada día está dividido por bloques horarios de media hora y, en cada uno de esos bloques, Metro establece una cantidad de puntos de ventas que deben estar funcionando para cada mesanina, es decir, Metro les exige a los Operadores que cumplan con los requerimientos solicitados, de lo contrario quedan expuestos a multas o descuentos en la facturación mensual. Estas multas pueden generarse por quiebres de servicios, lo que significa que en algún instante de tiempo no hubo ningún punto de venta abierto en una mesanina, lo que implica una multa, o por tener al menos 1 punto pero no el total requerido, en cuyo caso se descuenta el pago por el servicio.

Tabla 2.- Total de mesaninas de los contratos del Operador analizado.

Línea 1	Línea 4	Línea 5
LOS DOMINICO ORIENTE	TOBALABA 4	GRUTA LOURDES
LOS DOMINICO PONIENTE	COLON	BLANQUEADO
MANQUEHUE CEN-SUR	BILBAO	LO PRADO
MANQUEHUE CEN-NORTE	PRINCIPE DE GALES	SAN PABLO
MANQUEHUE ORIENTE	SIMON BOLIVAR	PUDAHUEL
MANQUEHUE PONIENTE	PLAZA EGAÑA ORIENTE	BARRANCAS
HERNANDO MAGALLANES	PLAZA EGAÑA PONIENTE	LAGUNA SUR
ESCUELA M. ORIENTE	LOS ORIENTALES	LAS PARCELAS
ESCUELA M. PONIENTE	ROTONDA GRECIA	MONTE TABOR
ALCANTARA	LOS PRESIDENTES	DEL SOL
EL GOLF	ROTONDA QUILIN	SANTIAGO BUERAS
TOBALABA 1	LAS TORRES	PZA DE MAIPU
LOS LEONES	MACUL NORTE	
PEDRO DE VALDIVIA	MACUL SUR	
MANUEL MONTT	VICUÑA MACKENNA	
SALVADOR		
BAQUEDANO		
U. CATOLICA		
SANTA LUCIA		
U. DE CHILE ORIENTE		
U. DE CHILE PONIENTE		

Fuente: Elaboración propia

Actualmente Metro trabaja con 3 Operadores, quienes se adjudicaron la última licitación para la comercialización y venta de especies valoradas y cupos de transportes del año 2006, según la configuración de estaciones presente en las Bases de Licitación. Con la extensión de Línea 5, el Operador analizado se adjudicó un nuevo contrato que lo hace hoy responsable de un total de 48 mesaninas, repartidas entre 39 estaciones, correspondientes a tramos de las líneas 1, 4 y 5 (ver Tabla 2). Esto tiene como efecto en el Operador la necesidad de administrar una dotación de personal tal que, a través de la programación de una estructura de turnos, le permita satisfacer los requerimientos de Metro.

Hoy la empresa busca optimizar su gestión de recursos, con el objetivo de reducir los costos asociados a la dotación de personal, no sólo para rentabilizar más el negocio, sino también para volverse más competitivos en la futura licitación de operadores que realice Metro el próximo año.

La inquietud por buscar formas de optimizar el recurso humano dentro de la empresa ha sido motivo de estudios por más de 6 décadas, siendo uno de los problemas recurrentes que los Investigadores de Operaciones tratan de abordar, principalmente desde dos perspectivas distintas: modelando la situación como un problema de programación lineal (entera) o desarrollando algoritmos específicos para el problema, conocidos como heurísticas. Ernst et al [7] presentan una revisión de los distintos métodos de solución, modelos y algoritmos reportados en la literatura, junto a las metodologías más usadas para abordar el problema de asignación de personal (*Staff Scheduling*).

La generalización del Problema de Asignación, ya sea basada en turnos (shifts), días libres (days-off) o carga de trabajo (workload), tiene su formulación original gracias a Dantzig en el año 1954 [2], quien abordó el problema con programación lineal, suponiendo homogeneidad en el personal. El término de Asignación de Empleados (*Employee Scheduling*) es incorporado por primera vez en [8] y surge de la individualización del personal en cuanto a sus habilidades, distinguiendo además trabajadores *part-time* y *full-time*, especificando además las horas mínimas y máximas de trabajo por semana.

Un enfoque típico de la Investigación de Operaciones (OR) es la empleada por Burns y Carter [4], quienes entregan un algoritmo capaz de minimizar los requerimientos de trabajadores bajo una estructura variable de demanda diaria, pero no consideran la asignación personal de cada trabajador. El problema de asignación de horarios a empleados (*Employee Timetabling Problem*) se hace cargo de esto, refiriéndose al proceso de asignación de empleados a turnos de trabajo previamente definidos [9].

Trabajos recientes en el ámbito nacional han buscado dar respuesta al problema de asignación de personal, encontrándose una memoria de título en la que se propone resolver el problema para dos estaciones [3].

Lo que propone este trabajo de Título es la Integración del problema de asignación de turnos al total de las estaciones del Operador y brindar asistencia al proceso de asignación de personal a los horarios de trabajo establecidos en el paso anterior, de manera tal de cumplir con los requerimientos de la empresa demandante (Principal) y automatizar el proceso a través de interfaces computacionales que permitan al Operador una implementación rápida y confiable del sistema en su conjunto.

1.2 Descripción del proyecto

La tercerización del trabajo ha generado oportunidades laborales donde antes no existían. Las principales empresas que se han favorecido de esta tendencia son aquellas relacionadas con el Capital Humano, generando vínculos con una empresa Principal a través de una relación contractual, permitiendo establecer límites de acción y medidas de control de la operación, las que a su vez pueden generar medidas de castigo según se incurra en faltas en las bases de los contratos establecidos.

En empresas con un alto número de personal y vinculadas a una relación de subcontratación, resulta fundamental y crítico el poder manejar un número óptimo de fuerza de trabajo y poder posicionarla en los puestos de trabajo que sean necesarios, de manera tal de cumplir de la mejor manera posible con los requerimientos contractuales adquiridos con la empresa Principal sin alejarse de la eficiencia operativa y en costos, evitando posibles quiebres y cumpliendo con la normativa legal vigente. Juega en esto un papel relevante el personal encargado de la administración del contrato y de la programación, tareas que por lo general recaen en solo una persona en ambos casos, quienes principalmente desarrollan su trabajo de forma manual (no automatizada), basados en el *know how* del negocio y de su *expertise* en el cargo, tornando el problema original de planificación en un problema de control de contingencias diarias, evitando en lo posible incurrir en quiebres que signifiquen castigos en el margen final de los ingresos de la operación.

Como las empresas, al igual que la evaluada en este Trabajo de Título, pueden manejar una fuerza de trabajo diferenciada en cuanto al total de horas semanales/mensuales de trabajo (i.e. trabajador *part-time* y *full-time*), y si se suma al hecho de tener que suplir una demanda que varía quincenalmente y semanalmente (dentro de cada quincena), diferenciándose además entre semana y fin de semana, resulta difícil y suficientemente costoso poder elaborar y evaluar en la práctica nuevas políticas de contratación y/o de turnos, lo que potencia aún más la necesidad de establecer un mecanismo automatizado de programación, que entregue la flexibilidad necesaria para poder establecer escenarios distintos y comparar sus desempeños con el fin de determinar las políticas óptimas de programación de personal (en cuanto a cantidad y distribución de turnos), como también en la asignación de éste a los turnos previamente establecidos, procurando el mejor ajuste a lo establecido por contrato y la eficiencia operativa.

1.3 Objetivos

El Objetivo de este Trabajo de Título es generar un sistema de programación de turnos de trabajo en boleterías para una posterior asignación del personal disponible, que permita a la empresa contratista ajustarse a las demandas de servicio de Metro, bajo condiciones de cumplimiento contractual, legal y de dotación necesaria.

Entre sus Objetivos Específicos se considera:

- Desarrollar un modelo de optimización matemática para el problema de programación de turnos, que responda a las demandas de servicio de cada semana dentro de la quincena solicitada por Metro.
- Elaborar una herramienta de asistencia al proceso de asignación posterior a la programación de turnos, de manera de hacer un proceso fluido entre ambas partes.
- Elaborar un set de herramientas computacionales, de interfaz amigable, que permitan generar la demanda semanal de servicios como también la ejecución de la programación de turnos, entregando la solución encontrada y modificando el *output* de manera tal de presentar de una forma estándar los resultados obtenidos.

1.4 Metodología

La metodología de solución del problema planteado, basada en los objetivos propuestos, considera 6 hitos principales dentro de este Trabajo de Título:

- a) Definición del problema y levantamiento de información
Considera la descripción de la problemática al lector. Incorpora la identificación del procedimiento actual de programación y asignación, la descripción de la demanda de servicios y la oferta de personal actual e histórica, un análisis de los contratos celebrados entre el Contratista y la empresa Principal, como también las multas y costos involucrados.
- b) Elaboración del modelo de programación
Presenta la estructura de modelamiento que se llevará a cabo, estableciendo los pasos a seguir hasta llegar a lo deseado. Incorpora la descripción de la función objetivo, parámetros y restricciones.

- c) **Elaboración de una herramienta para la asignación**
Se analizan los procedimientos de asignación del Operador y se elabora un complemento que una a ambos procesos, tanto de programación como su posterior asignación.
- d) **Resolución del problema**
Se presentan distintos escenarios de resolución del problema y cómo estos van modificando el modelo en cuanto a los valores de los distintos parámetros y las distintas restricciones. Se modela el problema de programación como un PPL, en lenguaje de programación GAMS (con el software en su versión 23.5.1), utilizando la herramienta CPLEX (versión 12) para su resolución.
- e) **Validación de los resultados obtenidos**
Se analiza la capacidad de los modelos de resolver el problema y obtener resultados factibles y eficientes para una situación real.
- f) **Etapas de implementación**
Se desarrollan las interfaces computacionales que implementen el modelo para distintas instancias. Se determina un escenario base para la implementación del modelo en el sistema para un correcto funcionamiento.

1.5 Marco conceptual

La generalización del problema de asignación con el problema de estudio hace necesario entender conceptos puramente relacionados con el ambiente en el que se desarrolla la labor del Contratista (Operador), vale decir, lo referente a los espacios físicos con los que se relaciona e interactúa el personal de trabajo [10].

- **Estación:** Se define como la infraestructura donde se realiza la parada del tren y existe un ingreso y egreso del público. Cada estación se compone de andenes, mesaninas, boleterías y otros bienes. En el caso de estaciones de combinación se consideran dos estaciones.
- **Mesanina:** Superficie que soporta a las boleterías, torniquetes y puertas de salida.

- Boletería: Espacio físico que concentra los puestos de venta en los cuales desempeñan sus labores los cajeros designados.
- Servicio de Caja: Período durante el cual un puesto de venta se encuentra habilitado para la comercialización y venta de Especies Valoradas (boletos) y Cupos de Transporte (carga de tarjetas).

El Employee Timetabling Problem puede ser diferenciado principalmente en dos tipos, de acuerdo a lo expuesto en [5]: la asignación anónima y la asignación personalizada. El primer caso es equivalente al Problema de Asignación de Turnos, en cuyo caso sólo interesa construir asignaciones de turnos válidas, en donde un trabajador puede ser reemplazado por otro de igual tipo de contrato (horas de trabajo semanales/mensuales). Este problema considera las siguientes definiciones:

- Bloque temporal (periodo): Corresponde a la unidad básica de división del día laboral. Usualmente tramos de 5 minutos, 30 minutos o 1 hora.
- Turno: El turno se define como el total de periodos de tiempo en que un trabajador (o un grupo de ellos) se encuentra realizando sus labores. La definición del turno incluye un horario de entrada/inicio y un horario de salida/fin, lo que implica una cierta cantidad de bloques temporales según tipo de contrato.
- Personal: También identificado como la fuerza laboral (trabajadores), corresponde a la cantidad de personas para satisfacer la demanda en algún turno.
- Horizonte de Planificación: Se considera como horizonte de planificación el tiempo en el que los trabajadores son asignados a diferentes turnos.
- Programación de Turnos: Corresponde al proceso por el cual se obtiene una configuración eficiente de Personal para los Turnos Factibles previamente establecidos.
- Turnos Factibles: Un turno es factible cuando la incorporación de un trabajador a éste no contempla violación de alguna de las restricciones del problema, como lo son las cantidades mínimas/máximas de horas diarias, según el tipo de contrato del trabajador, como también los días consecutivos trabajados, entre otras.
- Requerimientos: Corresponden al desglose por estación de los servicios necesarios para cada día de la semana de una quincena determinada que Metro envía a sus Contratistas.

- Puntos: Por definición es el total de requerimientos para un determinado periodo, dentro del horario de funcionamiento, para cada día y por estación (i.e. es la suma de los servicios requeridos por Metro a una determinada hora).
- Asignación de Turnos: Corresponde a la asignación de trabajadores a los turnos previamente establecidos, cumpliendo con la programación del día.

1.6 Alcances

El desarrollo de este Trabajo de Título permitirá a la empresa demandante automatizar su proceso de programación y asignación, otorgándole la flexibilidad necesaria para evaluar posibles cambios sin la necesidad de intervenir en la operación misma sin conocer a priori la factibilidad de tal cambio.

Permitirá a la empresa llegar mejor preparada ante la futura licitación del próximo año, pudiendo afrontar situaciones de cambio en las bases mientras pueda reflejarlas en nuevas restricciones en el modelo (o modificación de las ya existentes).

De acuerdo a los objetivos propuestos, la empresa podrá contar con un set de herramientas computacionales de uso fácil e intuitivo, de manera tal de que cualquier integrante de su personal pueda estar capacitado para manejar los programas y realizar los cambios necesarios.

1.7 Resultados Esperados

Se espera modelar la situación de programación y facilitar el proceso de asignación de manera tal de tener resultados válidos y beneficiosos para la empresa.

Se espera establecer distintos posibles escenarios que satisfagan los requerimientos de Metro, determinando aquellos que se alinean con las políticas de la empresa Contratista referentes a contratación de personal y la minimización de los costos asociados.

Se facilitará la solución del problema a través de la incorporación de TI, basando su funcionamiento en el Sistema Operativo Windows actualmente en uso, permitiendo la autonomía de la empresa en la elaboración de las nuevas programaciones y asignaciones.

1.8 Dificultades y estrategias de solución

La principal dificultad en este tipo de proyectos radica en el proceso de programación mismo. Es posible que el número de variables a programar sea tal que la formulación a través de una programación exacta arroje tiempos demasiado altos. A primera vista puede parecer algo

complejo, sin embargo, dado el tiempo que se tiene para la programación real no parece ser algo que realmente afecte a la empresa demandante (se programa quincenalmente). Sin embargo, si se requiere de una nueva programación como solución de un plan de contingencia, puede entonces resultar un problema un tiempo de ejecución demasiado largo. La estrategia de solución que se ha planteado ante esta posibilidad consiste en la desagregación del problema, considerándolo como una secuencia de problemas de asignación [6].

De igual manera puede resultar problemático para el avance del proyecto el desarrollo de la interfaz computacional, en el sentido de la compatibilidad entre el programa de visualización creado (usando Visual Basic) y el software de optimización empleado (GAMS versión 22.5.1). Para superar una posible dificultad de este tipo se reúne constantemente información de foros especializados y de las páginas oficiales de los programas empleados, de manera tal de conocer distintas alternativas de solución que sean efectivas y permitan cumplir el objetivo de este Trabajo de Título.

2. Reconocimiento del Problema

2.1 Problema de Horarios de Personal

El problema de asignación de personal (Workforce Scheduling Problem) refiere a la apropiada programación de la fuerza de trabajo, de manera de satisfacer una demanda que varía con la hora del día y el día de la semana. Es una variación del Problema General de Transporte. Este tipo de problemas se deriva en diferentes aproximaciones las que incluyen diseño de turnos, programación de días libres y de cargas de trabajo. Proveer de la gente correcta, en el momento correcto, a un costo correcto, alcanzando niveles altos o aceptables de satisfacción del personal, satisfaciendo una cierta demanda no fija, es un problema crítico para las organizaciones, siendo sujeto principal de estudio e investigación en estos últimos 40 años. Se puede encontrar literatura relacionada bajo los nombres de “Problema de (Asignación/Turnos/Horarios) de (Personal/Fuerza de Trabajo/Mano de Obra)”.

El procedimiento de solución en su primera parte comprende la determinación del staff necesario para satisfacer los requerimientos demandados. Posteriormente cada miembro del staff es asignado a un turno, de manera de satisfacer los requerimientos de niveles de staff (i.e. demanda) en diferentes tiempos, procurando satisfacer las regulaciones laborales asociadas a la industria.

Resulta extremadamente difícil encontrar buenas soluciones en este tipo de problemas dada la complejidad propia de la situación de estudio y la gran cantidad de variables asociadas, más aún en problemas con un alto número de personal involucrado. El Problema de Asignación de Personal se identifica bajo un problema de tipo NP-Difícil (NP-hard), clasificación dada según la complejidad algorítmica entregada en la Teoría de la Complejidad Computacional. Los problemas NP-Difíciles son problemas NP-Completos, que no necesariamente son problemas de decisión (del tipo SI-NO), clasificación que viene dentro de la clase NP (“nondeterministic polynomial time”), que en términos simples corresponde a la clase de problemas que no dispone de algún tipo de algoritmo que resuelva cualquier instancia del problema, pero que sí se dispone de un algoritmo polinómico para comprobar si una posible solución es válida o no. Son problemas cuya solución no ha podido ser encontrada de manera exacta por algoritmos deterministas eficientes, pero que pueden ser resueltos por algoritmos no-deterministas (i.e. con la misma entrada ofrece distintos resultados posibles) y en un tiempo polinomial de complejidad.

La metodología usual de aproximación a una solución comprende, por un lado, aproximaciones heurísticas para obtener soluciones cerca del óptimo en tiempo computacional razonable, como también del uso de alguna formulación de Programación Lineal Entera (Mixta). Cada una de estas aproximaciones tiene sus ventajas y desventajas. Algunas de estas se detallan en la Tabla 3.

El problema al que se enfoca este informe puede ser identificado como un problema de asignación de turnos (“Shift Assignment Problem”) que responde a un problema real de empresa, el que busca interconectar empleados con turnos, para un cierto período de tiempo y bajo ciertas condiciones. A diferencia del Problema General de Asignación, éste relaja el supuesto de homogeneidad del recurso a asignar, permitiendo la inclusión de trabajadores diferenciables según cierta característica, como lo son las horas contratadas. En este caso se diferencia la oferta de mano de obra, considerando una dotación *part-time* (PT) y otra *full-time* (FT) y atributos de cada turno de acuerdo a:

- Duración (largo del turno)
- Horarios de inicio
- Tiempos de relevo
- Lugar del relevo dentro del turno

Tabla 3.- Ventajas y desventajas entre resolver este problema por heurística y programación lineal.

Heurística	Programación Lineal
<ul style="list-style-type: none"> • Se acerca a la solución óptima, pero no se garantiza que la encuentre (se establece una cota). • Responde bien en situaciones complejas, donde se tienen muchas restricciones. • Se puede abordar el problema con Redes, Búsqueda Tabú, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Busca la solución óptima, por lo que el tiempo computacional de ejecución es considerablemente mayor. • Con un número grande de restricciones, el problema se complejiza en tiempo computacional (horas, días, semanas) • Se puede abordar con el método Simplex (solver CPLEX)

Fuente: Elaboración propia.

En condiciones reales (i.e. en el mundo laboral) es el programador quien determina los tipos de turnos y, en algunos casos, qué persona debe recibir cierto tipo de turno, según las restricciones y políticas propias de la empresa. La producción de una programación y posterior asignación se realiza principalmente de forma manual, comprometiendo un alto espacio temporal. Así el diseño de los turnos y su asignación a empleados específicos debe ser un proceso coordinado.

2.2 Procedimiento Actual de Programación y Asignación

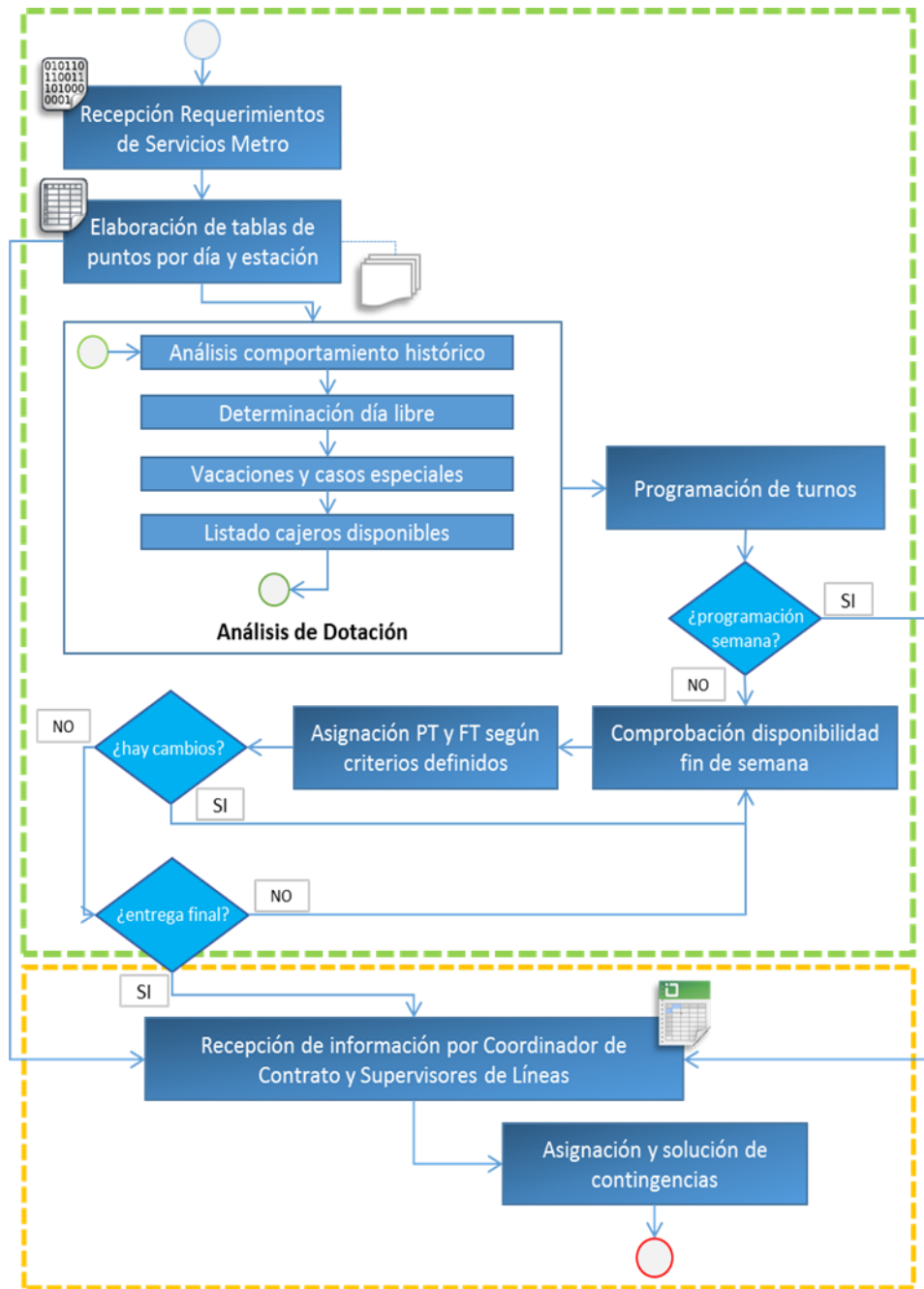
Uno de los focos fundamentales del levantamiento de información en las oficinas del Operador, en estación Tobalaba, fue comprender y presenciar el procedimiento actual de programación y asignación de trabajadores (cajeros), de manera de cumplir con los requerimientos de servicios de Metro. Los actores principales involucrados corresponden al programador de turnos y al coordinador de contratos, seguidos de los distintos supervisores. A continuación, se explica el proceso detalladamente y se muestra cual es la programación general que da como resultado este proceso.

2.3 Modelo de Flujo del Proceso

Las actividades principales se presentan en un modelo simple de Flujo de Procesos (Figura 1). El proceso es separado en 8 actividades que resumen el trabajo que se realiza con el objetivo de programar, tanto para los días de semana, como para el fin de semana y feriados. Los detalles de cada una de estas actividades se explican en las líneas siguientes. Las actividades dentro del recuadro de bordes punteados en color verde (bloque superior) corresponden a las actividades asociadas al programador, mientras que el de color naranja corresponde a las actividades a cargo del coordinador de contrato y los supervisores.

- **Recepción de Requerimientos de Servicio de Metro:**
El *input* que recibe el programador para comenzar el proceso de programación y asignación, corresponde a un archivo Excel con el detalle de los servicios requeridos por Metro para cada día tipo, de una cierta quincena del mes y para el total de estaciones establecidas en las licitaciones adjudicadas por el Operador (estipuladas como contrato 1 [INT 1] y contrato 2 [INT 2]).
- **Elaboración de Tablas de Puntos por Día y por Estación:**
La información de requerimientos de servicios enviada por Metro debe ser procesada, puesto que no sirve por defecto para pasar a requerimientos de personal. Para esto, el proceso contempla la suma de servicios requeridos por cada bloque horario (definidos de 30 minutos cada uno), para cada día tipo y para cada estación, subdividida por mesanina si aplica. De esta manera se genera un nuevo documento con el total de puntos por cubrir en cada bloque horario para las distintas estaciones en los distintos días tipo establecidos (DL, MMJ, DV, DS, DF). Este documento es enviado vía electrónica e impresa a los distintos supervisores y al coordinador de contratos. El tiempo que este proceso demora va desde una hora y media hasta dos.
- **Análisis de Dotación:**
 - **Análisis del comportamiento histórico:**
El programador mantiene dos documentos (planillas Excel) con el listado de cajeros, separados por turnos (mañana y tarde). En cada uno mantiene el historial de cada trabajador en el año, en formato de meses subdivididos por semanas y éstas a su vez en días, incorporando los periodos de vacaciones, licencias médicas (con su duración), ausencias (justificadas y no), días libres y sin turno, atrasos, permisos (con goce de sueldo y sin éste) y desvinculaciones, entre otros. Esta información lo guía para poder determinar, en base a su comportamiento pasado, aquellos cajeros que probablemente se ausenten en la futura programación (licencias o ausencias). Este juicio se basa únicamente en la información más reciente (últimos 3 meses) y el juicio experto del programador, quien ya maneja cierto conocimiento del personal vigente, realizando así un primer filtro del personal disponible para trabajar durante la semana y el fin de semana.

Figura 1.- Flujograma de la relación entre las actividades.



Fuente: Elaboración propia.

