



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**UTILIZACIÓN DE MÚLTIPLES
DESCANSOS DIARIOS PARA
TRABAJADORES FULL-TIME COMO UNA
ALTERNATIVA AL USO DE
TRABAJADORES PART-TIME**

ESTEBAN ARIEL ÁLVAREZ ESCOBEDO

Tesis presentada a la Dirección de Investigación y Postgrado
como parte de los requisitos para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
JUAN CARLOS FERRER

Santiago de Chile, Diciembre 2012

© MMXII, ESTEBAN ARIEL ÁLVAREZ ESCOBEDO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**UTILIZACIÓN DE MÚLTIPLES
DESCANSOS DIARIOS PARA
TRABAJADORES FULL-TIME COMO UNA
ALTERNATIVA AL USO DE
TRABAJADORES PART-TIME**

ESTEBAN ARIEL ÁLVAREZ ESCOBEDO

Miembros del Comité:

JUAN CARLOS FERRER

JUAN CARLOS MUÑOZ

PATRICIO SUÁREZ

ALFREDO SERPELL

Tesis presentada a la Dirección de Investigación y Postgrado
como parte de los requisitos para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Diciembre 2012

© MMXII, ESTEBAN ARIEL ÁLVAREZ ESCOBEDO

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es fruto del esfuerzo de importantes personas en mi vida, las cuales me acompañaron y apoyaron durante este proceso. Agradezco de manera especial a Sonia y Jorge, mis padres, que estuvieron siempre empujándome a recorrer la milla extra en cada uno de mis desafíos y que con su ejemplo me permitieron comprender que para alcanzar grandes logros se requiere hacer esfuerzos y sacrificios. Asimismo, quiero agradecer a Daniela, mi fiel compañera que estuvo a mi lado en los momentos más difíciles de este proceso y me permitió mantener los pies sobre la tierra, entendiendo que este trabajo sería exitoso si yo creía en él y le imprimía toda mi pasión. Finalmente, aprecio la ayuda, el cariño y el esfuerzo de mis amigos y familiares que contribuyeron a hacer más agradables aquellos días en los cuales los desafíos de la investigación me abrumaban y el camino estaba cuesta arriba.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. Introducción	1
2. Revisión de la literatura	9
2.1. Aspectos positivos y negativos del uso de múltiples descansos en trabajadores de jornada completa	12
3. Descripción del Problema	14
4. Metodología de asignación de turnos con múltiples descansos	17
4.1. Primer Módulo: Cálculo del mínimo descanso y máximo almuerzo totales .	18
4.1.1. Cálculo del mínimo descanso total	18
4.1.2. Cálculo del máximo almuerzo total	21
4.2. Segundo Módulo: Asignación de perfiles de descanso	21
4.2.1. Criterios de prioridad de los perjuicios	22
4.2.2. Construcción y asignación de perfiles de descanso	23
4.3. Tercer Módulo: Asignación de turnos de trabajo	25
4.3.1. Conjuntos para la Primera Fase	26
4.3.2. Variables de decisión de la Primera Fase	30
4.3.3. Parámetros de la Primera Fase	30
4.3.4. Modelo de Programación Entera de la Primera Fase	30
4.3.5. Segunda Fase	34

4.4. Cuarto Módulo: Evaluación de la cobertura de la curva de requerimiento diario	35
4.4.1. Cálculo de la cota de la cobertura	35
5. Experimentos computacionales y análisis	39
5.1. Escenarios considerados	39
5.2. Resultados y análisis	41
5.2.1. Experimentos con curvas con forma de M	41
5.2.2. Experimentos con curvas variables de múltiples formas	46
6. Conclusiones, extensiones y trabajo futuro	52
6.1. Conclusiones	52
6.2. Extensiones y trabajo futuro	53
References	55

INDICE DE FIGURAS

1.1 Asignación de turnos que no contienen descansos.	5
1.2 La cobertura de la curva no es perfecta y se genera sobre y subdotación.	6
1.3 Agregar descansos a los turnos permite disminuir la sobredotación y, eventualmente disminuir la subdotación. Esto se produce porque la cobertura disminuye en la posición del descanso y aumenta al término del turno.	6
4.1 Diagrama lógico de la Metodología de asignación de turnos con múltiples descansos.	17
4.2 Asignación de un perfil de descanso a cada trabajador.	24
4.3 Descansos factibles entre las dos posiciones del perfil ilustrativo [15;15], considerando intervalos de trabajo de entre 1:00 y 1:45.	28
4.4 Descansos factibles para un horario en la primera posición del perfil de descanso [15;45a], considerando intervalos de trabajo de entre 1:00 y 1:45.	28
4.5 Ajustes de turnos a la cobertura desde el inicio del horario de operación, a excepción de un peak de la curva que no es cubierto.	37
5.1 Curvas 1 a la 4, corresponden a la primera serie de curvas de requerimiento. Son curvas suaves y con forma de M (un valle rodeado de dos peaks), con diferentes profundidades para el valle y diferencias entre la altura de ambos peaks.	42
5.2 Cobertura del requerimiento de personal en el experimento con la curva 1 y horario de almuerzo de 14:30 a 15:30.	46
5.3 Curvas 5 a la 8, corresponden a la segunda serie de curvas de requerimiento: curvas con diversas formas y alta variabilidad.	47

INDICE DE TABLAS

5.1 Desempeño obtenido en las iteraciones con curvas 1 a la 4 y horario de almuerzo de 12:00 a 16:00, en la última fila se incluye la cota para el desempeño	41
5.2 Desempeño obtenido en las iteraciones con curvas 1 a la 4 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, en la última fila se incluye la cota para el desempeño	41
5.3 Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 1 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, para alcanzar un desempeño de 0%	43
5.4 Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 3 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, para alcanzar un desempeño de 0.22%	43
5.5 Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 5 y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00, para alcanzar un desempeño (nivel de sobredotación y subdotación) de 0.6%, cuando la cota es 0.17%	48
5.6 Desempeño obtenido en las iteraciones con las curvas 5 a la 8 y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00, en la última fila se incluye la cota para el desempeño	51

RESUMEN

La programación de turnos para trabajadores específicos es fundamental en empresas de servicios. Más aún cuando los requerimientos de los clientes varían a lo largo del día, siendo necesaria cierta flexibilidad horaria para atender sus demandas. Una manera de asegurar esta flexibilidad es combinar múltiples descansos para trabajadores full-time, que en esta tesis buscamos validar frente al uso de trabajadores part-time como alternativa viable para mejorar la cobertura del requerimiento de personal. Existen aspectos positivos y negativos de ambas modalidades, siendo la extensión de la jornada, el principal problema de aumentar el número de descansos, debiendo compensar a los trabajadores. Aunque actualmente existen modelos matemáticos que consideran múltiples descansos, éstos solamente consideran combinaciones de descansos seleccionadas arbitrariamente, sin asegurar resultados favorables en la cobertura. Ante esta carencia, desarrollamos una metodología para acotar la búsqueda de combinaciones de múltiples descansos y asignar turnos a trabajadores de una fuerza laboral conocida compuesta por full-times. Tras diversas pruebas a una amplia gama de problemas comprobamos que no es necesario asignar gran cantidad de descansos para lograr un buen desempeño. Además observamos que, al sumar la duración de los descansos de todos los trabajadores, el tiempo total de descanso requerido depende de la forma de la curva de requerimiento. En consecuencia, los resultados obtenidos mostraron coberturas cercanas al óptimo, por lo cual concluimos que el uso de múltiples descansos para trabajadores full-time resulta una alternativa viable frente al uso de trabajadores part-time.

Palabras Claves: múltiples descansos, flexibilidad, programación del trabajo, gestión fuerza laboral.

ABSTRACT

Scheduling the shifts of individual workers is a fundamental process for firms in the service sector where customer demand is highly variable. An efficient method of achieving good coverage of the consequent demand for workers is to flexibilize the number of breaks assigned to each full-time worker instead of hiring part-time personnel. There are positive and negative features in both modalities, being the extension of the shift the main problem when the number of breaks is increased, making inevitable a compensation for workers. Optimization models that schedule shifts with multiple breaks can be found in the literature, but they invariably use arbitrary break combinations that do not guarantee satisfactory results. The present article proposes a methodology that overcomes this shortcoming by bounding the search for combinations based on which the shift assignments are made. A series of tests on a wide range of problems showed that, contrary to what was expected, it is not necessary to assign a large number of breaks to each worker in order to ensure good demand coverage. It was also found that the required total time summed across all workers for breaks depends on the shape of the worker demand curve. The results obtained were very close to the optimal values, concluding that the assignment of multiple breaks for full-time workers is a viable alternative compared with the utilization of part-time workers.

Keywords: multiple break, flexibility, personnel scheduling, workforce management.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la programación de personal es lograr disponer de los trabajadores adecuados en los momentos correctos para satisfacer el requerimiento de personal, tal como plantea Thompson (2003). De hecho, una gestión eficiente de la fuerza laboral puede representar importantes beneficios derivados de la disminución de gastos (Brusco and Jacobs, 1998), la mejora en el nivel de servicio, el aumento en las ventas y la fidelización de clientes.

Esta área de investigación es muy relevante para empresas de servicios (como retail, transporte y call centers) cuyos requerimientos de personal presentan variaciones a lo largo del día y, por ende, disponer de los trabajadores en los momentos correctos presenta mayor complejidad (Corominas et al, 2009).

Realizar una planificación del tamaño y características de la fuerza laboral permite a las empresas optimizar los recursos para la operación en el largo plazo, al determinar la cantidad de trabajadores –con sus respectivas jornadas– que son necesarios para entregar los servicios de la compañía de manera costo-efectiva.

Cuando se dispone de una fuerza laboral determinada, el problema operacional de corto plazo se presenta al asignar turnos específicos a los trabajadores. Definir el turno de cada trabajador implica programar a qué hora comienzan a trabajar, en qué momento descansa y cuándo termina su jornada en función de un objetivo: contar con personal en los días y momentos adecuados para satisfacer la demanda de sus clientes de la mejor manera posible.

Para lograr una cobertura satisfactoria de los requerimientos de personal a lo largo del día se requiere de flexibilidad en los turnos. Sin embargo, a medida que aumenta la flexibilidad, también se incrementa la complejidad en la resolución de los problemas. Afortunadamente, como plantea Jordan and Graves (1995), si se aplica flexibilidad parcial de una manera adecuada, será posible conseguir gran parte de los beneficios que otorga la utilización de toda la flexibilidad.

La manera en que las empresas típicamente logran ajustarse a requerimientos de personal con variaciones a lo largo del día, corresponde a disponer de trabajadores part-time (de jornada parcial). Con jornadas de menor duración complementando a trabajadores de jornada completa es posible tener suficiente flexibilidad para cubrir el requerimiento diario.

Sin embargo, disponer de trabajadores de jornada parcial presenta ciertos problemas, como por ejemplo que estos son más caros en cuanto a la remuneración por hora trabajada, tienen menor proyección, son más difíciles de capacitar y tienen mayor rotación que los trabajadores de jornada completa.

En consecuencia, reconocemos la necesidad de disponer de una alternativa a la utilización de trabajadores de jornada parcial, con la cual sea posible ajustarse a los requerimientos de personal de igual o mejor manera y disminuir las desventajas que presenta dicho sistema de turnos.

En base a la necesidad reconocida, el objetivo de esta tesis consiste en validar el uso de múltiples descansos en un mismo día para trabajadores de jornada completa, como una alternativa viable frente al uso de personal de tiempo parcial. Se espera cubrir de mejor manera la necesidad de trabajadores en escenarios con importantes variaciones en el requerimiento de personal a lo largo del día.

La posibilidad de disponer de múltiples descansos en un mismo turno ya ha sido considerada en investigaciones previas y, si bien se ha podido probar la hipótesis de que el uso de múltiples descansos entrega mayor flexibilidad para la cobertura del requerimiento de personal, aún no se ha podido sistematizar el logro de buenos resultados. Rekik et al (2010), por ejemplo, utilizó modelos matemáticos de Programación Entera para generar turnos con múltiples descansos, sin embargo su propuesta no consigue asegurar el logro de buenos resultados en la cobertura debido a que utiliza turnos que sólo consideran combinaciones limitadas de descansos, seleccionadas de manera arbitraria, es decir, que no obedecen a una lógica determinada.

En esta investigación planteamos la hipótesis de que es posible sistematizar una metodología de asignación de turnos con múltiples descansos que, en tiempos razonables, permita obtener buenos resultados en la cobertura de la necesidad de personal. Para validar esta hipótesis desarrollamos una metodología que sistematiza el logro de buenos resultados.

Al utilizar múltiples descansos es clave tener conciencia de que estos generan algunos perjuicios importantes para el trabajador y para la empresa. Por ejemplo, el aumento del número de descansos extiende la duración de la jornada laboral, por lo que se requiere contar con la aceptación de los trabajadores y con la compensación correspondiente. Asimismo, se debe considerar que cada interrupción laboral de la jornada perjudica la concentración y por ende, la productividad de los trabajadores. Finalmente, si existe inequidad entre los descansos de distintos trabajadores, eventualmente ésta deberá ser compensada.

El problema que se resuelve corresponde al de asignar turnos para un día de operación a trabajadores full-time con jornada de 9 horas trabajadas, pertenecientes a una fuerza laboral conocida, que se asume que está optimizada o dimensionada para responder de la mejor manera al requerimiento de personal, es decir su capacidad coincide con la suma de los requerimientos de personal para el período completo de análisis. El requerimiento diario de personal también es conocido y se asume que corresponde a una adecuada predicción. Finalmente, se asume que la productividad de todos los trabajadores es idéntica a lo largo del día.

Si bien algunos de los supuestos planteados no están completamente alineados con la realidad, son necesarios para poder resolver el problema de una manera general. Por ejemplo, en la práctica será poco probable que el requerimiento diario sea idéntico a la capacidad. Sin embargo, asumir que son idénticos puede ser razonable ya que, cuando ambos difieren, una manera utilizada en la práctica para responder de la mejor manera a la necesidad de personal es amplificando la curva diaria de requerimiento de personal hasta que la suma del requerimiento total sea igual a la capacidad de trabajo disponible. Asimismo, se

asume una productividad uniforme, a pesar de que en la práctica ésta varía y se ve perjudicada cuando hay múltiples descansos debido a que estos afectan la concentración de los trabajadores.

Los turnos que se asignan a cada trabajador tienen una hora de inicio y de término, un descanso obligatorio para almorzar y eventualmente descansos adicionales, los cuales permiten aumentar la flexibilidad en la cobertura del requerimiento diario. El orden y duración de los descansos de cada trabajador dependerá del perfil que se le asigne. Los descansos extenderán la duración de los turnos más allá de las 9 horas correspondientes a la jornada de trabajo.

Un perfil de descanso determina la cantidad, orden y duración de las interrupciones laborales que se deben asignar a lo largo de la jornada. Por ejemplo, si un trabajador debe cumplir con el perfil [45a; 30], deberá tener un almuerzo de 45 minutos y posteriormente otro descanso de 30 minutos. Existirán restricciones para el tiempo mínimo que se deberá asignar a cada trabajador para que almuerce, así como para el tiempo total de descanso que se podrá asignar a los trabajadores a lo largo del día.

