

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Diseño de un esquema de trabajo en un centro de distribución

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Gabriela Robles

Nathaly Tomalá

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a Dios por su infinita bondad y ser guía en este camino lleno de enseñanzas y aprendizajes, y a cada una de nuestras familias que han sido partícipe durante este proceso de formación profesional.

Los autores.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestros queridos docentes por guiarnos y forjar excelentes profesionales.

Además, a nuestras familias en general por su cariño y amor brindado en este trayecto, motivándonos a seguir adelante.

A nosotras por el gran esfuerzo y la dedicación mutua en este proyecto, siendo partícipes de grandes experiencias que nos ayudaron a levantarnos y seguir día a día.

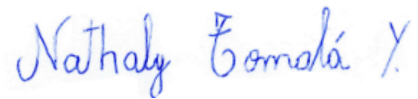
Los autores.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Gabriela Robles* y *Nathaly Tomalá* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Gabriela Robles



Nathaly Tomalá

EVALUADORES

Carlos Ronquillo

PROFESOR DE LA MATERIA

Xavier Cabezas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Una empresa que comercializa productos de consumo masivo requiere la planificación del personal en el área de recepción en su centro de distribución. Es necesario diseñar un modelo matemático que ejecute una planificación diaria para aprovechar el personal contratado y disminuir los costos de mano de obra subcontratada.

La asignación correcta del personal del área de recepción se realizó mediante el diseño de un modelo matemático de asignación en Python, que permitió conocer la cantidad de operarios propios de la empresa y la cantidad de horas subcontratadas que fueron necesarias para satisfacer la demanda. Se consideró restricciones como el número total de trabajadores contratados, días libres, feriados y cantidad máxima de horas suplementarias diarias y a la semana que un operador podría realizar. A su vez el pronóstico de los próximos días para verificar la efectividad del modelo.

En base al modelo matemático se sugiere que es necesario que la empresa utilice toda su fuerza laboral contratada en el área de recepción e incorporar a la nómina local 2 operarios para disminuir las horas subcontratadas. Para conseguir una reducción en los costos totales de horas suplementarias, extraordinarias y subcontratadas. Bajo las condiciones detalladas se obtuvo un ahorro mensual del 20,91%.

Se concluye que debido a la necesidad en el área de recepción se plantea esta herramienta que es de gran ayuda al aplicarlo en este tipo de proyecto debido a que se obtienen resultados exitosos y se consigue reducir los costos. Realizando un trabajo arduo donde la camaradería y vivencias nuevas juegan un papel muy importante ganando experiencias y formando profesionales que son capaces de generar las mejores soluciones a las diversas problemáticas que existen en el ámbito logístico.

Palabras clave: planificación, asignación, operarios, modelo matemático, subcontratación.

ABSTRACT

A company that sells mass consumption products requires personnel planning in the reception area of its distribution center, so it is necessary to design a mathematical model that executes daily planning to take advantage of its own personnel and reduce outsourced labor costs.

The correct assignment of the personnel in the reception area was carried out through the design of a mathematical assignment model in Python, which allowed knowing the number of the company's own operators and the number of outsourced hours that were necessary to satisfy the demand, considering restriction; such as, the total number of own workers, days off, holidays, and the maximum number of overtime hours per day and per week that an operator could perform. In turn, the forecast for the next few days to verify the effectiveness of the model.

Based on the mathematical model, it is suggested that it is necessary for the company to use all its contracted labor force in the reception area and incorporate 2 workers into the local payroll to reduce subcontracted hours. To achieve a reduction in the total costs of additional, extraordinary, and subcontracted hours. Under the detailed conditions, a monthly saving of 20.91% was obtained.

Finally, due to the need in the reception area, this tool is proposed, which is of great help when applied in this type of project because successful results are obtained, and costs are reduced. Carrying out hard work where camaraderie and new experiences play a very important role, gaining experiences and training professionals who has the capacity to generate the best solutions to the various problems that exist in the logistics field.