◦ **Determinación de día libre:**

Como segundo filtro, el programador debe determinar la dotación de personal factible de manera tal de cumplir con la legislación laboral, la que establece un plazo máximo de seis (6) días de trabajo continuo, y a la vez tener 2 domingos libres al mes, lo que ocasiona la necesidad inminente de otorgar un día libre dentro de la semana a cualquier cajero si este ha trabajado un día domingo y se requiere hacerlo trabajar el día sábado siguiente.

- **Vacaciones, licencias y otros casos especiales:**

Nuevamente el programador filtra la actual dotación, quitando de ésta a todo el personal que se encuentra en vacaciones durante el horizonte de programación. El criterio de filtrado del programador abarca situaciones adicionales, como aquellas en las que un trabajador termina sus vacaciones justo el día antes del que se pretende programar, o de igual manera cuando se trata de licencias médicas, pues la experiencia (y una condición de adversidad al riesgo) ha determinado que una buena política es no considerar dentro de la dotación factible de asignación a estos trabajadores. De todas maneras se los cita a estación para que, si es que llegan, sirvan de relevos. Adicionalmente está el caso de las cajeras en periodo de lactancia (después del post-natal) las que tienen derecho a iniciar su jornada laboral más tarde, mientras estén amamantando, por lo que a ellas no se les considera en la programación de las primeras horas del turno.

- **Listado de cajeros disponibles:**

Finalizado los distintos filtros que debe realizar el programador, se encuentra finalmente en condiciones de manejar una cierta dotación de personal para suplir la demanda del horizonte de programación establecido. Con esta etapa se finaliza el proceso de análisis de la dotación.

- **Programación de Turnos:**

Este paso, al igual que los anteriores, es de carácter puramente manual y requiere de una dotación ya definida de personal posible de satisfacer la demanda de puntos. Para el caso de una programación semanal resulta sencillo, pues se cuenta con un personal que resulta prácticamente fijo en cada estación entre lunes y viernes, sólo sufriendo cambios en casos de contingencias que contemplen cubrir puntos en otras estaciones. Esta programación pasa del programador al coordinador de contratos, quien en conjunto con cada supervisor va solucionando los quiebres que se presenten. Para los distintos días tipo se debe tener cierto personal dentro de cada boletería, lo que incluye un cajero líder y/o cajero a cargo (capaz de encargarse de la apertura o el cierre de una boletería)

- **Comprobación Disponibilidad Fin de Semana:**

El problema se complejiza para la programación de fines de semana, donde no se cuenta con personal fijo por las variaciones entre domingos trabajados en el mes y el séptimo día no trabajado. Primero se revisa quiénes de los *full-time* (FT) ya cumplieron con la cuota de domingos establecidas por ley, teniendo que ser programados para un día sábado necesariamente. Teniendo estos ya definidos se va rellenando con la dotación antes determinada de manera de tener aproximadamente entre 110 personas para el día sábado y 70 para el día domingo (incluidos los PT de fin de semana).

- **Asignación PT y FT según Criterios Definidos:**

Este paso es necesario pues dentro de la boletería existen cargos distintos según las responsabilidades que se tienen. Se debe agregar a la programación de cada estación (y boletería por consiguiente) un cajero que esté facultado para abrirla por la mañana y otro

que pueda cerrarla al finalizar el día. Existen cajeros que cumplen esta condición tanto *part-time* (PT) como FT.

- **Recepción de Información por Coordinador de Contrato y Supervisores de Líneas:**
La información que reciben del programador corresponde a las tablas de puntos (sumatoria de requerimientos de servicios por estación, bloque horario y día tipo), junto con la programación de los cajeros de cada semana. De igual manera reciben la programación del fin de semana con anticipación para tener un margen temporal (un par de días) para ir actualizando la programación a medida que vayan teniendo mayor información respecto a confirmadas inasistencias (licencias médicas, vacaciones, etc.).
- **Asignación y Solución de Contingencias:**
Esta actividad es de exclusiva responsabilidad del coordinador de contrato en conjunto con los supervisores y el personal que ellos requieran, sin intervención alguna del programador. Se fundamenta en la necesidad de satisfacer la demanda de puntos de cobertura, lo que va directamente relacionado con la eficiencia de la empresa y las multas que ésta pueda arriesgar.

2.4 Relación contractual entre el Operador y Metro S.A.

La forma de trabajo que actualmente mantiene el Operador se establece en los distintos contratos que maneja. La primera diferencia radica en los tramos de línea adjudicadas en distintas licitaciones, estipuladas como contrato 1 [partes de Líneas 1 y 4] y contrato 2 [Extensión Línea 1 y Línea 5]. Como el contrato 2 entró en vigencia posterior a la adjudicación de la licitación del contrato 1, existen costos ya absorbidos por éste último que hacen manejar valores menores en gastos por concepto de contrato de personal en la licitación 2. Ambos contemplan una fuerza de trabajo compuesta por personal *full-time* (FT) y *part-time* (PT), en una proporción aproximada de 100:3 del total del turno 1 (mañana) y de 100:11 del total del turno 2 (tarde). La jornada laboral FT es del tipo 6x1 (6 días trabajados con 1 de descanso), mientras que existen PT de 30 horas y de 20 horas, éstos últimos se dividen en PT de semana y PT de fin de semana y festivos, ambos cumpliendo una jornada de 20 horas semanales (los primeros en turnos de 4 horas, desde las 17:00 hasta las 21:00 horas, mientras que los segundos en turnos de 10 horas sábado y domingo, o la fracción correspondiente mientras existan feriados). El personal de cajas es gobernado sobre un 80% por el género femenino, lo que hace necesario un manejo de personal de cuidado, con énfasis en la emocionalidad, lo que resulta contrario a la visión de trabajo asociada a la eficiencia, según los resultados compartidos de las encuestas internas realizadas.

Existen casos particulares, como los cajeros líderes, cuya función es la de desarrollar las labores adicionales a las del cajero común, lo que implica, entre otras, el visitar distintas boleterías, hacer depósitos, abrir y cerrar boleterías. El origen de este cargo se fundamentaba en la idea de mantener una persona que se caracterice por ser un líder natural dentro de la boletería, capaz de asumir tareas ajenas al “tomar caja”. Sin embargo, dada la configuración actual del sistema, con una dotación que no garantiza el sobrellevar contingencias de manera óptima, se tiene al cajero líder realizando las labores de un cajero normal (i.e. tomando caja en ventanilla). Cumple entonces funciones como otro cajero más, mientras que recibe una remuneración adicional por las funciones a las que debería efectivamente destinar su tiempo, lo que genera una mala práctica que se traduce

en fondos monetarios mal destinados, generando una ineficiencia, pero a la vez creando una oportunidad de mejora, aplicando metodología de rediseño de procesos, enfocada en las actividades dentro de la boletería.

De acuerdo a la información ya levantada, la futura Licitación de operadores de Metro incorpora la figura del cajero líder como obligatoria dentro de las exigencias del contrato, tema no menor considerando la labor actual que desempeñan estos cargos, quienes procuran evitar quiebres de servicio durante las primeras horas de atención, y así evitar las multas correspondientes. En ese sentido, Metro penaliza al Operador según corresponda, pero también otorga incentivos de acuerdo al manejo del personal de éste:

- Si el Operador tiene una rotación mensual inferior al 2% en el cargo de cajeros, Metro entregará como incentivo la suma de \$6.000.000.
- Si la tasa de reclamos es inferior al 0.2, Metro entregará como incentivo \$6.000.000.

En la práctica, este tipo de incentivos es difícil de lograr.

3. Análisis del levantamiento de información

La base de información principal corresponde a los archivos de nombre “Demanda de Servicios de Metro” de los últimos 18 meses y a un archivo llamado “Índice de Rotación de Personal” donde se encuentra un resumen general de la dotación de personal total mensual, la cantidad de horas extra, días de ausencias y licencias, etc. Sin embargo, este último archivo resulta ser insuficiente para poder analizar la oferta de horas-hombre con la que el Operador mes a mes intentó cumplir los requerimientos de Metro. Se contacta entonces a la Gerencia de Recursos Humanos para obtener la “Base de Datos de los cajeros” de los últimos 18 meses, la cual contiene la información desagregada mensualmente por cajero (horas extra, días de contrato, ausencias, licencias, vacaciones, etc.), lo que permite hacer un mejor estudio de la oferta de H.H. que destina el Operador.

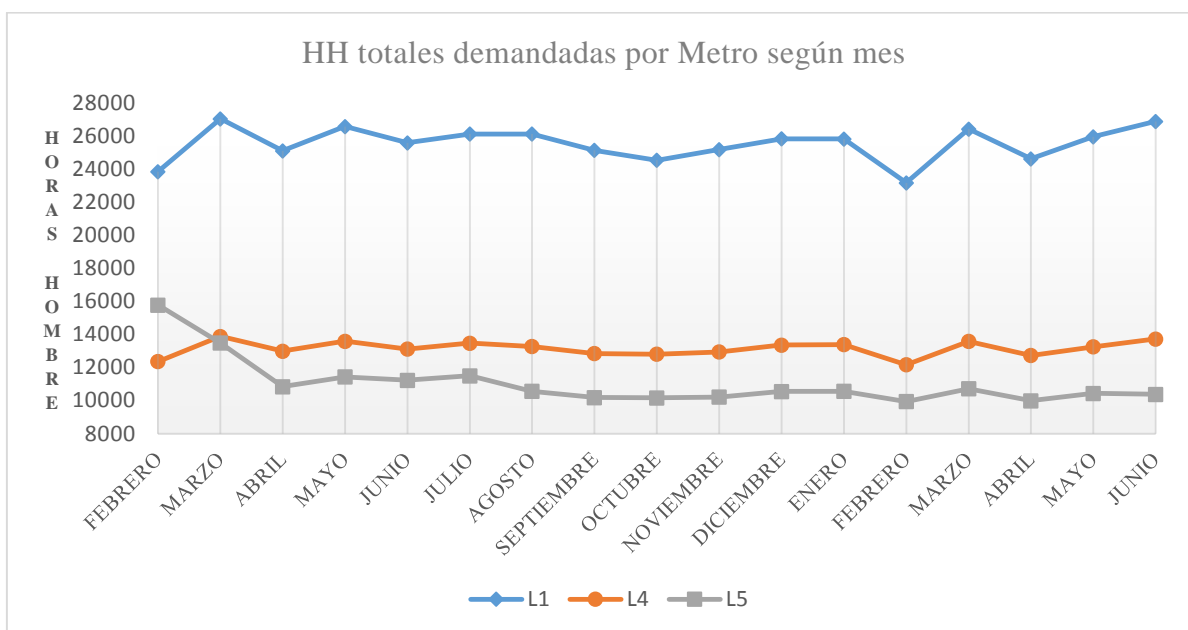
3.1 Demanda de servicios de Metro

La división de la semana con la que trabaja Metro está determinada por la distribución de probabilidad de la demanda por cargas de tarjetas y compra de boletos diaria estimada por Metro. El Tipo 2 agrupa a 3 días ya que según el análisis de Metro, estos días presentan comportamientos muy similares, lo mismo para el Tipo 5, resultados expuestos en [11].

Agrupando esta información mensualmente es posible obtener la cantidad de horas-hombre demandadas por metro en cada mes. Este análisis se realizó desde Febrero de 2011 hasta Junio 2012 ya que agregar el mes de Enero de 2011 entregaría distorsiones al comparar con los demás

meses dado que en ese mes aún no entraba en funcionamiento la extensión de la Línea 5 a Maipú, y por lo tanto no todas las estaciones del contrato estaban operativas.

Figura 2.- Demanda de HH según Metro agrupadas mensualmente y por Línea.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.- Promedio y desviación estándar de esta demanda.

	L1	L4	L5	T
PROMEDIO TOTAL	25.526	13.148	11.058	49.732
PROMEDIO ÚLTIMO AÑO	25.483	13.130	10.435	49.048
DESVIACIÓN TOTAL	1.052	469	1.476	2.097
DESVIACIÓN ÚLTIMO AÑO	1.014	442	413	1.750

Fuente: Elaboración propia.

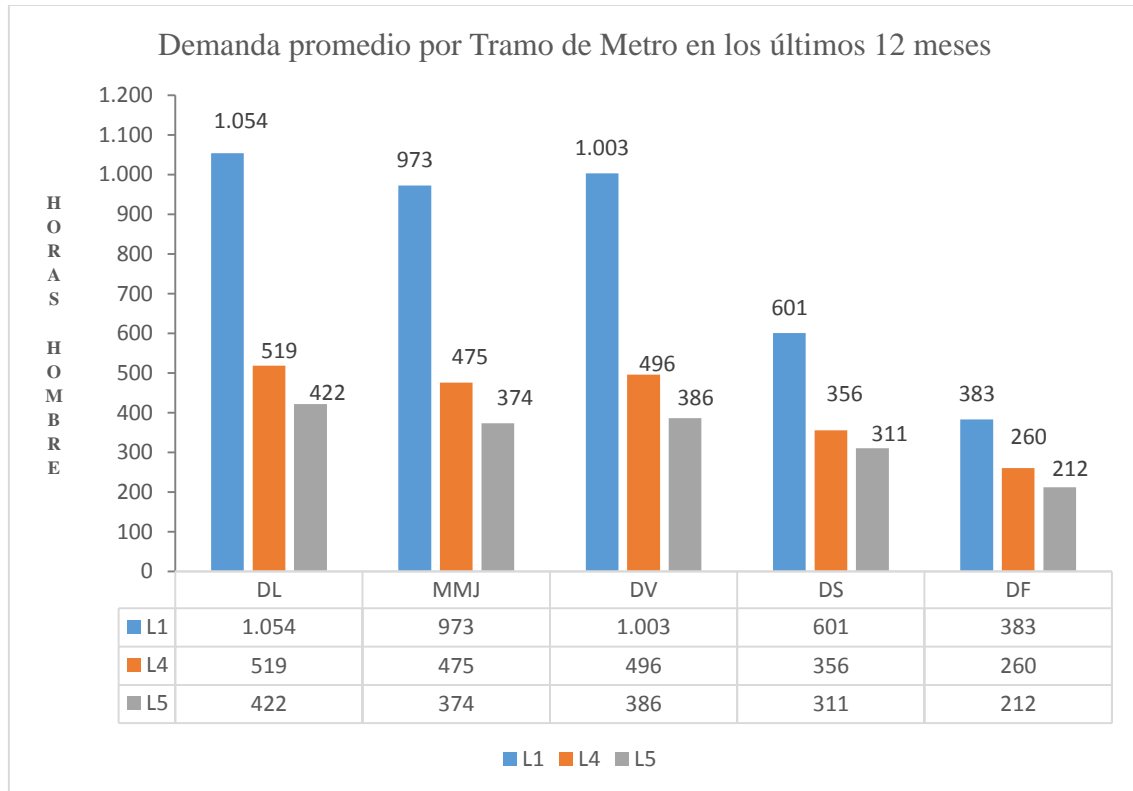
Se aprecia que en general la demanda no presenta mayor volatilidad entre meses salvo entre Febrero y Marzo donde, por un lado, Febrero presenta una baja en los puntos de venta debido a la baja de la demanda de transporte generadas por las vacaciones de verano y por tener tan sólo 28 días (29 en el caso del 2012), y por otro lado, Marzo que tiene 31 días y también es el mes donde se inician las clases en un nivel generalizado, por lo que la demanda de transporte aumenta.

Resulta interesante observar la fuerte baja que ocurre con la demanda de HH en la Línea 5 entre Febrero y Abril del 2011. Esta disminución, que corresponde a un 30% aproximadamente, se debe a la operación de 7 nuevas estaciones y por tanto la estimación de la demanda por parte de Metro se fue calibrando con el transcurso de las semanas, observándose una sobreestimación inicial de esta. Dicha situación se refleja también en la desviación estándar total de las HH demandadas

en la Línea 5. Este comportamiento irregular es la base para tomar la decisión de trabajar en los siguientes análisis de la demanda de servicios utilizando sólo los datos de los últimos 12 meses.

Con el objetivo de aislar el efecto que puede provocar la cantidad de días del mes o la cantidad de feriados en la demanda de HH, se estudiará la demanda promedio por tipo de día de los últimos 12 meses.

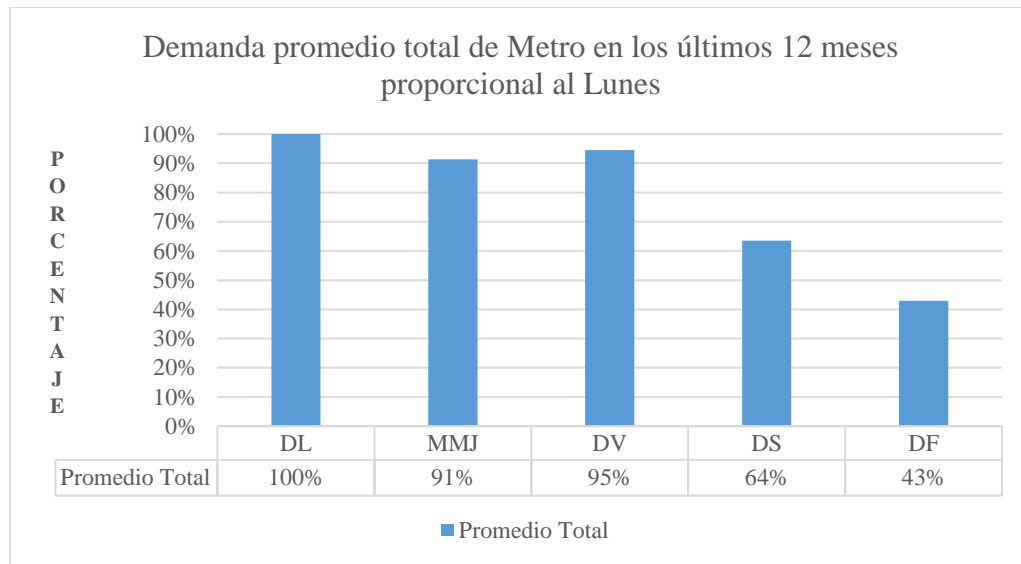
Figura 3.- HH promedio que demanda Metro según cada Línea durante los últimos 12 meses.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que el día de mayor HH demandadas corresponde al lunes (en todas las líneas) y que durante los demás días hábiles de la semana (MMJ y DV) las HH demandadas bajan en un pequeño porcentaje. Esto se puede apreciar también en el gráfico de la demanda promedio total agregada de la línea completa. Allí se muestra el porcentaje de HH que se demanda en los distintos días en función de la cantidad demandada el día lunes (siendo lunes el 100%). Y por último se observa cómo baja la demanda en los fines de semana y festivos. Este dato puede resultar interesante para tener en cuenta en la programación de turnos 6x1 los fines de semana.

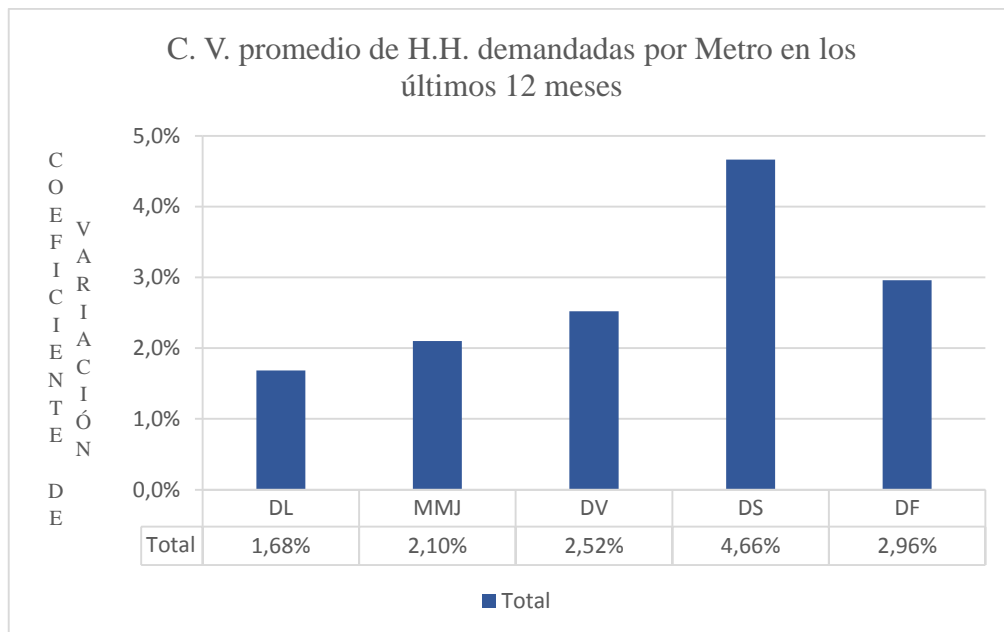
Figura 4.- Demanda porcentual total promedio de los últimos 12 meses, en función de lo requerido para el día lunes.



Fuente: Elaboración propia.

Otro tema a considerar es la volatilidad que pueden presentar estas demandas durante los distintos días, ya que puede ser útil a la hora de mantener una dotación de personal capaz de suplir las variaciones que pueda experimentar la demanda de una quincena a otra o de un mes a otro.

Figura 5.- Coeficiente de variación de las H.H. demandas por metro en promedio durante los últimos 12 meses.



Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de variación es una medida de dispersión relativa al promedio, por lo que se puede manejar como porcentaje. En general, los coeficientes de variación observados anteriormente son pequeños. A pesar de ello, es interesante apreciar que el día sábado presenta mayor variación porcentual con respecto a los otros días, por lo que se sugiere considerar esto ya que si el programador toma sólo el promedio para planificar la asignación de los turnos, puede que dicha información no sea suficientemente representativa.

3.2 Oferta de Personal del Operador

Con la información proporcionada por la Gerencia de Recursos Humanos, se ha podido establecer un análisis cuantitativo de cómo el Operador ha estado resolviendo el problema de la asignación de recursos. En primer lugar, se presenta una tabla que resume el gasto promedio mensual de los últimos 18 meses de la empresa por concepto de sueldos a cajeros, las HH promedio mensual que por contrato ofrece la empresa, las HH promedio mensual efectivas que dispone la empresa debido a los días de vacaciones, licencias y ausencias de los cajeros, las HH promedio mensual correspondientes a horas extra, y finalmente las HH promedio mensual total disponibles para cumplir los requerimientos de Metro (la suma de las HH efectivas luego de las inasistencias más las horas extra).

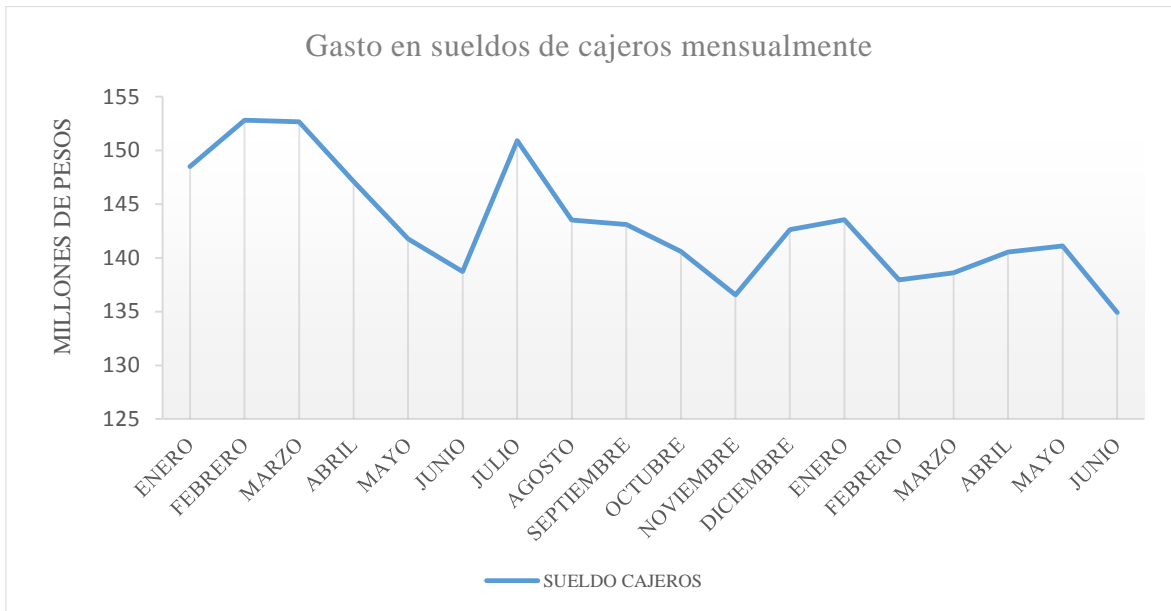
Tabla 5.- Promedio de horas extraordinarias.

	SUELDO CAJEROS	H.H. por CONTRATO	H.H. sin VAC, LIC y AUS (1)	HORAS EXTRA (2)	H.H. TOTAL DISP. (1) + (2)
Promedio	143,089,215	87,817	74,956	7,807	82,763
Promedio último año	141,168,313	85,115	72,244	7,304	79,548

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se grafica el gasto total mensual del Operador por concepto de sueldos, en donde se puede observar una mínima tendencia a la baja, pero con un aumento considerable entre junio y julio del año 2011. Este gasto mensual será muy importante para al final del proyecto poder evaluar el impacto económico que tendrá la programación de una nueva estructura de turnos.

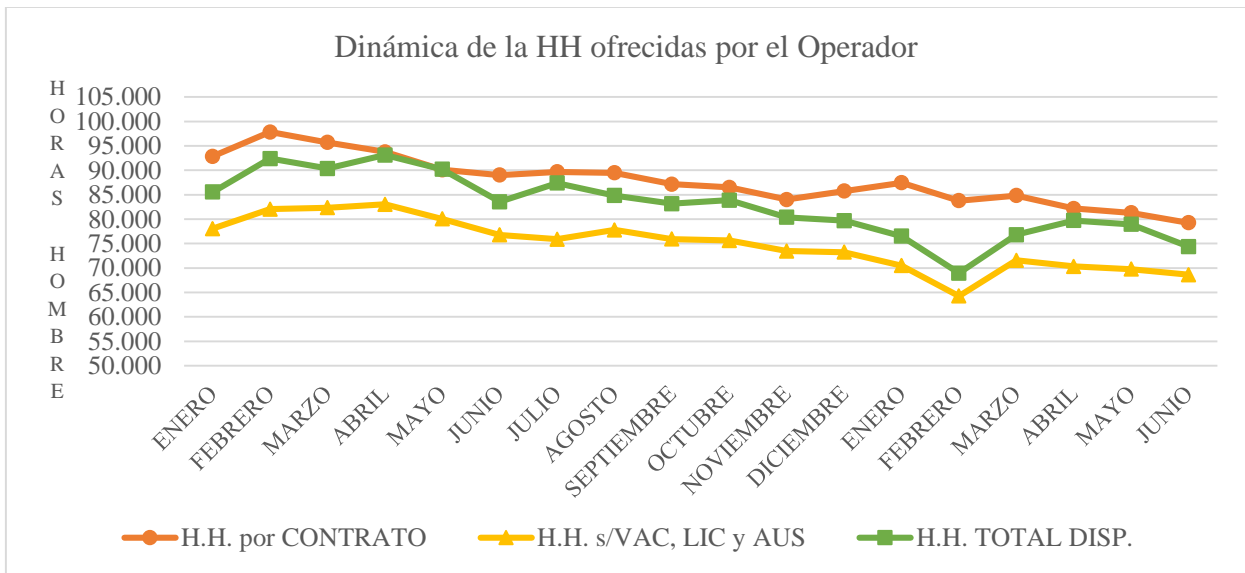
Figura 6.- Gasto mensual por concepto de pagos de sueldos a cajeros.