El almuerzo de cada trabajador debe ubicarse dentro de una ventana horario de almuerzo, definida para la tienda. Los otros descansos se deben ubicar de tal manera que se respete un cierto tiempo mínimo y máximo en la duración de todos los intervalos continuos de trabajo.

El problema considera múltiples objetivos, por un lado se pretende minimizar los perjuicios tanto para los trabajadores como para la compañía, mientras que por otro, la cantidad total de sobredotación y subdotación que se genera al cubrir el requerimiento diario.

Para optimizar todos estos objetivos se plantea una metodología iterativa que comience con el mínimo perjuicio posible y busque asegurar un nivel de cobertura del requerimiento diario satisfactorio. En cada iteración se incrementa la flexibilidad del problema aumentando un perjuicio de menor criticidad para el trabajador o la compañía, y nuevamente se busca una cobertura satisfactoria, repitiendo esto hasta alcanzarla. Para priorizar los perjuicios se propone un orden establecido, que es discutido en el desarrollo de la metodología.

La decisión de utilizar un método iterativo, en lugar de generar un modelo matemático que pondere los objetivos y resuelva el problema de una sola vez, se debe a que, al considerar múltiples descansos, la cantidad de combinaciones crece considerablemente. El método iterativo permite reducir la cantidad de descansos considerados y, de esa manera, resolver problemas más simples en cada iteración, permitiendo que en tiempos razonables se llegue al resultado esperado.

Para lograr sistematizar la obtención de buenas coberturas al disponer de turnos con múltiples descansos, utilizamos una lógica basada en el hecho de que si los descansos son bien utilizados permiten contrarrestar la sobre y subdotación en la cobertura del requerimiento diario.

Al asignar un turno a cada trabajador con un determinado horario de inicio (ver Figura 1.1), la acumulación de los trabajadores presentes en cada período de tiempo determina la cobertura de la curva (ver Figura 1.2). Al agregar un descanso a un trabajador en un período que presentaba sobredotación, ésta se reduce. Adicionalmente, se extiende la duración del turno y, asumiendo que se mantiene fija la hora de entrada, aumenta la dotación en el nuevo período de término. La potencialidad del descanso se aprovecha si en el nuevo período de término antes había subdotación, en cuyo caso esta desviación también disminuye (ver Figura 1.3).

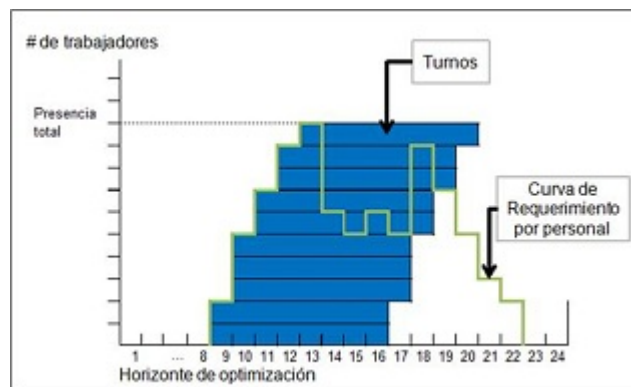


FIGURE 1.1. Asignación de turnos que no contienen descansos.

Considerando la potencialidad de los descansos frente a la sobre y subdotación y en base a analizar la curva de requerimiento diario de personal, se calculan dos valores clave:

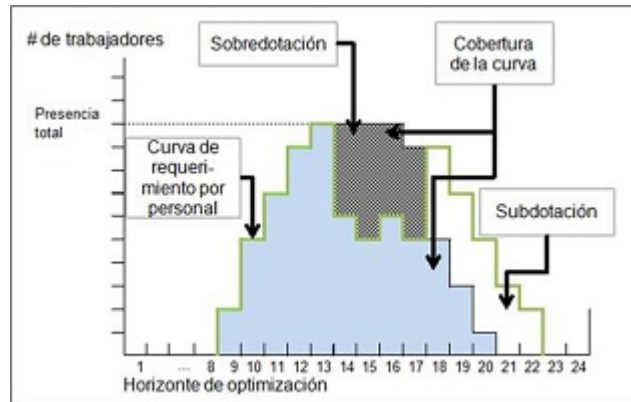


FIGURE 1.2. La cobertura de la curva no es perfecta y se genera sobre y subdotación.

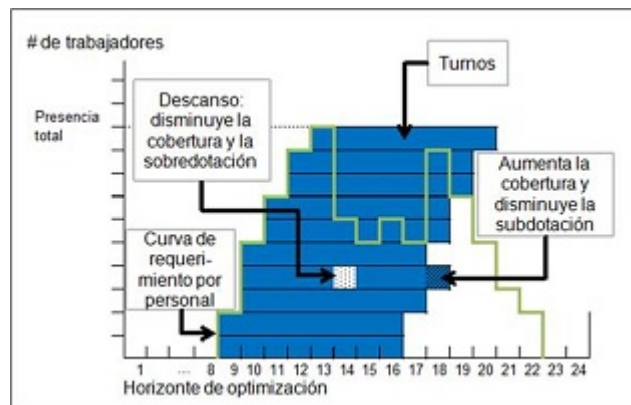


FIGURE 1.3. Agregar descansos a los turnos permite disminuir la sobredotación y, eventualmente disminuir la subdotación. Esto se produce porque la cobertura disminuye en la posición del descanso y aumenta al término del turno.

mínimo tiempo total de descanso y máximo tiempo total de almuerzo. Estos valores facilitan la posterior selección de aquellos perfiles de descanso que permiten lograr coberturas satisfactorias del requerimiento diario.

El primer valor corresponde a la mínima cantidad de tiempo total de descanso que es necesario distribuir entre todos los trabajadores, con la posibilidad de, eventualmente, lograr una cobertura perfecta del requerimiento diario. De esta manera, si la suma del tiempo de descanso total de todos los trabajadores es menor que el mínimo calculado, inevitablemente existirá sobredotación. Adicionalmente, debido a la equivalencia presente entre la

suma del requerimiento diario y la capacidad de trabajo disponible, la sobredotación existente frente a cualquier configuración de turnos, será equivalente a la subdotación.

El segundo valor clave determinado corresponde a la máxima cantidad de tiempo total de almuerzo que se puede asignar a los trabajadores para aspirar a una cobertura perfecta. Es decir, si la suma del tiempo de almuerzo de todos los trabajadores es mayor que este máximo, existirá subdotación durante el horario de almuerzo y una equivalente cantidad de sobredotación, debido al equilibrio existente entre ambas desviaciones.

En base a la cantidad de tiempo de almuerzo y de descanso totales que se necesita repartir entre todos los trabajadores, se asigna un perfil de descanso a cada uno, procurando minimizar los perjuicios para los empleados y para la compañía.

Posteriormente, considerando el perfil de descanso que tendrá cada trabajador se asigna un turno a cada uno buscando optimizar la cobertura. El nivel de desviación en la cobertura del requerimiento se mide como la suma de la sobre y subdotación, dividida por el requerimiento diario total. Dividir por el requerimiento total permite que esta unidad de medida sea relativa, ya que corresponde a un porcentaje del requerimiento diario y, de esta manera se facilita la comparación entre distintos problemas.

La asignación de turnos se realiza utilizando un modelo de Programación Entera basado en los modelos de Rekik et al (2010), los cuales fue necesario adaptar puesto que resolvían el problema de determinar el tamaño de la fuerza laboral requerida para el largo plazo, en lugar de asignar turnos a una fuerza laboral ya optimizada, que corresponde al problema que se aborda en nuestra metodología.

Para evaluar si la solución encontrada es satisfactoria, ésta se compara con la mejor cobertura a la cual se puede aspirar, la cual no necesariamente corresponde a un ajuste perfecto entre el requerimiento y la dotación propuesta, debido a que las restricciones y características del problema podrían impedirlo. Para lograr una comparación más realista entre la solución alcanzada y la aspirada, desarrollamos una manera de calcular una cota para la cobertura alcanzable.

Si la solución no es satisfactoria se reitera la etapa de asignar un perfil de descanso a cada trabajador, relajando levemente aquellos perjuicios menos críticos y se repite el proceso completo hasta alcanzar una solución satisfactoria.

Esta metodología se evalúa en diferentes escenarios, que varían en cuanto al requerimiento diario y la ventana horaria de almuerzo. La cobertura alcanzada utilizando múltiples descansos se compara con la situación base en la cual solamente se asigna un almuerzo a cada trabajador.

También se presenta una comparación conceptual entre el uso de trabajadores part-time y el de trabajadores full-time con múltiples descansos, mediante la explicación de las ventajas y desventajas de ambos sistemas.

En la práctica, la utilización de múltiples descansos funcionará de mejor manera cuando los tiempos de set-up (tiempo que le toma al trabajador prepararse y concentrarse para comenzar a trabajar plenamente) sean menores, ya que la pérdida de productividad será más limitada. Asimismo, se obtendrán mayores beneficios cuando la incertidumbre en el requerimiento de personal a lo largo del día sea menor, puesto que los turnos definidos permitirán ajustarse satisfactoriamente a las necesidades de personal.

De esta manera, el presente artículo contiene la siguiente estructura: en el capítulo 2 se revisan las fuentes de información relevantes que dan el sustento para esta investigación. Luego, en el capítulo 3, se analiza el problema que será abordado y los supuestos relevantes para comprender la metodología utilizada, la cual es expuesta en el capítulo 4. En el capítulo 5, se analizan los experimentos realizados. Finalmente, en el capítulo 6, se presentan conclusiones y posibles extensiones.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La programación de personal corresponde a un área amplia de investigación que, tal como lo plantea Ernst et al (2004), incluye determinar el requerimiento de personal a lo largo del día, definir el tamaño y las características de la fuerza laboral para responder a estos requerimientos de manera costo efectiva en el mediano y largo plazo, definir los tipos de turnos que permitirían responder a los requerimientos y finalmente, asignar turnos a trabajadores específicos para satisfacer las necesidades de personal.

El enfoque tradicional para resolver el problema de programación de personal ha contemplado el uso de programación entera, en la cual también se basa la metodología planteada en esta tesis. El primero que enfrentó esta problemática fue Dantzig (1954), quien planteó un modelo de programación entera para determinar cuántas personas era necesario asignar a cada tipo de turno para satisfacer la necesidad de personal en un día.

En el modelo de Dantzig (1954) se representa cada turno con una variable entera explícita, sin embargo, cuando se consideran diversas duraciones de jornada laboral y períodos de inicio de las jornadas de trabajo, la cantidad de turnos considerados y por tanto, el tamaño de los problemas crece ya que cada combinación se representa como una variable.

Como respuesta a la dificultad del modelo de Dantzig (1954) para resolver problemas con mayor diversidad de turnos, Moondra (1976) desarrolló una representación implícita de los turnos (que no consideraban descansos) que correspondía a modelar sus horarios de inicio y de término como variables enteras, en lugar de tener una variable para cada turno. En esta representación implícita, el espacio de solución podía ser el mismo que con el modelo explícito de Dantzig (1954), pero la cantidad de variables enteras requeridas era menor y se aumentó la rapidez en la resolución de los problemas.

Posteriormente, Bechtold and Jacobs (1990) continuaron desarrollando las representaciones implícitas para mejorar el desempeño de los modelos, utilizando variables enteras para relacionar turnos y descansos (considerando un descanso por turno), en lugar de tener

una variable por cada combinación posible, logrando aumentar la gama de combinaciones de descansos y horarios que era posible considerar.

Posteriormente, Brusco and Jacobs (2000) plantearon, también con una representación implícita, bandas de inicio de turnos, patrones de días de trabajo y patrones de descansos (considerando un descanso por turno), permitiendo disminuir los tiempos de resolución y por ende, poder abordar problemas con más combinaciones de turnos y descansos.

Ajustar de una mejor manera los turnos a los requerimientos variables de personal requiere de flexibilidad, sin embargo es fundamental considerar los planteamientos de Jordan and Graves (1995) respecto a que una porción limitada de flexibilidad configurada correctamente podía entregar gran parte de los beneficios de la flexibilidad total a un menor costo.

En Showalter and Mabert (1988) se utilizaron trabajadores de jornada parcial para aumentar la flexibilidad y se concluyó que con estos se alcanzaban mejores resultados que con trabajadores de jornadas completas, idea que hoy ha sido asimilada fuertemente por las empresas de servicios.

La obtención de flexibilidad a través de los descansos también se ha continuado investigando. Por ejemplo, Thompson (1995) mejoró la cobertura de la necesidad de personal al aumentar las posibles duraciones de un descanso y permitir que éste pudiera ser diferente para distintos empleados.

Posteriormente, Aykin (1996) presentó un modelo que permitía variaciones en la cantidad y duración de los descansos dentro de los turnos de trabajo, base para la línea de investigación de múltiples descansos recogida en esta tesis. El planteamiento de dicha investigación contemplaba ventanas de tiempo a lo largo del día donde se ubicaban los descansos, las cuales estaban separadas por largos intervalos de tiempo.

Si bien la propuesta de Aykin (1996) permitía que múltiples descansos convivieran en un mismo turno, tenían la limitante de que las ventanas no se podían traslapar, limitando altamente las combinaciones posibles y perjudicando la cobertura de la necesidad de personal.

En respuesta a la limitante de Aykin (1996) relacionada con la separación de las ventanas de descanso, Rekik et al (2010) introduce el concepto de restricciones de intervalos de trabajo para asegurar que todos los intervalos continuos de trabajo de cada turno tengan una duración enmarcada en un rango de tiempo definido, en lugar de exigir que todos los descansos se ubiquen en ventanas de tiempo predeterminadas a lo largo del día. Este concepto de restricciones de intervalos de trabajo también es utilizado en esta tesis.

Rekik et al (2010) resuelve el problema de determinar el tamaño de la fuerza laboral óptima, para tener en todo momento del día, al menos, la cantidad de trabajadores necesarios según el pronóstico de requerimiento para un día tipo. Para resolver este problema, se utilizan múltiples descansos en las jornadas de cada trabajador, los cuales se enmarcan en ciertos perfiles de descanso.

La investigación de Rekik et al (2010) permite utilizar diferentes perfiles de descanso para distintos trabajadores e incluso permite considerar gran cantidad de perfiles. Sin embargo, en dicha investigación se utilizan perfiles de descanso que no obedecen a ninguna lógica específica, por lo cual nos referimos a ellos como elegidos arbitrariamente. Rekik et al (2010) elige conjuntos limitados de perfiles ya que de esta manera es posible resolver el problema en tiempos razonables, lo cual está en línea con los planteamientos de Jordan and Graves (1995) de utilizar una porción limitada de flexibilidad, sin embargo al ser un conjunto arbitrario de perfiles de descanso, no se asegura la obtención de un buen desempeño en la cobertura de la necesidad de personal.