Key words: *schedulling, assignment, operators, mathematical model, outsourcing.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Marco conceptual	4
1.4.1.1 Centro de distribución	4
1.4.1.2 Scheduling.....	5
1.4.1.2.1 Tipo de Scheduling.....	5
1.4.1.3 Modelo matemático de optimización.....	7
1.4.1.3.1 Problema de asignación	8
1.4.1.4 Modelo matemático vs el mundo real.....	9
1.4.2 Estado del arte	10
CAPÍTULO 2	13
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1 Diseño de la solución.....	13
2.2 Plan de trabajo	14

2.3	Análisis de la información recopilada	15
2.3.1	Entrevista semiestructurada	16
2.3.2	Análisis de datos proporcionados	16
2.4	Modelo matemático	21
2.4.1	Construcción del modelo	21
2.5	Uso de software.....	24
2.6	Consideraciones éticas y legales	25
2.7	Cronograma de trabajo	26
CAPÍTULO 3		27
3.	Resultados y análisis.....	27
CAPÍTULO 4		39
4.	Conclusiones y recomendaciones	39
4.1	Discusión de resultados	39
4.2	Conclusiones.....	41
4.3	Recomendaciones.....	42
ANEXOS		43
BIBLIOGRAFÍA		44

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

CEDI Centro de Distribución

SIMBOLOGÍA

H	Horas
H-H	Horas hombres
m ³	Metros cúbicos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de resolución del modelo.....	7
Figura 2.1. Histograma del volumen recibido al día.....	17
Figura 2.2. Histograma de cantidad por tipo de operarios que laboran por día.....	18
Figura 2.3. Histograma de totales de horas trabajadas durante el periodo analizado....	19
Figura 2.4. Histograma de costos totales por tipo de hora incurridos durante el periodo analizado.....	20
Figura 2.5. Cronograma de Actividades.	26
Figura 3.1. Totalde horas hombre realizadas Distribución del total de horas hombre por día realizado por el centro de distribución.	29
Figura 3.2. Costo totales horas hombres mensual	31
Figura 3.3. Costo totales horas hombres mensual	32
Figura 3.4. Costo totales horas hombres mensual	34
Figura 3.5. Ahorro mensual de las tres propuestas	35
Figura 3.6. Demanda en horas hombre desde el 01/10/2021 hasta el 15/11/2021	35
Figura 3.7. Demanda en horas hombre desde el 16/11/2021 hasta el 31/12/2021	36
Figura 5.1. Solución del modelo Subcontratos 0	46
Figura 5.2. Solución del modelo Subcontratos 4.	46
Figura 5.3. Solución del modelo Subcontratos 10.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Algoritmo de pseudocódigo.	24
Tabla 3.1. Demanda de horas hombre por día en el mes de octubre	28
Tabla 3.2 Demanda de horas hombre por día en la primera quincena de noviembre ...	28
Tabla 3.3 Costo total Propuesta 1	30
Tabla 3.4 Costo total Propuesta 2	32
Tabla 3.5 Costo total Propuesta 3	33
Tabla 3.6 Simulación de la propuesta de planificación del total de horas hombre por día para el periodo del 16/11/2021 hasta el 31/12/2021	37
Tabla 3.7 Simulación de la propuesta de planificación del total de horas hombre por día para el periodo del 16/11/2021 hasta el 31/12/2021.....	38
Tabla 5.1 Detalle de horas hombre realizadas en el CEDI en el periodo del 01/10/2021 al 15/11/2021	43
Tabla 5.2 Modelo de Implementación.....	48

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En este mundo de exigencias, donde la tecnología es la herramienta vital para el avance y la evolución de los procesos, se busca digitalizar las tareas mediante la implementación de modelos matemáticos y algoritmos. De este modo, se agiliza la consecución de los procesos. Para alcanzar un horizonte claro y que las decisiones se aproximen a la precisión.

Los problemas de planificación del recurso humano y la programación de las tareas forman parte de las actividades primordiales de un centro de distribución. En el caso del centro de distribución estudiado estos también deberían ser ejes centrales de trabajo. Ahora bien, en algunos procesos se evidencia la falta de organización o excesiva cantidad de operarios en las diferentes tareas, lo que dificulta el correcto manejo de las operaciones y la organización de las actividades a realizar.