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico explica la dinámica que siguen estas HH mensualmente, considerando que las HH contratadas no son las que finalmente se ofrecen producto de los días de vacaciones, licencias y ausencias de los cajeros, y también productos de las HE.

Figura 7.- Dinámica de oferta de HH.



Fuente: Elaboración propia.

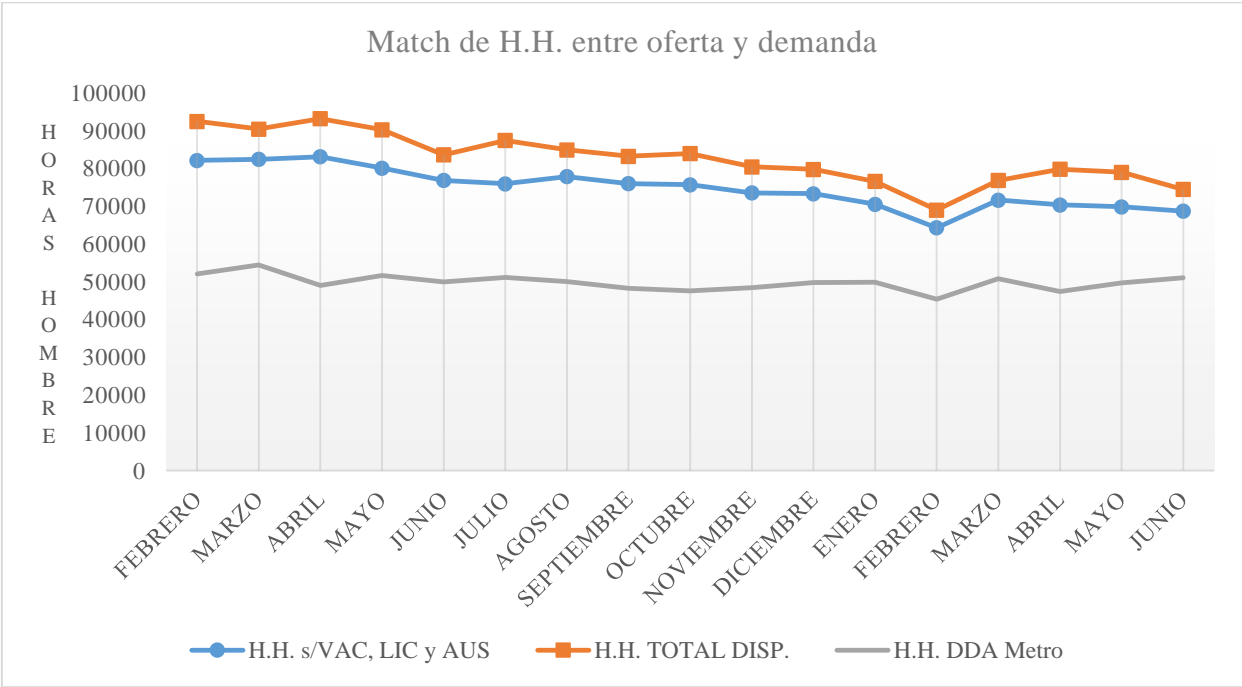
Como se puede apreciar en la dinámica que siguen las HH explicada por el gráfico anterior, existe una brecha cercana al 15% entre las horas que por contrato tiene establecidas el Operador para satisfacer la demanda de Metro y las horas efectivas con las que cuenta luego de descontar los

días de vacaciones, las licencias y las ausencias. Esta brecha resulta más pronunciada durante los meses de enero y febrero de 2012 donde se instaló por sobre el 20%, seguramente producto del aumento de los días de vacaciones. Es necesario tomar en cuenta que esta brecha puede influir directamente a la hora de establecer una dotación de personal necesaria para satisfacer los requerimientos de Metro, por lo que se espera que como mínimo la programación de las HH que se alcance con este trabajo esté un 15% promedio por sobre las HH demandadas por Metro, teniendo especial cuidado en los meses de verano donde la brecha puede ser aún más grande. Luego de tener consideradas las horas efectivas con las que se cuenta luego de las inasistencias, la Empresa ha optado por recurrir a las horas extras, aumentando el total de HH ofrecidas finalmente. (H.H. TOTAL DISP.)

3.3 Match entre Oferta y Demanda

La idea de hacer un match entre la oferta de H.H. por parte del Operador y la demanda de Metro, es poder tener un indicador de eficiencia que permita saber la *performance* de la programación actual. Se presenta este match de HH a través de un gráfico que refleja la historia de los últimos 17 meses.

Figura 8.- Oferta y demanda requerida de HH.

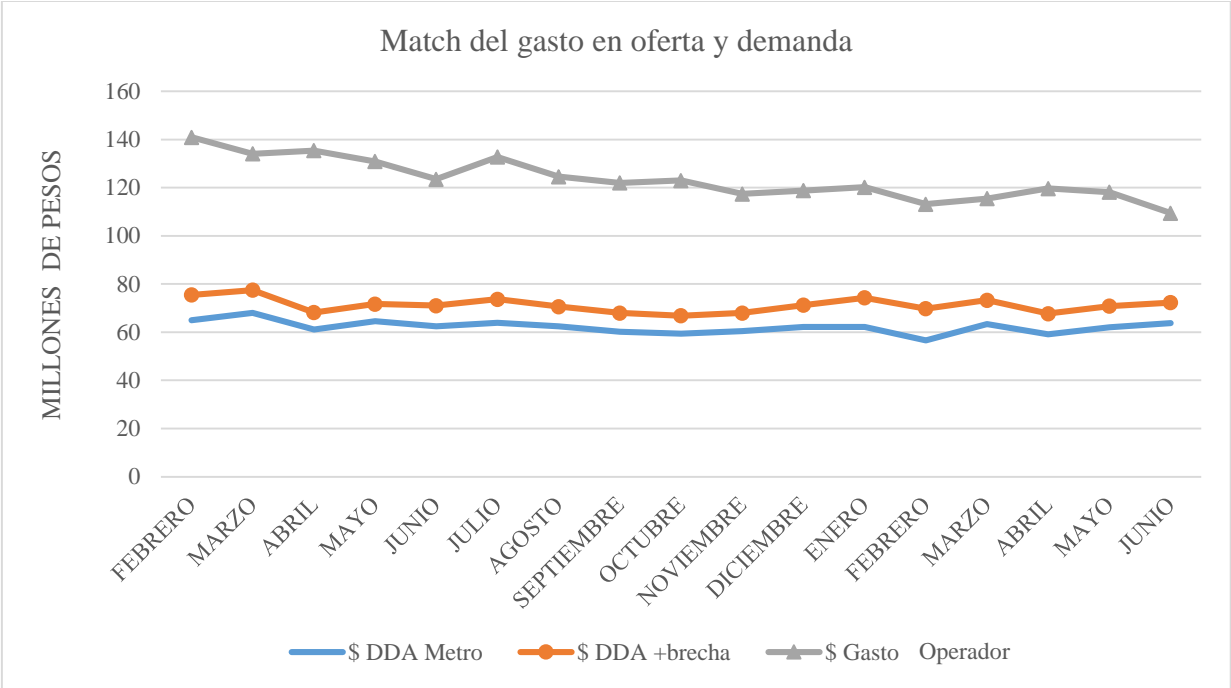


Fuente: Elaboración propia.

La oferta de HH que establece el Operador se eleva en promedio por sobre el 60% más de las HH demandadas por metro considerando las horas extras (H.H. TOTAL DISP), y sobre un 50% si no se consideran (H.H. s/VAC, LIC y AUS). Sin embargo, para tener un real indicador de la

eficiencia de la programación actual es necesario comparar los costos totales en vez de comparar HH, ya que como se sabe una hora extra es más cara que una hora normal. Para graficar tal efecto, considérese que una HH normal le cueste a la empresa un valor que se acerque a \$1200 y la hora extra unos \$1800 (valores referenciales). Se calcula el gasto en el que incurre el Operador para satisfacer la demanda de Metro versus el costo que tendría satisfacer la demanda con HH normales, incluso considerando la sobre dotación necesaria (brecha) producto de las inasistencias de los cajeros (vacaciones, licencias, ausencias). El siguiente gráfico presenta este match.

Figura 9.- Gasto según oferta y demanda.



Fuente: Elaboración propia.

Bajo la utilización del gasto de recursos económicos se puede lograr un indicador de eficiencia más representativo. Este indicador será la división entre el gasto en oferta y el gasto en demanda, por tanto, mientras más cercano a 1 sea este indicador, más eficiente será la programación. Comparando el gasto de oferta que ha tenido el Operador durante los distintos meses versus el gasto de demanda considerando satisfacerla perfectamente utilizando sólo HH a precio normal, se tiene un indicador de eficiencia igual a 1.99, lo que quiere decir que en promedio cada mes se está gastado el doble de dinero en satisfacer la demanda con respecto al caso de satisfacción perfecta. Considerando la brecha de sobredotación necesaria para contrarrestar el efecto de las inasistencias de los cajeros, ya que no es necesariamente dependiente de la *performance* de la programación, se tiene un indicador de eficiencia igual a 1.74, lo que quiere decir que en promedio el Operador está gastando un 74% más de recursos en comparación al caso perfecto incluyendo el efecto de la brecha.

Es importante aclarar que es imposible que este indicador llegue a 1, ya que sólo por la restricción de tipos de contratos es imposible tener a una persona trabajando bajo una estructura cualquiera, eso es algo normado (bajo contrato y legislación laboral) y por tanto siempre existirán horas ociosas. El desafío es poder reducirlas en la mayor cantidad posible. Otro punto que es necesario aclarar es qué se pretende hacer con el rol de cajero líder. Hoy día los cajeros líderes no

están cumpliendo su rol y por tanto están “tomando caja” a modo de contingencia. Luego, si se espera que los cajeros líderes sigan cumpliendo su rol, se debe considerar un aumento en las HH demandadas ya que eso no está considerado en la demanda de metro y, junto con eso, definir estrategias de cómo incluirlos en la programación de tal forma de ahorrar recursos ya que se sabe que hoy día se les está pagando horas extraordinarias para cumplir con todo el horario del turno.

4. Planteamiento del problema como un Problema de Programación Entera Mixta (MIP)

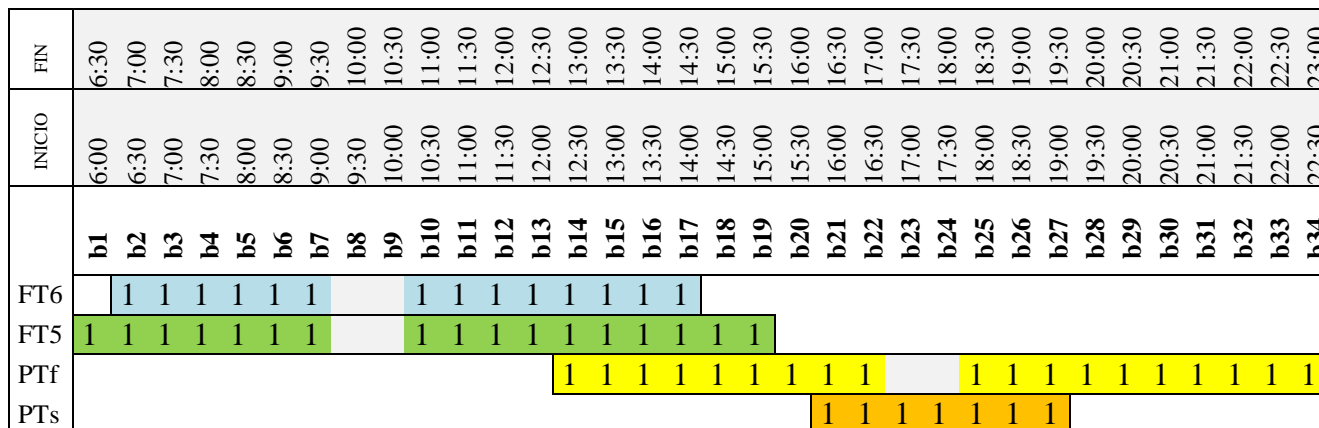
4.1 Tipos de Contratos

Una de las ventajas que permite la elaboración del modelo de optimización de turnos, es incorporar nuevas opciones de contratos, los que en la práctica no resultan fáciles de incorporar en un muy corto plazo y más aún sin conocer con anterioridad los resultados de tales modificaciones.

En la programación se genera un escenario con dos opciones de contratos de cada tipo (2 *part-time*, 2 *full-time*). De esta manera se incorpora un contrato *full-time* 5x2, de 45 horas semanales distribuidas equitativamente de lunes a viernes (9 horas diarias), como una nueva opción frente al turno 6x1.

Uno de los problemas actuales que debe enfrentar el Operador es contar con los cajeros de los primeros bloques. Se ha adoptado la práctica de incentivar la asistencia de 15 minutos antes del comienzo del turno, minutos que son pagados a precio de HE. Misma situación se produce cuando se termina el turno y los cajeros deben hacer la contabilidad de sus haberes ("hacer cierre"), terminando aproximadamente 15 minutos fuera de la hora, lo que se ingresa finalmente a precio de HE. La distribución del horario de trabajo propuesta como entrada del modelo termina con esta práctica, haciendo parte de la jornada laboral esos 15 minutos de entrada y de cierre.

Figura 10.- Muestra de largos de cada turno según contrato considerado en el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

La primera impresión hace pensar que falta un bloque en cada turno de la figura 10, sin embargo no es así, ya que aquel bloque que completa el total de horas de cada tipo de contrato se divide en los 15 minutos de entrada previa al comienzo del turno y a los 15 minutos posterior a fin del turno, correspondientes al cierre de caja. De esa manera se entiende, por ejemplo, que para el contrato *full-time* 6x1 se tengan 14 bloques ocupados correspondientes a 7 HH (se obtiene contando el total de número 1 del turno, los que representan cuando el cajero se encuentra en su puesto de trabajo) separados por dos bloques en medio del turno, representando la hora destinada a colación (dos bloques de 30 minutos contiguos respectivamente). Los beneficios de esta distribución se resumen en lo siguiente:

- Se evita el pago de HE por concepto de llegada anticipada y cierre del turno.
- Se incrementa el tiempo de colación de 30 minutos a 45 minutos, considerando que el cajero puede tomarse hasta 15 minutos para hacer un primer cierre antes de abandonar la boletería para ir a colación.
- Se tiene un margen de atraso de hasta 15 minutos en la llegada sin que afecte directamente la cobertura del servicio y se arriesguen multas por quiebre de servicio (no cubrir el punto indicado, generando demanda que es atendida).

Tabla 6.- Disposición horaria para cada turno y contrato presentado en la figura 10.

	Turno						Salida	HH
	Ingreso	Comienzo	Colación	Reincorporación	Fin			
Cajero 6x1	6:15	6:30	9:30	10:30	14:30	14:45	7:30	
Cajero 5x2	5:45	6:00	9:30	10:30	15:30	15:45	9:00	
Cajero PTf	12:15	12:30	17:00	18:00	23:00	23:15	10:00	
Cajero PTs	15:45	16:00	-	-	19:30	19:45	4:00	

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Definiciones básicas del modelo

4.2.1 Conjuntos de índices

$i \equiv$ Identificador del cajero. Corresponde a un número Natural en un rango desde 1 hasta un N suficientemente grande.

$d \equiv$ Corresponde al número de día dentro del horizonte de planificación $\in \{1 \dots 28\}$

$b \equiv$ Identifica el bloque horario. Va desde 1 hasta 34, de acuerdo a la división establecida del día en bloques de 30 minutos cada uno (comenzando a las 06:00).

$semana(d) \equiv$ Conjunto de todos los días de la semana dentro del mes.

$finde(d) \equiv$ Conjunto de días sábado y domingo dentro del mes.

$sabado(d) \equiv$ Conjunto de todos los días sábado en el mes.

$domingo(d) \equiv$ Conjunto de todos los días domingo en el mes.

$semana1(d) \equiv$ Conjunto de los días hábiles de la primera semana del mes

$semana2(d) \equiv$ Conjunto de los días hábiles de la primera semana del mes sin miércoles

$semana3(d) \equiv$ Conjunto de los días hábiles de la primera semana del mes sin miércoles

$semana4(d) \equiv$ Conjunto de los días hábiles de la primera semana del mes sin miércoles

$w(d) \equiv semana1(d) + semana2(d) + semana3(d) + semana4(d)$

4.2.2 Parámetros

$DDA(d, b) \equiv$ Tabla que representa la demanda de servicios de Metro.

$ID(b) \equiv$ Parámetro que asocia un número (correlativo) a cada bloque.

$C_{ft6} \equiv$ Costo asociado al contrato Full Time 6x1

$C_{ft5} \equiv$ Costo asociado al contrato Full Time 5x2

$C_{pts} \equiv$ Costo asociado al contrato Part Time de semana

$C_{ptf} \equiv$ Costo asociado al contrato Part Time de fin de semana

4.2.3 Variables de Decisión

$$\begin{aligned} FT5(i, b) &= \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Full Time de 5x2 en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ FT6(i, b) &= \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Full Time de 6x1 en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ PTs(i, b) &= \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Part Time de semana en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ PTf(i, b) &= \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza turno Part Time de fin de semana en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \end{aligned}$$

4.2.4 Variables Auxiliares

$Z(i, d, b)$ = Rellena con 1 si el cajero "i" se encuentra trabajando en bloque "b" el día "d".
Cero si no.

$ft5_1(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ft5_2(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 2 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ft5_3(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 3 (5 horas después del inicio de la jornada).

$ft6_1(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ft6_2(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 2 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ft6_3(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 3 (5 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_1(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_2(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_3(i, d, b)$ = Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (5 horas después del inicio de la jornada).

$pts_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de semana en bloque "b" en día "d".

Notar que esta última variable es única para el tipo de cajero, ya que éste no contempla un horario de colación durante su jornada ordinaria de trabajo. A pesar de tener siempre igual valor que $PTs(i, b)$, es necesario agregarla al modelo para poder relacionarla en las restricciones posteriores del problema.

$M2(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el miércoles de la primera semana en bloque "b".

$M3(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el miércoles de la segunda semana en bloque "b".

$M4(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el miércoles de la tercera semana en bloque "b".

$D1(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el domingo de la primera semana en bloque "b".

$D2(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el domingo de la segunda semana en bloque "b".

$D3(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el domingo de la tercera semana en bloque "b".

$S2(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el sábado de la segunda semana en bloque "b".

$S3(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el sábado de la tercera semana en bloque "b".

$S4(i, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" Full 6x1 trabaja el sábado de la cuarta semana en bloque "b".

4.3 Restricciones

4.3.1 Propias del contrato

- El cajero cumple como máximo un turno por día

$$\sum_{b=1}^{34} \left(\sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b) + ft5_k(i, d, b) + ptf_k(i, d, b) \right) + pts_1(i, d, b) \leq 1, \quad \forall i, \forall d$$

- El cajero no puede tener distintos contratos. Cuando trabaja en el mes lo hace bajo un único contrato (no puede ser *full-time* y *part-time* a la vez, o una combinación de estos).

$$\sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) + FT5(i, b) + PTs(i, b) + PTf(i, b) \leq 1, \quad \forall i$$

- Cajero *full-time* 5x2 sólo trabaja durante la semana (de lunes a viernes) y no más allá del bloque 16

$$FT5(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=17}^{34} \sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

- Todo *part-time* de semana trabaja exclusivamente de lunes a viernes y no más allá del bloque 28.

$$PTs(i, b) = pts_1(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$pts_1(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=29}^{34} pts_1(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

- Todo *part-time* de fin de semana trabaja sábado y domingo (incluyendo festivos) y en horario flexible y no más allá del bloque 14.

$$\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{b=1}^{34} PTf(i, b) = \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=15}^{34} ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in finde(d)$$

- El cajero *full-time* trabaja al menos 4 días durante la semana (de lunes a viernes), porque puede perder un día por compensación y nunca más allá del bloque 19.

$$FT6(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in w(d)$$

$$\sum_{b=20}^{34} \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in w(d)$$

Se cumple entonces para $w(d)$ y no necesariamente para $semana(d)$, puesto que se asume que la primera semana la jornada es normal (de lunes a viernes, todos los días trabajados) y desde la segunda hasta la cuarta (recordando que el horizonte temporal es de 28 días, o equivalentemente 4 semanas) dependerá de los días domingo trabajados el saber si el cajero trabajará toda la semana o no. El detalle de este hecho se explica más adelante (apartado de "Legislación laboral vigente").

4.3.2 Propias del servicio

- La demanda de servicios de Metro comienza desde las 6:30 horas los días sábado

$$\sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, 1) = 0, \quad \forall i, \forall d \in sabado(d)$$

$$\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, 1) = 0, \quad \forall i, \forall d \in sabado(d)$$

- La demanda de servicios de Metro comienza desde las 8:00 horas los días domingo

$$\sum_{b=1}^4 \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in domingo(d)$$

$$\sum_{b=1}^4 \sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in domingo(d)$$

El efecto directo que estas restricciones tienen sobre el modelo incorpora una flexibilidad necesaria que debe ser impuesta en la elaboración de cada turno de un cajero *full-time* 6x1. Si bien es conveniente que cada cajero tenga un horario de entrada a su jornada laboral constante, como ya se ha expuesto anteriormente, resulta un problema incorporar este comportamiento en el modelo, puesto que cada vez que un cajero deba cubrir servicios dentro de los cuatro primeros bloques horarios (i.e. desde las 6:00 hasta las 7:59 horas) durante la semana, necesariamente debería asistir en el mismo horario durante el día del fin de semana que le corresponda, generando horas ociosas que van en perjuicio de la eficiencia que se busca generar con el modelo. De manera similar se debe proceder con los cajeros de fin de semana.

4.4 Legislación laboral vigente

El cumplimiento de la legislación laboral implica la incorporación al modelo de nuevas restricciones, relacionadas principalmente con el derecho a descansar al menos dos domingos en el mes y con el máximo de días continuos trabajados. La primera incorpora un régimen especial de descanso, denominado descanso compensatorio, en el cual el empleador deberá otorgar un día de descanso en la semana por los trabajos realizados en día domingo o festivo (Art. 38 del Libro I del Código del Trabajo). Este descanso compensatorio debe ir de la mano de la segunda restricción presentada, ya que el empleador tiene un máximo de una semana para otorgar el descanso compensatorio desde el momento en que se realizó la jornada laboral que hizo necesario otorgar el beneficio, procurando que el trabajador no cumpla una jornada continua superior a los seis días (Art. 28 del Libro I del Código del Trabajo). Estas restricciones son fundamentales para definir la jornada de todos aquellos cajeros con contrato *full-time* de 6x1 que maneja el contratista.

Un análisis de ambas restricciones muestra que, si un cajero es citado un día domingo, éste debe recibir un día dentro de la semana como compensación por la jornada laboral llevada a cabo ese domingo. El empleador tiene en este punto la facultad de otorgarle un día dentro de los 7 inmediatos al domingo trabajado (i.e. una semana de plazo). Puede entonces otorgarle un día dentro de la semana hábil (lunes a viernes) y retomar su jornada normal, o por otro lado puede otorgarle el día sábado siguiente, haciendo trabajar un segundo domingo al cajero.

En este punto resulta necesario hacer hincapié en que ambas restricciones se cumplan (se otorga día sábado como compensatorio y no se trabaja por más de seis días seguidos). Resulta fundamental ahora la primera restricción por cuanto a los domingos libres se trata. Si el mes contempla únicamente 4 días domingo (el máximo que puede alcanzar un mes es de cinco), es necesario que el día compensatorio por el segundo domingo trabajado sea dentro de la semana hábil, volviendo así a trabajar el sábado de esa tercera semana. Este hecho genera un día menos de trabajo durante dicha semana, resultado que conduce a incurrir en horas extras de otros cajeros para cubrir el turno, aumentando la pérdida monetaria que ya significa pegar un día a una persona que no presta servicios.

Figura 11.- Descanso compensatorio para seis posibles turnos de *full-time* 6x1.
(Las "X" representan los días trabajados dentro del horizonte de 28 días)

	S1 D1		S2 D2		S3 D3		S4 D4		Domingos Totales	
A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2D
B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2D
C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1D
D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1D
E	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2D
F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1D

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12.- Relación día compensatorio en la semana.

(1 indica trabajado)

	D1	M2	S2	D2	M3	S3	D3	M4	S4
A	1	0	1	0	1	0	1	0	1
B	0	1	0	1	1	0	1	0	1
C	1	0	1	0	1	1	0	1	1
D	0	1	0	1	0	1	0	1	1
E	1	1	0	1	0	1	0	1	1
F	0	1	1	0	1	0	1	0	1

La figura 11 muestra los posibles turnos de un cajero *full-time* de 6x1 bajo el supuesto de nunca terminar trabajando un día domingo. Este supuesto es esencial para comenzar el mes siguiente sin problemas, puesto que el modelo no guarda memoria entre un mes y otro. Así si un turno termina un día domingo, resulta imposible aceptar para el mismo cajero un turno como el mostrado en B, D o F para el mes siguiente, pues trabajaría 7 días seguidos.

La figura 12 permite ver gráficamente la relación entre un domingo (D), el sábado siguiente (S) y el día compensatorio entre ellos (M). Los dos supuestos esenciales tras la idea detrás de ambas figuras son, en primer lugar, la necesidad de no terminar con un domingo trabajado y en segundo lugar, el día compensatorio será uno de entre MMJ. Este último supuesto se adopta de la experiencia y necesidad expresada por el contratista, pues tanto DL como DV incorporan mayor pérdida (no cuantificable, asociada a la mayor cantidad de servicios que se deben satisfacer) dentro de la asignación. Por defecto se adopta el día miércoles como el día compensatorio dentro de la semana hábil.