En una investigación posterior –aunque publicada antes de Rekik et al (2010)– Rekik et al (2008) extiende el modelo de Rekik et al (2010) de tal manera de no solamente considerar el requerimiento de personal para un día, sino que permite hacer estimaciones en función de cualquier cantidad de días de operación.

Nuestra metodología presenta un modelo basado sobre la lógica utilizada por Rekik et al (2010), pero con dos grandes diferencias. La primera es que presentamos ciertas adaptaciones que permiten resolver el problema de programación de turnos en el corto plazo para trabajadores de una fuerza laboral conocida, en lugar de determinar el tamaño

óptimo de la fuerza laboral. La segunda es que, en lugar de elegir perfiles de descanso de manera arbitraria, estos son seleccionados de tal manera que aseguren una buena cobertura de la necesidad de personal.

El problema de programación de turnos para trabajadores específicos también lo enfrentan otros autores: Mohan (2008), por ejemplo, propone un modelo de Programación Entera Mixta (PEM) para asignar turnos que maximicen la satisfacción de los empleados y Pastor and Olivella (2008) resuelvan el problema considerando cuentas de tiempo –también conocidas como bancos de horas– que permiten a los trabajadores quedar debiendo horas de trabajo un día y reponerlas con posterioridad. Tanto la satisfacción de los empleados, como el uso de bancos de horas no están considerados en la metodología propuesta en esta tesis, pero podrían incorporarse en trabajos futuros.

2.1. Aspectos positivos y negativos del uso de múltiples descansos en trabajadores de jornada completa

El problema que resolvemos en esta tesis, respecto a asignar turnos a trabajadores de una fuerza laboral conocida, también se puede enfrentar con trabajadores de jornada parcial. Hay varios aspectos que se deben considerar para decidir si utilizar trabajadores de jornada parcial o de jornada completa con múltiples descansos por turno, ya que a priori ninguna domina a la otra.

Cabe destacar algunos beneficios de disponer de trabajadores de jornada completa en lugar de jornada parcial. En general, los trabajadores jornada completa pueden ser capacitados de mejor manera y tienen mayor proyección en la compañía, logrando mayores niveles de productividad y menor rotación que los trabajadores de jornada parcial. Por otro lado, es posible que la remuneración por hora que se requiera ofrecer a un trabajador de jornada completa sea menor, para poder atraerlo al cargo.

La utilización de múltiples descansos se espera que entregue los beneficios de alcanzar una importante mejora en la cobertura de la necesidad de personal, satisfaciendo de mejor manera las necesidades de los clientes. Asimismo, otro beneficio que podrían proveer

corresponde a permitir responder ante contingencias que surjan en el requerimiento por personal, es decir variaciones respecto a la demanda prevista, frente a lo cual sería posible ajustar los descansos, incluso el mismo día de su ocurrencia, sin necesidad de modificar los horarios de entrada y salida de los trabajadores y de todas maneras lograr un ajuste satisfactorio frente a los requerimientos de personal.

Sin embargo, el uso de múltiples descansos en la jornada de cada trabajador genera algunos perjuicios para los trabajadores, lo cual implica que éstos deben estar de acuerdo con el sistema y se requiere compensarlos de manera adecuada. Dicha compensación debe hacerse cargo del perjuicio que significa una jornada más larga, el tener múltiples descansos también podría ser negativo para algunos trabajadores y eventuales inequidades entre los descansos de los trabajadores también deberán ser compensadas.

Además de las compensaciones necesarias, otro perjuicio de asignar múltiples descansos corresponde a que la concentración de los trabajadores disminuye antes de un descanso y al regreso de estos, provocando una baja en la productividad. Dicha productividad se ve disminuida con mayor intensidad a medida que aumenta el número de interrupciones por trabajador y cuando aumenta la duración de la jornada.

Finalmente, un riesgo que se debe considerar al utilizar múltiples descansos, en especial si estos son de corta duración, tiene que ver con controlar que los trabajadores cumplan con los tiempos establecidos, lo cual se complejiza al aumentar el número de descansos.

Tal como se observa, tanto el uso de trabajadores de jornada parcial como la utilización de trabajadores de jornada completa con múltiples descansos, presentan una serie de beneficios y perjuicios para una mejor cobertura de las necesidades de personal. Estos deben ser analizados y comparados en profundidad para poder determinar la mejor alternativa a implementar.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema que resolvemos en esta tesis corresponde al que enfrenta una tienda durante un *horizonte de optimización* de un día. Para poder analizar el horizonte de optimización fraccionamos el tiempo en *períodos* cuya duración es de 15 minutos. El *horario de operación* de la tienda, es decir, el rango de tiempo durante el día en el cual la operación de la tienda requiere de trabajadores, será diurno. En la práctica se observa que algunas empresas tienen un horario de este tipo, por ejemplo operan de las 8:00 a 22:00, mientras que otras pueden tener horarios que incluyan parte de la noche o que sean ininterrumpidos.

El *requerimiento por trabajadores* corresponde a la cantidad de trabajadores necesarios en un período de tiempo específico para realizar alguna tarea como contestar llamados en un call center, atender a clientes que llegan a una tienda, realizar ventas en una caja pagadora u otra actividad. La evolución de este requerimiento para los distintos períodos del horario de operación constituye la *curva de requerimiento diario*, la cual en los considerados en esta investigación presentará importantes variaciones a lo largo del día.

Si bien, el desarrollo de pronósticos del requerimiento de personal corresponde a una importante línea de investigación en el área de programación de personal, en esta tesis consideramos que la curva de requerimiento diario corresponde a un dato conocido que es una adecuada predicción de la realidad.

La *fuerza laboral* corresponde a trabajadores full-time, donde la *jornada laboral*, es decir, el tiempo neto que cada trabajador debe destinar efectivamente a trabajar durante un día corresponde a 9 horas.

La fuerza laboral es conocida en cuanto a los trabajadores que la componen y asumimos que está dimensionada para responder al requerimiento diario de personal, lo cual se traduce en que la suma de cantidad de horas que pueden trabajar los empleados en el día es equivalente al requerimiento diario total. Debido a este supuesto, siempre se mantiene un equilibrio entre la *sobredotación* y la *subdotación* total en el día, que corresponden a los excesos y déficit, respectivamente, de trabajadores con respecto a la curva de requerimiento diario.

A cada trabajador se le asignará un *turno de trabajo*, que corresponde a una jornada laboral que tiene un tiempo de inicio, es segmentada en ciertas horas específicas por un conjunto de descansos de largo conocido y acaba en un momento determinado. Por ejemplo, si un trabajador tiene una jornada laboral de 9 horas y en total se le asigna 1 hora de descanso, su turno tendrá una duración de 10 horas y comenzará y terminará en un determinado momento del día. En base a lo anterior, surge el concepto de *horario de trabajo*, que se refiere únicamente a las horas en que comienza y termina el turno, sin hacer referencia a los descansos.

Los descansos que deben estar presentes en el turno de un trabajador cualquiera, dependerán del *perfil de descanso* que se le asigne. El perfil especifica el número de descansos, la duración de cada uno -sin identificar su hora de inicio- y el orden en que éstos deben sucederse a lo largo del día. Adicionalmente, en el perfil se distingue aquel descanso que corresponde al almuerzo, por ejemplo, si a un trabajador se le asigna el perfil [15; 60a], éste deberá tener un descanso de 15 minutos y posteriormente un almuerzo de 60 minutos.

Debido a que los descansos presentes en un perfil deben sucederse en un determinado orden, surge el concepto de *posición de descanso*, con lo cual se establece que el descanso que debe ocurrir más temprano está en la primera posición y el más tardío en la última. Es decir, para el perfil [15; 60a] la primera posición corresponde al descanso de 15 minutos y la segunda posición al almuerzo de 60 minutos.

Existirán restricciones para el tiempo mínimo que se deberá asignar a todo trabajador para que almuerce, así como para el tiempo total de descanso que se podrá asignar a cada uno a lo largo del día.

Es importante reconocer que se asume que los trabajadores cumplen estrictamente el tiempo establecido para los descansos, incluso en aquellos descansos de menor duración (15 ó 30 minutos), para los cuales en la práctica será más complejo y costoso lograr que el trabajador esté operativo en el instante preciso en que el descanso termina.

El almuerzo de cada trabajador debe ubicarse dentro de una *ventana horario de almuerzo* definida para la tienda, mientras que los otros descansos se deben ubicar de tal

manera que los *intervalos de trabajo*, que corresponden a los lapsos continuos de tiempo en los cuales el empleado se encuentra trabajando, respeten una cierta duración mínima y máxima permitida. Estas restricciones fueron introducidas por Rekik et al (2010) y denominadas *work stretch duration restrictions*.

Las restricciones de intervalos de trabajo son importantes para asegurar el adecuado descanso de los trabajadores durante el turno. Por ejemplo, para conductores de vehículos se podrá definir que los tiempos continuados de conducción no duren más de 4 horas, con el objetivo de que el trabajador descanse y se eviten accidentes. Asimismo, estas restricciones son útiles para garantizar que los tiempos continuados de trabajo sean suficientemente largos como para que el trabajador alcance los niveles de productividad deseados.

En esta tesis se considera el supuesto de que la productividad es idéntica a lo largo de un intervalo de trabajo independiente del instante en que este ocurra o del trabajador que lo ejecute. Este supuesto es bastante fuerte, ya que en la práctica la productividad varía a lo largo del día y en particular, disminuye al inicio y fin de cada intervalo, debido a que podría esperarse que al trabajador le tome tiempo concentrarse en sus labores y se desconcentra antes de terminarlas.

El problema considera múltiples objetivos: se pretende minimizar los perjuicios tanto para los trabajadores como para la compañía, y optimizar la cobertura al minimizar la cantidad total de sobre y subdotación que se genera al cubrir el requerimiento diario.

4. METODOLOGÍA DE ASIGNACIÓN DE TURNOS CON MÚLTIPLES DESCANSOS

La metodología que planteamos en esta tesis permite mediante un método iterativo (ver Figura 4.1) sistematizar la selección de perfiles de descanso para trabajadores de jornada completa, de tal manera que se responda satisfactoriamente a las necesidades de personal en un día de operación, a la vez que se minimizan los perjuicios que genera el uso de múltiples descansos tanto para el trabajador como para la compañía.

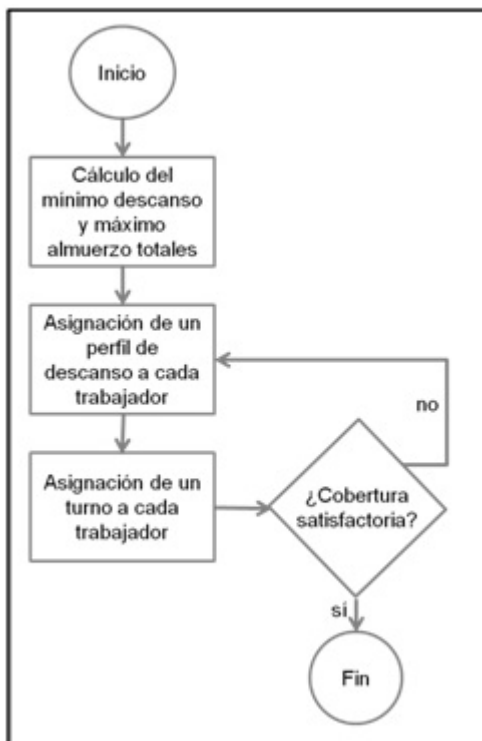


FIGURE 4.1. Diagrama lógico de la Metodología de asignación de turnos con múltiples descansos.

El primer módulo de la metodología permite calcular dos valores fundamentales, que corresponden a la cantidad mínima de tiempo total de descanso y la cantidad máxima de tiempo total de almuerzo que se necesita repartir entre todos los trabajadores, para eventualmente poder tener un ajuste perfecto en la cobertura del requerimiento diario.

El segundo módulo corresponde a la asignación de un perfil de descanso a cada trabajador, con el objetivo de minimizar el perjuicio que el uso de múltiples descansos genera en

el trabajador y en la compañía. En esta etapa se busca, en este orden, minimizar el número de descansos de cada trabajador, la cantidad de tiempo de descanso que se asigna a cada uno y la inequidad en el tiempo asignado.

En el tercer módulo asignamos un turno a cada trabajador, es decir definimos su hora de inicio, los descansos que deberá cumplir y el horario de estos, así como la hora de término de la jornada. El objetivo que se persigue en esta etapa corresponde a optimizar la cobertura de la curva de requerimiento diario, minimizando la sobre y subdotación total generada.

En el cuarto módulo se evalúa si la cobertura alcanzada fue satisfactoria comparándola con la cobertura que se aspira alcanzar –o cota de la cobertura–, para la cual se plantea un método simple que permite determinarla. Si la solución alcanzada no es satisfactoria, se retorna al segundo módulo, en el cual, luego de relajar levemente aquellos perjuicios menos críticos, se asigna nuevamente un perfil de descanso a cada trabajador y se continúa avanzando con el proceso completo.

4.1. Primer Módulo: Cálculo del mínimo descanso y máximo almuerzo totales

Si se asignan turnos a una fuerza laboral, de tal manera que se genera sobre y subdotación en diferentes momentos del horario de operación, es posible asignar una unidad de descanso a un trabajador en un período que presenta sobredotación y de esa manera disminuir una unidad de dicha desviación. La incorporación del descanso alarga la duración del turno y, en el caso de que en el nuevo período de término de la jornada existiera subdotación, la extensión del turno permitiría disminuirla en una unidad.

4.1.1. Cálculo del mínimo descanso total

En base al potencial que presentan los descansos si son utilizados adecuadamente, planteamos una heurística que permite determinar una mínima cantidad de tiempo de descanso que es necesario distribuir entre todos los trabajadores para que, en un escenario no restringido en cuanto al número de descansos por trabajador y la duración de los intervalos

de trabajo, podamos lograr un ajuste perfecto en la cobertura del requerimiento diario. En la práctica, dichas restricciones no permiten lograr una cobertura perfecta, por lo tanto, es necesario utilizar otras fuentes de flexibilidad para optimizar la cobertura. Entre las fuentes utilizadas se encuentra el aumento de la cantidad total de descanso distribuido, la definición de perfiles de descanso adecuados, entre otras.

La primera etapa de la heurística corresponde a asignar turnos que no contienen descansos a los trabajadores, de tal manera de ajustarse a la curva de requerimiento diario comenzando al inicio de la jornada (Ver Figura 1.1). Como resultado de esta etapa se genera sobre y subdotación en diferentes momentos del día (Ver Figura 1.2), existiendo un equilibrio entre ambas desviaciones debido a que el requerimiento diario está dimensionado exactamente para la capacidad de trabajo disponible.

El segundo paso corresponde a extender la duración de los turnos hasta que la suma de la sobredotación existente sea equivalente a la cantidad de tiempo total que ha sido agregado a los turnos. Esto comienza a ocurrir desde el momento en que no existe subdotación, debido al equilibrio que existe inicialmente entre los excesos y déficits en la cobertura.