Una correcta planificación y organización asegura que el área de recepción en el centro de distribución, un aspecto fundamental para que el proceso en la cadena de suministro funcione de manera eficaz. Con esto se quiere decir, que surge la necesidad de asignar el personal para desarrollar las actividades, disminuir costos de operación y aumentar la productividad.

El modelo de planificación posee varias aplicaciones, en efecto, es un procedimiento complejo que requiere de una amplia investigación, de acuerdo con la situación a implementarse. Existen diversas restricciones a considerar y técnicas de simulación que permiten obtener una solución a problemas de asignación de tareas o planificación, usando modelos matemáticos que permitan encontrar una solución.

1.1 Descripción del problema

En la actualidad una empresa multinacional de distribución, dedicada a la venta y distribución de productos de consumo masivo, hogar y tecnología, cuenta con más de 235 locales en 22 provincias del Ecuador, con un promedio de 300.000 clientes diarios. Esto le ha permitido tener una gran aceptación en el mercado tradicional y en el comercio virtual.

El centro de distribución maneja grandes volúmenes de mercadería, debido al crecimiento continuo que presenta la demanda de la organización. La operación refleja tres grandes procesos: recepción, almacenamiento y despacho. En ellos laboran aproximadamente 120 personas. Estos procesos operativos son claves en toda la cadena de suministro, teniendo en cuenta que, la planificación necesita ser evaluada y requiere la implementación de metodologías que permitan ser eficientes y disminuir costos operativos. A su vez, es necesario planificar de manera correcta la cantidad de operarios que laboran en el área de recepción, para que la asignación de personal sea distribuida de manera efectiva. Es importante tener en cuenta que actualmente uno de los problemas es que los operarios, por falta de una planificación efectiva, tienen que desenvolverse de manera polifuncional.

El presente proyecto se enfoca directamente en el área de recepción; ya que, cuando se inicia la operación de recibir la mercadería se tiene una cantidad reducida de operarios, generándose aquí el efecto de cuello de botella. Se puede observar que los proveedores que arriban a los andenes deben esperar para que la mercadería sea recibida e incluso existen operarios que trabajan más de las horas regulares, porque se debe recibir todos los productos. El almacenamiento también se ve retrasado y a su vez el despacho, puesto que, si se atrasa la recepción, consecuentemente se ven afectados almacenamiento y despacho. Por otro lado, la cadena de suministro no es eficiente por la falta de planificación del recurso humano.

Otro factor influyente es que no se estima las horas demandadas para atender el volumen de mercadería a recibir en días posteriores, por lo que no existe esa visibilidad referencial para tomar las decisiones correctas y armar el flujo adecuado. Es primordial elaborar un esquema de trabajo que mejore el proceso de recepción en

el centro de distribución, permitiendo conocer cuántos operarios se necesitan en esta área de acuerdo con la cantidad de horas demandas para cumplir con los objetivos diarios.

1.2. Justificación del problema

La falta de planificación en los procesos logísticos del centro de distribución genera retrasos en algunas áreas y falta de sincronización en los tiempos de trabajo. Esto dificulta la optimización del proceso de recepción, almacenamiento y despacho. El problema inicia desde el retraso de los proveedores para la entrega de mercadería y se profundiza con los retrasos que se genera en el despacho, provocando la insatisfacción del cliente.

El centro de distribución no genera la planificación de los operarios ni de las tareas, pues su distribución se realiza de manera empírica y aleatoria sin tomar en cuenta tiempos y cantidad de personas. A su vez, es necesario efectuar un análisis correcto sobre la organización del recurso humano, para así no generar retrasos y procesos innecesarios.

Es así como se justifica que la empresa necesite una planificación de trabajo para gestionar la asignación de operarios diariamente en el área de recepción de manera ordenada y eficaz. De este modo se busca evitar que existan retrasos, despachos incompletos o excesivas horas suplementarias y extraordinarias. Además, se considera los datos recopilados y pronósticos de horas hombre demandadas para cumplir con los pedidos a recibir y la cantidad de operarios a asignar.