De esta manera se incorporan al modelo las variables M2, M3, M4, D1, D2, D3, S2, S3 y S4. Gracias a estas variables se puede incorporar las dos restricciones ya comentadas como un todo complementario, evitando incorporar la suma de los últimos 7 días para cada trabajador y ver que cumpla con el máximo legal permitido. Solo basta con entender la relación de la figura 12 y notar que, dentro de cada bloque, conformado por un domingo y el miércoles y sábado siguientes a éste, jamás se trabajará durante esos tres días, más aún, el día miércoles no será trabajado si la suma del domingo anterior y sábado siguiente es superior a 1. Con esto las restricciones del modelo quedan como:

$$D1(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 7, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$M2(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 10, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$S2(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 13, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$D2(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 14, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$M3(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 17, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$S3(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 20, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$D3(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 21, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$M4(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 24, b), \quad \forall i, \forall b$$

$$S4(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 27, b), \quad \forall i, \forall b$$

Día compensatorio y domingos libres: Relación entre las variables

$$\sum_{b=1}^{34} (D1(i, b) + M2(i, b) + S2(i, b)) \leq 2 * \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} (M2(i, b) + S2(i, b)) \geq \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$M2(i, b) \leq \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} (D2(i, b) + M3(i, b) + S3(i, b)) \leq 2 * \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} (M3(i, b) + S3(i, b)) \geq \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$M3(i, b) \leq \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} (D3(i, b) + M3(i, b)) = \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$M4(i, b) \leq \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} S4(i, b) = \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b), \quad \forall i$$

Se trabaja solo un día por fin de semana. El último domingo es libre.

$$\sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) = \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 (ft6_k(i, 6, b) + ft6_k(i, 7, b)), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) = \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 (ft6_k(i, 13, b) + ft6_k(i, 14, b)), \quad \forall i$$

$$\sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) = \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 (ft6_k(i, 20, b) + ft6_k(i, 21, b)), \quad \forall i$$

Es posible que tanto domingo, como miércoles y sábado no sean trabajados (cumple con todas las condiciones anteriores). Esta situación no es permitida porque se trabajaría 4 días de 6 durante la semana. Se restringe el número mínimo de días laborales a 5 en la semana y no superando los seis (para *full-time* 6x1).

$$5 * \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) \leq \sum_d \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall d \in semanaR(d), con R \in \{1,2,3,4\}$$

$$6 * \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) \geq \sum_d \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall d \in semanaR(d), con R \in \{1,2,3,4\}$$

- No debe trabajar más de los domingos que garanticen tener al menos dos domingos libres en el mes

$$\sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 ft6_k(i, 7, b) + ft6_k(i, 14, b) + ft6_k(i, 21, b) + ft6_k(i, 28, b) \leq 2 * \sum_{b=1}^{34} FT6(i, b) \quad \forall i$$

4.5 Tiempo en Ventanilla

Por las características de las variables de decisión empleadas en este modelo, se hace necesario utilizar una variable que sea capaz de representar el tiempo en que efectivamente el trabajador se encuentra en su puesto de trabajo, presentando a su vez cuando éste no se encuentra dando el servicio (i.e. tiempo de colación).

La variable Z se hace cargo de esto, rellendo con unos (“1”) aquellos bloques horarios en los cuales el cajero se encuentra atendiendo en ventanilla, dejando los demás bloques vacíos cuando el cajero no se encuentra de servicio o está en su horario de colación, según el tipo de contrato que tenga.

$$\begin{aligned} Z(i, d, b) = & \left(\sum_{e=0}^6 ft5_1(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{18} ft5_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^7 ft5_2(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{18} ft5_2(i, d, b - e) \\ & + \sum_{e=0}^8 ft5_3(i, d, b - e) + \sum_{e=11}^{18} ft5_3(i, d, b - e) \left. \right) \\ & + \left(\sum_{e=0}^5 ft6_1(i, d, b - e) + \sum_{e=8}^{18} ft6_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^6 ft6_2(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{18} ft6_2(i, d, b - e) \\ & + \sum_{e=0}^7 ft6_3(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{18} ft6_3(i, d, b - e) \left. \right) \\ & + \left(\sum_{e=0}^6 ptf_1(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{20} ptf_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^7 ptf_2(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{20} ptf_2(i, d, b - e) \\ & + \sum_{e=0}^8 ptf_3(i, d, b - e) + \sum_{e=11}^{20} ptf_3(i, d, b - e) \left. \right) \end{aligned}$$

$$+ \left(\sum_{e=0}^6 pts_1(i, d, b - e) \right)$$

Basta con definir Z para que el relleno de los bloques sea coherente con lo que se espera observar en la solución del problema y la definición de los tipos de contrato presentada.

$$\sum_{b=1}^{34} Z(i, d, b) = \sum_{b=1}^{34} \left\{ \begin{array}{l} 17 * \left(\sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) \right) + 14 * \left(\sum_{k=1}^3 ft6_k(i, d, b) \right) \\ + 19 * \left(\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) \right) + 7 * (pts_1(i, d, b)) \end{array} \right\} \quad \forall i, \forall d$$

4.6 Cumplimiento de la demanda

Existen dos enfoques sobre cómo poder abordar este punto. Ambos mantienen estrecha relación con la que será la función objetivo del problema a modelar. El primero de ellos se relaciona con la minimización de la oferta de HH que propone el modelo para resolver el problema. Según este enfoque se hacen necesarias dos variables adicionales al problema, $up(d,b)$ y $down(d,b)$, las cuales corresponden a la brecha entre la oferta del modelo y la demanda real, guardando aquellos puntos por sobre (up) y por debajo de ésta ($down$). Así la función objetivo consideraría estas dos variables buscando la minimización de ambas.

El resultado de este planteamiento consideraría bloques con horas ociosas o insuficientes. El problema que conlleva este enfoque radica en la dificultad de sobrellevar bloques con demanda no satisfecha producto de la penalización que sufre el Operador representada a través de una multa por parte de Metro al no cubrir los servicios solicitados por la empresa.

El segundo enfoque busca hacerse cargo de este problema y parte desde el supuesto de que no se estará jamás por debajo de la demanda en cualquier bloque y en cualquier día. Así se parte la optimización ya haciéndose cargo de las penalizaciones por este motivo. En consecuencia, la demanda se define de la siguiente manera:

$$\sum_i Z(i, d, b) \geq DDA(d, b) , \quad \forall i$$

Dado que un número elevado de personal garantiza cumplir con la demanda, la función objetivo del problema se debe hacer cargo de ajustar ese número de manera de aprovechar bien el recurso humano.

4.7 Función Objetivo

Minimizar Objetivo

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{b=1}^{34} C_{ft6} FT6(i, b) + C_{ft5} FT5(i, b) + C_{pts} PTs(i, b) + C_{ptf} PTf(i, b)$$

La función objetivo, como se ha establecido, propone encontrar una asignación eficiente del recurso humano potencial del problema. Cada cajero tiene asociado un costo por su incorporación al modelo, luego saber cuál es ese costo es el fundamento de la optimización que se pretende efectuar. Por un lado se puede asociar ese costo a las Horas Hombre en las que se incrementa la oferta del modelo al incorporar los distintos contratos definidos. De esta manera:

$$C_{ft6} = C_{ft6} = 45 \quad (\text{en base semanal})$$

$$C_{ft6} = C_{ft6} = 20 \quad (\text{en base semanal})$$

Así el foco del modelo es la optimización en la oferta de HH finales. Por otro lado se puede considerar ese costo como monetario y que corresponde al gasto por concepto de sueldo en el que se incurre al incorporar el nuevo cajero en el modelo. Bajo la consideración del contratista de que tales cifras corresponden a una ventaja competitiva, se lleva el valor a la fracción equivalente de la relación entre ambos sueldos (*part-time* y *full-time*), teniéndose finalmente los siguientes valores de costos asociados:

$$C_{ft6} = C_{ft6} = 1.92$$

$$C_{ft6} = C_{ft6} = 1$$

El cálculo del sueldo y la posterior relación entre estos se desarrolla de la siguiente manera:

- Sea X el sueldo del trabajador si asiste durante todo el mes (según su tipo de contrato)
- Sea a , b y c los valores totales por asignación de movilización, colación y pérdida de caja (cantidades establecidas por ley como no imponibles).
- Sea Y el valor a pagar por HE (Horas Extras) del período, calculado en base al valor hora según el contrato.
- Sea Z el monto en gratificación, correspondiente a un porcentaje π del total entre X e Y.

$$Z = \pi(X + Y)$$

Luego, el valor mínimo que desembolsa el contratista por concepto de sueldo de su personal de caja corresponde a aquel que no considera HE en el período (situación ideal). Dicho monto se obtiene de la solución de

$$\text{Sueldo} = X + (a + b + c) + \pi X$$

Resolviendo lo anterior con los valores reales se llega a

$$\frac{\text{Sueldo FT}}{\text{Sueldo PT}} = \frac{1.92}{1}$$

Notar que la cifra obtenida en *Sueldo* no corresponde al valor que percibe un trabajador (sueldo líquido). Este valor corresponde a lo mínimo que debe desembolsar la empresa por trabajador según contrato, lo que incluye el líquido percibido finalmente por el trabajador y las retenciones establecidas por ley.

Ambas formulaciones pueden ser válidas, sin embargo el foco de este trabajo implica la búsqueda de eficiencia en la operación y una medida de esta corresponde a las HH ofertadas por el Operador, lo que las hace comparables con las que entregue el modelo y las requeridas por Metro.

4.8 Variante de la formulación del modelo

La complejidad o simplicidad en la formulación del modelo se basa en la habilidad y técnica de la persona encargada de su elaboración. Las formas de afrontar el problema suelen ser diversas, sin embargo irán siempre direccionadas por las restricciones el problema y la solución que se pretenda encontrar en él. Se presentan así distintas variantes del modelo establecido y sus comentarios sobre qué elementos inclinan la decisión de aplicar una por sobre otra.

4.8.1 Hora de colación

Una alternativa de abordar la incorporación de la hora destinada a colación del personal *full-time* como del personal *part-time* de fin de semana, es la incorporación de una variable binaria exclusiva, que tome el valor 1 en el bloque en el cual la persona hace su corte en la jornada laboral del día.

Sea $L(i,d,b)$ esa variable (*lunch*). El aporte inmediato es la desaparición de las variables $ft5_k(i, d, b)$, $ft6_k(i, d, b)$ y $ptf_k(i, d, b)$, haciendo que las variables de control FT5, FT6, PTs y PTf adquieran un nuevo subíndice para identificar el día. De igual manera se redefinen las restricciones y las definiciones de algunas variables como es el caso de Z , que tomaría valores según la nueva formulación

$$Z(i, d, b) = \left(\sum_{j=0}^{18} FT5(i, d, b - j) - L(i, d, b) - L(i, d, b - 1) \right) + \left(\sum_{j=0}^{15} FT6(i, d, b - j) - L(i, d, b) - L(i, d, b - 1) \right)$$

$$+ \left(\sum_{j=0}^{20} PTf(i, d, b - j) - L(i, d, b) - L(i, d, b - 1) \right)$$

$$+ \left(\sum_{j=0}^6 PTs(i, d, b - j) \right)$$

Adicionalmente se hace necesario establecer la relación entre cada variable de decisión con la variable de colación, otorgando un rango sobre el cual se puede mover la variable y así evitar tener situaciones en las que se otorgue colación a quién acaba de comenzar su turno, o en caso contrario otorgar colación en el último bloque trabajado del día.

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 7) * FT6(i, d, b) \leq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 9) * FT6(i, d, b) \geq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 7) * FT5(i, d, b) \leq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 9) * FT5(i, d, b) \geq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 7) * PTf(i, d, b) \leq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} (ID(b) + 9) * PTf(i, d, b) \geq \sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) \quad \forall i, \forall d$$

$$\sum_{b=1}^{34} ID(b) * L(i, d, b) = 0 \quad \forall i \in \text{Part Time de semana}, \quad \forall d$$

Dado el cambio en las dimensiones que acompañan a las variables de decisión bajo esta formulación, se gana en la disminución en la cantidad de variables, pero se pierde el beneficio de hacer de forma inmediata que cada turno de cada cajero se dé inicio a una hora fija durante la semana. Como ahora las variables dependen del día, la asignación que realiza GAMS durante la optimización considera irrestricto el horario de inicio, teniéndose situaciones distintas durante todos los días, las que carecen de todo sentido operacional real.

La formulación realizada en [3] para resolver el problema del Operador no considera un horario fijo de trabajo, por lo que las soluciones ahí presentadas otorgan flexibilidad pero carecen de la aplicabilidad operacional que el Operador requiere, pues no resulta contractual ni

operacionalmente factible citar en distintos horarios durante la semana (y entre las semanas) al total del personal, pues va en directo perjuicio de la labor de supervisión y de control y atenta directamente con la asistencia y la rotación del personal (siendo evidente el conflicto que causa en una persona ser citada en un horario completamente distinto al habitual si esta mantiene compromisos ajenos al trabajo durante ese horario, recordando además la complejidad adicional cuando existe un sindicato al que se debe convencer). Este Trabajo de Título se hace cargo de aquello, sin embargo con las restricciones propuestas para el horario de colación, se debe encontrar una forma de compatibilizar la flexibilización del horario de entrada con la factibilidad operacional.

Una forma de solucionar este problema es determinar un rango factible de flexibilidad para la hora de entrada, de manera tal de que cada cajero no vea cambiado su horario de inicio de actividad más allá de lo establecido en este rango. Para lograr esto se hace necesario el uso de nuevas variables que determinen si la persona efectivamente comienza sus turnos diarios dentro del rango y si trabaja durante todo el mes (condición necesaria para no aumentar el número de cajeros asignados).

Sea la variable $N(i,b)$ que suma durante los distintos días las veces que comenzó a trabajar durante un mismo bloque o los inmediatamente contiguos. Sea $TT(i)$ y sea $T(i,d,b)$ similar a Z (rellena con unos donde parte el turno y los bloques anterior y posterior a este). Sea $OK(b)$ binaria. Sea X la variable de decisión (que puede ser FT6, FT5, PTs o PTf). El supuesto a incorporar en este desarrollo es que el rango de entrada debe moverse en un máximo de media hora (eso da un rango de tres bloques contiguos factibles)

$$T(i, d, b) = X(i, d, b - 1) + X(i, d, b) + X(i, d, b + 1)$$

$$N(i, b) = \sum_d X(i, d, b - 1) + X(i, d, b) + X(i, d, b + 1) = \sum_d T(i, d, b)$$

$$OK(i, b) \leq \frac{N(b)}{Card(d)}$$

$$OK(i, b) \geq \left(\frac{N(b)}{Card(d)} \right) - 0,9$$

$$TT(i) = \sum_b OK(i, b)$$

El valor de $TT(i)$ es el que indica finalmente si el inicio de turno durante el período de estudio (determinado por "d") cumple con la flexibilidad solicitada. La figura siguiente muestra visualmente y con números cómo se aplican las restricciones anteriores para satisfacer el requerimiento incorporado y determinar si el cajero ejerce su trabajo durante todo el horizonte de tiempo ($Card$ corresponde a la cardinalidad del horizontes temporal, vale decir el total de días a trabajar)

Figura 13.- Ejemplo de aplicación de rango flexible al inicio del turno de trabajo del personal.

Card(d) = 5

Aplicando T(i,d,b) se obtiene

	b1	b2	b3	b4	b5
d1		X			
d2			X		
d3			X		
d4		X			
d5				X	

	b1	b2	b3	b4	b5
d1	1	1	1		
d2		1	1	1	
d3		1	1	1	
d4	1	1	1		
d5			1	1	1
N(i,b)	2	4	5	3	1
N(i,b)/Card(d)	0,4	0,8	1	0,6	0,2
(N(i,b)/Card(d)) - 0.9	-0,5	-0,1	0,1	-0,3	-0,7
OK(i,b)	0	0	1	0	0

El modelo, con la incorporación de las variables anteriores y las relaciones entre estas resulta de mejor aplicabilidad en la práctica que como se disponía antes de la incorporación de las variables anteriores, sin embargo complejiza el modelo y lo hace menos intuitivo (lo que resulta perjudicial si se necesita instruir a un tercero en su elaboración y funcionamiento, como es lo que el Operador espera que suceda).

En consideración de lo anteriormente expuesto se determina como versión alternativa la acá presentada, dejándola propuesta para trabajos futuros en los cuales el recurso “tiempo de ejecución” no sea ponderado muy alto como sucede en este caso con el Operador en cuestión. Se hace entonces hincapié en la facilidad de generar turnos fijos que se obtiene con el modelo finalmente elegido, gracias a la formulación entregada a las variables de decisión del problema al momento de su creación, las cuales fijan el inicio de la jornada durante todo el horizonte de planificación.

4.9 Supuestos del modelo

El supuesto más fuerte del modelo tiene relación con la diferencia entre los servicios demandados por Metro entre una quincena y la siguiente dentro del mismo mes. Este supuesto hace referencia a que las variaciones de los requerimientos de metro, para los distintos bloques y días de la semana, son tan pequeñas que resultan despreciable para el modelo. A modo de ejemplo, sustentando esta idea, se presenta una tabla que resume las diferencias encontradas para los 6 primeros meses del 2012 en las estaciones de Línea 5, diferenciando en los 5 días tipo con los que se trabaja.

Tabla 7.- Diferencias entre quincenas de un mismo mes para Línea 5 durante la semana.

Día	Estación	LUNES						Martes - Miércoles - Jueves						VIERNES					
		Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene
ESTACIONES	GRUTA LOURDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BLANQUEADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LO PRADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN PABLO	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	12	-8	0	0	0	0	0	0
	PUDAHUEL	0	0	0	0	-2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BARRANCAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LAGUNA SUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LAS PARCELAS	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MONTE TABOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DEL SOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTIAGO BUERAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PZA DE MAIPU	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.- Diferencias entre quincenas de un mismo mes para Línea 5 durante el fin de semana.

Día	Estación	SABADO						DOMINGO					
		Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene
ESTACIONES	GRUTA LOURDES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BLANQUEADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LO PRADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAN PABLO	0	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	8	0
	PUDAHUEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	4
	BARRANCAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LAGUNA SUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LAS PARCELAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MONTE TABOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DEL SOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SANTIAGO BUERAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PZA DE MAIPU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0

Fuente: Elaboración propia.

Se hace necesario señalar que esto ocurre solamente dentro del mismo mes, pues de lo contrario el problema del Operador se resolvería con una única corrida del modelo y sería aplicable para siempre su resultado, lo cual en la práctica no es posible por la diferencia que sí se produce entre mes y mes en el total de servicios solicitados y que no resulta despreciable (la demanda de Marzo no es la misma que la de Febrero, como se presentó en la etapa de levantamiento, por ejemplo).

5. Asignación del personal

Se ha clarificado que el problema de asignación de turnos es un problema sin individualizaciones, vale decir, los cajeros carecen de propiedades especiales que los hagan más favorables de seleccionar a unos de otros. La programación de turnos entrega el bloque horario en el que se debe desempeñar un cajero y el tipo de contrato que debe tener este, sin considerar si es apto para el puesto o si antes que él hay otras y mejores opciones. Esa parte corresponde a la posterior asignación del recurso existente, que responde a un tipo de Timetabling Problem.

Si bien la idea de generar una forma de asignación basada en las inasistencias, atrasos, licencias, antigüedad y cualquier otra variable que muestra una cierta historia de cada cajero, se presentó como una opción de complemento al modelo de turnos, se determinó su poca aplicabilidad a la operación dado el tipo de trabajo en cuestión y el comportamiento del sector.

Tabla 9.- Promedio de ausencias y de personas con licencia completa en los últimos 17 meses.

		Días de Ausencia	Días de Licencia	Prom. Ausencias	Prom. Licencias
2011	Enero	215	941	7	31
	Febrero	152	976	5	33
	Marzo	260	1021	9	34
	Abril	326	905	11	30
	Mayo	290	858	10	29
	Junio	223	1120	7	37
	Julio	126	1241	4	41
	Agosto	105	1167	4	39
	Septiembre	186	1054	6	35
	Octubre	204	999	7	33
	Noviembre	123	1034	4	34
	Diciembre	143	1212	5	40
2012	Enero	244	1214	8	40
	Febrero	285	1149	10	38
	Marzo	180	1146	6	38
	Abril	180	1146	6	38
	Mayo	196	1255	7	42
TOTAL				7	36

Fuente: “Índice de Rotación de Personal”

Si se calcula un índice de rotación para un período específico como el cociente entre el promedio de ingresos y egresos de personal en el período sobre el promedio de la cantidad de trabajadores con los que se inició y termina dicho periodo, se obtiene que el Operador llega al valor de 67,18% para los 5 primeros meses del 2012, lo que complica cualquier sistema de asignación basada en la historia laboral. Más aún, un tipo de asignación de este estilo implicaría que no existen

cajeros fijos en estaciones, se haría necesario que todos tuvieran un carácter volante, ya que de esta manera el sistema sería el que decide dónde y cuándo asignar. Si se incorporan las preferencias de cada cajero, el problema es mayor dada la alta rotación de personal.

De esta manera el Operador muestra la necesidad de ser éste el ente encargado de las asignaciones. Sin embargo se presenta una opción de complemento a esta actividad en la cual diariamente se puede mantener un registro veraz de los movimientos de personal realizados, las ausencias, licencias, etc.

5.1 Planilla de asignación de personal

Se elabora una planilla Excel que sea el complemento perfecto al modelo de turnos desarrollado, de manera de facilitar el trabajo del personal operativo, destinando sólo recursos en la etapa final de seleccionar qué persona se hará cargo de las distintas cajas para el total de mesaninas del problema.

Figura 14.- Sector de planilla de Asignación de personal.

MESANINA		NOMBRE		HORA INICIO	HORA FIN	COLACIÓN	CONTRATO	CARGO	MESANINA ORIGEN	MESANINA DESTINO	RUT	NOMBRE	AUSENCIA
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	6:00	14:30					CAJERO (A) SINDIC.			015.471.875-3	LULLOA GONZALEZ ERIKA LOPE TO	
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	7:00	14:30					CAJERO (A) SINDIC.			007.932.011-0	FALLAU ARAYA PATRICIA ELIZABETH	
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	7:30	11:00					CAJERO (A) SINDIC.			014.083.273-1	AGUILA AGUILA VERONICA DEL CARMEN	
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	14:30	21:30										
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	14:30	23:00										
LD-ORIENTE	LOS DOMINICO ORIENT	16:00	20:00										
LD-PONIENTE	LOS DOMINICO PONIENT	6:00	14:30										
LD-PONIENTE	LOS DOMINICO PONIENT	14:30	23:00										
LD-PONIENTE	LOS DOMINICO PONIENT	18:00	20:00										
MQ-CENTRAL SU	MANQUEHUE CEN-SUR	6:00	14:30										
MQ-CENTRAL SU	MANQUEHUE CEN-SUR	7:30	9:30										
MQ-CENTRAL SU	MANQUEHUE CEN-SUR	14:30	23:00										
MQ-CENTRAL SU	MANQUEHUE CEN-SUR	16:00	22:00										
MQ-CENTRAL SU	MANQUEHUE CEN-SUR	18:00	20:00										
MQ-CENTRAL NC	MANQUEHUE CEN-NOR	6:00	14:30										
MQ-CENTRAL NC	MANQUEHUE CEN-NOR	7:30	9:30										
MQ-CENTRAL NC	MANQUEHUE CEN-NOR	14:30	23:00										
MQ-CENTRAL NC	MANQUEHUE CEN-NOR	17:00	21:00										
MQ-CENTRAL NC	MANQUEHUE CEN-NOR	18:00	20:00										
MQ-ORIENTE	MANQUEHUE ORIENTE	6:00	14:30										
MQ-ORIENTE	MANQUEHUE ORIENTE	7:00	14:30										
MQ-ORIENTE	MANQUEHUE ORIENTE	7:30	9:30										
MQ-ORIENTE	MANQUEHUE ORIENTE	14:30	23:00										

La herramienta elaborada en Excel cuenta con Macros que permiten la incorporación de botones y la posibilidad de agregar al personal a través de una interfaz en la cual, a medida que se comienza a escribir el apellido, se visualizan los cajeros que se van ajustando a los caracteres ingresados, así no se necesita escribir todo el apellido de una persona, sino que basta con las primeras letras y luego hacer una pequeña búsqueda gracias a la lista desplegable implementada. La información del cajero (su cargo, su RUT y nombre completo) es agregada a la planilla. El beneficio inmediato es la limpieza y uniformidad en la entrada de datos.

Se ha implementado una hoja por cada día tipo (5 en total) la que contiene un único botón de guardado en el costado superior izquierdo de cada hoja (apreciable en la figura 14). Su función es consolidar la información diariamente ingresada en un único archivo anexo a la planilla, el cual

se crea con el nombre de "Respaldo - *Mes*", siendo *Mes* el correspondiente al momento del guardado. En este documento se guarda la última configuración diaria, nombrando a la hoja en cuestión con la fecha correspondiente. Así, si es necesario editar la planilla, al apretar "Guardar Cambios" aparece un aviso preguntando si se desea sobre escribir el último archivo guardado, o se crea el respaldo en caso de ser el primer volcado de información. De igual manera se ha agregado una interfaz de seguridad la que se despliega al abrir el documento solicitando el ingreso de una contraseña. De no ingresarse la correcta no se podrá trabajar en el documento ni tampoco visualizarlo. Así, cada usuario autorizado para el uso del documento tendrá una clave única, permitiendo además poder guardar la identidad de cada persona que edita la planilla junto con la hora de la última edición.

Figura 15.- Interfaz de solicitud de contraseña.