La extensión de los turnos se realiza basada en dos principios, en primer lugar se busca minimizar el perjuicio para los trabajadores generado al extender los turnos, mientras que en segundo lugar se busca mantener la mayor equidad posible entre la duración de los turnos de los distintos trabajadores. En base a estos principios, los turnos se extienden de manera ordenada pasando por los distintos trabajadores y agregando un período de tiempo, es decir, 15 minutos, de tal manera que en todo momento la diferencia máxima entre un trabajador y otro corresponda a un período.

La cantidad de tiempo adicionado a los turnos corresponde a la cantidad mínima de tiempo total de descanso que se necesita distribuir entre los trabajadores para aspirar a una cobertura perfecta de la curva de requerimiento. Si el tiempo adicionado se convierte en descansos en los momentos adecuados, es posible ajustar la curva de requerimiento en aquellos períodos en los cuales existía sobredotación. Si se asignara menos descanso que

este mínimo, se produciría inevitablemente cierto nivel de sobre y subdotación en cantidades equivalentes y distintas de cero, mientras que, si se asignara más descanso que el mínimo calculado, siguen existiendo posibilidades de poder distribuirlo de tal manera de lograr una cobertura perfecta.

Dependiendo del orden en que se extiendan los descansos de los trabajadores, eventualmente, los pasos recién expuestos podrían conducir a un valor levemente superior al verdadero mínimo descanso total requerido. Esto se debe a que en la ronda de extensiones de turnos que permite llegar al valor buscado, será la extensión del turno de ciertos trabajadores (dependiendo de su hora de entrada) la que permita que se iguale la sobredotación con el tiempo agregado a los turnos. Debido a esto, en la última ronda, la extensión del turno de algunos trabajadores no será necesaria y sólo en el caso de que éstos no se extiendan, se alcanzará el verdadero valor mínimo.

Para asegurarnos de que el valor calculado corresponda exactamente al mínimo descanso total requerido, un último paso de la heurística corresponde a que durante la última ronda solamente se contabilizan las extensiones de turnos que contrarrestan una unidad de subdotación. De esta manera, el valor alcanzado, efectivamente corresponde al mínimo descanso que se requiere distribuir, dado el contexto que determinan los principios definidos para extender los turnos.

El cálculo del mínimo descanso total requerido no puede limitarse a considerar que éste corresponde a la cantidad de sobre y subdotación que se genera al inicio de la heurística, cuando se asignan los turnos que no tienen descansos y éstos aún no han sido extendidos. Esto sólo sería posible si existiera libertad absoluta en cuanto al tiempo total de descanso que puede asignarse a los distintos trabajadores, lo cual no ocurre debido a los principios definidos para la extensión de los turnos. Por ejemplo, para una determinada curva de requerimiento podría ser necesario que se extiendan sólo los turnos de aquellos trabajadores que entraron a primera hora de la mañana y de esa forma se lograría igualar la extensión de turnos con la sobredotación, sin embargo, no se respetaría el principio de que la duración

de los turnos se extienda de manera uniforme para todos los trabajadores. Es por esto que se hace necesario el cálculo del mínimo descanso total mediante la heurística propuesta.

4.1.2. Cálculo del máximo almuerzo total

Para calcular el máximo tiempo de almuerzo total que se requiere distribuir entre todos los trabajadores para no generar obligatoriamente subdotación durante el horario de almuerzo, es necesario que todos los trabajadores estén presentes durante dicha ventana horaria.

El supuesto de que todos estén presentes en el horario de almuerzo puede ser razonable, ya que, por ejemplo si consideramos un escenario en que el horario de operación de la tienda es de 8:00 a 22:00 y los turnos tienen una duración de 10 horas (jornada laboral de 9 horas y 1 hora de descanso), si el horario de almuerzo no comienza antes de las 12:00 ni termina después de las 18:00, será posible calcular el máximo almuerzo total de manera exacta.

Asumiendo que se cumple el supuesto planteado, el máximo almuerzo total corresponderá a la diferencia entre la suma del requerimiento durante la ventana horaria de almuerzo y la suma de la dotación presente durante el horario de almuerzo, que será equivalente al total de empleados de la fuerza laboral.

Para cubrir el requerimiento de personal durante la ventana horaria de almuerzo, será posible asignar el máximo calculado o una cantidad menor de tiempo a los almuerzos de los trabajadores. Esto se debe a que si se reparte menos que el máximo almuerzo total, es posible utilizar otros descansos para lograr ajustarse a la curva de requerimiento durante dicha ventana, evitando que exista sobre y subdotación.

4.2. Segundo Módulo: Asignación de perfiles de descanso

En este módulo se considera el mínimo descanso y máximo almuerzo totales, los perjuicios para los trabajadores y la compañía y los perfiles asignados en la iteración anterior –si es que existió una iteración previa– para asignar un perfil de descanso a cada trabajador.

4.2.1. Criterios de prioridad de los perjuicios

Los perjuicios son ordenados de acuerdo a su criticidad –nivel de impacto que estos generan–, la cual es definida en base a un criterio propuesto. En la primera iteración se buscará minimizar el impacto de todos los perjuicios y en las sucesivas asignaciones se relajarán los perjuicios menos relevantes posibles de ajustar.

El perjuicio más crítico, de acuerdo al criterio considerado, corresponde a aumentar el número de descansos de cada trabajador, debido a que, en la práctica, empeora la productividad de los trabajadores y dificulta el cumplimiento de los tiempos establecidos. Desde la primera iteración se buscará que los trabajadores tengan la menor cantidad posible de descansos; si bien el almuerzo es obligatorio, se requerirá asignar un segundo descanso sólo si el mínimo descanso total es mayor que el máximo almuerzo total. Se agregará un tercer descanso sólo como medida extrema para aumentar la flexibilidad en la cobertura.

El siguiente perjuicio en orden de impacto corresponde a la inequidad en el descanso total que se asigna a los distintos trabajadores, ya que podría generar serios problemas de convivencia y de productividad. Para abordar este problema, la diferencia entre el descanso total de dos trabajadores cualquiera no superará un período de tiempo.

El tercer perjuicio corresponde a aumentar la duración del turno de los trabajadores, mediante el incremento del tiempo de descanso, lo cual va en desmedro del bienestar del trabajador. En la medida que sea necesario, se aumentará el descanso total de los trabajadores, manteniendo la equidad de acuerdo al perjuicio antes descrito, para disponer de mayor flexibilidad para la cobertura de la curva de requerimiento diario.

Finalmente, el perjuicio menos relevante de acuerdo al criterio planteado, corresponde a la variabilidad entre los perfiles de los distintos trabajadores. La palanca utilizada para relajar este perjuicio corresponde a disminuir la cantidad de tiempo que se distribuye como almuerzo y traspasarla a los otros descansos, para de esa manera tener mayor flexibilidad para cubrir la ventana horaria de almuerzo.

4.2.2. Construcción y asignación de perfiles de descanso

Para construir los perfiles de descanso en la primera iteración, el descanso total a repartir entre los trabajadores será equivalente al mínimo descanso total requerido, excepto si la restricción que define el máximo tiempo de descanso permitido para cada trabajador impide distribuir dicha suma de tiempo entre los empleados. En tal caso, se asignará el máximo tiempo factible a cada trabajador y existirá obligatoriamente cierto nivel de sobre y subdotación que no se podrá evitar.

Por su parte, el almuerzo total a distribuir se igualará al máximo almuerzo requerido, excepto si la restricción que define el mínimo tiempo permitido para almorzar obliga a entregar más tiempo que el sugerido. En tal caso, se asignará el mínimo almuerzo permitido a cada trabajador y también se producirá sobre y subdotación inevitablemente.

Complementariamente, en la primera iteración se maximizará la equidad entre los trabajadores respecto al tiempo de descanso total asignado a cada uno y a la duración del almuerzo de cada uno. Por último, el tiempo distribuido en descansos previos y posteriores al almuerzo será equivalente –o a lo más variará en un período de tiempo–, ya que de esta manera se aumenta la flexibilidad al disponer de descansos tanto antes como después del almuerzo.

En base a las consideraciones planteadas, es posible construir perfiles de descanso que permitan cumplir con éstas. Por ejemplo, supongamos que disponemos de una fuerza laboral de 100 trabajadores, el mínimo descanso total es de 470 períodos y el máximo almuerzo total es de 350 períodos de 15 minutos. En este caso 70 trabajadores recibirán 5 períodos de descanso total, mientras que los otros 30 recibirán 4 períodos y llamaremos a estos grupos A y B respectivamente. Asimismo, 50 de los trabajadores tendrán 4 períodos de almuerzo y los otros 50 tendrán 3 períodos, correspondientes a los grupos C y D respectivamente.

Para concluir la construcción de los perfiles de descanso del ejemplo planteado, existe un cierto grado de libertad, por ejemplo para definir cuántos de los trabajadores del grupo A, es decir, de los 70 trabajadores que tienen 5 períodos de descanso en total, pertenecerán al grupo C, es decir, tendrán 4 períodos de almuerzo. Frente a este nivel de libertad optamos

por tener la mayor equidad posible, al igual que al distribuir el tiempo de descanso que no corresponde a almuerzo entre descansos que ocurren previo y posterior a éste (en la Figura 4.2 se observa una posible configuración para los perfiles).

Fuerza Laboral: 100 trabajadores				
Mínimo descanso total requerido: 470 períodos				
Máximo almuerzo total requerido: 350 períodos				
# trabajadores	Descanso Total (períodos)		Grupo	
70	5		A	
30	4		B	
# trabajadores	Almuerzo (períodos)		Grupo	
50	4		C	
50	3		D	
Descansos (períodos de 15 minutos)			Perfil de Descanso (minutos)	# trabajadores
pre- almuerzo	almuerzo	post-almuerzo		
-	4	1	[60a; 15]	A { 25 } C
1	4	-	[15; 60a]	
-	3	2	[45a; 30]	D { 10 } B
2	3	-	[30; 45a]	
-	3	1	[45a; 15]	B { 15 } D
1	3	-	[15; 45a]	

FIGURE 4.2. Asignación de un perfil de descanso a cada trabajador.

En las iteraciones posteriores se utilizan las fuentes de flexibilidad relacionadas a los perjuicios menos críticos. Lo primero corresponde a disminuir la duración total de los almuerzos, lo cual puede hacerse hasta asignar el mínimo tiempo permitido para almorzar a cada trabajador. Luego de esto aumentamos la cantidad total de descanso a asignar y volvemos a iterar variando el tiempo que se asigna de almuerzo.

Posteriormente, intentaremos incrementar la flexibilidad aumentando la variedad respecto a las distintas duraciones de descanso utilizadas (lo cual no se relaciona con ningún

perjuicio en particular). Finalmente, si todavía no es posible alcanzar una cobertura satisfactoria, se aumentará la cantidad de descansos de cada trabajador y se volverá a realizar variaciones con las fuentes de flexibilidad previas.

4.3. Tercer Módulo: Asignación de turnos de trabajo

Para asignar turnos a una fuerza laboral conocida planteamos un modelo con dos fases. En la primera se asigna la hora de entrada y salida del turno de cada trabajador, es decir, se asigna un horario a cada empleado y también se seleccionan los descansos que se utilizarán. En la segunda fase se asignan los descansos a trabajadores específicos, completando de esta manera la asignación de turnos.

Para resolver la primera fase se adaptó uno de los modelos propuestos en Rekik et al (2010). En dicha investigación se plantean dos modelos que generan turnos con múltiples descansos. El primer modelo se denomina P1 y se basa en Aykin (1996). El segundo es P2 y se basa en Bechtold and Jacobs (1990).

Tanto en Rekik et al (2010) como en los experimentos realizados para esta investigación, el modelo P2 tuvo mejor desempeño que P1 en la mayoría de los casos. Por esto, en la primera fase presentamos una extensión del modelo P2 y utilizamos la misma nomenclatura propuesta por Rekik et al (2010) para facilitar la comparación y estudio de ambas investigaciones.

Nuestro modelo presenta dos innovaciones respecto a Rekik et al (2010) que le permiten asignar horarios a trabajadores y seleccionar descansos, en lugar de determinar el tamaño de la fuerza laboral requerida como lo hace Rekik et al (2010).

La primera innovación consiste en incorporar la posibilidad de que exista sobre y subdotación en la cobertura de la curva de requerimiento diario, a diferencia de Rekik et al (2010) donde la cobertura se restringe para que sea mayor o igual al requerimiento en todo momento del día. La función objetivo de la primera fase minimiza la sobre y subdotación, en lugar de minimizar el tamaño de la fuerza laboral requerida como lo hace Rekik et al (2010).

La segunda innovación de la primera fase es que, además de determinar a cuántos trabajadores se les debe asignar cada horario como se hace en Rekik et al (2010), asignamos horarios directamente a trabajadores específicos de la fuerza laboral.

Para resolver la segunda fase planteamos un modelo de asignación simple, que se asegura de que cada trabajador reciba los descansos que le corresponden según su perfil de descanso y que éstos respeten las restricciones de intervalos de trabajo respecto al horario asignado en la primera fase.

4.3.1. Conjuntos para la Primera Fase

I =: períodos de 15 minutos en los cuales se divide el horario de operación de la tienda.

TBP =: conjunto de todos los perfiles de descanso bp , los cuales podrán hacer referencia a uno, dos o más descansos. Este conjunto tendrá elementos del tipo $[X;;Y]$ donde X corresponde a la duración de un primer descanso e Y a la duración del descanso más tardío. Uno de los descansos corresponderá al almuerzo y su duración estará acompañada de una letra a (por ejemplo $[45a; 60]$ representa un almuerzo de 45 minutos y un descanso posterior de 60 minutos).

N_{bp} =: conjunto de las posiciones de descanso del perfil bp . Por ejemplo, si bp corresponde al perfil $[75a; 45]$ las posiciones serán 1 y 2, la primera posición estará relacionada a un almuerzo de 75 minutos y, la segunda, a un descanso posterior de 45 minutos.

N_{bp}^- =: conjunto de las posiciones de descanso del perfil bp , excepto la última posición.

J =: conjunto de todos los horarios disponibles j , cada horario cuenta con un período de inicio y término definidos y está asociado solamente a un perfil de descanso bp perteneciente a TBP . De esta manera, es posible que existan dos horarios que se inicien y terminen al mismo tiempo, pero que estén asociados a diferentes perfiles de descanso.

J_{bp} =: conjunto de todos los horarios j asociados al perfil bp .

$K_{(bp,p)}$ =: conjunto de todos los descansos del perfil bp , correspondientes a la posición p . Por ejemplo si bp corresponde al perfil [30; 60a] y p es la primera posición, el conjunto contendrá descansos de 30 minutos de este perfil que se diferenciarán por su período de inicio.

K =: conjunto de los descansos pertenecientes a todos los perfiles y posiciones existentes. Un descanso k pertenecerá a un perfil bp y posición p determinados, tendrá un período de inicio dentro del horario de operación y una duración definida por el perfil y posición correspondiente. Para toda posición de cada perfil existirán descansos que comiencen en todos los períodos del horario de operación de la tienda, excepto en el caso de los almuerzos, los cuales estarán contenidos en la ventana horaria correspondiente.