Este estudio limita su alcance al centro de distribución de la provincia del Guayas en el área de recepción.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de optimización para mejorar el proceso en el área de recepción mediante programación matemática en un centro de distribución.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Implementar un modelo matemático de optimización para la asignación de operarios en el área de recepción.
2. Analizar la sensibilidad de la solución obtenida por el modelo de optimización para la definición de variaciones en la función objetivo cuando se producen cambios en las variables relacionadas al problema.
3. Comparar diferentes soluciones factibles para una posible implementación de la asignación de operarios.

1.4. Marco teórico

En esta sección se da a conocer conceptos que se involucran en el diseño de un esquema de planificación. Para entender de una manera más fácil la terminología, se utilizó revisión bibliográfica y el estado del arte de trabajos e investigaciones desarrollados anteriormente.

1.4.1 Marco conceptual

1.4.1.1 Centro de distribución

El presente proyecto se desarrolló en un centro de distribución o también llamado CEDI. Entiéndase como tal al área donde se realizan actividades físicas como recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y la expedición de despacho. Tal como lo menciona (Mora García, 2011), estos procesos se relacionan con los objetivos de la gestión de centros de distribución, en donde se logra mantener el stock, rotación de la mercadería y el control de inventario de manera correcta.

Para abordar problemas de secuenciación para el cumplimiento de las tareas a través de la optimización con un modelo matemático a ejecutar, se usa el término 'esquema de trabajo' que en inglés se lo conoce como *scheduling*, que permite encontrar la solución óptima. De acuerdo con Blazewicz et al. (2007), los problemas de programación se establecen por tres conjuntos: n tareas, m máquinas y s recursos adicionales. Se asignan posibles trabajadores a las diferentes tareas bajo restricciones.

1.4.1.2 Scheduling

El término *scheduling* aborda los problemas de secuenciación para el cumplimiento de las tareas a través de la optimización, conseguida mediante un modelo matemático a ejecutar y poder encontrar la solución óptima.

De acuerdo con Blazewicz et al. (2007), los problemas de programación se establecen por tres conjuntos, n tareas, m máquinas y s recursos adicionales. Asignando posibles trabajadores a las diferentes tareas bajo restricciones.

Estos problemas están ligados a dos restricciones generales. Pueden ser implementados bajo los siguientes supuestos: cada tarea debe ser procesada como máximo por un operador a la vez añadiendo recursos adicionales y cada operador es capaz de procesar como máximo una tarea a la vez.

1.4.1.2.1 Tipo de Scheduling

Los problemas *scheduling* se dividen en dos tipos de familias: problemas de *scheduling* "puros" y los problemas de asignación de recursos. Los problemas "puros" definen la capacidad de cada una de las máquinas con un tiempo determinado para poder cubrir la demanda de aquellas máquinas sin que se exceda la capacidad disponible, esto sigue los siguientes patrones de flujo:

- **Open shop scheduling:** Conocido como flujo aleatorio porque no existe el orden de procesamiento de cada tarea en cada una de las máquinas, pues al momento de la programación no hay ninguna implicación para el resultado de la programación.

Se define como un problema clásico donde hay un conjunto n de trabajos en un conjunto de operaciones, que serán procesadas en diferentes máquinas m . La operación del trabajo j en la máquina i es denotado por O_{ij} y el tiempo de duración y procesamiento (Mahdi Ahmadian, Khatami, & Salehipour, 2021).

- **Job shop scheduling:** Un taller de trabajo está compuesto por una serie de trabajos que se realizan en un orden determinado y un tiempo específico. Este flujo permite maximizar las ganancias con una programación eficiente, este sistema genera horarios que pueda llenar todos los puestos de trabajo (J. Grefenstette, 1985).

- **Flow shop scheduling:** De acuerdo con (R. Sule, 2008), los trabajos se procesan en diferentes máquinas con el mismo orden, pero el tiempo empleado para realizar las actividades puede ser diferente. Este procedimiento minimiza el tiempo que se necesita para cumplir con la ejecución de los trabajos. Se aborda dos tipos de problemas:

- **Problemas de dos máquinas:** Es común ver que un taller o almacén maneje dos máquinas o centros de trabajo y cada trabajo debe ser procesado de manera secuencial en ambas, se desarrolla un procedimiento conocido como *Johnson* que permite ordenar las operaciones de acuerdo con los siguientes procedimientos.