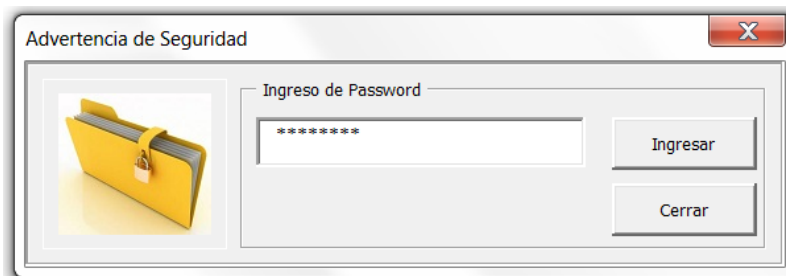


Figura 16.- Parte de la Macro encargada de volcar a la planilla los datos de cada cajero por medio de una interfaz (frm_Forma1, como se aprecia en la imagen).

```

Planilla de Programación v2.xlsm - frm_Forma1 (Código)
CommandButton1 Click
Private Sub CommandButton1_Click()
    Dim fila, fin As Long
    Dim base As String

    fin = Hoja3.Range("B2000").End(xlUp).Row
    base = "Personal!R2C2:R" & fin & "C5"
    Hoja2.Select
    fila = ActiveCell.Row
    Hoja2.Range("L" & fila).Value = Me.CBox.Text

    Hoja2.Range("H" & fila).FormulaR1C1 = _
        "=IF(RC[4]="&"",&"",VLOOKUP(RC[4],& base & ",4,FALSE))"
    Hoja2.Range("K" & fila).FormulaR1C1 = _
        "=IF(RC[1]="&"",&"",VLOOKUP(RC[1],& base & ",2,FALSE))"

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
    Unload Me
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
    Me.CBox.RowSource = "'Personal'!B2:B" & Hoja3.Range("B1").End(xlDown).Row
End Sub

```

6. Elaboración de un Modelo de solución

6.1 Elaboración de la solución en GAMS

El modelado del problema en el software de optimización permite la incorporación de ciertas opciones y características que faciliten el proceso e incidan en el tiempo que este tarde. De igual manera las salidas del programa pueden ser manejadas de manera de entregar la solución al problema de la forma que el usuario estime conveniente. Las opciones de GAMS incorporadas al problema, a través del statement `OPTIONS` se detallan a continuación

- ***OptFile = 1***
Permite editar un nuevo archivo de opciones del solver usado en la optimización, que en este caso corresponde a CPLEX. Así el archivo a editar corresponde a `cplex.opt`
- ***limrow = 0, limcol = 0, solprint = off***
Permiten manejar la salida impresa del archivo LST. Los valores en cero excluyen la incorporación de las ecuaciones y restricciones escritas en forma extensiva. La opción *off* de *solprint* evita que se genere el archivo de solución con el detalle del cálculo de todos los parámetros asociados, saltándose al SOLVER SUMMARY y mostrando únicamente los resultados finales de las variables solicitadas (a través del comando *display*)
- ***threads -2***
Indica la cantidad de unidades de CPU que se utilizarán simultáneamente (Parallel Mode), Un valor positivo indica la cantidad dispuesta, mientras que un valor negativo, como el usado, indica la cantidad de *cores* libres disponibles para otras aplicaciones mientras se ejecute el modelo.
- ***epgap 0.05***
Indica el porcentaje de tolerancia exigido entre la solución final encontrada y la mejor solución posible determinada por el programa. El valor incorporado en el modelo indica una tolerancia de un 5% de diferencia relativa para aceptar la solución encontrada.

6.2 Sistema computacional de uso

Cabe señalar que la opción *threads* es solo válida en computadores con procesadores múltiples, haciendo posible el uso de la función de trabajo en modo paralelo. Los beneficios de contar con procesadores de gama alta se traducen en mayor posibilidad de usar de forma fluida otras aplicaciones mientras se ejecuta GAMS de fondo, siempre de la mano de la capacidad en memoria virtual y física que se disponga (RAM). Las características del sistema computacional usado (en hardware) para la resolución de este problema se detallan en lo siguiente

- Procesador Intel Core i7-2670QM
- Velocidad de procesador de 2.20 GHz
- Memoria RAM de 8 GB
- Sistema Operativo: Windows 7 Home Premium
- Arquitectura de SO: 64 bits

- .NET Framework 4.0 (o superior), para la ejecución de los programas computacionales de soporte elaborados como parte de la solución de este Trabajo de Título (ver capítulo 9).
- La versión de GAMS instalada corresponde a la 23.5.1 de 64 bits

6.3 Elaboración de escenarios de prueba

Durante la elaboración matemática del problema se proponen dos opciones de parámetros de costo dentro de la función objetivo, asociados a cada tipo de contrato incorporado. Sin embargo la función objetivo del problema será aquella que minimice las HH totales ofertadas para suplir la demanda de servicios de Metro. Esta opción permite comparar el rendimiento del modelo con el del Operador para un mes determinado, según la demanda de servicios (y correspondientemente las HH solicitadas) durante dicho mes.

En este punto se toman distintas estaciones y se analiza el comportamiento del modelo en cada caso. Se pretende determinar un tiempo estimado de corrida del conjunto de mesaninas, sin embargo se suscita una dificultad propia de un problema de este tipo: el tiempo de ejecución resulta excesivamente largo en algunos casos. Si bien existen alternativas propias del programa para dar una situación inicial factible al modelo para, de alguna manera, encaminarlo de mejor manera hacia el óptimo, con un resultado de menor tiempo de ejecución, esta opción se descarta ya que, por condiciones del proyecto, será una persona ajena quien opere el modelo en el futuro, no necesariamente conocedora del programa o del modelo en sí mismo, por lo cual no se puede adoptar esta postura como solución al problema del tiempo.

Figura 17.- Archivo LOG para Tobalaba Línea 4, luego de 2 horas de ejecución. (Tolerancia 10%).

MODEL STATISTICS			
BLOCKS OF EQUATIONS	49	SINGLE EQUATIONS	139,283
BLOCKS OF VARIABLES	29	SINGLE VARIABLES	327,541
NON ZERO ELEMENTS	4,527,541	DISCRETE VARIABLES	327,540
S O L V E S U M M A R Y			
MODEL	intertecno	OBJECTIVE	fobj
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	332
**** SOLVER STATUS	3	Resource Interrupt	
**** MODEL STATUS	14	No Solution Returned	
**** OBJECTIVE VALUE		0.0000	

Fuente: Elaboración propia (archivo LOG de GAMS)

Figura 18.- Archivo LOG para Príncipe de Gales, luego de 9 minutos de ejecución.
(Tolerancia 10%).

S O L V E		S U M M A R Y	
MODEL	intertecno	OBJECTIVE	fobj
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	332
**** SOLVER STATUS	1 Normal Completion		
**** MODEL STATUS	8 Integer Solution		
**** OBJECTIVE VALUE	230.0000		
MIP Solution:	230.000000	(69936 iterations, 0 nodes)	
Final Solve:	230.000000	(0 iterations)	
Best possible:	212.500000		
Absolute gap:	17.500000		
Relative gap:	0.076087		

Fuente: Elaboración propia (archivo LOG de GAMS)

La alternativa consistió en desarrollar la estrategia sugerida por los desarrolladores de GAMS de ir de pequeño a grande (small to large), o de menos a más. De esta manera se desarrolla el problema considerando una solo semana, lo que reduce el tamaño del problema y con ello el tiempo de ejecución y termino.

Figura 19.- Archivo LOG para Tobalaba L4, luego de 11 minutos de ejecución.
Modelo 1 semana (Tolerancia 5%).

S O L V E		S U M M A R Y	
MODEL	intertecno	OBJECTIVE	fobj
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	181
**** SOLVER STATUS	1 Normal Completion		
**** MODEL STATUS	8 Integer Solution		
**** OBJECTIVE VALUE	575.0000		
MIP Solution:	575.000000	(315576 iterations, 18 nodes)	
Final Solve:	575.000000	(0 iterations)	
Best possible:	560.000000		
Absolute gap:	15.000000		
Relative gap:	0.026087		

Fuente: Elaboración propia (archivo LOG de GAMS)

7. Modelo semanal

El modelo para una semana, más allá de la evidente menor cantidad de variables necesarias (como aquellas que se encargaban de cumplir la normativa legal vigente en temas de días compensatorios y máximo de días seguidos trabajados), se agrega una variable que represente aquellos cajeros con contrato FT6 que trabajan el día domingo. Así el modelo semanal queda de la siguiente manera:

7.0.1 Conjuntos de índices

$i \equiv$ Identificador del cajero. Corresponde a un número Natural en un rango desde 1 hasta un N suficientemente grande.

$d \equiv$ Corresponde al número de día dentro del horizonte de planificación $\in \{1 \dots 7\}$

$b \equiv$ Identifica el bloque horario. Va desde 1 hasta 34, de acuerdo a la división establecida del día en bloques de 30 minutos cada uno (comenzando a las 06:00).

$\text{semana}(d) \equiv$ Conjunto de todos los días de la semana dentro del mes.

$\text{finde}(d) \equiv$ Conjunto de días sábado y domingo dentro del mes.

7.0.2 Parámetros

$\text{DDA}(d, b) \equiv$ Tabla que representa la demanda de servicios de Metro.

7.0.3 Variables de Decisión

$\text{FT5}(i, b) = \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Full Time de 5x2 en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$\text{FT6s}(i, b) = \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Full Time de 6x1 sábado en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$\text{PTs}(i, b) = \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Part Time de semana en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$\text{PTf}(i, b) = \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza turno Part Time de fin de semana en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$\text{FT6d}(i, b) = \begin{cases} 1 & \text{si cajero "i" comienza un turno Full Time de 6x1 domingo en bloque "b"} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

7.0.4 Variables Auxiliares

$Z(i, d, b) =$ Rellena con 1 si el cajero "i" se encuentra trabajando en bloque "b" el día "d".
Cero si no.

$ft5_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ft5_2(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 2 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ft5_3(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 5x2 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 3 (5 horas después del inicio de la jornada).

$ft61_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ft61_2(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 2 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ft61_3(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 3 (5 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_2(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ptf_3(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de fin de semana en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (5 horas después del inicio de la jornada).

$pts_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Part de semana en bloque "b" en día "d".

$ft62_1(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 1 (4 horas después del inicio de la jornada).

$ft62_2(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 2 (4,5 horas después del inicio de la jornada).

$ft62_3(i, d, b) =$ Variable binaria. Es 1 si cajero "i" comienza turno Full 6x1 en bloque "b" en día "d" con colación tipo 3 (5 horas después del inicio de la jornada).

7.1 Restricciones

7.1.1 Propias del contrato

- El cajero cumple como máximo un turno por día

$$\sum_{b=1}^{34} \left(\sum_{k=1}^3 ft61_k(i, d, b) + ft62_k(i, d, b) + ft5_k(i, d, b) + ptf_k(i, d, b) \right) + pts_1(i, d, b) \leq 1, \quad \forall i, \forall d$$

- El cajero no puede tener distintos contratos a la vez.

$$\sum_{b=1}^{34} FT61(i, b) + FT62(i, b) + FT5(i, b) + PTs(i, b) + PTf(i, b) \leq 1, \quad \forall i$$

- Cajero *full-time* 5x2 sólo trabaja durante la semana (de lunes a viernes) y no más allá del bloque 16.

$$FT5(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=17}^{34} \sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

- Todo *part-time* de semana trabaja exclusivamente de lunes a viernes y no más allá del bloque 28.

$$PTs(i, b) = pts_1(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$pts_1(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=29}^{34} pts_1(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

- Todo *part-time* de fin de semana trabaja sábado y domingo (incluyendo festivos) y en horario flexible y no más allá del bloque 14.

$$\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{b=1}^{34} PTf(i, b) = \sum_{b=1}^{34} \sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall d \in finde(d)$$

$$\sum_{b=15}^{34} ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in finde(d)$$

- El cajero *full-time* 6x1 tipo 1 trabaja durante la semana y el día sábado, mientras que el tipo 2 lo hace el domingo. Ninguno lo hace más allá del bloque 19.

$$FT61(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft61_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$FT62(i, b) = \sum_{k=1}^3 ft62_k(i, d, b), \quad \forall i, \forall b, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{k=1}^3 ft61_k(i, 7, b) = 0, \quad \forall i \in FT61, \forall b$$

$$\sum_{k=1}^3 ft62_k(i, 6, b) = 0, \quad \forall i \in FT62, \forall b$$

$$\sum_{b=20}^{34} \sum_{k=1}^3 ft61_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

$$\sum_{b=20}^{34} \sum_{k=1}^3 ft62_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in semana(d)$$

7.1.2 Propias del servicio

- La demanda de servicios de Metro comienza desde las 6:30 horas los días sábado.

$$\sum_{k=1}^3 ft61_k(i, d, 1) = 0, \quad \forall i, \forall d \in \text{sabado}(d)$$

$$\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, 1) = 0, \quad \forall i, \forall d \in \text{sabado}(d)$$

- La demanda de servicios de Metro comienza desde las 8:00 horas los días domingo.

$$\sum_{b=1}^4 \sum_{k=1}^3 ft62_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in \text{domingo}(d)$$

$$\sum_{b=1}^4 \sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) = 0, \quad \forall i, \forall d \in \text{domingo}(d)$$

Tiempo en Ventanilla

$$\begin{aligned} Z(i, d, b) = & \left(\sum_{e=0}^6 ft5_1(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{18} ft5_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^7 ft5_2(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{18} ft5_2(i, d, b - e) \\ & \left. + \sum_{e=0}^8 ft5_3(i, d, b - e) + \sum_{e=11}^{18} ft5_3(i, d, b - e) \right) \\ & + \left(\sum_{e=0}^5 ft61_1(i, d, b - e) + \sum_{e=8}^{18} ft61_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^6 ft61_2(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{18} ft61_2(i, d, b - e) \\ & \left. + \sum_{e=0}^7 ft61_3(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{18} ft61_3(i, d, b - e) \right) \\ & + \left(\sum_{e=0}^5 ft62_1(i, d, b - e) + \sum_{e=8}^{18} ft62_1(i, d, b - e) \right. \\ & + \sum_{e=0}^6 ft62_2(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{18} ft62_2(i, d, b - e) \\ & \left. + \sum_{e=0}^7 ft62_3(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{18} ft62_3(i, d, b - e) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\sum_{e=0}^6 ptf_1(i, d, b - e) + \sum_{e=9}^{20} ptf_1(i, d, b - e) \right. \\
& + \sum_{e=0}^7 ptf_2(i, d, b - e) + \sum_{e=10}^{20} ptf_2(i, d, b - e) \\
& + \left. \sum_{e=0}^8 ptf_3(i, d, b - e) + \sum_{e=11}^{20} ptf_3(i, d, b - e) \right) \\
& + \left(\sum_{e=0}^6 pts_1(i, d, b - e) \right) \\
\sum_{b=1}^{34} Z(i, d, b) = \sum_{b=1}^{34} & \left\{ \begin{array}{l} 17 * \left(\sum_{k=1}^3 ft5_k(i, d, b) \right) + 14 * \left(\sum_{k=1}^3 ft61_k(i, d, b) \right) \\ + 14 * \left(\sum_{k=1}^3 ft62_k(i, d, b) \right) + 19 * \left(\sum_{k=1}^3 ptf_k(i, d, b) \right) \\ + 7 * (pts_1(i, d, b)) \end{array} \right\} \quad \forall i, \forall d
\end{aligned}$$

7.2 Cumplimiento de la demanda

$$\sum_i Z(i, d, b) \geq DDA(d, b) , \quad \forall i$$

7.3 Función Objetivo

Minimizar Objetivo

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{b=1}^{34} \left(45 * FT61(i, b) + 45 * FT62(i, b) + 45 * FT5(i, b) + 20 * PTs(i, b) \right. \\
\left. + 20 * PTf(i, b) \right)$$

7.4 Implicaciones de la programación semanal

En contraposición con las mejoras en tiempo de ejecución del modelo, la implementación de un modelo de una semana conlleva dejar de lado las restricciones relacionadas con el cumplimiento de la normativa legal vigente en cuanto a la jornada ordinaria de trabajo. Queda sin solución aparente lo que se pueda hacer con aquellos trabajadores *full-time* de día domingo.

La solución sin embargo es más sencilla de lo que parece. Solo basta con garantizar que exista al menos igual cantidad de cajeros *full-time* de día sábado que de día domingo. El procedimiento se basa en el reemplazo de turno entre un cajero de cada tipo (siempre referido a *full-time* 6x1).

Tabla 10.- Cambio de día domingo por sábado de FT6.

	S1	D1	S2	D2	S3	D3	S4	D4
FT6 Sábado	O		O		X		X	
FT6 Domingo		X		X		O		O

El programa entrega la “foto” de la primera semana, la que sin problemas puede ser replicada durante la segunda. Ahora, llegada la tercera se hace el cambio de turno de un FT6 de sábado a domingo, mientras que el cajero original de domingo cubre el turno de día sábado de quien lo cubre a él, vale decir, cada uno cubre el turno del otro durante el fin de semana (de las semanas 3 y 4 respectivamente). El cambio implica que en la semana 3 se dará el día compensatorio, dentro de los días MMJ como originalmente plantea el modelo para el mes completo.

8. Resultados y Validación

8.1 Solución para el total de las mesaninas

Se procede a calcular la dotación y las HH ofertadas por el modelo para la primera semana de Diciembre. Se entrega el detalle de cada Línea con las mesaninas correspondientes a cargo del Operador (48 en total). Se hace un balance final del gasto en sueldo en el que se incurriría con la configuración entregada por el modelo

Tabla 11.- Dotación propuesto por modelo de 1 semana para Línea 1.

MESANINA	Full 6x1	Full 5x2	Part 4	Part 10	FT	PT	TOTAL
LOS DOMINICO ORIENTE	3	0	6	2	3	8	11
LOS DOMINICO PONIENTE	1	0	4	2	1	6	7
MANQUEHUE CEN-SUR	2	0	4	3	2	7	9
MANQUEHUE CEN-NORTE	2	0	4	3	2	7	9
MANQUEHUE ORIENTE	2	0	7	3	2	10	12
MANQUEHUE PONIENTE	2	0	6	3	2	9	11
HERNANDO MAGALLANES	1	2	2	2	3	4	7
ESCUELA M. ORIENTE	2	3	6	3	5	9	14
ESCUELA M. PONIENTE	4	2	6	3	6	9	15
ALCANTARA	1	2	4	2	3	6	9
EL GOLF	1	3	4	2	4	6	10
TOBALABA 1	6	1	6	5	7	11	18
LOS LEONES	8	3	5	3	11	8	19
PEDRO DE VALDIVIA	6	2	9	2	8	11	19
MANUEL MONTT	5	1	6	2	6	8	14
SALVADOR	4	2	4	2	6	6	12
BAQUEDANO	3	2	4	3	5	7	12
U. CATOLICA	3	2	4	2	5	6	11
SANTA LUCIA	5	1	9	4	6	13	19
U. DE CHILE ORIENTE	8	2	3	4	10	7	17
U. DE CHILE PONIENTE	7	2	7	4	9	11	20
	76	30	110	59	106	169	275
	28%	11%	40%	21%	39%	61%	

Tabla 12.- Dotación propuesto por modelo de 1 semana para Línea 4.

MESANINA	Full 6x1	Full 5x2	Part 4	Part 10	FT	PT	TOTAL
TOBALABA 4	4	3	10	5	7	15	22
COLON	1	0	7	2	1	9	10
BILBAO	3	1	5	2	4	7	11
PRINCIPE DE GALES	1	2	2	2	3	4	7
SIMON BOLIVAR	2	0	4	2	2	6	8
PLAZA EGAÑA ORIENTE	2	0	3	2	2	5	7
PLAZA EGAÑA PONIENTE	3	1	4	2	4	6	10
LOS ORIENTALES	2	0	4	2	2	6	8
ROTONDA GRECIA	4	1	4	4	5	8	13
LOS PRESIDENTES	2	0	5	3	2	8	10
ROTONDA QUILIN	3	0	3	2	3	5	8
LAS TORRES	2	1	2	2	3	4	7
MACUL NORTE	1	2	3	2	3	5	8
MACUL SUR	2	2	3	3	4	6	10
VICUÑA MACKENNA	2	2	4	3	4	7	11
	34	15	63	38	49	101	150
	23%	10%	42%	25%	33%	67%	

Tabla 13.- Dotación propuesto por modelo de 1 semana para Línea 5.

MESANINA	Full 6x1	Full 5x2	Part 4	Part 10	FT	PT	TOTAL
GRUTA LOURDES	1	0	6	2	1	8	9
BLANQUEADO	1	0	6	3	1	9	10
LO PRADO	1	0	5	2	1	7	8
SAN PABLO	4	0	6	2	4	8	12
PUDAHUEL	3	2	6	3	5	9	14
BARRANCAS	2	0	3	2	2	5	7
LAGUNA SUR	1	2	3	3	3	6	9
LAS PARCELAS	2	1	5	2	3	7	10
MONTE TABOR	0	1	4	3	1	7	8
DEL SOL	1	1	2	2	2	4	6
SANTIAGO BUERAS	2	1	3	2	3	5	8
PZA DE MAIPU	5	3	9	6	8	15	23
	23	11	58	32	34	90	124
	19%	9%	47%	26%	27%	73%	

Con los anterior ya definido y entregado por el modelo, se puede establecer el panorama completo para el horizonte de planificación previamente detallado, estando en pie para poder comparar con los resultados que obtenga en Operador en esa misma fecha (en cuanto a HH ofertadas y al total de personal que mantiene)

Tabla 14.- Personal, HH y Costo total del modelo para la primera semana de Diciembre.

	HH Mes		
OFERTA MODELO	231	PT	30960
	318	FT	36572
	549	TOTAL	71402

<i>Costeo del Modelo</i>		MODELO
OFERTA DICIEMBRE	PT	\$ 38.359.200
	FT	\$ 79.586.250
TOTAL		\$ 117.945.450

8.2 Proceso de validación

Como la base de decisión si la solución encontrada por el modelo es buena o no depende de una base de comparación, se hace necesario comparar con lo realizado por el Operador durante un mes completo. Se toma arbitrariamente el mes de Junio como mes de comparación y, realizando el cálculo para todas las mesaninas del Operador, se deberá tener una visión general de cuánto es el aporte por incorporar el modelo en la operación.

8.3 Comparativa de la programación de un mes completo

El mes de Junio es un buen referente de comparación pues es uno de los pocos meses del año que no contiene algún día festivo, por lo cual se evita encontrar anomalías que se deban agregar al modelo (como por ejemplo, los *part-time* de fin de semana ya no realizan 10 horas diarias, pues la jornada se reparte equitativamente considerando el día festivo).

Tabla 15.- Demanda de servicios, en HH, junto a la oferta del Operador para suplir dicha demanda.

TOTAL DDA	bloques	tiempo	HH
	23843	Semana	11922
	102524,9	Mes	51262

OFERTA JUNIO			HH Mes
	45	PT	3870
	432	FT	83592
	477	TOTAL	87462

Durante el periodo de evaluación el Operador se encontró en un 70,62% por sobre la demanda de Horas Hombre requeridas. El panorama entregado por el modelo arroja una configuración superior de personal necesario, requiriendo 57 personas adicionales, pero quedando solo un 29,64% por sobre la demanda, lo que corresponde a disminuir la brecha presentada por el Operador en su oferta en un 58,02% (i.e. eficiencia ganada con el modelo en la oferta de HH).

Tabla 16.- Detalle del rendimiento para cada línea dada por el modelo en Junio.

L4	semana	HH	L5	semana	HH	L1	semana	HH
	mes	3207		mes	2418,5		mes	6296
		13790,1			10399,55			27072,8

OFERTA	semana	4220	OFERTA	semana	3285	OFERTA	semana	7950
Rendimiento	31,6%	por sobre dda	Rendimiento	35,8%	por sobre dda	Rendimiento	26,3%	por sobre dda

Tabla 17.- Ahorro total factible con la implementación del modelo durante Junio.

<i>Costeo de Opciones</i>		Mes	Operador	MODELO
OFERTA	PT	<i>N</i>	\$ 6.538.500	\$ 35.889.100
JUNIO	FT	1.92 * <i>N</i>	\$ 114.696.000	\$ 76.198.500
		TOTAL	\$ 121.234.500	\$ 112.087.600
				Δ 7,5%
				\$ 9.146.900

Se aprecia el beneficio superior a los nueve millones de pesos con la incorporación del modelo como base de programación de turnos y una mejora en la eficiencia cercana al 60% (en el descenso de la brecha mostrada por el Operador). Este valor final no considera HE (Horas Extras) incurridas en el período por parte del Operador, sino que se fundamenta bajo la suposición de que los cajeros cumplieron sus jornadas de manera satisfactoria, sin necesidad de incurrir en HE. Este valor determina entonces un mínimo posible, según lo anterior.

8.4 Mejoras al modelo

Como se ha mostrado en la tabla 9, el promedio de ausencias de los últimos 15 meses asciende a 7 diarias. Se propone como una mejora al modelo contar con una dotación permanente de relevo que garantice la posibilidad de suplir contingencias y evitar así caer en infracción y multas por parte de Metro. En este sentido, se debe garantizar un valor superior al promedio ya obtenido de 7 cajeros. Si se considera un total de 14, con contratos *full-time*, de manera de tener 7 durante la mañana y 7 durante la tarde, el beneficio del modelo desciende a 5,4 millones, lo que sigue significando una ganancia para el Operador. Si toda la ganancia actual se invirtiera en personal de relevo, el máximo posible a contratar (siempre como *full-time*) llega a las 34 personas, generando un beneficio final de tan solo \$119.900.

8.5 Escenario base de implementación

Llevar a cabo la programación propuesta por el modelo a la práctica no resulta inmediata. Por eso se hace necesario determinar una situación base desde la cual partir y sustentarse para poder hacer un cambio de la programación actual a la programación del modelo.

En ese sentido y como punto de partida, se debe llegar a una relación de dotación de *full-time* cercana al 35% (equivalentemente 65% de *part-time*). Luego, una correcta implementación del modelo presentado en este Trabajo de Título (tanto modelo completo como modelo corto), necesitan del esfuerzo del Operador por mantener una composición de personal cercana a los valores recién entregados.

9. Interfaz Gráfica

Entendiendo que la incorporación de nuevas tecnologías de la información a espacios de trabajo no es un proceso trivial ni mucho menos fácil de asimilar por el personal objetivo, se hace necesario manejar una forma sencilla, intuitiva y amigable de incorporar las nuevas tecnologías en el desarrollo diario de la actividad operacional de la empresa. De esta manera se diseña y crea un set de herramientas de fácil manejo, que permitan a una persona que nunca ha trabajado con algún software de optimización (en particular con GAMS), poder hacer uso de éste sin pasar por un estudio previo de la herramienta.

El paquete de herramientas que se complementarán dentro de la aplicación corresponden a

- Un modelo de optimización escrito en lenguaje de programación de GAMS
- Planillas Excel con Macros de Visual Basic que generen el *input* del modelo y sean capaces de recibir la data *output* (salida del modelo) y poder manejar y editar esa información a conveniencia.
- Un set de herramientas computacionales elaboradas con el software Visual Studio 2010, con código VB.NET (Visual Basic), que sean el puente de ejecución entre los anteriores señalados.

Figura 20.- Componentes básicos de la solución TI creada.



9.1 Diseño de la interfaz

Se elaboran dos programas perfectamente complementarios. El primero de ellos, cuyo nombre es "Creación Planilla de Servicios", recibe de *input* el documento con los servicios enviado por Metro, el que debe ser seleccionado apretando el botón "Cargar". Su ruta se muestra a un costado del botón y, para ser procesado, se debe completar las distintas opciones que se presentan más abajo en el programa, como son el tipo de quincena – pues Metro envía requerimientos de servicio por quincena – el mes en cuestión y el año. Esta información será procesada y posteriormente guardada en un respaldo con el botón "Generar Respaldo", con la información de los cambios solicitados previamente al usuario para su llenado (quincena, mes, año). Todo este

procesamiento se lleva a cabo a través de las Macros desarrolladas en el documento “formatoDEMANDA.xlsm”.

Estos procesos son las primeras relaciones que establece el programa con el entorno de Microsoft Office, siendo requisito de su ejecución contar con una versión del software previamente instalada en el ordenador donde se ejecute el programa.