V =: conjunto de todos los trabajadores v pertenecientes a la fuerza laboral considerada en el problema. Cada trabajador estará relacionado sólo con un perfil de descanso, que corresponde al perfil que recibió en el módulo de asignación de perfil de descanso.

J_v =: conjunto de todos los horarios permitidos para el trabajador v , que corresponderán a aquellos horarios relacionados con el perfil bp , siendo bp el perfil de descanso que debe cumplir el trabajador v .

$K_{(bp,p)}^F(k)$ =: este conjunto está definido por tres parámetros, que corresponden a un descanso k , un perfil bp y un descanso p . El descanso k será parte del perfil bp y dependiendo de la posición del descanso k , existirán dos posibles definiciones distintas respecto a los elementos que componen el conjunto. Si la posición del descanso k es p , el conjunto contendrá los descansos de la posición p que comienzan en el mismo período o antes que el descanso k . La segunda definición del conjunto ocurre cuando la posición del descanso k es $p + 1$, por ejemplo esto ocurre si K está en la 2ª posición del perfil bp y el parámetro p corresponde a 1, es decir, hace referencia a la 1ª posición del perfil. Previo a describir el conjunto en su segunda acepción, es necesario definir que un descanso ubicado en una determinada posición de un perfil, será factible respecto a otro descanso ubicado

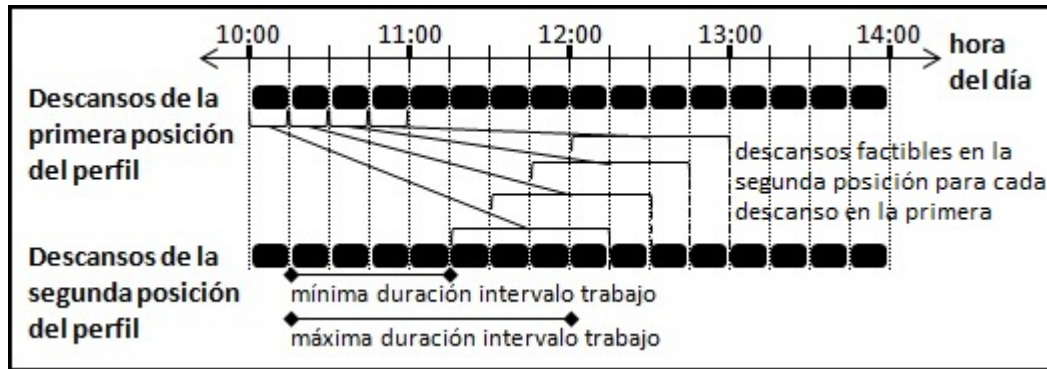


FIGURE 4.3. Descansos factibles entre las dos posiciones del perfil ilustrativo [15;15], considerando intervalos de trabajo de entre 1:00 y 1:45.

en una posición consecutiva, si la distancia entre la ocurrencia de cada uno que se cumplan las restricciones de intervalos de trabajo (ver Figura 4.3). Luego, la definición del conjunto para este segundo caso en que la posición del descanso k es $p + 1$, corresponde al conjunto que contiene aquellos descansos de la posición p , para los cuales todos sus descansos factibles en la posición $p + 1$ comienzan en el mismo período o antes que k .

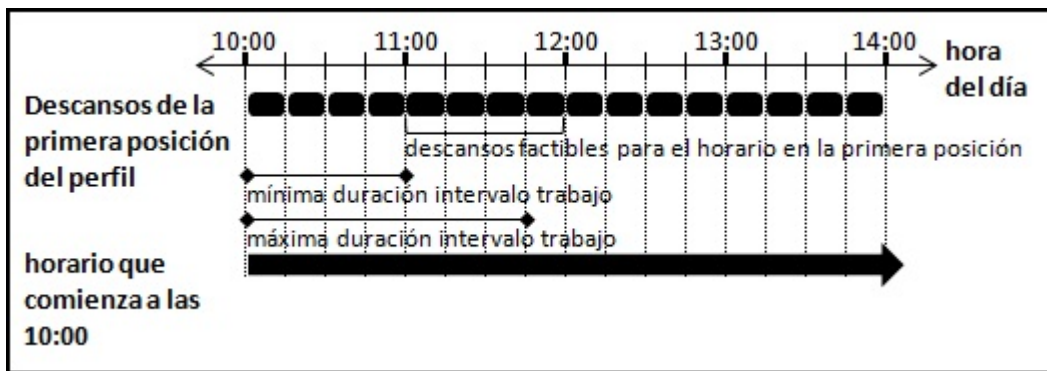


FIGURE 4.4. Descansos factibles para un horario en la primera posición del perfil de descanso [15;45a], considerando intervalos de trabajo de entre 1:00 y 1:45.

$K_{(bp,p)}^e$ =: este conjunto es determinado por dos parámetros, el perfil bp y la posición p . Para comprender este conjunto es clave definir que un descanso es factible para un horario si al asignarlo a dicho horario permite que se cumplan las restricciones de intervalos de trabajo y en caso de ser un almuerzo, si además está contenido en la ventana horaria de almuerzo (ver Figura 4.4).

De esta manera, el conjunto estará compuesto por todos los descansos del perfil bp y posición p , que corresponden al máximo –que comienza más tarde– descanso factible en la posición p para al menos un horario asociado a dicho perfil.

$K_{(bp,p+1)}^e$ =: cuando este conjunto es utilizado con el parámetro $p + 1$ en lugar del parámetro p , el conjunto tiene una definición diferente. Por ejemplo, si en el contexto de una restricción existe una posición de descanso denominada p , correspondiente a la primera posición, este conjunto es referido cuando se le entrega el parámetro $p + 1$, lo que en este ejemplo sería el número 2, referido a la segunda posición de descanso. Este conjunto contiene todos los descansos del perfil bp y posición $(p + 1)$, que son el máximo –que comienza más tarde– descanso factible para al menos uno de los descansos ubicados en la posición p .

$k_{(bp,p)}^e$ =: máximo descanso del conjunto $K_{(bp,p)}^e$, es decir, el descanso que comienza más tarde.

$K_{(bp,p)}^B(k)$ =: este conjunto tiene dos definiciones dependiendo de si la posición del descanso k es igual a la posición representada por el parámetro p . Si la posición del descanso k es p , este conjunto contiene los descansos de la posición p , que comienzan en el mismo período o después que k . Si la posición del descanso k es $p + 1$, este conjunto contiene los descansos de la posición p , cuyos descansos factibles en la posición $(p + 1)$ comienzan en el mismo período o después que el descanso k .

$K_{(bp,p)}^s$ =: conjunto de todos los descansos del perfil bp y posición p , que corresponden al mínimo –que comienza más temprano– descanso factible en la posición p para al menos un horario asociado a dicho perfil.

$K_{(bp,p+1)}^s$ =: conjunto de descansos del perfil bp y posición $(p + 1)$, que corresponden al mínimo descanso factible para algún descanso del perfil bp y posición p .

$k_{(bp,p)}^s$ =: mínimo descanso del conjunto $K_{(bp,p)}^s$, es decir, el descanso que comienza más temprano.

$J_{bp}^F(k)$ =: conjunto de horarios asociados al perfil bp , cuyos descansos factibles en la posición del descanso k , son todos menores o iguales a k , es decir comienzan en el mismo período o antes.

$J_{bp}^B(k)$ =: conjunto de horarios asociados al perfil bp , cuyos descansos factibles en la posición del descanso k , son todos mayores o iguales a k , es decir, comienzan en el mismo período o después.

4.3.2. Variables de decisión de la Primera Fase

S_j =: cantidad de veces que el horario j será utilizado en los turnos de los trabajadores.

B_k =: cantidad de veces que el descanso k será utilizado en los turnos de los trabajadores.

X_{vj} =: 1 si el horario j es asignado al trabajador v , 0 si no. La cantidad de horarios j asignados será igual a la cantidad seleccionada en S_j .

Δ_i^- =: unidades de subdotación en el período i .

Δ_i^+ =: unidades de sobredotación en el período i .

4.3.3. Parámetros de la Primera Fase

δ_{ij} =: 1 si el horario j cubre el período i , 0 si no.

φ_{ik} =: 1 si el descanso k cubre el período i , 0 si no.

d_i =: requerimiento por trabajadores en el período i .

4.3.4. Modelo de Programación Entera de la Primera Fase

$$\text{Minimizar } \frac{\sum_{i \in I} \Delta_i^- + \Delta_i^+}{\sum_{i \in I} d_i} \quad (4.1)$$

$$\sum_{j \in J} \delta_{ij} S_j - \sum_{k \in K} \varphi_{ik} B_k + \Delta_i^- - \Delta_i^+ = d_i \quad \forall i \in I \quad (4.2)$$

$$\sum_{k' \in K_{(bp,p)}^F(k)} B_{k'} - \sum_{j \in J_{(bp)}^F(k)} S_j \geq 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp}, \forall k \in K_{(bp,p)}^e \setminus \{k_{(bp,p)}^e\} \quad (4.3)$$

$$\sum_{k' \in K_{(bp,p)}^B(k)} B_{k'} - \sum_{j \in J_{(bp)}^B(k)} S_j \geq 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp}, \forall k \in K_{(bp,p)}^s \setminus \{k_{(bp,p)}^s\} \quad (4.4)$$

$$\sum_{k \in K_{(bp,p)}} B_k - \sum_{j \in J_{(bp)}} S_j = 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp} \quad (4.5)$$

$$\sum_{k' \in K_{(bp,p+1)}^F(k)} B_{k'} - \sum_{k' \in K_{(bp,p)}^F(k)} B_{k'} \geq 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp}^-, \forall k \in K_{(bp,p+1)}^e \setminus \{k_{(bp,p+1)}^e\} \quad (4.6)$$

$$\sum_{k' \in K_{(bp,p+1)}^B(k)} B_{k'} - \sum_{k' \in K_{(bp,p)}^B(k)} B_{k'} \geq 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp}^-, \forall k \in K_{(bp,p+1)}^s \setminus \{k_{(bp,p+1)}^s\} \quad (4.7)$$

$$\sum_{k \in K_{(bp,p+1)}} B_k - \sum_{k \in K_{(bp,p)}} B_k = 0 \quad \forall bp \in TBP, p \in N_{bp}^- \quad (4.8)$$

$$\sum_{v \in V: j \in J_v} X_{vj} = S_j \quad \forall j \in J \quad (4.9)$$

$$\sum_{j \in J_v} X_{vj} = 1 \quad \forall v \in V \quad (4.10)$$

$$S_j, B_k, \Delta_i^-, \Delta_i^+ \geq 0, \text{ integer} \quad (4.11)$$

$$X_{vj} \in \{0, 1\} \quad (4.12)$$

La función objetivo (4.1) de esta fase permite optimizar la cobertura minimizando la suma de la sobredotación y la subdotación. Esta suma es dividida por el requerimiento total, que si bien corresponde a una constante y podría obviarse, permite visualizar la función objetivo como un porcentaje del requerimiento total y de esta manera facilita su entendimiento y la comparación entre distintos casos.

Una posible extensión a este trabajo consistiría en ponderar estas desviaciones respecto del requerimiento por personal pronosticado de forma diferente dependiendo de si se trata de sobre o subdotación.

La restricción (4.2) regula la cobertura que se realiza de la curva de requerimiento diario en cada período. La manera en que realiza esto es asegurando que el número de empleados presentes en cada período –sin contar aquellos que están en descanso– sean iguales al requerimiento de personal en dicho período restando la subdotación y sumando la sobredotación.

Para comprender la restricción (4.3) supongamos que se selecciona un determinado horario para que sea asignado a un trabajador. Este horario tiene un conjunto de descansos factibles para cada una de las posiciones de descanso del perfil asociado. Si nos centramos en una de estas posiciones y miramos el tiempo hasta el período en que está ubicado el máximo –el que comienza más tarde– descanso factible, obligatoriamente se necesitará disponer de un descanso, ubicado en ese período o antes, para asignarlo a dicho horario.

De esta manera, lo que hace la restricción (4.3) es posicionarse en un momento determinado del día y asegurarse de disponer de al menos suficientes descansos hasta ese momento para ser asignados a los horarios que obligatoriamente necesitan un descanso hasta ese momento.

Se generan diferentes instancias de la restricción (4.3) para los distintos perfiles y para cada una de las posiciones asociadas a éstos. Respecto a una posición de un perfil, se genera una instancia diferente basada en cada uno de los descansos que son el máximo descanso factible para al menos un horario asociado al perfil en cuestión.

La restricción (4.4) corresponde a un espejo de la restricción anterior, ya que se asegura de que la cantidad de descansos con los que se cuenta desde un momento en el tiempo hacia adelante, sean suficientes para satisfacer a los horarios cuyos descansos obligatoriamente deben estar desde ese momento hacia adelante.

Finalmente, la restricción (4.5) completa la tarea iniciada en las dos restricciones anteriores, asegurándose de que la cantidad de descansos de un determinado par perfil-posición que se utilizarán, sea igual a la cantidad de horarios asociados a dicho par.

Estos tres tipos de restricciones son utilizadas por Rekik et al (2010) y son denominadas Forward, Backward y Equality respectivamente. En Addou and Soumis (2007) se demuestra que el uso conjunto de estos tres tipos de restricción es suficiente para asegurar la factibilidad requerida entre dos conjuntos relacionados.

Las restricciones (4.6) - (4.8) también corresponden a un conjunto de restricciones Forward, Backward y Equality propuesto por Rekik et al (2010), las cuales permiten asegurar la factibilidad requerida entre descansos de un mismo perfil, pero ubicados en posiciones consecutivas.

Para comprender la restricción (4.6) supongamos que se selecciona un determinado descanso del perfil bp y la posición p para que sea asignado a un trabajador. Este descanso tiene un conjunto de descansos factibles en la posición $p + 1$. Si miramos el tiempo hasta el período en que está ubicado el máximo –el que comienza más tarde descanso factible en la posición $p + 1$, obligatoriamente se necesitará disponer de un descanso, ubicado en ese período o antes, para asignarlo en conjunto con el descanso que se asignará en la posición p .

De esta manera, lo que hace la restricción (4.6) es posicionarse en un momento determinado del día y asegurarse de disponer de al menos suficientes descansos hasta ese momento asociados a la posición $p + 1$, para ser asignados en conjunto con los descansos de la posición p que obligatoriamente necesitan un descanso hasta ese momento en la posición $p + 1$.

Se generan diferentes instancias de la restricción (4.6) para los distintos perfiles y para cada una de las posiciones asociadas a éstos (exceptuando la última posición). Respecto a una posición p de un perfil bp , se genera una instancia diferente basada en cada uno de los descansos que son el máximo descanso factible en la posición siguiente ($p + 1$) para al menos un descanso asociado a la posición p .