1. Determinar tiempos mínimos de ambas máquinas
2. Colocar las tareas de acuerdo con el trabajo y con la posición más temprana.
3. Marcar los trabajos de manera secuencial y eliminar las que no son necesarias.
4. Si los trabajos se colocan de manera secuencial se ha encontrado la solución óptima.

- **Problemas de tres máquinas:** El sistema aplicado anteriormente no es válido para una extensión de más maquinas o instalaciones, evitando así los cuellos de botella que puedan existir, dado que, no debe retrasar algún tipo

de trabajo. Se deben procesar de manera inmediata las tareas para que se termine de manera satisfactoria los trabajos realizados por los operarios.

1.4.1.3 Modelo matemático de optimización

De acuerdo con (Sandoya, 2017), un objeto M es un modelo de una realidad R , para un observador O , si O puede obtener estudiando M las respuestas a las preguntas que se hace sobre R .

Se examinará brevemente ahora, como se muestra en la figura 1.1, que la modelización es la construcción y resolución de un modelo. Para poder encontrar una solución al modelo es necesario la utilización de un software, para posteriormente comprobar si el modelo está bien planteado; es decir, comprobar si tiene sentido. Si el modelo es el adecuado se lo puede explotar y se lo implementa en la empresa. Para que un modelo sea implementado tiene que ser depurado.

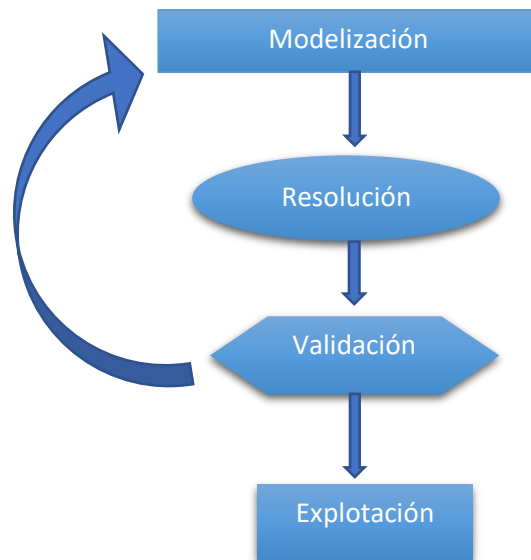


Figura 1.1. Esquema de resolución del modelo

Elaborado por: Sandoya, 2017

Según (Sandoya, 2017), un modelo matemático de optimización se lo puede representar como $f: X \rightarrow \mathbf{R}$; donde $x \rightarrow f(x)$ y se tiene que:

- X es el índice factible.
- $x \in X$ se la conoce como variable de decisión.
- $f(x)$ es la función que se pretende minimizar o maximizar según el caso.
- El objetivo es encontrar una solución óptima tal que $x^* \in X$ cumpla que $f(x^*) \leq f(x), \forall x \in X$ en caso de minimizar la función objetivo; como por ejemplo reducir costos. Por otro lado si se busca maximizar la función objetivo se debe cumplir que $f(x^*) \geq f(x), \forall x \in X$.

1.4.1.3.1 Problema de asignación

Según (Sandoya, 2017) se tiene n tareas a ejecutar por n operadores, se conoce el costo de ejecución c_{ij} de la tarea i por el operador j mediante la restricción (1.1) cada operador debe ejecutar una tarea. La restricción (1.2) indica que cada tarea es ejecutada por un solo operador y la restricción (1.3) obliga a la variable de decisión x_{ij} a ser binaria.

El objetivo es determinar la asignación óptima de tareas (que minimice el costo total de la asignación), tal como se muestra en la ecuación (1.4).