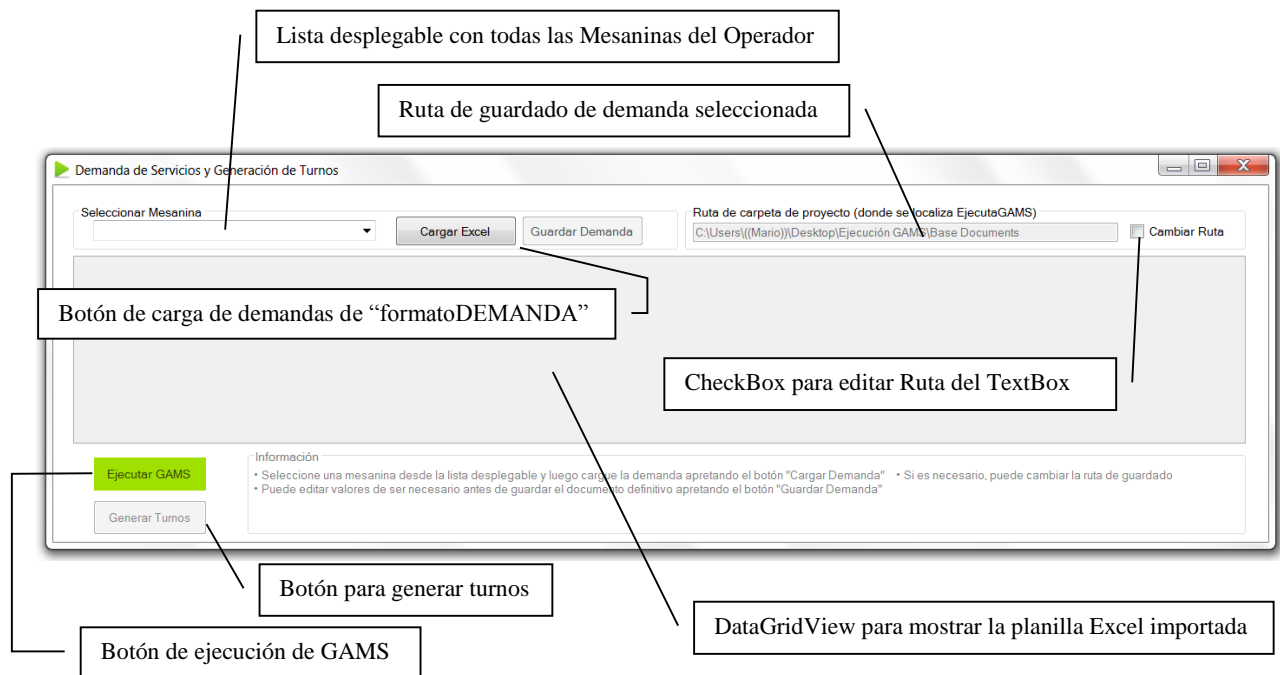
El beneficio de este programa es inmediato para el Operador. Una tarea que lleva como mínimo entre una hora y treinta minutos hasta las dos horas, puede ser realizada automáticamente en menos de 30 segundos.

Figura 21.- Partes de la interfaz gráfica del programa "Creación Planilla de Servicios".



El siguiente programa presenta el puente entre Excel y GAMS. Su interfaz está compuesta por distintos botones, cada uno con un evento de acción distinto asociado. Se compone además de un espacio destinado a mostrar un documento Excel abierto con los campos para edición, permitiendo crear el documento de demanda que servirá de *input* al modelo de optimización. Contiene también un campo de texto, con un botón asociado, para determinar la ruta de guardado en donde se encuentra la planilla Excel con las Macros de ejecución, la que será receptora a su vez del documento de demanda elaborado dentro del programa. Finalmente cuenta con un botón, que destaca por sobre el resto, asociado a la ejecución del modelo en GAMS y otro que se encarga de generar los turnos en base a los resultados entregados por el modelo, guardando una copia de la planilla original.

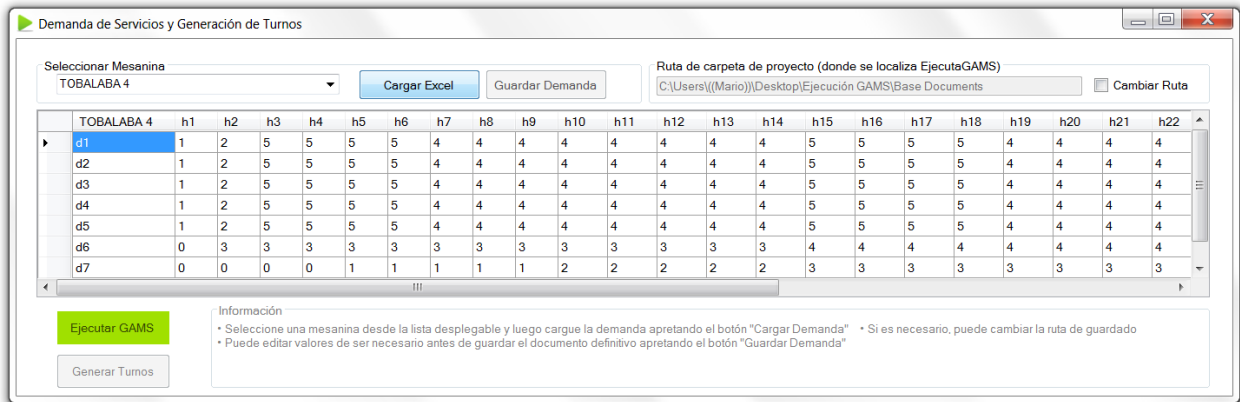
Figura 22.- Partes de la interfaz gráfica del programa de ejecución "Generación de Turnos".



9.2 Funcionalidades

El programa permite importar la demanda predefinida con la nomenclatura utilizada en el modelo de GAMS para los días (filas) y los bloques horarios (columnas) para cualquier mesanina del total disponible, a través de una lista desplegable. Utilizando el botón "Cargar Excel", el usuario puede importar al DataGridView la demanda ya guardada en el Excel "formatoDEMANDA.xlsm" con mismo formato de encabezado.

Figura 23.- Planilla cargada en el programa.



Teniéndose completa la planilla con la demanda de servicios para la mesanina en cuestión, se guardan los datos de la planilla en un nuevo documento Excel habilitado para ejecutar Macros llamado "EjecutaGAMS.xlsm". El proceso de volcado de los datos consta de dos partes

- Primero determinar la ruta en donde se encuentra el archivo "EjecutaGAMS.xlsm". Por defecto aparece la ruta desde donde se ejecuta el programa, pero direccionando hacia una carpeta llamada "Base Documents" que es donde se mantendrán los documentos esenciales, tanto de Excel como de GAMS. En caso de tener estos documentos en otro directorio, solo basta con agregar la ruta correspondiente, habilitando la edición del TextBox haciendo *click* en el CheckBox a un costado.
- Una vez definida la ruta se realiza el volcado de información apretando el botón "Guardar Demanda", el cual solo se habilita una vez cargada la demanda.

Se genera así una primera relación entre el programa y el documento Excel con las Macros de ejecución de GAMS. Se está luego en condiciones de poder ejecutar el modelo realizando el llamado a través del botón "Ejecutar GAMS". El programa en este paso llama a ejecución la Macro que se encarga de abrir el modelo en GAMS, resolver el problema y guardar los resultados obtenidos en un nuevo documento Excel, copia del anterior. Este es el gran aporte de programa creado, en el que interactúa Excel con GAMS de manera directa sin necesidad de la intervención del usuario, facilitando la ejecución del modelo a cualquier persona que no esté interiorizada del funcionamiento de Visual Basic de Excel (para crear Macros y ejecutarlas) y/o de GAMS.

9.3 Compatibilidad de Programas

El intercambio de información se produce unidireccionalmente entre el programa y Excel, pero bidireccionalmente entre Excel y GAMS, actuando cada uno de *input* en distintas etapas del proceso. Para que el programa pueda relacionarse con Excel se debe agregar referencias de bibliotecas propias de Excel, para poder trabajar con variables que de otra manera no podrían ser reconocidas por Visual Basic:

```
Imports System.Data.OleDb
Imports System.Text
Imports Microsoft.Office.Interop
Imports System.Runtime.InteropServices
Imports System.IO
```

De igual manera se debe hacer con Excel y GAMS. Este caso dista de ser sencillo, por lo que se recurre a un ejemplo en [1] incorporando parte de los módulos creados en ese proyecto, adecuando el código a las necesidades del problema que se está resolviendo.

La parte de código que se encarga de ejecutar GAMS viene dada por la llamada a la función GAMSrun, que toma una cadena de texto (String) con los parámetros adicionales que se quiera agregar (e.g. "mip=cplex", que le impone a GAMS usar como solver a CPLEX al resolver el problema MIP), y finalmente toma un archivo GMS correspondiente al modelo a ejecutar.

```
lGAMSRet = GAMSrun(params, sGAMSFile)
```

De igual manera, GAMS se relaciona con Excel a través de su utilidad de intercambio de datos GDX. La herramienta invocada en este caso es GDXXRW, utilidad que permite escribir y leer sobre archivos de datos de Excel. Una de sus características es la posibilidad de escribir datos (variables, parámetros del problema, soluciones, etc.) en un archivo GDX y luego leerlos en él para finalmente importarlos a una hoja de Excel en el rango que se le indique.

```
execute_unload "C:\Algún directorio del ordenador\GDX\identificador_de_mesanina.gdx" Z.L
execute 'gdxxrw.exe "C:\Algún directorio del ordenador\GDX\identificador_de_mesanina.gdx"
O="C:\Algún directorio del ordenador\Mesanina.xlsx" var=Z.L'
```

La declaración *execute_unload* graba un archivo con el nombre que se le especifique (en este caso se le da la ruta y el nombre con el que se guardará el archivo GDX) junto con la variable que se quiere almacenar en el archivo (la variable $Z(i,d,b)$ para el problema). La segunda declaración, *execute*, llama a la herramienta GDXXRW para grabar, desde el archivo GDX previamente guardado, la variable solicitada (variable Z, en $var=Z.L$), en la ruta especificada y el documento especificado, que en este caso es un archivo Excel de nombre "Mesalina.xlsx".

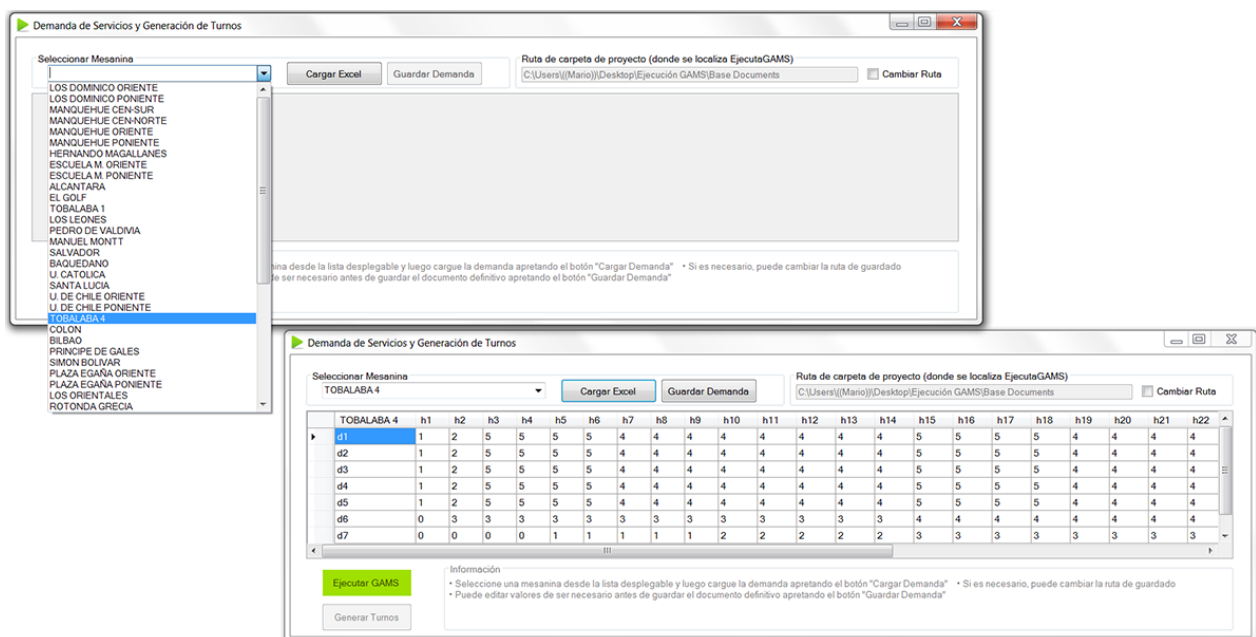
9.4 Ejecución

Se presenta a continuación la ejecución de una programación de manera de mostrar la implementación del programa paso a paso y dar prueba de su capacidad de compatibilizar Microsoft Excel, GAMS y Visual Basic en una única herramienta, ejecutando en segunda plano (no visible al usuario) los programas cuando esto son llamados por las distintas instancias de código elaboradas.

9.4.1 Paso 1

El usuario abre el archivo ejecutable "Generación de Turnos" encontrándose con la interfaz ya presentada.

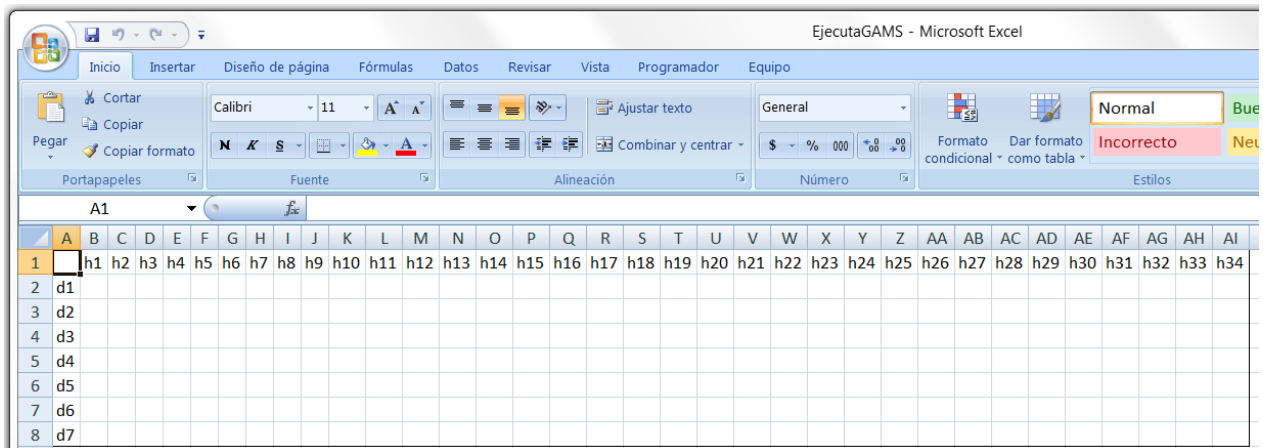
Figura 24.- Programa Generación de Turnos.



9.4.2 Paso 2

El usuario debe cargar los requerimientos de servicio según se ha especificado en el capítulo "Funcionalidades". En este momento el archivo "EjecutaGAMS " tiene en su pestaña demanda las celdas en blanco. Es ahí en donde se guardarán los cambios realizados dentro de la planilla editable del programa.

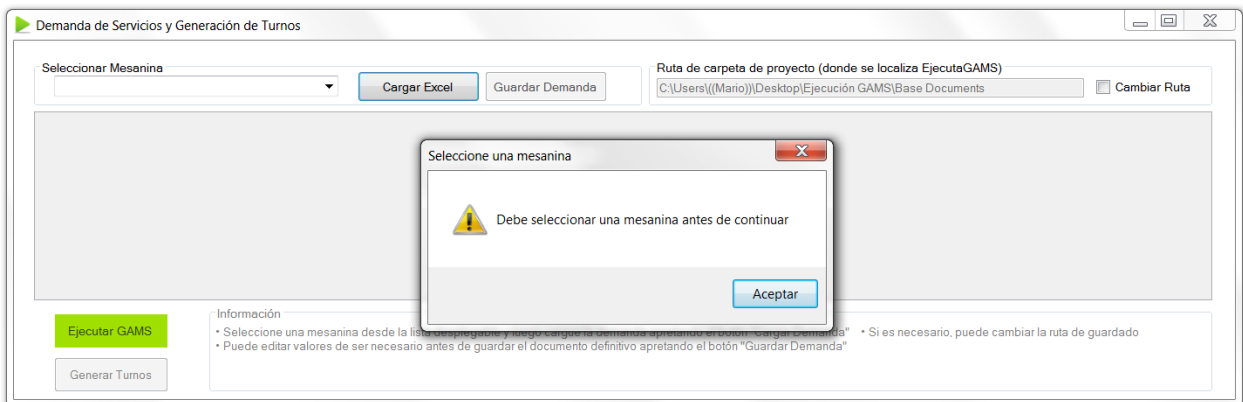
Figura 25.- Hoja demanda sin requerimientos de servicios.



9.4.3 Paso 3

El usuario realizado el volcado de los requerimientos de servicio al archivo "EjecutaGAMS". Para ello debe seleccionar la mesanina desde la lista desplegable. Si no se realiza este paso, el programa se encarga de mostrarle un aviso como muestra la figura siguiente.

Figura 26.- Ventana de error.



Tras guardar los datos, la pestaña demanda del archivo EjecutaGAMS se rellena con los datos provenientes del DataGridView quedando a la espera de la ejecución del modelo en GAMS.

Figura 27.- Solicitud de guardado.

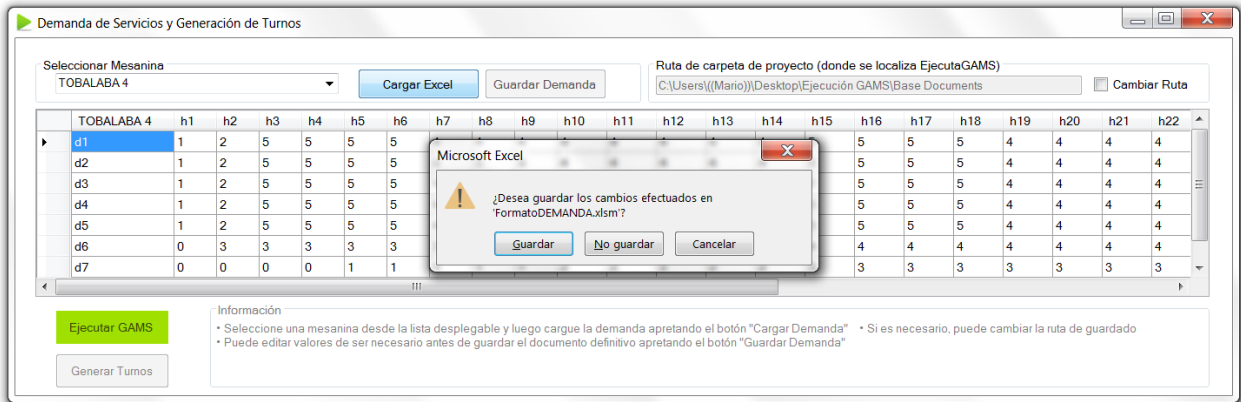


Figura 28.- Hoja demanda con los requerimientos guardados por el programa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	
1		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24	h25	h26	h27	h28	h29	h30	h31	h32	h33	h34	
2	d1	1	2	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6	6	6	6	4	3
3	d2	1	2	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6	6	6	6	4	3
4	d3	1	2	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6	6	6	6	4	3
5	d4	1	2	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6	6	6	6	4	3
6	d5	1	2	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6	6	6	6	4	3
7	d6	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	
8	d7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	0
9																																				

9.4.4 Paso 4

El usuario está en condiciones de ejecutar el modelo. Para comenzar a ejecución debe presionar sobre el botón "Ejecutar GAMS". Hecho lo anterior, se ejecuta una interfaz de Símbolo de Sistema o Windows Command Prompt (cmd.exe), mostrando el avance de la ejecución del programa, bloqueando las características del programa. Una vez terminado se cierra esta interfaz dejando liberado nuevamente el programa.

Figura 29.- Ejecución de GAMS en Command Prompt.

The image shows two overlapping windows. The top window is a Command Prompt titled 'VB GAMS' displaying the output of a GAMS optimization run. The bottom window is a file explorer showing a project folder with a table of data.

Command Prompt Output:

```

MIP status(101): integer optimal solution
Fixing integer variables, and solving final LP...
Parallel mode: opportunistic, using up to 6 threads for concurrent optimization.
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 22399 rows and 56113 columns.
All rows and columns eliminated.
Fixed MIP status(1): optimal
Proven optimal solution.

MIP Solution:          645.000000    (55 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          645.000000    (0 iterations)

Best possible:        645.000000
Absolute gap:         0.000000
Relative gap:         0.000000

--- Restarting execution
--- ModeloIntertecno.gms(183) 4 Mb
--- Reading solution for model intertecno
--- ModeloIntertecno.gms(198) 8 Mb

GDXXRW      Jul  4, 2010 23:51 WIN 18414.18495 US8 x86/MS Windows
Excel version 15.0
Input file : C:\Users\((Mario))\Desktop\Ejecución GAMS\Base Documents\ejecutagm
Output file: C:\Users\((Mario))\Desktop\Ejecución GAMS\Base Documents\ResultadoT
Adding new sheet: Resultado
Type Symbol Dim Sheet Data RowHeader ColHe
Var Z 3 Resultado C2:XF01000000 A2:B1000000 C1:XF
    
```

File Explorer Content:

Ruta de carpeta de proyecto (donde se localiza EjecutaGAMS)
 C:\Users\((Mario))\Desktop\Ejecución GAMS\Base Documents Cambiar Ruta

	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3

Buttons: Ejecutar GAMS, Generar Turnos

Información:

- Seleccione una mesanina desde la lista desplegable y luego cargue la demanda apretando el botón "Cargar Demanda"
- Si es necesario, puede cambiar la ruta de guardado
- Puede editar valores de ser necesario antes de guardar el documento definitivo apretando el botón "Guardar Demanda"

En este punto los datos de la variable $Z(i,d,b)$ son añadidos a la planilla, guardándose en la hoja "Resultados". Acá se concentra la información de cada turno que deberá cumplir el personal resultante de la optimización realizada (recordar que el número de cajeros por mesanina no es parámetro, por lo que es el mismo modelo el que se encarga de determinarlo). La información acá presentada no es amigable a quien desee usarla, ya que si no se conoce la relación entre los tramos horarios y los encabezados de columna, no se puede saber inmediatamente el horario de entrada, de colación y de salida de cada cajero, tornando su cálculo en una actividad tediosa.

Figura 30.- Output de GAMS con la representación de Z(i,d,b).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ			
1			h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24	h25	h26	h27	h28	h29	h30	h31	h32	h33	h34			
2	p1	d6														1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
3	p1	d7														1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	p3	d1																											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	p3	d2																											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	p3	d3																											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	p3	d4																											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	p3	d5																											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	p4	d1																												1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	p4	d2																												1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	p4	d3																												1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12	p4	d4																												1	1	1	1	1	1	1	1	1	
13	p4	d5																												1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	p7	d1				1	1	1	1	1	1	1	1																										
15	p7	d2				1	1	1	1	1	1	1	1																										
16	p7	d3				1	1	1	1	1	1	1	1																										
17	p7	d4				1	1	1	1	1	1	1	1																										
18	p7	d5				1	1	1	1	1	1	1	1																										
19	p8	d6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
20	p8	d7	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
21	p9	d1																									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	p9	d2																									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	p9	d3																									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	p9	d4																									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	p9	d5																									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	p10	d1											1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
27	p10	d2											1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	p10	d3											1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	p10	d4											1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
30	p10	d5											1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
31	p10	d7																																					
32	p11	d1	1	1	1	1	1	1	1	1																				1	1	1	1	1	1	1	1	1	
33	p11	d2	1	1	1	1	1	1	1	1																													
34	p11	d3	1	1	1	1	1	1	1	1																													
35	p11	d4	1	1	1	1	1	1	1	1																													

9.4.5 Paso 5

Como último paso, el usuario puede transformar la información de la pestaña "Resultado" del documento Excel "EjecutaGAMS" en los turnos de cada individuo en formato "día / hora de inicio del turno / hora de fin del turno / hora de salida a colación (si la tiene)". Para obtener tal resultado solo basta con recurrir al último botón, llamado "Generar Turnos". Los resultados obtenidos de esta última ejecución serán aquellos con los cuales el Operador organizará su personal de caja para satisfacer la demanda de servicios de Metro. Dicha información será el *input* para la planilla de personal que servirá de base de asignación.

Figura 31.- Edición del *output* presentado en formato directo para ser ingresado a planilla "Asignación de Personal"

	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1			HORA INICIO	HORA FIN	COLACIÓN	CONTRATO	
2		d1	18:45	22:45		PT semana	p3
3		d1	19:15	23:15		PT semana	p4
4		d1	7:15	11:15		PT semana	p7
5		d1	16:45	20:45		PT semana	p9
6		d1	10:45	19:15	15:30	FT 6x1	p10
7		d1	5:45	9:45		PT semana	p11
8		d1	14:15	22:45	19:00	FT 6x1	p13
9		d1	17:15	21:15		PT semana	p15
10							
11		d2	18:45	22:45		PT semana	p3
12		d2	19:15	23:15		PT semana	p4
13		d2	7:15	11:15		PT semana	p7
14		d2	16:45	20:45		PT semana	p9
15		d2	10:45	19:15	15:30	FT 6x1	p10
16		d2	5:45	9:45		PT semana	p11
17		d2	14:15	22:45	19:00	FT 6x1	p13
18		d2	17:15	21:15		PT semana	p15
19							
20		d3	18:45	22:45		PT semana	p3
21		d3	19:15	23:15		PT semana	p4
22		d3	7:15	11:15		PT semana	p7
23		d3	16:45	20:45		PT semana	p9
24		d3	10:45	19:15	15:30	FT 6x1	p10
25		d3	5:45	9:45		PT semana	p11
26		d3	14:15	22:45	19:00	FT 6x1	p13
27		d3	17:15	21:15		PT semana	p15
28							
29		d4	18:45	22:45		PT semana	p3
30		d4	19:15	23:15		PT semana	p4
31		d4	7:15	11:15		PT semana	p7
32		d4	16:45	20:45		PT semana	p9
33		d4	10:45	19:15	15:30	FT 6x1	p10
34		d4	5:45	9:45		PT semana	p11
35		d4	14:15	22:45	19:00	FT 6x1	p13

10. Conclusiones

En este trabajo de título se logra formular un modelo de programación de turnos para el horizonte de una semana como para un mes completo, capaces de generar una nueva configuración de contratos y de número de personal requerido para implementar este modelo como una opción real.