La restricción (4.7) corresponde a un espejo de la restricción anterior, ya que se asegura de que la cantidad de descansos de la posición ($p + 1$) que se utilizarán en los turnos desde un momento en el tiempo hacia adelante sean suficientes para satisfacer a los descansos de la posición p cuyos descansos factibles en ($p + 1$) se deben ubicar obligatoriamente desde ese momento hacia adelante.

Finalmente, la restricción (4.8) completa la tarea iniciada en las dos restricciones anteriores, asegurándose de que la cantidad de descansos de un determinado par perfil-posición ($bp, p + 1$) que se utilizarán, sea igual a la cantidad de descansos asociados al par (bp, p).

A través de (4.9) es posible asegurar que todos los horarios considerados se asignen a algún trabajador. Por otro lado, la restricción (4.10) asegura que cada trabajador tenga un horario asignado. Finalmente, las restricciones (4.11) y (4.12) permiten describir el conjunto al que pertenece cada variable de decisión.

4.3.5. Segunda Fase

La segunda fase se resuelve con un modelo de asignación simple, el cual también planteamos mediante un modelo de programación entera, sin embargo la función objetivo definida correspondía a una constante, ya que sólo se buscaba una solución en la cual se cumpliera un conjunto de restricciones. Mediante estas restricciones aseguramos que cada trabajador recibiera los descansos correspondientes según su perfil, a la vez que se respetaban las restricciones de intervalos de trabajo de acuerdo al horario que se le había asignado en la primera fase.

De esta manera logramos terminar de asignar los turnos de cada trabajador y de esa manera confirmar que las restricciones de tipo Forward, Backward y Equality efectivamente funcionan en cuanto a asegurar la factibilidad de elementos de dos conjuntos relacionados.

4.4. Cuarto Módulo: Evaluación de la cobertura de la curva de requerimiento diario

Para evaluar si un nivel de cobertura de la curva de requerimiento diario es satisfactorio, realizamos una comparación con la mejor cobertura a la cual se puede aspirar, la cual no necesariamente corresponde a un ajuste perfecto entre el requerimiento y la dotación propuesta.

Las restricciones y distintas características del problema podrían impedir lograr una cobertura perfecta. Para lograr una comparación más realista entre la solución alcanzada y la aspirada, calculamos una cota de la cobertura alcanzable y de esta manera logramos detener las iteraciones en el momento adecuado cuando la cobertura alcanzada es suficientemente cercana a la cota calculada.

Cuando una solución no es satisfactoria se reitera la asignación de un perfil de descanso para cada trabajador, relajando aquellos perjuicios menos críticos y posterior esto, se repite el proceso completo hasta lograr una solución satisfactoria en cuanto a la cobertura alcanzada.

4.4.1. Cálculo de la cota de la cobertura

En dos situaciones se reconoce la posibilidad de determinar una cota de la cobertura distinta a un ajuste perfecto entre la dotación y la curva de requerimiento diario. Sin embargo, también existirán otras características particulares de ciertos problemas que podrían permitirnos determinar una cota a la cobertura, lo cual siempre será beneficioso para poder detener las iteraciones en el momento adecuado.

La primera situación se produce cuando para cumplir con el máximo almuerzo total requerido es necesario que a cada trabajador se le asigne un tiempo menor a la duración mínima permitida para el almuerzo de cada trabajador.

Para graficar este caso mediante un ejemplo, supongamos que disponemos de una fuerza laboral de 100 trabajadores, la mínima duración permitida para el almuerzo es de 45 minutos y el máximo almuerzo requerido corresponde a 30 minutos por trabajador. Obligatoria-mente se asignarán 45 minutos de almuerzo a cada trabajador. Durante el horario de almuerzo se producirá una subdotación de 1.500 minutos $((45-30) \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores})$ y, debido al equilibrio entre ambas desviaciones, existirá una sobredotación de igual magnitud, con lo cual la cota de la cobertura corresponderá a 3.000 minutos (1.500×2) divididos por el requerimiento diario total que es de 54.000 minutos $(9 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores})$, es decir, un 5.5% de desviación en la cobertura.

La segunda situación se produce cuando la restricción de máximo descanso permitido por trabajador impide distribuir entre los empleados el mínimo descanso total requerido para alcanzar una cobertura satisfactoria. Por ejemplo, si la fuerza laboral es de 100 trabajadores y el mínimo descanso total es de 12.000 minutos, es decir, 120 minutos por trabajador, mientras que el máximo descanso permitido para cada trabajador es de 90 minutos, se producirá un cierto nivel inevitable de sobre y subdotación, cuya suma dividida por el requerimiento diario total corresponderá a la cota de la cobertura.

Para calcular la cota de la cobertura cuando la restricción de máximo descanso permitido impide aspirar a alcanzar una cobertura perfecta, se ejecuta nuevamente la heurística de cálculo del mínimo descanso total, sin embargo sólo se extiende la duración del turno de cada empleado en una cantidad de tiempo equivalente al máximo descanso permitido por trabajador.

Cuando se detiene la extensión de la duración de los turnos, existe un equilibrio entre la sobredotación existente y la suma de dos cantidades: la subdotación y el tiempo que ha sido añadida a los turnos.

Supongamos que la curva de requerimiento presenta un peak al inicio del día, cuya área corresponde a P_1 y que posterior a éste se presenta un valle, cuya área es V_1 . Si modificamos la hora de entrada de aquellos turnos que permiten cubrir el peak, permitiendo que dichos empleados entre después del valle (ver Figura 4.5), se producen dos efectos. En primer lugar, la subdotación aumenta en una cantidad que equivalente a P_1 y, en segundo lugar, la dotación presente al término de los turnos aumenta en una cantidad equivalente a la suma de P_1 con V_1 , debido a que al mover su hora de inicio, también varía la de término.

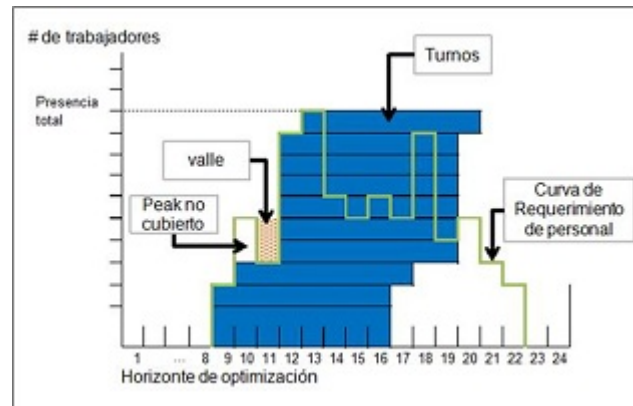


FIGURE 4.5. Ajustes de turnos a la cobertura desde el inicio del horario de operación, a excepción de un peak de la curva que no es cubierto.

Cuando el aumento de la dotación afecta a períodos en los cuales existía sobredotación, ésta se incrementa, mientras que si existía subdotación, ésta disminuye. Si asumimos que la disminución de la subdotación en el horario de término de los turnos corresponde a una cantidad Y , la variación total que se generará en la subdotación existente corresponderá a P_1 menos Y , siendo Y un valor entre cero y P_1 más V_1 .

En el caso de que se produzca una disminución en la subdotación total, lo cual ocurre cuando Y es mayor que P_1 , ésta implicará una disminución en la cota de la cobertura. Esto se debe al equilibrio existente entre la sobredotación y la suma de dos cantidades: la subdotación y la cantidad de tiempo añadido a los turnos. Si el tiempo añadido a los turnos se convierte en descanso, eventualmente éste podría contrarrestar igual cantidad de tiempo de sobredotación, generándose finalmente la igualdad entre sobre y subdotación.

De esta manera, la variación en la cota absoluta de la cobertura será equivalente al doble de la variación de la subdotación dividido por el requerimiento diario total.

Por lo tanto, aquellos peaks en los cuales la decisión de no cubrirlos genere una disminución en la subdotación y, por ende, una disminución en la cota de la cobertura, no serán cubiertos. Por otro lado, aquellos peaks que al no ser cubierto mantienen o aumentan la cota de la cobertura, continuarán siendo cubiertos.

Toda este proceso planteado se repite, pero de una manera análoga que corresponde a ajustar los turnos al final del horario de operación, extender los horarios pero manteniendo su hora de salida y luego evaluar con cuáles de los peaks ubicados al final del día mejora la cobertura cuando no son cubiertos. Finalmente la cota de la cobertura corresponde a la mejor cota alcanzada comparando el cálculo que comienza ajustando los turnos al inicio del día, con el que comienza ajustando los turnos al término del horario de operación.

5. EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES Y ANÁLISIS

El principal objetivo de los experimentos realizados es evaluar el desempeño de la metodología presentada en un día de operación (una posible extensión corresponde a la consideración de una semana de operación). Las pruebas se realizaron utilizando diversos problemas realistas en cuanto a las curvas de requerimiento diario, la duración de la jornada laboral y los perfiles de descanso, entre otras características consideradas. Las curvas de requerimiento fueron inventadas, a excepción de una de éstas, la cual se basa en un caso real de una empresa de retail.

Asimismo, se espera observar y analizar la calidad de las coberturas alcanzadas utilizando la métrica de desempeño que divide la suma de la sobre y subdotación por el requerimiento diario total. También se espera analizar la cantidad de iteraciones necesarias para alcanzar coberturas satisfactorias y por ende, lo que corresponde a una medida del aumento de los perjuicios para el trabajador y la compañía. Finalmente, se espera identificar aquellos factores clave para el logro de buenos resultados.

Complementariamente, se espera comparar los resultados alcanzados con los de otras metodologías presentadas en la literatura y con los desempeños que se podrían alcanzar en un contexto en el que solamente fuera posible asignar un almuerzo a los trabajadores dentro del horario correspondiente y, no múltiples descansos como en nuestra metodología.

Finalmente, se pretende comprender la magnitud del aporte que representa disponer de una cota para la cobertura, la cual permite tomar la decisión de detener la búsqueda de mejores soluciones cuando se alcanzan valores cercanos a este límite, en lugar de continuar iterando en búsqueda de soluciones inalcanzables.

5.1. Escenarios considerados

Todos los casos considerados se refieren a una fuerza laboral con 100 trabajadores y un horizonte de optimización de un día. En cuanto a la granularidad del tiempo, el día se separa en 96 períodos de 15 minutos y el horario de operación es de 8:00 a 22:00 horas.

Experimentos preliminares realizados con fuerzas laborales de 50, 100 y 200 trabajadores, tuvieron resultados similares respecto al desempeño de la función objetivo, la cual evalúa la cobertura alcanzada, y en cuanto a los tiempos de resolución. En base a lo anterior, se decidió exponer en este documento exclusivamente los casos con 100 trabajadores.

Respecto a los turnos de trabajo, todos los trabajadores tienen una jornada laboral de 9 horas, un almuerzo obligatorio de por lo menos 45 minutos y de ser necesario, otros descansos adicionales. La suma del tiempo total asignado a los descansos (incluyendo el almuerzo) no puede ser superior a una hora y treinta minutos. Finalmente, los intervalos continuos de trabajo deben durar entre una y seis horas.

En el desarrollo de los experimentos propuestos se considera un amplio espectro de curvas de requerimiento diario, tal como recomienda Brusco and Johns (1995), con el objetivo de aumentar la validez de los resultados que se alcancen.

Se definen dos series de curvas de requerimiento diario:

- La primera serie corresponde a curvas con cambios suaves de requerimiento a lo largo del día y con una forma similar a una letra M (ver Figura 5.1).
- La segunda serie corresponde a curvas de diversas formas e importantes variaciones de requerimiento a lo largo del día (ver Figura 5.3).

Adicionalmente a la consideración de diferentes curvas de requerimiento, los experimentos consideran distintos escenarios que varían en cuanto a la ventana horaria de almuerzo de la tienda. Para la primera serie de curvas se construyen experimentos con un horario de almuerzo de 12:00 a 16:00 y, otros con un horario de almuerzo de 13:30 a 16:30. Adicionalmente, la primera curva de esta serie se evalúa con un horario de almuerzo de 14:30 a 15:30.

Respecto a la segunda serie de curvas, éstas se evalúan en escenarios que contemplan el horario de almuerzo de 13:00 a 17:00, el cual está centrado en la mitad del horario de operación.

Para los experimentos se utilizó un procesador Intel Core 2 Duo de 2.4GHz, con 4GB de memoria RAM.

5.2. Resultados y análisis

5.2.1. Experimentos con curvas con forma de M

En los experimentos asociados a la primera serie de curvas de requerimiento, los resultados fueron muy cercanos a las cotas de desempeño con no más de tres iteraciones, tal como se muestra en las Tablas 5.1 y 5.2.

TABLE 5.1. Desempeño obtenido en las iteraciones con curvas 1 a la 4 y horario de almuerzo de 12:00 a 16:00, en la última fila se incluye la cota para el desempeño

Iteración	Curva			
	1	2	3	4
1	0.11%	4.22%	0.72%	1.39%
2	0.11%	-	0.28%	-
3	0.00%	-	0.06%	-
Cota	0.00%	4.22%	0.00%	1.33%

TABLE 5.2. Desempeño obtenido en las iteraciones con curvas 1 a la 4 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, en la última fila se incluye la cota para el desempeño

Iteración	Curva			
	1	2	3	4
1	0.78%	7.30%	0.72%	2.61%
2	0.17%	-	0.22%	-
3	0.00%	-	0.00%	-
Cota	0.00%	7.30%	0.00%	2.61%

En el experimento con la curva 1 (ver Figura 5.1) y horario de almuerzo de 13.30 a 16.30 el mínimo descanso total que se necesita distribuir entre los trabajadores es de 8.760 minutos para estar en condiciones de alcanzar una cobertura perfecta de la curva de requerimiento (ver Tabla 5.3). Además, el máximo almuerzo total requerido es de 6.240 minutos.