Datos:

n : Número de tareas

c_{ij} : costo de asignar la tarea i al operador j

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la tarea } i \text{ es ejecutada por el operador } j \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

Restricciones:

Cada operador ejecuta una sola tarea.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

Cada tarea es ejecutada por un solo operador.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

Variable Binaria

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (1.3)$$

Función objetivo:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1.4)$$

1.4.1.4 Modelo matemático vs el mundo real

Con el propósito de mejorar situaciones de la vida real, se simula estos casos mediante el uso de un modelo matemático, pero considerándolo como un acercamiento a la realidad, tal como se muestra en la siguiente cita: “Un modelo matemático es solo una representación aproximada de la realidad que ayuda a tomar decisiones o simplemente entender mejor la realidad” (Cabezas, 2021). Esto implica que, los modelos matemáticos son predicciones.

1.4.2 Estado del arte

El esquema de trabajo en un centro de distribución radica en la necesidad de asignar los recursos humanos de manera eficiente para poder llevar a cabo los procesos logísticos, mejorando la capacidad de operarios y el tiempo de ejecución de las tareas alcanzando la solución óptima. Más aún, si existen falencias con la asignación de forma manual y aleatoria debido a que no optimiza el proceso más bien provoca demoras y un nivel de servicio deficiente.

Para el diseño de un esquema de trabajo es importante considerar la asignación de los recursos y la programación para encontrar la solución óptima. Por lo general este tipo de problemas se considera NP-hard Problem. Esto está relacionado con dos clases de programación: estática y dinámica (Kumar & Tyagi, 2021).

En este artículo se referencia a una técnica que utiliza algoritmos híbridos genéticos, usados para la programación de tareas compuestas por dos fases, la FASE I es la creación de "x" tareas ajustando los tiempos que existe entre cada una de ellas y poder ser agrupadas. En la FASE II se usa el algoritmo de tal forma que disminuya el tiempo de ejecución de la tarea, lo que ayudará a distribuir de mejor manera a los operarios en un centro de distribución con el fin de optimizar los parámetros del modelo.

El estudio muestra que los parámetros de desempeño de una tarea dependen del tiempo de ejecución de la tarea "x" ejecutado por el operario "y", esto dependerá del rendimiento a realizar la tarea y sobre las características del operario, el cual permitirá la evaluación de los tiempos y ver la estabilidad del proceso. Este método será clave para poder influir en la programación del modelo y las estrategias para mantener el sistema totalmente distribuido, puesto que en los centros de distribución es notorio que si existe una falta de planificación de los recursos, se obtiene como consecuencia una productividad afectada negativamente.

Otro método de optimización de tareas y asignación de los recursos es el algoritmo mejorado de colonias de hormigas, este algoritmo de programación se basa en el problema de carga equilibrada cuando se asigna la máquina al operario, en este caso las tareas a realizar y la carga, se deberá tomar en

cuenta el tiempo de espera de retraso de cada una de las actividades con el menor tiempo de ejecución, seleccionando la mejor colonia y las tareas óptimas para cada grupo (Yi et al., 2020).

Pero ¿qué tan eficiente es este método? Los resultados obtenidos en la simulación numérica nos muestran que el algoritmo se puede aplicar en diferentes escenarios, tal como pasa con el centro de distribución y la asignación de los operarios, pues esta ayuda a que se mejore la capacidad de búsqueda local y la calidad de las tareas a realizar. Al mejorar la programación de las tareas se tendrán como resultados la estabilidad y eficiencia de los operarios.

Otro punto importante al analizar la asignación de operarios es el estudio de los tiempos y sus movimientos, esto tiene como objetivo eliminar cualquier recurso innecesario aumentando la productividad, el cual consiste en verificar el tiempo que le requiere completar un proceso y poder asignar los operarios necesarios para cada área (Andrade et al., 2019).

El método usado está dado por el nivel de trabajo que puede ser: estación de trabajo, operador, ciclo de operación, elemento de trabajo y movimiento. Analizando las posibles causas en el estudio se tiene como problema central los cuellos de botellas y atascos que llevan a los operarios demorar aún más y necesiten demandar más horas trabajadas, en esta fase es primordial usar diagramas que permita verificar las tareas, operaciones y movimientos.

Para la asignación de las tareas a los operarios se debe tener en cuenta los diagramas bimanuales realizados con el fin de que los operarios ejecuten el trabajo tal cual su asignación en tiempo mínimo cumpliendo con la capacidad de producción diaria, ya que si el tiempo total de operación durante un día se lo relaciona con el tiempo más lento de operación nos permitirá conocer el tiempo promedio de operación para poder mejorarlo. Esto nos dará un incremento de la eficiencia y simplificación en los procesos.