Se logra cumplir con la presentación de un set de herramientas computacionales. Se disminuye el tiempo de generación de la planilla de demandas de servicio enviada por Metro al Operador de casi dos horas a solo fracción de segundos. De igual manera se genera un programa capaz de controlar la ejecución de GAMS y del modelo, con la complejidad que esto representa. Se formula una conexión exitosa entre el programa y Microsoft Excel a través del entorno de programación proporcionado por Visual Studio 2010 y el lenguaje de programación Visual Basic. El beneficio de esta entrega como parte del proyecto, radica en la libertad de acción en la que posiciona al Operador para designar al responsable de la operación y la generación de turnos utilizando el programa. La interfaz simplista y amigable hace posible que cualquier persona que no posea conocimientos previos sobre programación en VBS de Excel o en GAMS, pueda hacer uso de estos programas para cumplir con la tarea encomendada de programación.

Se proporciona el complemento al programa para la función de Asignación posterior a la entrega de la programación de turnos. El resultado de este desarrollo complementario permite una fluidez en el proceso y la incorporación de tecnologías de la información (TI) en la operación.

El modelo para el mes completo resultó efectivo en el cumplimiento de las restricciones, pero deficiente en los tiempos de ejecución, causando en el Operador cierto malestar por verse de cierta manera dependiente de lo que la ejecución demore para poder generar una programación total en tiempo razonable.

Situación contraria presentó la variante corta de una semana, la cual presenta tiempos muy cortos de ejecución, pero falla en la incorporación de ciertas restricciones que por el horizonte temporal de programación resultan imposibles de incorporar de primera fuente, siendo necesario un proceso posterior de edición de los datos de manera tal que cumplan con las restricciones en su totalidad.

El resultado tras la comparación del modelo con la situación real del mes de Junio resultó consecuente con el cambio en la proporción y la cantidad de cajeros de cada tipo distinto. Se disminuye en cajeros *full-time*, quienes aportan con mayor número de HH por mes y con un costo por sueldo mayor al *part-time*, y se aumenta en estos últimos, lo que hace posible tener una configuración final en la que con un número mayor de personal se es más eficiente en el ajuste de la oferta de HH con la demanda y se obtiene un beneficio mínimo superior a los 9 millones.

El análisis de escenarios podría haber ido más lejos, sin embargo existen variables ajenas al modelo que hacen inviable ciertas situaciones. Si se planea conscientemente en implementar este modelo, no resulta válido asumir que de un momento a otro se de vuelta la proporción de tipo de contratos para caer dentro de los rangos del modelo. Para esto se hace necesario determinar una situación base como la presentada en este trabajo.

10.1 Trabajos futuros

Considerando los tiempos de este proyecto se plantea la opción de modelar el sistema completo, considerando las ecuaciones propuestas que flexibilizan en parte las exigencias del inicio de la jornada laboral para cada contrato.

Si bien el modelo se ajusta a las necesidades operacionales impuestas por el Operador, ya sea en proporción de contratos, disminución de HE y simplicidad en el uso, se propone considerar mejoras en la programación que contemplen menores tiempos, de manera tal de incorporar algún tipo de heurística enfocada al problema acá expuesto.

Bibliografía

- [1] B. A. McCarl, «McCarl GAMS User Guide,» Texas A&M University, 2012. Disponible en: <http://www.gams.com/mccarl/mccarlhtml/index.html>
- [2] G. B. Dantzig, «A Comment on Edie's Traffic Delays at Toll Booths,» Operational Research, vol. II, pp. 339 - 341, 1954.
- [3] R. Barrera Tuteleers, «Diseño de un Modelo de Optimización de Turnos para Cajeros,» de Memoria de Título, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2011.
- [4] R. Burns y M. Carter, «Work force size and single shift schedules with variable demands,» Management Science, vol. XXXI, pp. 599 - 607, 1985.
- [5] R. Barták y M. Milano, «Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems,» de Second International Conference, CPAIOR, Praga, República Checa, 2005.
- [6] A. Corominas, R. Pastor y E. Rodríguez, «Asignación temporalizada de tareas al personal de un centro de servicios,» de V Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid - Burgos, 2003.
- [7] A. Ernst et al, «Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models,» European Journal of Operational Research, vol. 153, n° 1, pp. 3 - 27, 2004.
- [8] F. Glover y C. McMillan, «The General Employee Scheduling Problem: An integration of MS and AI,» Computers & Operations Research, vol. XIII, p. 563 - 573, 1986.
- [9] A. Meisels, E. Gudes y G. Solotorevsky, «Combining rules and constraints for Employee Timetabling,» International Journal on Intelligence Systems, vol. XXII, n° 6, pp. 419 - 439, 1997.

- [10] E. T. Metro S.A., «Especificaciones técnicas Licitación Proceso de "Comercialización y Venta de Especies Valoradas y Cupos de Transporte en la Red de Metro S.A.",» Santiago, 2012.
- [11] J. Miranda, P. A. Rey, A. Sauré, R. Weber, C. Montecino y J. Mosquera, «Sistema de Gestión de Personal para el Canal de Ventas de Metro S.A.,» Revista Ingeniería de Sistemas, vol. XXII, pp. 5 - 30, 2008.
- [12] Soporte de Microsoft, «Cómo transferir datos a un libro de Excel utilizando Visual Basic .NET,» 17 Enero 2007. [En línea]. Available: <http://support.microsoft.com/kb/306022>. [Último acceso: 4 Noviembre 2012].
- [13] Soporte de Microsoft, «Métodos para transferir datos a Excel desde Visual Basic,» 22 Mayo 2007. [En línea]. Disponible: <http://support.microsoft.com/kb/247412/es>. [Último acceso: 4 Noviembre 2012].
- [14] Universidad de Sevilla, «Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial,» 25 Septiembre 2006. [En línea]. Disponible: www.cs.us.es/cursos/ai-2005/VB/VB.pdf. [Último acceso: 12 Octubre 2012].

Anexos

Anexo A - Modelo para una semana

```
*****
$title                               UNA MESANINA - 7 DIAS - 4 CONTRATOS
*****
option limcol=0, limrow=0, solprint=off;

sets
b 'horario'      /h1*h34/
d 'dia'          /d1*d7/
i 'persona'     /p1*p16/
week(d)         /d1*d5/
finde(d)        /d6,d7/
r(d)            /d1*d6/
rr(d)           dia domingo
f(d)            sin sabado
;

rr(d) = not r(d);
f(d) = week(d) + rr(d);

parameter dda(d,b);

$call 'Gdxrw EjecutaGAMS.xlsm SE=0 trace=2 index=Input!a1'
$gdxin ejecutagams.gdx
$load dda
$gdxin

*****
binary variables

full1(i,b)      si la persona i tiene contrato full time 5x2 en horario t
*****
full2(i,b)      si la persona i tiene contrato full time 6x1 sabado en horario t
*****
full3(i,b)      si la persona i tiene contrato full time 6x1 domingo en horario t
*****
part2(i,b)      si la persona i tiene contrato part time ds-df en horario t
part3(i,b)      si la persona i tiene contrato part time dl-mmj-dv en horario t
*****
pf5(i)
pf6s(i)
pf6d(i)
pps(i)
ppf(i)
*****
ft11(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 1 en dia d y en horario t
ft12(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 2 en dia d y en horario t
ft13(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 3 en dia d y en horario t
*****
ft21(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 sabado tipo 1 en dia d y en horario t
ft22(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 sabado tipo 2 en dia d y en horario t
ft23(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 sabado tipo 3 en dia d y en horario t
*****
ft31(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 domingo tipo 1 en dia d y en horario t
ft32(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 domingo tipo 2 en dia d y en horario t
ft33(i,d,b)     si la persona i empieza un turno full time 6x1 domingo tipo 3 en dia d y en horario t
*****
pt21(i,d,b)     si la persona i empieza un turno part time ds-df tipo 1 en dia d y en horario t
pt22(i,d,b)     si la persona i empieza un turno part time ds-df tipo 2 en dia d y en horario t
pt23(i,d,b)     si la persona i empieza un turno part time ds-df tipo 3 en dia d y en horario t

pt3(i,d,b)      si la persona i empieza un turno part time dl-mmj-dv en dia d y en horario t

*****
z(i,d,b)        si la persona i trabaja en horario t

;
*****
free variables

fobj            funcion objetivo
;
```

```

*****
equations

funcion_objetivo          funcion_objetivo
validar_turnos(i,d)       una persona empieza a lo mas una vez un turno al dia
validar_contrato(i)       una persona tiene a lo mas un contrato
cumplir_dda(d,b)         cumplir demanda de servicios
relleno_hora(i,d,b)      rellenar con 1 o 0 los horarios en que trabaja full i
definirz(i,d)            definir la suma de zetas segun contrato

contrato_ft1_d1(i,d,b)    definir si en d1 trabaja en el contrato ft1 semana
contrato_ft1_d2(i,d,b)    definir si en d2 trabaja en el contrato ft1 din de semana

contrato_ft2_d1(i,d,b)    definir si en d1 trabaja en el contrato ft2 semana
contrato_ft2_ds(i)        definir si en d2 trabaja en el contrato ft2
contrato_ft2_d2(i,b)      definir si en d2 trabaja en el contrato ft2
eq1(i)

contrato_ft3_d1(i,d,b)    definir si en d1 trabaja en el contrato ft3
contrato_ft3_d2(i,b)      definir si en d2 trabaja en el contrato ft3
contrato_ft3_df(i)        definir si en d2 trabaja en el contrato ft3
eq2(i)

contrato_pt2_d1(i,d,b)    definir si en dia d1 trabaja el contrato pt2
contrato_pt2_d2(i,d,b)    definir si en dia d2 trabaja el contrato pt2

contrato_pt3_d1(i,d,b)    definir si en dia d1 trabaja el contrato pt3
contrato_pt3_d2(i,d,b)    definir si en dia d2 trabaja el contrato pt3

infac_pf5(i,d)
infac_pf6s(i,d)
infac_pf6d(i,d)
infac_ppf(i,d)
infac_pps(i,d)

r_pf5(i)
r_pf6s(i)
r_pf6d(i)
r_ppf(i)
r_pps(i)

eq3(i)
eq4(i)
eq5(i)

;
*****

funcion_objetivo..      fobj =e= sum((i,b), 45*full1(i,b) + 45*full2(i,b) + 45*full3(i,b) + 20*part2(i,b) +
20*part3(i,b));

validar_contrato(i)..   sum(b, full1(i,b) + full2(i,b) + full3(i,b) + part2(i,b) + part3(i,b)) =1= 1 ;

*****

contrato_ft1_d1(i,d,b)$week(d)..      full1(i,b) =e= ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b);
contrato_ft1_d2(i,d,b)$finde(d)..     0 =e= ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b);
r_pf5(i)..                             pf5(i) =e= sum(b, full1(i,b));
infac_pf5(i,d)$week(d)..              sum(b$(ord(b) ge 17), ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b)) =e= 0;

contrato_ft2_d1(i,d,b)$week(d)..      full2(i,b) =e= ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b);
contrato_ft2_ds(i)..                  sum(b, full2(i,b)) =e= sum(b$(ord(b) ge 2), ft21(i,'d6',b)
+ ft22(i,'d6',b) + ft23(i,'d6',b));
contrato_ft2_d2(i,b)..                0 =e= ft21(i,'d7',b) + ft22(i,'d7',b) + ft23(i,'d7',b);
eq1(i)..                              0 =e= ft21(i,'d6','h1') + ft22(i,'d6','h1') + ft23(i,'d6','h1');
r_pf6s(i)..                           pf6s(i) =e= sum(b, full2(i,b));
infac_pf6s(i,d)$week(d)..             sum(b$(ord(b) ge 20), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b)) =e= 0;

contrato_ft3_d1(i,d,b)$week(d)..      full3(i,b) =e= ft31(i,d,b) + ft32(i,d,b) + ft33(i,d,b);
contrato_ft3_d2(i,b)..                0 =e= ft31(i,'d6',b) + ft32(i,'d6',b) + ft33(i,'d6',b);
contrato_ft3_df(i)..                  sum(b, full3(i,b)) =e= sum(b$(ord(b) ge 5), ft31(i,'d7',b)
+ ft32(i,'d7',b) + ft33(i,'d7',b));
eq2(i)..                              0 =e= ft31(i,'d7','h1') + ft32(i,'d7','h1') + ft33(i,'d7','h1')
+ ft31(i,'d7','h2') + ft32(i,'d7','h2') + ft33(i,'d7','h2')
+ ft31(i,'d7','h3') + ft32(i,'d7','h3') + ft33(i,'d7','h3')
+ ft31(i,'d7','h4') + ft32(i,'d7','h4') + ft33(i,'d7','h4');

```

```

r_pf6d(i)..          pf6d(i) =e= sum(b, full13(i,b));
infac_pf6d(i,d)$week(d).. sum(b$(ord(b) ge 20), ft31(i,d,b) + ft32(i,d,b) + ft33(i,d,b)) =e= 0;

contrato_pt2_d1(i,d,b)$week(d).. 0 =e= pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b);
contrato_pt2_d2(i,d,b)$finde(d).. part2(i,b) =e= pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b);
r_ppf(i)..          pps(i) =e= sum(b, part2(i,b));
infac_ppf(i,d)$finde(d).. sum(b$(ord(b) ge 15), pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b)) =e= 0;
eq3(i)..          0 =e= pt21(i,'d6','h1') + pt22(i,'d6','h1') + pt23(i,'d6','h1');
eq4(i)..          0 =e= pt21(i,'d7','h1') + pt22(i,'d7','h1') + pt23(i,'d7','h1')
                    + pt21(i,'d7','h2') + pt22(i,'d7','h2') + pt23(i,'d7','h2')
                    + pt21(i,'d7','h3') + pt22(i,'d7','h3') + pt23(i,'d7','h3')
                    + pt21(i,'d7','h4') + pt22(i,'d7','h4') + pt23(i,'d7','h4');

contrato_pt3_d1(i,d,b)$week(d).. part3(i,b) =e= pt3(i,d,b);
contrato_pt3_d2(i,d,b)$finde(d).. 0 =e= pt3(i,d,b);
r_pps(i)..          ppf(i) =e= sum(b, part3(i,b));
infac_pps(i,d)$week(d).. sum(b$(ord(b) ge 29), pt3(i,d,b)) =e= 0;

eq5(i)..          pf5(i) + pf6s(i) + pf6d(i) + pps(i) + ppf(i) =1= 1;

*****

validar_turnos(i,d).. sum(b, ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b) +
                    ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b) +
                    ft31(i,d,b) + ft32(i,d,b) + ft33(i,d,b) +
                    pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b) +
                    pt3(i,d,b)) =1= 1 ;

cumplir_dda(d,b).. sum(i,z(i,d,b)) =g= dda(d,b);

relleno_hora(i,d,b).. z(i,d,b) =e= ft11(i,d,b) + ft11(i,d,b-1) + ft11(i,d,b-2) + ft11(i,d,b-3)
+ ft11(i,d,b-4) + ft11(i,d,b-5) + ft11(i,d,b-6) + ft11(i,d,b-9) + ft11(i,d,b-10) + ft11(i,d,b-11)
+ ft11(i,d,b-12) + ft11(i,d,b-13)+ ft11(i,d,b-14) + ft11(i,d,b-15) + ft11(i,d,b-16) + ft11(i,d,b-17)
+ ft11(i,d,b-18)
+ ft12(i,d,b) + ft12(i,d,b-1) + ft12(i,d,b-2) + ft12(i,d,b-3) + ft12(i,d,b-4) + ft12(i,d,b-5) + ft12(i,d,b-6)
+ ft12(i,d,b-7) + ft12(i,d,b-10) + ft12(i,d,b-11) + ft12(i,d,b-12) + ft12(i,d,b-13)+ ft12(i,d,b-14)
+ ft12(i,d,b-15) + ft12(i,d,b-16) + ft12(i,d,b-17) + ft12(i,d,b-18)
+ ft13(i,d,b) + ft13(i,d,b-1) + ft13(i,d,b-2) + ft13(i,d,b-3) + ft13(i,d,b-4) + ft13(i,d,b-5) + ft13(i,d,b-6)
+ ft13(i,d,b-7) + ft13(i,d,b-8) + ft13(i,d,b-11) + ft13(i,d,b-12) + ft13(i,d,b-13)+ ft13(i,d,b-14)
+ ft13(i,d,b-15) + ft13(i,d,b-16) + ft13(i,d,b-17) + ft13(i,d,b-18)
+ ft21(i,d,b) + ft21(i,d,b-1) + ft21(i,d,b-2) + ft21(i,d,b-3) + ft21(i,d,b-4) + ft21(i,d,b-5) + ft21(i,d,b-8)
+ ft21(i,d,b-9) + ft21(i,d,b-10) + ft21(i,d,b-11) + ft21(i,d,b-12) + ft21(i,d,b-13) + ft21(i,d,b-14)
+ ft21(i,d,b-15)
+ ft22(i,d,b) + ft22(i,d,b-1) + ft22(i,d,b-2) + ft22(i,d,b-3) + ft22(i,d,b-4) + ft22(i,d,b-5) + ft22(i,d,b-6)
+ ft22(i,d,b-9) + ft22(i,d,b-10) + ft22(i,d,b-11) + ft22(i,d,b-12) + ft22(i,d,b-13) + ft22(i,d,b-14)
+ ft22(i,d,b-15)
+ ft23(i,d,b) + ft23(i,d,b-1) + ft23(i,d,b-2) + ft23(i,d,b-3) + ft23(i,d,b-4) + ft23(i,d,b-5) + ft23(i,d,b-6)
+ ft23(i,d,b-7) + ft23(i,d,b-10) + ft23(i,d,b-11) + ft23(i,d,b-12) + ft23(i,d,b-13)+ ft23(i,d,b-14)
+ ft23(i,d,b-15)
+ ft31(i,d,b) + ft31(i,d,b-1) + ft31(i,d,b-2) + ft31(i,d,b-3) + ft31(i,d,b-4) + ft31(i,d,b-5) + ft31(i,d,b-8)
+ ft31(i,d,b-9) + ft31(i,d,b-10) + ft31(i,d,b-11) + ft31(i,d,b-12) + ft31(i,d,b-13) + ft31(i,d,b-14)
+ ft31(i,d,b-15)
+ ft32(i,d,b) + ft32(i,d,b-1) + ft32(i,d,b-2) + ft32(i,d,b-3) + ft32(i,d,b-4) + ft32(i,d,b-5) + ft32(i,d,b-6)
+ ft32(i,d,b-9) + ft32(i,d,b-10) + ft32(i,d,b-11) + ft32(i,d,b-12) + ft32(i,d,b-13) + ft32(i,d,b-14)
+ ft32(i,d,b-15)
+ ft33(i,d,b) + ft33(i,d,b-1) + ft33(i,d,b-2) + ft33(i,d,b-3) + ft33(i,d,b-4) + ft33(i,d,b-5) + ft33(i,d,b-6)
+ ft33(i,d,b-7) + ft33(i,d,b-10) + ft33(i,d,b-11) + ft33(i,d,b-12) + ft33(i,d,b-13)+ ft33(i,d,b-14)
+ ft33(i,d,b-15)
+ pt21(i,d,b) + pt21(i,d,b-1) + pt21(i,d,b-2) + pt21(i,d,b-3) + pt21(i,d,b-4) + pt21(i,d,b-5) + pt21(i,d,b-6)
+ pt21(i,d,b-9) + pt21(i,d,b-10) + pt21(i,d,b-11) + pt21(i,d,b-12) + pt21(i,d,b-13)+ pt21(i,d,b-14)
+ pt21(i,d,b-15) + pt21(i,d,b-16) + pt21(i,d,b-17) + pt21(i,d,b-18) + pt21(i,d,b-19) + pt21(i,d,b-20)
+ pt22(i,d,b) + pt22(i,d,b-1) + pt22(i,d,b-2) + pt22(i,d,b-3) + pt22(i,d,b-4) + pt22(i,d,b-5) + pt22(i,d,b-6)
+ pt22(i,d,b-7) + pt22(i,d,b-10) + pt22(i,d,b-11) + pt22(i,d,b-12) + pt22(i,d,b-13)+ pt22(i,d,b-14)
+ pt22(i,d,b-15) + pt22(i,d,b-16) + pt22(i,d,b-17) + pt22(i,d,b-18) + pt22(i,d,b-19) + pt22(i,d,b-20)
+ pt23(i,d,b) + pt23(i,d,b-1) + pt23(i,d,b-2) + pt23(i,d,b-3) + pt23(i,d,b-4) + pt23(i,d,b-5) + pt23(i,d,b-6)
+ pt23(i,d,b-7) + pt23(i,d,b-8) + pt23(i,d,b-11) + pt23(i,d,b-12) + pt23(i,d,b-13)+ pt23(i,d,b-14)
+ pt23(i,d,b-15) + pt23(i,d,b-16) + pt23(i,d,b-17) + pt23(i,d,b-18) + pt23(i,d,b-19) + pt23(i,d,b-20)
+ pt3(i,d,b) + pt3(i,d,b-1) + pt3(i,d,b-2) + pt3(i,d,b-3) + pt3(i,d,b-4) + pt3(i,d,b-5) + pt3(i,d,b-6);

definirz(i,d).. sum(b,z(i,d,b)) =e= sum(b, 17*(ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b)) +
                    14*(ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b) + ft21(i,d,b)) +
                    14*(ft32(i,d,b) + ft33(i,d,b) + ft31(i,d,b)) +
                    19*(pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b)) +
                    7*pt3(i,d,b) );

```

```

*****
model intertecnno /all/;
intertecno.reslim = 3600;
intertecno.OptFile=1;
solve intertecnno using mip minimizing fobj;

$onecho > cplex.opt
threads -2
epgap 0.05
$offecho

display full1.1,full2.1,full3.1,part2.1,part3.1,z.1;

parameter misc(*);
misc("objetivo")=fobj.l;
misc("modelstat")=intertecno.modelstat;

execute_unload 'ejecutagams.gdx' ,Z.L, misc;
execute 'gdxxrw.exe ejecutagams.gdx O="C:\Users\((Mario))\Desktop\GAMS Modelos\GAMS\EjecutaGAMS.xlsm" zeroout=0
trace=2 var=Z.L rng=Resultado!A1'

execute 'gdxxrw.exe ejecutagams.gdx O="C:\Users\((Mario))\Desktop\GAMS Modelos\GAMS\EjecutaGAMS.xlsm" zeroout=0
trace=2 par=misc rng=Input!A4'

*****

```

Anexo B - Modelo para el mes completo

```

*****
$title          UNA MESANINA - 1 MES - 4 CONTRATOS - Estación BILBAO -
*****

option limrow=0, limcol=0, solprint=off;

sets
b 'horario'      /h1*h34/
d 'dia'          /d1*d28/
i 'persona'     /p1*p20/
week(d)         /d1*d5,d8*d12,d15*d19,d22*d26/
finde(d)        /d6,d7,d13,d14,d20,d21,d27,d28/

ds(d)           /d6,d13,d20,d27/
dd(d)           /d7,d14,d21,d28/
w1(d)           /d1,d2,d3,d4,d5/
w2(d)           /d8,d9,d11,d12/
w3(d)           /d15,d16,d18,d19/
w4(d)           /d22,d23,d25,d26/

ww(d)
semana1(d)      /d1*d7/
semana2(d)      /d8*d14/
semana3(d)      /d15*d21/
semana4(d)      /d22*d28/

alias(b,bb)
;
ww(d)=w1(d)+w2(d)+w3(d)+w4(d);

parameter ID(b);
ID(b)=ord(b);

Table P(d,b) demanda de servicios metro

*** acá se copia a mano la tabla o se llama desde su ubicación ***
:

binary variables

full1(i,b)      si la persona i tiene contrato full time 5x2 en horario b
*****
full2(i,b)      si la persona i tiene contrato full time 6x1 en horario b
*****
M2(i,b)
D1(i,b)
S2(i,b)
M3(i,b)
D2(i,b)
S3(i,b)
M4(i,b)
D3(i,b)
S4(i,b)
*****
ft21(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 6x1 tipo 1 en dia d y en horario b
ft22(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 6x1 tipo 2 en dia d y en horario b
ft23(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 6x1 tipo 3 en dia d y en horario b
*****
part2(i,b)     si la persona i tiene contrato part time fin de semana en horario b
*****
part3(i,b)
pt3(i,d,b)
*****

```

```

pf5(i)
pf6(i)
ppf(i)
pps(i)
*****
ft11(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 1 en dia d y en horario b
ft12(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 2 en dia d y en horario b
ft13(i,d,b)    si la persona i empieza un turno full time 5x2 tipo 3 en dia d y en horario b
*****
pt21(i,d,b)    si la persona i empieza un turno part time fin de semana tipo 1 en dia d y en
horario b
pt22(i,d,b)    si la persona i empieza un turno part time fin de semana tipo 2 en dia d y en
horario b
pt23(i,d,b)    si la persona i empieza un turno part time fin de semana tipo 3 en dia d y en
horario b
*****
z(i,d,b)       si la persona i trabaja en horario b
;

free variables
fobj           funcion objetivo
;

```

```

***** ECUACIONES DEL MODELO *****
*****

```

equations

```

funcion_objetivo           funcion objetivo
validar_turnos(i,d)        una persona empieza a lo mas una vez un turno al dia
validar_contrato(i)        una persona tiene a lo mas un contrato
cumplir_dda(d,b)           cumplir demanda de servicios
relleno_hora(i,d,b)        rellenar con 1 o 0 los horarios en que trabaja full i
definirz(i,d)              definir la suma de zetas segun contrato

contrato_ft1_d1(i,d,b)     definir si en semana trabaja en el contrato ft1
contrato_ft1_d2(i,d,b)     definir si en fin de semana trabaja en el contrato ft1

contrato_pt2_d1(i,d,b)     definir si en dia semana trabaja el contrato pt2
contrato_pt2_d2(i,d)       definir si en dia fin de semana trabaja el contrato pt2

```

```

*****

```

```

contrato_ft2_d1(i,d,b)

```

```

contrato_ft2_d21(i,b)
contrato_ft2_d22(i,b)
contrato_ft2_d23(i,b)
contrato_ft2_d24(i,b)
contrato_ft2_d25(i,b)
contrato_ft2_d26(i,b)
contrato_ft2_d27(i,b)
contrato_ft2_d28(i,b)
contrato_ft2_d29(i,b)

```

```

contrato_ft2_d31(i)
contrato_ft2_d311(i)
contrato_ft2_d32(i,b)
contrato_ft2_d33(i)
contrato_ft2_d331(i)
contrato_ft2_d34(i,b)
contrato_ft2_d35(i)
contrato_ft2_d36(i,b)
contrato_ft2_d37(i)

```

```

contrato_ft2_d41(i)
contrato_ft2_d42(i)