Supongamos que este problema (curva 1 y almuerzo de 13:30 a 16:30) se resolviera sin la posibilidad de asignar múltiples descansos a cada trabajador y a cada uno de éstos sólo

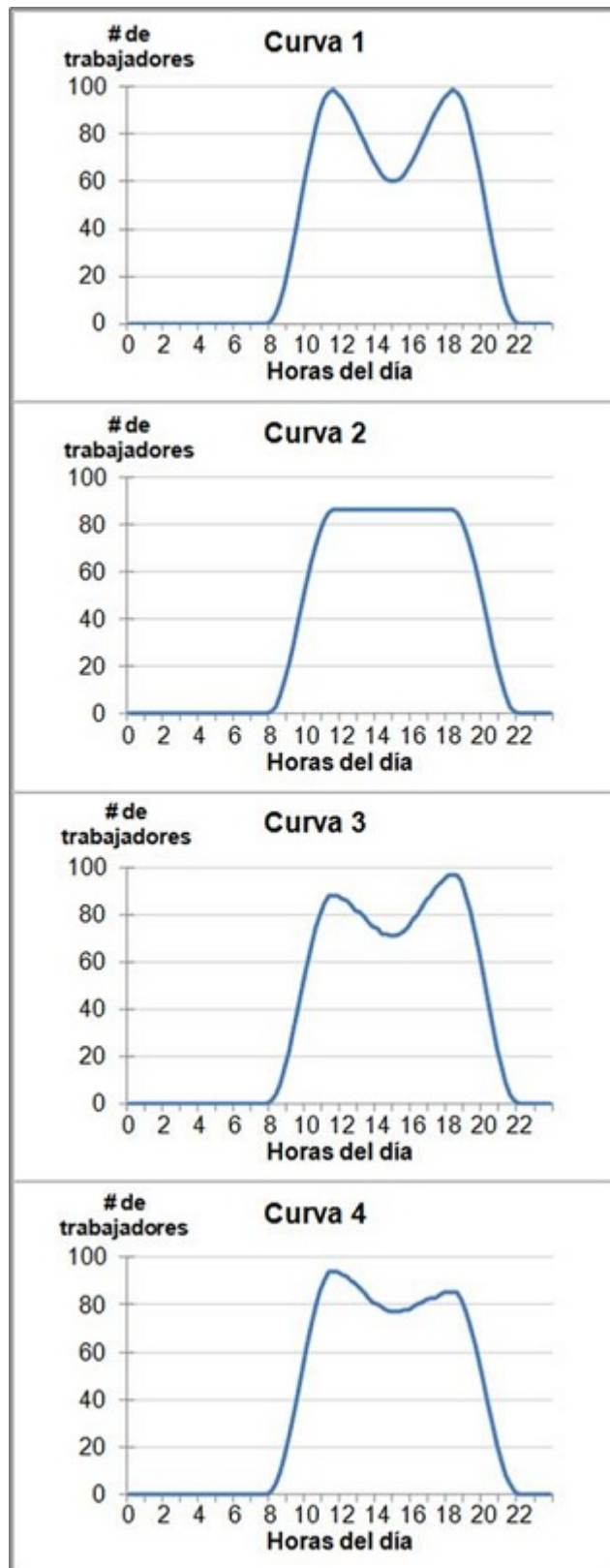


FIGURE 5.1. Curvas 1 a la 4, corresponden a la primera serie de curvas de requerimiento. Son curvas suaves y con forma de M (un valle rodeado de dos peaks), con diferentes profundidades para el valle y diferencias entre la altura de ambos peaks.

TABLE 5.3. Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 1 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, para alcanzar un desempeño de 0%

Iteración	Perfiles de descanso (minutos)			# trabajadores por perfil	$\frac{\text{almuerzo promedio}}{\text{max almuerzo}}$	Desempeño
	pre-almuerzo	almuerzo	post-almuerzo			
1	-	60	30	42	$\frac{62.4}{62.4} = 100\%$	0.78%
	30	60	-	42		
	-	75	-	16		
2	-	60	30	42	$\frac{59.25}{62.4} = 95\%$	0.17%
	30	60	-	42		
	-	45	30	2		
	30	45	-	3		
	-	60	15	6		
3	-	60	30	37	$\frac{56.25}{62.4} = 90\%$	0.00%
	30	60	-	38		
	-	45	30	8		
	30	45	-	8		
	-	45	45	5		
	45	45	-	4		

TABLE 5.4. Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 3 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30, para alcanzar un desempeño de 0.22%

Iteración	Perfiles de descanso (minutos)			# trabajadores por perfil	$\frac{\text{almuerzo promedio}}{\text{max almuerzo}}$	Desempeño
	pre-almuerzo	almuerzo	post-almuerzo			
1	-	60	30	5	$\frac{46.5}{46.5} = 100\%$	0.72%
	30	60	-	5		
	-	45	45	6		
	45	45	-	7		
	-	45	30	28		
2	30	45	-	49	$\frac{45}{46.5} = 97\%$	0.22%
	-	45	45	12		
	45	45	-	11		
	-	45	30	24		
	30	45	-	53		

se le asignara un almuerzo de, por ejemplo, 60 minutos. En este caso la diferencia entre el descanso total asignado a los trabajadores y el mínimo descanso total requerido genera un nivel de sobre y subdotación inevitable. La cota de la cobertura alcanzable en este caso corresponde a 10.22%.

Por otro lado, al aplicar nuestra metodología de múltiples descansos en este experimento (curva 1 y almuerzo de 13:30 a 16:30), en la primera iteración se cubrió el requerimiento del horario de almuerzo con los descansos de esta ventana, sin embargo, aunque se alcanzó un buen desempeño (menor a un 1% de sobredotación y subdotación), no se llegó al óptimo. En las siguientes iteraciones se disminuyó el porcentaje del horario de almuerzo,

cubierto por los descansos de dicha ventana, llegando a una cobertura perfecta, es decir, un desempeño de 0%, en la tercera iteración (ver Tablas 5.2 y 5.3).

Luego de resolver el experimento recién planteado, es posible constatar que la disponibilidad de mayor flexibilidad para cubrir el horario de almuerzo puede ser relevante para mejorar el desempeño. Por otro lado, se observa la ventaja de conocer el mínimo descanso y máximo almuerzo totales y de poder disponer de más de un descanso por trabajador, con lo cual en este caso se lograron importantes mejoras en el desempeño.

En el experimento con la curva 2 y horario de almuerzo de 13:30 a 16:30 el mínimo descanso total requerido corresponde a 2.520 minutos. Sin embargo, debido a que el almuerzo mínimo es de 45 minutos, se genera una sobre y subdotación de 19.8 minutos por trabajador. Dado lo anterior y que la jornada laboral corresponde a 9 horas (540 minutos), la cota para el desempeño sería:

$$Cota = \frac{2 \times 19.8 \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores}}{540 \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores}} = 7.3\%,$$

valor que se alcanzó en la primera iteración y que no puede ser mejorado (ver Tabla 5.2).

En el experimento con la curva 3 y almuerzo de 13:30 a 16:30, el mínimo descanso total es de 7.845 minutos y el máximo almuerzo total es 4.650 minutos (ver Tabla 5.4).

Si este problema se resolviera sin disponer de múltiples descansos y a cada trabajador se le asignara un descanso de 60 minutos, la cota para el desempeño sería de 11.83%, ya que se cubren los 46.5 minutos de descanso del horario del almuerzo, pero no se cubren los 31.95 minutos fuera del horario del almuerzo, generando la siguiente cota:

$$Cota = \frac{2 \times 31.95 \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores}}{540 \text{ minutos} \times 100 \text{ trabajadores}} = 11.83\%,$$

. Los minutos adicionales de descanso dentro del horario de almuerzo generan subdotación. Sin embargo, ésta no afecta la cota del desempeño ya que es menor que la sobredotación obligada y, dado que entre ambas desviaciones siempre existe un equilibrio, esta subdotación se debiera producir de todas maneras.

Continuando con el caso en que se resuelve el problema sin disponer de múltiples descansos, si se asigna un almuerzo de 45 minutos se genera sobredotación obligada debido a la diferencia entre la duración del almuerzo y el mínimo descanso total requerido. La cota para el desempeño en este caso corresponde a un 12.39%. Se observa un alto nivel de sobre y subdotación cuando no se dispone de múltiples descansos, ya que no existe flexibilidad para satisfacer la curva de requerimiento fuera del horario de almuerzo.

Cuando se resuelve este experimento (curva 3 y almuerzo de 13:30 a 16:30) utilizando nuestra metodología que considera múltiples descansos, al asignar 45 minutos de almuerzo a cada trabajador y asignar un segundo descanso a los trabajadores –con lo que se asigna una cantidad de tiempo de descanso equivalente al mínimo descanso total requerido– se alcanza un 0.22% de desviación en la cobertura de la curva de requerimiento de personal. Este desempeño no se puede continuar mejorando por medio de flexibilidad en el almuerzo, debido a que ya se ha asignado el mínimo tiempo para este fin a cada trabajador. Debido a que dicho desempeño es bastante cercano a un 0% de desviación, asumimos que es satisfactorio y se detienen las iteraciones.

Nuevamente se observa que al disponer de múltiples pausas laborales y conocer el mínimo descanso y máximo almuerzo totales requeridos, es posible generar perfiles de descanso que permitan cubrir adecuadamente los requerimientos. En consecuencia, la ventaja de utilizar múltiples descansos queda en evidencia ante una importante mejora en el desempeño.

En el experimento realizado con la curva 1 y almuerzo de 14:30 a 15:30, el máximo almuerzo total corresponde a 2.370 minutos. Sin embargo, dadas las restricciones definidas, el mínimo tiempo que se puede asignar a cada trabajador para este fin corresponde a 45 minutos, es decir, se debe asignar por lo menos 4.500 minutos de almuerzo. Basado en lo anterior, la cota para la cobertura es de 7.8%.

Sin embargo, durante los 45 minutos previos y posteriores al horario de almuerzo, ningún trabajador puede tener descanso debido a lo reducido de dicha ventana y a la mínima

duración permitida para los intervalos de trabajo. La sobredotación que se genera de manera obligada por no cubrir el requerimiento de personal durante dichos períodos (ver Figura 5.2), sumada con la correspondiente subdotación, definen una cota para el desempeño de 11.3%.

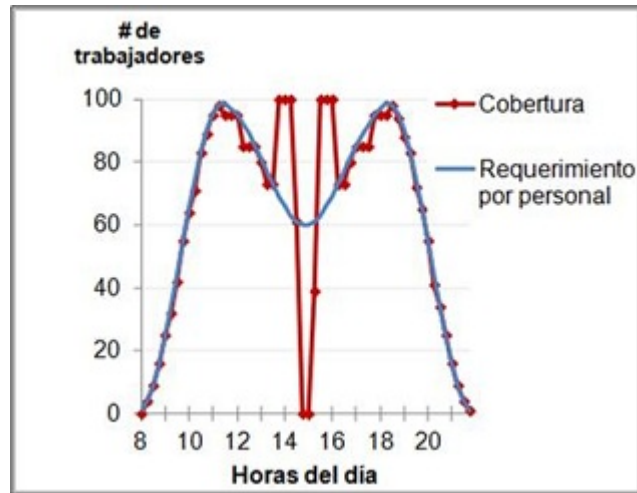


FIGURE 5.2. Cobertura del requerimiento de personal en el experimento con la curva 1 y horario de almuerzo de 14:30 a 15:30.

Dicha cota es equivalente al valor que se obtuvo en la primera iteración, por lo cual, dadas las restricciones del problema, se concluye que ya se ha alcanzado el valor óptimo.

Para los experimentos realizados con la primera serie de curvas de requerimiento, los tiempos de resolución de los problemas no superaron los 45 segundos. Dicho tiempo considera el cálculo del mínimo descanso y máximo almuerzo totales y las iteraciones de asignación de perfil de descanso y de turno realizadas.

5.2.2. Experimentos con curvas variables de múltiples formas

En el experimento con la curva 5 (ver Figura 5.3) y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00 existe una cota de la cobertura de de 0.17%. Esto se debe a que hay un peak en la curva antes de que se cumpla una hora desde el inicio del horario de operación y a que las restricciones de intervalos de trabajo prohíben la posibilidad de disponer de descansos en dicho momento. La mejor manera de ajustarse al peak es minimizar el máximo entre la sobre y subdotación que se genera, con lo cual se alcanza la cota previamente indicada.

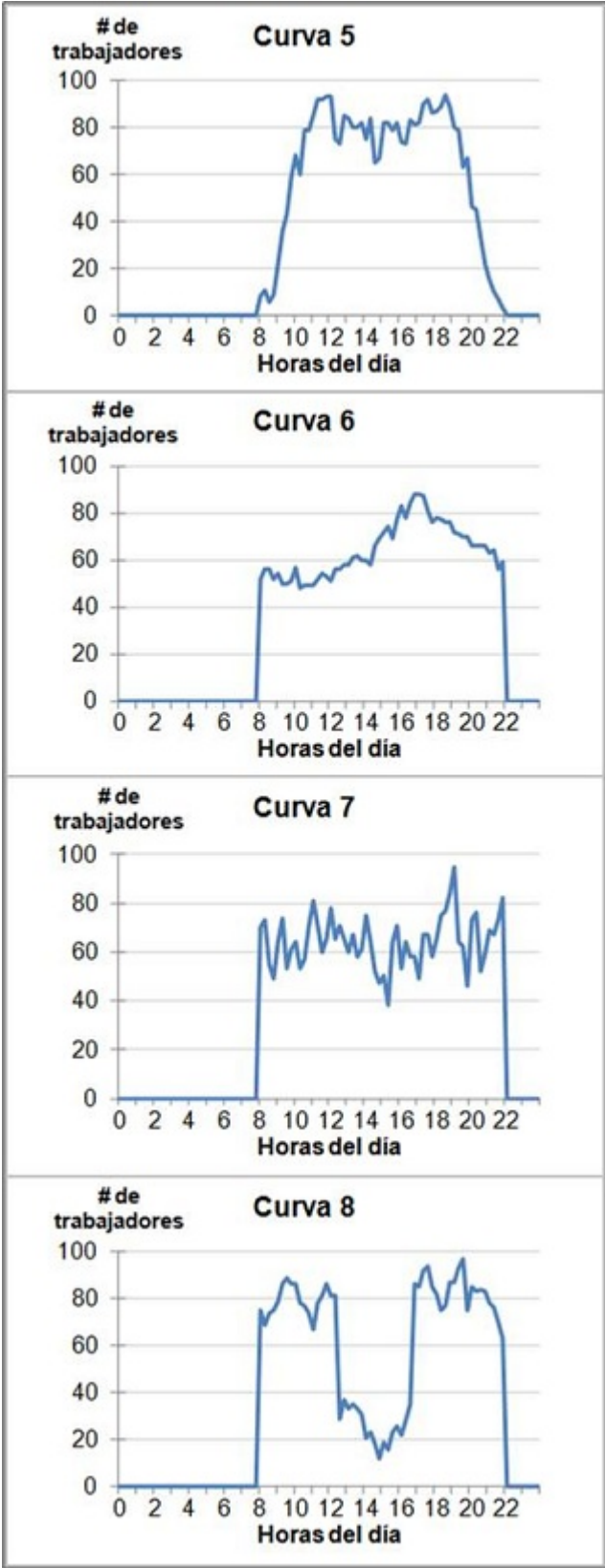


FIGURE 5.3. Curvas 5 a la 8, corresponden a la segunda serie de curvas de requerimiento: curvas con diversas formas y alta variabilidad.