```

```

contrato_ft2_d43(i)
*contrato_ft2_d44(i)
*contrato_ft2_d45(i,b)

contrato_pt3_d1(i,d,b)
contrato_pt3_d2(i,d,b)

ssl(i)
ss2(i)
ss3(i)
ss4(i)
ss4l(i)

res1(i)
res2(i)

res4(i)

*****
r_pf5(i)
r_ppf(i)
r_pf6(i)
r_pps(i)

eq3(i)
eq4(i)
eq5(i)
;

***** RESTRICCIONES *****
*****

funcion_objetivo..      fobj =e= sum((i,b), 1.92*full1(i,b) + 1.92*full2(i,b) + part2(i,b) +
part3(i,b));
*fucion_objetivo..      fobj =e= sum((d,b), down(d,b) - up(d,b));

validar_contrato(i)..   sum(b, full1(i,b) + full2(i,b) + part2(i,b) + part3(i,b)) =l= 1 ;

*****
* CONTRATO 5x2

contrato_ft1_d1(i,d,b)$(week(d))..      full1(i,b) =e= ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b);
contrato_ft1_d2(i,d,b)$(finde(d))..      0 =e= ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b);
r_pf5(i)..                               pf5(i) =e= sum(b, full1(i,b));

*****
* CONTRATO 6X1

contrato_ft2_d1(i,d,b)$(ww(d))..          full2(i,b) =e= ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b);

contrato_ft2_d21(i,b)..                    ft21(i,'d10',b) + ft22(i,'d10',b) + ft23(i,'d10',b) =e=
M2(i,b);
contrato_ft2_d22(i,b)..                    ft21(i,'d7',b) + ft22(i,'d7',b) + ft23(i,'d7',b) =e=
D1(i,b);
contrato_ft2_d23(i,b)..                    ft21(i,'d13',b) + ft22(i,'d13',b) + ft23(i,'d13',b) =e=
S2(i,b);
contrato_ft2_d24(i,b)..                    ft21(i,'d17',b) + ft22(i,'d17',b) + ft23(i,'d17',b) =e=
M3(i,b);
contrato_ft2_d25(i,b)..                    ft21(i,'d14',b) + ft22(i,'d14',b) + ft23(i,'d14',b) =e=
D2(i,b);
contrato_ft2_d26(i,b)..                    ft21(i,'d20',b) + ft22(i,'d20',b) + ft23(i,'d20',b) =e=
S3(i,b);
contrato_ft2_d27(i,b)..                    ft21(i,'d24',b) + ft22(i,'d24',b) + ft23(i,'d24',b) =e=
M4(i,b);

```

```

contrato_ft2_d28(i,b)..          ft21(i,'d21',b) + ft22(i,'d21',b) + ft23(i,'d21',b) =e=
D3(i,b);
contrato_ft2_d29(i,b)..          ft21(i,'d27',b) + ft22(i,'d27',b) + ft23(i,'d27',b) =e=
S4(i,b);

contrato_ft2_d31(i)..            sum(b, D1(i,b) + M2(i,b) + S2(i,b)) =l= 2*sum(b, full2(i,b));
contrato_ft2_d311(i)..          sum(b, M2(i,b) + S2(i,b)) =g= sum(b, full2(i,b));
contrato_ft2_d32(i,b)..          M2(i,b) =l= full2(i,b);
contrato_ft2_d33(i)..            sum(b, D2(i,b) + M3(i,b) + S3(i,b)) =l= 2*sum(b, full2(i,b));
contrato_ft2_d331(i)..          sum(b, M3(i,b) + S3(i,b)) =g= sum(b, full2(i,b));
contrato_ft2_d34(i,b)..          M3(i,b) =l= full2(i,b);
contrato_ft2_d35(i)..            sum(b, D3(i,b) + M4(i,b)) =e= sum(b, full2(i,b));
contrato_ft2_d36(i,b)..          M4(i,b) =l= full2(i,b);
contrato_ft2_d37(i)..            sum(b, S4(i,b)) =e= sum(b, full2(i,b));

contrato_ft2_d41(i)..            sum(b, full2(i,b)) =e= sum(b, ft21(i,'d6',b) + ft22(i,'d6',b)
                                + ft23(i,'d6',b) + ft21(i,'d7',b) + ft22(i,'d7',b)
                                + ft23(i,'d7',b));
contrato_ft2_d42(i)..            sum(b, full2(i,b)) =e= sum(b, ft21(i,'d13',b) + ft22(i,'d13',b)
                                + ft23(i,'d13',b) + ft21(i,'d14',b) + ft22(i,'d14',b)
                                + ft23(i,'d14',b));
contrato_ft2_d43(i)..            sum(b, full2(i,b)) =e= sum(b, ft21(i,'d20',b)
                                + ft22(i,'d20',b) + ft23(i,'d20',b) + ft21(i,'d21',b)
                                + ft22(i,'d21',b) + ft23(i,'d21',b));
*contrato_ft2_d44(i)..          sum(b, full2(i,b)) =e= sum(b, ft21(i,'d27',b) + ft22(i,'d27',b)
                                + ft23(i,'d27',b) + ft21(i,'d28',b) + ft22(i,'d28',b)
                                + ft23(i,'d28',b));
*contrato_ft2_d45(i,b)..        0 =e= ft21(i,'d28',b) + ft22(i,'d28',b) + ft23(i,'d28',b);

ss1(i)..                          5*sum(b, full2(i,b)) =l= sum((b,d)$(semana1(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b)
                                + ft23(i,d,b));
ss2(i)..                          5*sum(b, full2(i,b)) =l= sum((b,d)$(semana2(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b)
                                + ft23(i,d,b));
ss3(i)..                          5*sum(b, full2(i,b)) =l= sum((b,d)$(semana3(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b)
                                + ft23(i,d,b));
ss4(i)..                          5*sum(b, full2(i,b)) =l= sum((b,d)$(semana4(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b)
                                + ft23(i,d,b));
ss41(i)..                         6*sum(b, full2(i,b)) =g= sum((b,d)$(semana4(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b)
                                + ft23(i,d,b));

res1(i)..                          0 =e= ft21(i,'d6','h1') + ft22(i,'d6','h1') + ft23(i,'d6','h1')
                                + ft21(i,'d13','h1') + ft22(i,'d13','h1') + ft23(i,'d13','h1')
                                + ft21(i,'d20','h1') + ft22(i,'d20','h1') + ft23(i,'d20','h1')
                                + ft21(i,'d27','h1') + ft22(i,'d27','h1') + ft23(i,'d27','h1');

res2(i)..                          0 =e= sum(d$(dd(d)), ft21(i,d,'h1') + ft22(i,d,'h1') + ft23(i,d,'h1')
                                + ft21(i,d,'h2') + ft22(i,d,'h2') + ft23(i,d,'h2')
                                + ft21(i,d,'h3') + ft22(i,d,'h3') + ft23(i,d,'h3')
                                + ft21(i,d,'h4') + ft22(i,d,'h4') + ft23(i,d,'h4'));

res4(i)..                          sum((b,d)$(dd(d)), ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b)) =l= 2*sum(b, full2(i,b));

r_pf6(i).. pf6(i) =e= sum(b, full2(i,b));

*****
* CONTRATO PT fin de semana

contrato_pt2_d1(i,d,b)$(week(d)).. 0 =e= pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b);

```



```

contrato_pt2_d2(i,d)$(finde(d))..      sum(b, part2(i,b)) =e= sum(b, pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) +
pt23(i,d,b));
eq4(i)..      0 =e= sum(d$(ds(d)), pt21(i,d,'h1') + pt22(i,d,'h1') + pt23(i,d,'h1'));
eq5(i)..      0 =e= sum(d$(dd(d)), pt21(i,d,'h1') + pt22(i,d,'h1') + pt23(i,d,'h1')
+ pt21(i,d,'h2') + pt22(i,d,'h2') + pt23(i,d,'h2')
+ pt21(i,d,'h3') + pt22(i,d,'h3') + pt23(i,d,'h3')
+ pt21(i,d,'h4') + pt22(i,d,'h4') + pt23(i,d,'h4'));

r_ppf(i)..      ppf(i) =e= sum(b, part2(i,b));

*****
* CONTRATO PT semana

contrato_pt3_d1(i,d,b)$(week(d))..      part3(i,b) =e= pt3(i,d,b);
contrato_pt3_d2(i,d,b)$(finde(d))..      0 =e= pt3(i,d,b);
r_pps(i)..      pps(i) =e= sum(b, part3(i,b));

*****
* UNICIDAD DE CONTRATO & CUMPLIMIENTO DE DEMANDA

eq3(i)..      pf5(i) + pf6(i) + ppf(i) + pps(i) =l= 1;

validar_turnos(i,d)..      sum(b, ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b) +
ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b) +
pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b) +
pt3(i,d,b)) =l= 1 ;

*cumplir_dda(d,b)..      sum(i,z(i,d,b)) =e= P(d,b) + up(d,b) + down(d,b);
cumplir_dda(d,b)..      sum(i,z(i,d,b)) =g= P(d,b);

relleno_hora(i,d,b)..      z(i,d,b) =e= ft11(i,d,b) + ft11(i,d,b-1) + ft11(i,d,b-2) + ft11(i,d,b-3)
+ ft11(i,d,b-4) + ft11(i,d,b-5) + ft11(i,d,b-6) + ft11(i,d,b-9) + ft11(i,d,b-10) + ft11(i,d,b-11)
+ ft11(i,d,b-12) + ft11(i,d,b-13)+ ft11(i,d,b-14) + ft11(i,d,b-15) + ft11(i,d,b-16) + ft11(i,d,b-
17) + ft11(i,d,b-18) +
ft12(i,d,b) + ft12(i,d,b-1) + ft12(i,d,b-2) + ft12(i,d,b-3)
+ ft12(i,d,b-4) + ft12(i,d,b-5) + ft12(i,d,b-6) + ft12(i,d,b-7) + ft12(i,d,b-10) + ft12(i,d,b-11)
+ ft12(i,d,b-12) + ft12(i,d,b-13)+ ft12(i,d,b-14) + ft12(i,d,b-15) + ft12(i,d,b-16) + ft12(i,d,b-
17) + ft12(i,d,b-18) +
ft13(i,d,b) + ft13(i,d,b-1) + ft13(i,d,b-2) + ft13(i,d,b-3)
+ ft13(i,d,b-4) + ft13(i,d,b-5) + ft13(i,d,b-6) + ft13(i,d,b-7) + ft13(i,d,b-8) + ft13(i,d,b-11)
+ ft13(i,d,b-12) + ft13(i,d,b-13)+ ft13(i,d,b-14) + ft13(i,d,b-15) + ft13(i,d,b-16) + ft13(i,d,b-
17) + ft13(i,d,b-18) +
ft21(i,d,b) + ft21(i,d,b-1) + ft21(i,d,b-2) + ft21(i,d,b-3)
+ ft21(i,d,b-4) + ft21(i,d,b-5) + ft21(i,d,b-8) + ft21(i,d,b-9) + ft21(i,d,b-10) + ft21(i,d,b-11)
+ ft21(i,d,b-12) + ft21(i,d,b-13)+ ft21(i,d,b-14) + ft21(i,d,b-15) +
ft22(i,d,b) + ft22(i,d,b-1) + ft22(i,d,b-2) + ft22(i,d,b-3)
+ ft22(i,d,b-4) + ft22(i,d,b-5) + ft22(i,d,b-6) + ft22(i,d,b-9) + ft22(i,d,b-10) + ft22(i,d,b-11)
+ ft22(i,d,b-12) + ft22(i,d,b-13)+ ft22(i,d,b-14) + ft22(i,d,b-15) +
ft23(i,d,b) + ft23(i,d,b-1) + ft23(i,d,b-2) + ft23(i,d,b-3)
+ ft23(i,d,b-4) + ft23(i,d,b-5) + ft23(i,d,b-6) + ft23(i,d,b-7) + ft23(i,d,b-10) + ft23(i,d,b-11)
+ ft23(i,d,b-12) + ft23(i,d,b-13)+ ft23(i,d,b-14) + ft23(i,d,b-15) +
pt21(i,d,b) + pt21(i,d,b-1) + pt21(i,d,b-2) + pt21(i,d,b-3)
+ pt21(i,d,b-4) + pt21(i,d,b-5) + pt21(i,d,b-6) + pt21(i,d,b-9) + pt21(i,d,b-10) + pt21(i,d,b-11)
+ pt21(i,d,b-12) + pt21(i,d,b-13)+ pt21(i,d,b-14) + pt21(i,d,b-15) + pt21(i,d,b-16) + pt21(i,d,b-
17) + pt21(i,d,b-18) + pt21(i,d,b-19) + pt21(i,d,b-20) +
pt22(i,d,b) + pt22(i,d,b-1) + pt22(i,d,b-2) + pt22(i,d,b-3)
+ pt22(i,d,b-4) + pt22(i,d,b-5) + pt22(i,d,b-6) + pt22(i,d,b-7) + pt22(i,d,b-10) + pt22(i,d,b-11)
+ pt22(i,d,b-12) + pt22(i,d,b-13)+ pt22(i,d,b-14) + pt22(i,d,b-15) + pt22(i,d,b-16) + pt22(i,d,b-
17) + pt22(i,d,b-18) + pt22(i,d,b-19) + pt22(i,d,b-20) +
pt23(i,d,b) + pt23(i,d,b-1) + pt23(i,d,b-2) + pt23(i,d,b-3)
+ pt23(i,d,b-4) + pt23(i,d,b-5) + pt23(i,d,b-6) + pt23(i,d,b-7) + pt23(i,d,b-8) + pt23(i,d,b-11)
+ pt23(i,d,b-12) + pt23(i,d,b-13)+ pt23(i,d,b-14) + pt23(i,d,b-15) + pt23(i,d,b-16) + pt23(i,d,b-
17) + pt23(i,d,b-18) + pt23(i,d,b-19) + pt23(i,d,b-20) +

```

```
pt3(i,d,b-4) + pt3(i,d,b-5) + pt3(i,d,b-6);
                                pt3(i,d,b) + pt3(i,d,b-1) + pt3(i,d,b-2) + pt3(i,d,b-3) +
```

```
definirz(i,d).. sum(b,z(i,d,b)) =e= sum(b, 17*(ft11(i,d,b) + ft12(i,d,b) + ft13(i,d,b)) +
14*(ft21(i,d,b) + ft22(i,d,b) + ft23(i,d,b)) +
19*(pt21(i,d,b) + pt22(i,d,b) + pt23(i,d,b)) +
7*pt3(i,d,b) );
```

```
***** EJECUCIÓN DEL MODELO *****
*****
```

```
model intertecnoc /all/;
intertecnoc.reslim = 3600;
intertecnoc.OptFile=1;
```

```
solve intertecnoc using mip minimizing fobj;
```

```
$onecho > cplex.opt
threads -2
epgap 0.1
$offecho
```

```
display full1.1,full2.1,part2.1,part3.1,z.1;
```

```
execute_unload "C:\Users\((Mario))\Desktop\GAMS Modelos\1 mes\OK\L4\GDX\ESTACION.gdx" Z.L
execute 'gdxxrw.exe "C:\Users\((Mario))\Desktop\GAMS Modelos\1 mes\OK\L4\GDX\ESTACION.gdx"
O="C:\Users\((Mario))\Desktop\GAMS Modelos\1 mes\OK\L4\VICUÑA_MACKENA.xlsx" var=Z.L'
```

Anexo C - Clase con los distintos procedimientos para elaborar el programa "Planilla de Servicios"

```
'  
-----  
Imports System.IO  
-----  
  
Public Class Form1  
    Dim BaseDoc As String  
    Dim RutaPrograma As String  
    Dim Servicios As String  
  
    '*****  
  
    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles MyBase.Load  
        TextBox2.Enabled = False  
        RutaPrograma = System.IO.Directory.GetCurrentDirectory  
        BaseDoc = RutaPrograma & "\Base Documents"  
        Button2.Enabled = False  
        Button3.Enabled = False  
    End Sub  
    '*****  
  
    Private Sub RadioButton1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e  
As System.EventArgs) Handles RadioButton1.CheckedChanged  
        If RadioButton1.Checked = True Then  
            TextBox2.Enabled = True  
        Else  
            TextBox2.Enabled = False  
        End If  
    End Sub  
    '*****  
  
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles Button1.Click  
  
    Dim openFD As New OpenFileDialog()  
  
    With openFD  
        .Title = "Seleccionar Servicios de METRO"  
        .Filter = "Archivos Excel (*.xls;*.xlsx)|*.xls;*.xlsx|Todos los  
archivos (*.*)|*.*"  
        .Multiselect = False  
        .InitialDirectory = My.Computer.FileSystem.SpecialDirectories.Desktop  
    End With  
  
    If .ShowDialog = Windows.Forms.DialogResult.OK Then  
        Servicios = .FileName  
        TextBox1.Text = Servicios  
    End If  
  
End With
```

```

Button2.Enabled = True
Button3.Enabled = True
End Sub
!*****

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click

Dim hoja As Object
Dim Libro As New Object
Dim dl, mmj, dv, ds, df As Object
Libro = CreateObject("Excel.Application")

Libro.Workbooks.Open(BaseDoc & "\FormatoDEMANDA.xlsm")
hoja = Libro.Worksheets("TOTAL")
dl = Libro.worksheets("DL")
mmj = Libro.worksheets("MMJ")
dv = Libro.worksheets("DV")
ds = Libro.worksheets("DS")
df = Libro.worksheets("DF")

If RadioButton1.Checked = False And RadioButton2.Checked = False And
RadioButton3.Checked = False Or TextBox3.Text = "" Or TextBox4.Text = "" Then
    MsgBox("Debe seleccionar quincena o fecha del servicio",
MsgBoxStyle.Exclamation, "Seleccione una de las opciones ")
Else
    Libro.run("BorrarTodo")
    MsgBox("Continuar", vbInformation, "Primera parte concluida")

    hoja.cells(1, 1) = Servicios
    hoja.cells(1, 2) = RutaPrograma & "\Planillas de Servicios"
    If RadioButton1.Checked = True Then
        hoja.cells(1, 3) = "Resultado " & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & "
de " & TextBox4.Text
        dl.cells(1, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
TextBox4.Text & " - Lunes"
        dl.cells(49, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
TextBox4.Text & " - Lunes"
        dl.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text &
" de " & TextBox4.Text & ")"
        dl.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & TextBox2.Text & " de " &
TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
        dl.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text
& " de " & TextBox4.Text & ")"
        mmj.cells(1, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
        mmj.cells(49, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
        mmj.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text &
" de " & TextBox4.Text & ")"
        mmj.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & TextBox2.Text & " de " &
TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
        mmj.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & TextBox2.Text & " de " &
TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"

```

```

    dv.cells(1, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(49, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text &
    " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & TextBox2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text
    & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(1, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(49, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text &
    " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & TextBox2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text
    & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(1, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(49, 1) = TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text &
    " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & TextBox2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & TextBox2.Text & " de " & TextBox3.Text
    & " de " & TextBox4.Text & ")"

ElseIf RadioButton2.Checked = True Then
    hoja.cells(1, 3) = "Resultado " & RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text
    & " de " & TextBox4.Text
    dl.cells(1, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Lunes"
    dl.cells(49, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Lunes"
    dl.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dl.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dl.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(1, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
    mmj.cells(49, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
    mmj.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"

```

```

    dv.cells(1, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(49, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(1, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(49, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(1, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(49, 1) = RadioButton2.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton2.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"

```

```

ElseIf RadioButton3.Checked = True Then

```

```

    hoja.cells(1, 3) = "Resultado " & RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text
    & " de " & TextBox4.Text
    dl.cells(1, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Lunes"
    dl.cells(49, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Lunes"
    dl.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dl.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dl.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(1, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
    mmj.cells(49, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Martes, Miércoles, Jueves"
    mmj.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    mmj.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"

```

```

    dv.cells(1, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(49, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Viernes"
    dv.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    dv.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(1, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(49, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Sábado"
    ds.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    ds.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(1, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(49, 1) = RadioButton3.Text & " de " & TextBox3.Text & " de " &
    TextBox4.Text & " - Domingo y Festivo"
    df.cells(3, 1) = "Línea Uno - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(28, 1) = "Línea Cuatro - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"
    df.cells(51, 1) = "Línea Cinco - (" & RadioButton3.Text & " de " &
    TextBox3.Text & " de " & TextBox4.Text & ")"

```

```
End If
```

```
Libro.run("GenerarDDA")
```

```
MsgBox("Continuar", vbInformation, "Primera parte concluida")
```

```
End If
```

```
Libro.workbooks.close()
```

```
Libro.quit()
```

```
For Each proc In System.Diagnostics.Process.GetProcessesByName("EXCEL")
```

```
    proc.Kill()
```

```
Next
```

```
End Sub
```

```
!*****
```

```
Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
```

```
System.EventArgs) Handles Button3.Click
```

```
On Error GoTo Error_function
```

```
Dim Libro As New Object
```

```
Libro = CreateObject("Excel.Application")
```

```

Libro.Workbooks.Open(BaseDoc & "\\FormatoDEMANDA.xlsm")
Libro.visible = False
Libro.run("Duplicar")
MsgBox("OK", vbInformation, "Tarea Terminada")

Libro.workbooks.close()
Libro.quit()

For Each proc In System.Diagnostics.Process.GetProcessesByName("EXCEL")
    proc.Kill()
Next

Error_function:
    If Not Libro Is Nothing Then Libro = Nothing

End Sub
'*****

End Class

```


Anexo D - Clase con los distintos procedimientos para elaborar el programa "Generación de Turnos"

```
'
Imports System.Data.OleDb
Imports System.Text
Imports Microsoft.Office.Interop
Imports System.Runtime.InteropServices
'

Public Class Form1
'*****
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
    Dim ruta As String
    Dim hoja As Object
    Dim Libro As New Excel.Application

    ruta = TextBox1.Text
    If ruta <> "" Then
        Libro.Workbooks.Open(ruta & "\EjecutaGAMS.xlsm")
        hoja = Libro.Worksheets("demanda")

        For c As Integer = 0 To DataGridView1.Columns.Count - 1
            hoja.Cells(1, 1 + c).Value = DataGridView1.Columns(c).HeaderText
        Next

        For f As Integer = 0 To DataGridView1.RowCount - 1
            For c As Integer = 0 To DataGridView1.Columns.Count - 1
                hoja.Cells(2 + f, 1 + c).Value = DataGridView1.Item(c, f).Value
            Next
        Next

        hoja.Cells(1, 1) = ""
        hoja.Columns("A:AI").EntireColumn.AutoFit()

        Libro.Workbooks.Close()
        Marshal.ReleaseComObject(Libro)

    For Each proc In System.Diagnostics.Process.GetProcessesByName("EXCEL")
        proc.Kill()
    Next
    Else
        MsgBox("Debe agregar la ruta de guardado antes de continuar",
MsgBoxStyle.Exclamation, "Seleccione un directorio válido ")
        Marshal.ReleaseComObject(Libro)
    End If
End Sub

'*****
Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button2.Click
    Dim stRuta As String = ""
    Dim openFD As New OpenFileDialog()

```

```

With openFD
    .Title = "Seleccionar archivos"
    .Filter = "Archivos Excel (*.xls;*.xlsx)|*.xls;*.xlsx|_
                Todos los archivos (*.*)|*.*"
    .Multiselect = False
    .InitialDirectory = My.Computer.FileSystem.SpecialDirectories.Desktop

If .ShowDialog = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
    stRuta = .FileName
End If
End With
Try
    Dim stConexion As String = ("Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;" & _
        ("Data Source=" & (stRuta & ";Extended Properties=""Excel 12.0;Xml;_
            HDR=YES;IMEX=2"";"))
    Dim cnConex As New OleDbConnection(stConexion)
    Dim Cmd As New OleDbCommand("Select * From [Hojal$]")
    Dim Ds As New DataSet
    Dim Da As New OleDbDataAdapter
    Dim Dt As New DataTable
    cnConex.Open()
    Cmd.Connection = cnConex
    Da.SelectCommand = Cmd
    Da.Fill(Ds)
    Dt = Ds.Tables(0)
    Me.DataGridView1.Columns.Clear()
    Me.DataGridView1.DataSource = Dt
    Me.DataGridView1.AutoSizeColumns()

Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message, MsgBoxStyle.Exclamation, _
        "Seleccione un archivo válido para continuar")
End Try
End Sub

!*****
Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button3.Click
    Dim stRuta As String = ""
    Dim carpeta As New FolderBrowserDialog()
    Dim tx1 As New TextBox
    tx1 = TextBox1

    With carpeta
        .Description = "Seleccionar directorio"
        .SelectedPath = My.Computer.FileSystem.SpecialDirectories.Desktop
        .ShowNewFolderButton = False

        If .ShowDialog = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
            stRuta = .SelectedPath
            tx1.Text = stRuta
        End If

    End With
End Sub

```

```

'*****
Public Sub ejecutar_macro1()
    Dim macro As Boolean
    Dim ruta As String = TextBox1.Text
    If ruta <> "" Then
        macro = Ejecutar(ruta & "\EjecutaGAMS.xlsm", "EjecutarAplicacion")

        If macro Then
            MsgBox("OK", vbInformation)
        End If

    Else
        MsgBox("Debe agregar la ruta de guardado antes de continuar",_
            MsgBoxStyle.Exclamation, "Seleccione un directorio válido ")
    End If
End Sub

```

```

'*****
Public Sub ejecutar_macro2()
    Dim macro As Boolean
    Dim ruta As String = TextBox1.Text
    If ruta <> "" Then
        macro = Ejecutar(ruta & "\EjecutaGAMS.xlsm", "RunMacro")

        If macro Then
            MsgBox("OK", vbInformation)
        End If

    Else
        MsgBox("Debe agregar la ruta de guardado antes de continuar",_
            MsgBoxStyle.Exclamation, "Seleccione un directorio válido ")
    End If
End Sub

```

```

'*****
Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button4.Click
    ejecutar_macro1()
End Sub

```

```

'*****
Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button5.Click
    ejecutar_macro2()
End Sub

```

```

'*****
Function Ejecutar(ByVal Libro As String, ByVal Macro As String) As Boolean
    On Error GoTo Error_function

    Dim Excel As Object
    Excel = CreateObject("Excel.Application")
    Excel.Visible = False

```

```

With Excel
    .Application.workbooks.open(Libro)
    .Run(Macro)
End With

Ejecutar = True
Excel.application.workbooks.close()
Marshal.ReleaseComObject(Excel)
Excel = Nothing

Exit Function

Error_function:
    If Not Excel Is Nothing Then Excel = Nothing

End Function

End Class
'

```

Anexo E – Abreviaturas

HH	Horas Hombre
HE	Horas Extraordinarias
TI	Tecnologías de la Información
PT	<i>part-time</i>
FT	<i>full-time</i>
VAC	Vacaciones
LIC	Licencias médicas
AUS	Ausencias
VB	Visual Basic