TABLE 5.5. Iteraciones realizadas con 100 trabajadores con la curva 5 y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00, para alcanzar un desempeño (nivel de sobredotación y subdotación) de 0.6%, cuando la cota es 0.17%

Iteración	Perfiles de descanso (minutos)			# trabajadores por perfil	$\frac{\text{almuerzo promedio}}{\text{max almuerzo}}$	Desempeño
	pre-almuerzo	almuerzo	post-almuerzo			
1	-	60	30	24	$\frac{52}{52} = 100\%$	1.11%
	30	60	-	23		
	-	45	45	21		
	45	45	-	22		
	-	45	60	5		
	60	45	-	5		
2	-	45	45	45	$\frac{45}{52} = 86.5\%$	2.56%
	45	45	-	45		
	-	45	60	5		
	60	45	-	5		
3	-	45	45	25	$\frac{52}{52} = 100\%$	1.06%
	45	45	-	25		
	-	45	60	3		
	-	60	45	23		
	45	60	-	24		
4	-	45	60	25	$\frac{45}{52} = 86.5\%$	1.33%
	60	45	-	25		
	-	45	45	25		
	45	45	-	25		
5	-	60	30	13	$\frac{52}{52} = 100\%$	0.61%
	30	60	-	12		
	-	60	45	13		
	45	60	-	12		
	-	45	60	13		
	60	45	-	12		
	-	45	45	13		
	45	45	-	12		
6	-	60	30	13	$\frac{48.75}{52} = 93.7\%$	0.61%
	30	60	-	12		
	-	45	60	25		
	60	45	-	25		
	-	45	45	13		
	45	45	-	12		

Si este experimento se resolviera sin disponer de múltiples descansos y solamente se asignara un almuerzo a los trabajadores se observaría lo siguiente: si el almuerzo durara 45 minutos se alcanzaría una cota de la cobertura de 17.2%, es decir, ésta no podría ser mejor que dicho valor; si el almuerzo fuera de 60 minutos, el desempeño no sería mejor que 14.6%. Estas cotas son determinadas por la diferencia entre el mínimo descanso total requerido, que es de 9.150 minutos, y el almuerzo máximo, que corresponde a 5.200 minutos. Estos 3.950 minutos generan un 7.3% de sobredotación, mientras que los 7 minutos por trabajador que no son cubiertos cuando se asignan 45 minutos de almuerzo en lugar

de 52, generan un 1.3% adicional de sobredotación. Al duplicar estos valores, debido al equilibrio entre sobredotación y subdotación, se alcanza la cota de la cobertura de 17.2%.

En el mismo experimento (curva 5 y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00), pero utilizando nuestra metodología de múltiples descansos, se realizaron una serie de iteraciones para alcanzar finalmente un buen desempeño (ver Tabla 5.5). En la primera iteración se utilizaron almuerzos para cubrir toda la ventana de tiempo correspondiente y se alcanzó un desempeño de 1.1%. Al intentar mejorar la cobertura aumentando la flexibilidad para cubrir el horario de almuerzo, se observa que el desempeño empeora, llegando a un 2.6% en la segunda iteración. Probablemente esto se debe a que la alta variabilidad de la curva de requerimiento genera la necesidad de disponer de diferentes duraciones de descanso, para así poder ajustarse a los múltiples peaks existentes.

Posiblemente la primera iteración tuvo mejor desempeño que la segunda, debido a que dispone de más tipos de descansos adicionales al almuerzo. La primera iteración incluye duraciones de descanso de 30, 45 y 60 minutos, mientras que la segunda, solamente tiene de 45 y 60 minutos.

En la tercera iteración se intenta aumentar la flexibilidad del problema aumentando la cantidad de descanso disponible (a 40 personas se les agregaron 15 minutos de descanso) y se alcanza un desempeño de 1.06%, es decir, dicha manera de aumentar la flexibilidad fue exitosa.

Posteriormente, en la cuarta iteración se intenta aumentar la flexibilidad, al incrementar la libertad para cubrir el horario de almuerzo, pero manteniendo un descanso superior al mínimo necesitado. La cobertura nuevamente empeora, llegando a un 1.3%, posiblemente por la misma razón que en la iteración 2.

Para comprobar que al disponer de mayor diversidad en la duración de los descansos puede aumentar la flexibilidad, se realiza una nueva iteración, en la cual se cubre todo el horario de almuerzo con los descansos de dicha ventana, se dispone de más descanso que el mínimo requerido y se utilizan ocho perfiles distintos. El desempeño alcanzado mejora los resultados previos, alcanzando un valor de 0.6%.

Una última iteración se realizó basada en la iteración 5, pero flexibilizando levemente el descanso del horario de almuerzo que se cubre con descansos de dicha ventana. La solución encontrada tiene un desempeño igual al caso anterior, es decir, 0.6%.

Si bien, evaluando más casos que incorporen las fuentes de flexibilidad mencionadas se esperaría que el desempeño mejorase, el resultado alcanzado hasta el momento con un número bajo de iteraciones es bastante cercano al óptimo, por lo que es considerado satisfactorio y, por ende, se detienen las iteraciones.

Nuevamente se comprueban los beneficios que puede entregar el poder asignar múltiples descansos cuando se conoce el mínimo descanso y máximo almuerzo totales requeridos, en comparación con el caso base en el cual sólo es posible asignar un almuerzo a cada trabajador y, especialmente si éste debe tener igual duración para todos los trabajadores.

Para los experimentos con las curvas 6, 7 y 8 el mínimo descanso total requerido es bastante alto en comparación con las otras curvas, debido a las formas de las curvas correspondientes. En los tres casos el requerimiento por descanso es cercano a 5.000 horas para poder alcanzar un 0% de sobredotación y subdotación, lo cual, eventualmente, implicaría tener que asignar 5 horas de descanso a cada trabajador.

Debido a que las restricciones definidas impiden asignar dicha cantidad de tiempo de descanso a cada trabajador, y, sólo permiten asignar un descanso total de 1.5 horas por trabajador, se calculó la cota de la cobertura. Al resolver los problemas se alcanzaron coberturas equivalentes a las correspondientes cotas en no más de tres iteraciones (ver Tabla 5.6). La flexibilidad se incrementó al disminuir la cantidad de descanso que se asignaba como almuerzo y aumentar el tiempo asignado a los otros descansos.

Los desempeños alcanzados en los experimentos con las curvas 6, 7 y 8 son muy buenos, pero la posibilidad de disponer de la cota de la cobertura es clave, ya que permite visualizar la distancia existente entre las soluciones alcanzadas y el mejor cobertura a la que se puede aspirar.

TABLE 5.6. Desempeño obtenido en las iteraciones con las curvas 5 a la 8 y horario de almuerzo de 13:00 a 17:00, en la última fila se incluye la cota para el desempeño

Iteración	Curva			
	5	6	7	8
1	1.11%	16.22%	30.55%	46.16%
2	2.56%	14.77%	27.70%	-
3	1.06%	-	26.44%	-
4	1.33%	-	-	-
5	0.61%	-	-	-
6	0.61%	-	-	-
Cota	0.17%	14.77%	26.44%	46.16%

Al comparar los resultados de esta investigación con Rekik et al (2010), a pesar de que resuelven diferentes problemas, se observa que la metodología que hemos planteado alcanza excelentes resultados, llegando a desempeños con menos de un 1% de sobredotación y subdotación en los diversos casos considerados. Por otro lado, en Rekik et al (2010) se generan fuerzas laborales con más trabajadores que los necesarios en el 25% de los casos evaluados.

Los tiempos de resolución de los problemas con la segunda serie de curvas de requerimiento no superaron los 60 segundos. Este tiempo es bastante razonable ya que si se comparan con los tiempos de Rekik et al (2010), éste último alcanza tiempos promedio superiores a 500 segundos en todos los experimentos considerados, los cuales se refieren a fuerzas laborales con entre 10 y 120 trabajadores.

Gran parte de la ventaja que tiene la metodología propuesta en esta tesis respecto al tiempo de resolución, se debe a que se seleccionó solamente un perfil de buena calidad para cada trabajador. Mientras que Rekik et al (2010) por otro lado, evaluaba el problema con múltiples perfiles simultáneos por trabajador y además los seleccionaba de manera arbitraria, es decir, sin seguir una lógica definida.

6. CONCLUSIONES, EXTENSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones

En todos los escenarios considerados, que evaluaron diversas situaciones posibles, se obtuvieron resultados favorables, lo cual sostiene fuertemente la hipótesis respecto a que el uso de múltiples descansos en dotaciones de trabajadores de jornada completa permite un buen ajuste frente a la necesidad de trabajadores, por lo que es una alternativa atractiva frente a trabajadores de jornada parcial.

El desempeño alcanzado en los experimentos realizados fue menor a un 1% en la desviación de la cobertura, la cual es calculada como la suma de la sobre y subdotación como porcentaje del requerimiento total por trabajadores. Este resultado es excelente en comparación con desempeños incluso peores que un 10%, obtenidos al evaluar el caso base en el cual sólo es posible asignar un descanso a cada trabajador, que corresponde a un almuerzo.

Concluimos que es fundamental poder determinar qué aspectos del problema podrían impedir que sea factible lograr un determinado nivel de ajuste entre la dotación y el requerimiento, es decir, determinar la cota de la cobertura. Esto se debe a que gracias a disponer de esta información, se evita destinar esfuerzos en la búsqueda de un nivel de cobertura inalcanzable.

Los favorables resultados alcanzados en la cobertura del requerimiento de personal se deben a la utilización de múltiples descansos. Si bien podría esperarse que fuera necesario asignar gran cantidad de descansos a cada trabajador para alcanzar coberturas satisfactorias, gracias al amplio espectro de experimentos realizados, es posible inferir que en general, para permitir una buena cobertura satisfactoria del requerimiento de personal basta con que cada trabajador tenga sólo un descanso además del almuerzo.

La consideración de minimizar los perjuicios para el empleado y la compañía al momento de asignar los perfiles de trabajo presenta dos ventajas. Por un lado esto permite

guiar la construcción de aquellos perfiles con alta probabilidad de permitir buenos resultados y, por otro, se reconoce el impacto e importancia de los perjuicios existentes y se procura mantenerlos en el mínimo posible.

Sobre la base de la investigación realizada podemos aseverar que, además de disponer del número de descansos adecuados, es muy relevante que estos tengan la duración apropiada. Dicha cantidad de tiempo fue determinada gracias a la posibilidad de determinar el mínimo descanso y máximo almuerzo totales. Estos valores permiten limitar la cantidad de tiempo de descanso que se necesita distribuir entre todos los trabajadores para alcanzar coberturas satisfactorias.

Al observar los desempeños alcanzados utilizando diferentes fuentes de flexibilidad, se puede concluir que es fundamental saber detectar la mejor manera de flexibilizar cada problema en base a sus restricciones y características, entendiendo que si se administra correctamente una pequeña porción de flexibilidad es posible obtener gran parte de los beneficios que se alcanzarían con el total de la flexibilidad.

Finalmente es clave reconocer que, más allá de los beneficios en la cobertura del requerimiento diario de personal de este enfoque, la utilización de múltiples descansos diarios por trabajador tiene una serie de perjuicios para el empleado y la empresa. A pesar de que estos se mantienen controlados al momento de asignar perfiles, siguen existiendo y se hace necesaria una evaluación detallada de los costos y beneficios de este enfoque para decidir implementarlo en la práctica y asumir las correspondientes compensaciones que se deban entregar a los trabajadores.

6.2. Extensiones y trabajo futuro

El análisis presentado podría extenderse a horarios de operación día-noche u horario de operación de 24 horas. Sólo se necesitaría que existieran restricciones para la ubicación de los turnos de cada trabajador en intervalos acotados de tiempo, para así poder calcular mínimos descansos totales y acotar la búsqueda de los mejores perfiles.

Asimismo, es posible una extensión que permita la programación de turnos para una semana de trabajo en lugar de un día. Una manera de lograr esto es a través de la consideración de varios posibles perfiles por trabajador en forma simultánea para cada día, junto con asegurar que cada trabajador tenga la cantidad de días libres y de horas semanales de trabajo correspondientes. Otra forma de realizar esta extensión es considerando una cantidad de horas semanales fija y una jornada laboral variable como condiciones que permitirían modelar perfiles de descanso semanales.

En cuanto a las pausas laborales, en los experimentos presentados se limitó el descanso máximo por trabajador debido a que la duración total de un turno debe ser razonable para garantizar un descanso adecuado. Sin embargo, la metodología puede ser utilizada para descansos de alta duración, aplicables a un caso en que la jornada laboral sea más reducida. En dicho caso la jornada laboral se debe separar en dos, generando un intervalo largo de descanso en que el trabajador incluso podría regresar a su hogar.

Por otro lado, una posible extensión de la metodología planteada podría contemplar la evaluación de los costos y beneficios del uso de múltiples descansos. Con esto se abordaría la compensación de los trabajadores por los inconvenientes que se les genera, la cual puede ser gestionada a través de un proceso de negociación entre trabajadores y la compañía, tal como lo hace Lusa et al (2009).

References

- Addou I, Soumis F (2007) Bechtold-jacobs generalized model for shift scheduling with extraordinary overlap. *Annals of Operations Research* 155(1):177–205
- Aykin T (1996) Optimal shift scheduling with multiple break windows. *Management Science* 42(4):591–602
- Bechtold SE, Jacobs LW (1990) Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling. *Management Science* 36(11):1339–1351
- Brusco MJ, Jacobs LW (1998) Personnel tour scheduling when starting-time restrictions are present. *Management Science* 44(4):534–547
- Brusco MJ, Jacobs LW (2000) Optimal models for meal-break and start-time flexibility in continuous tour scheduling. *Management Science* 46(12):1630–1641
- Brusco MJ, Johns TR (1995) The effect of demand characteristics on labour scheduling methods. *International Journal of Operations & Production Management* 15(1):74–88
- Corominas A, Lusa A, Pastor R (2009) Human resource management using working time accounts with expiry of hours. *Journal of Industrial and Management Optimization* 5(3):569–584
- Dantzig GB (1954) A comment on edies traffic delays at toll booths. *Operations Research* 2(3):339–341
- Ernst AT, Jiang H, Krishnamoorthy M, Sier D (2004) Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research* 153(1):3–27
- Jordan WC, Graves SC (1995) Principles on the benefits of manufacturing process flexibility. *Management Science* 41(4):577–594
- Lusa A, Corominas A, Olivella J, Pastor R (2009) Production planning under a working time accounts scheme. *International Journal of Production Research* 47(13):3435–3451
- Mohan S (2008) Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction. *Mathematical and Computer Modelling*

48(11–12):1806–1813

- Moondra SL (1976) An l. p. model for workforce scheduling in banks. *Journal of Bank Research* 7(4):299–301
- Pastor R, Olivella J (2008) Selecting and adapting weekly work schedules with working time accounts: A case of a retail clothing chain. *European Journal of Operational Research* 184(1):1–12
- Rekik M, Cordeau JF, Soumis F (2008) Solution approaches to large shift scheduling problems. *RAIRO Operations Research* 42(2):229–258
- Rekik M, Cordeau JF, Soumis F (2010) Implicit shift scheduling with multiple breaks and work stretch duration restrictions. *Journal of Scheduling* 13(1):49–75
- Showalter MJ, Mabert VA (1988) An evaluation of a full-/part-time tour scheduling methodology. *International Journal of Operations & Production Management* 8(7):54–71
- Thompson GM (1995) Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science* 41(4):595–607
- Thompson GM (2003) Labor scheduling: A commentary. *Cornell Hospitality Quarterly* October 44(5–6):149–155