De acuerdo con lo detallado existen diferentes formas de direccionar un esquema de trabajo y esto dependerá de las necesidades del centro de distribución, la planificación de los operarios y las tareas asignadas para así saber qué resultados adoptar respecto a los supuestos y restricciones que se usen para diseñar el modelo.

Este tipo de información es primordial para la toma de decisiones, pues nos permitirá verificar si se usan los modelos y algoritmos mencionados, si se lleva a cabo una planificación en base al tiempo de ejecución de las tareas, la capacidad operativa, o se usa una planificación estática o dinámica, elegir el mejor modelo que se ajuste a la problemática y poder determinar la solución óptima tanto en operarios y tareas asignadas, reduciendo costos operativos y aumentando la productividad.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se muestra todos los procedimientos, métodos y pasos para cumplir con los objetivos planteados en el capítulo anterior. Profundizar y analizar la información acerca de los datos del centro de distribución es de suma importancia para poder escoger el modelo matemático correcto. Por ello, se desarrolla la metodología para alcanzar una potencial solución a la problemática de la empresa.

Se realizó una visita técnica al centro de distribución, donde se aplicó una entrevista semiestructurada al Data Manager. Además, se recibió información sobre pedidos y recepción de productos secos, correspondientes al mes de octubre y primera quincena de noviembre del año 2021.

A partir de las observaciones emitidas por el Data Manager sobre esta información, así como de su respectivo análisis, se inició el desarrollo del modelo matemático. Para este se identificó diferentes variables, parámetros y demás consideraciones, que dieran como resultado una respuesta factible.

2.1 Diseño de la solución

Referente al objetivo de investigación, se plantea implementar un modelo matemático que permita realizar un esquema de trabajo, considerando las horas hombre demandadas para cumplir con la recepción de los pedidos, aprovechando la fuerza laboral propia del centro de distribución y minimizar la subcontratación de personal. Esto con el fin de reducir costos totales en horas suplementarias y extraordinarias mediante una asignación diaria de los operarios en el área de recepción.

Por todo esto, es necesario conocer diferentes requerimientos, como las horas hombre necesarias para satisfacer la demanda diaria, la cantidad de personal que tiene en nómina la empresa para el área de recepción, los días de descanso que la empresa asigna a los operarios, así como también el valor del salario básico, el

porcentaje del valor del costo de una hora suplementaria y extraordinaria, cantidad máxima de horas suplementarias que puede realizar un colaborador en un día y a la semana. Conocer de manera detallada esta información permitió elaborar un modelo que se ajusta a cada una de las restricciones o variables a considerar.

El presente proyecto se enfoca en elaborar un modelo que determine la cantidad estimada de operarios para la recepción de mercadería, teniendo en consideración la cantidad de horas trabajadas y la minimización de los costos de operación, bajo los criterios analizados posteriormente. Se identificó, a través de un modelo de programación, la cantidad necesaria de horas suplementarias, extraordinarias y horas que se necesitan subcontractar, permitiendo minimizar costos e incrementar la productividad en el centro de distribución.

2.2 Plan de trabajo

A continuación, se muestra detallado el plan de actividades con las cuales se desarrolló este proyecto.

1. Recopilación de información.

- 1.1 Visita técnica al centro de distribución.
- 1.2 Entrevista con el Data Manager del centro de distribución.
- 1.3 Levantamiento y análisis de los datos.

2. Elaboración del Modelo.

- 2.1 Depuración de datos históricos.
- 2.2 Reconocimiento y descripción de las variables de decisión, parámetros y función objetivo.
- 2.3 Elaboración del modelo matemático.

3. Implementación del modelo.

- 3.1 Implementar el modelo matemático en el lenguaje de programación Python.

4. Discusión de Resultados.

- 4.1 Analizar el modelo con sus respectivos resultados.

4.2 Comparar los resultados obtenidos con la propuesta de asignación de operarios versus la planificación realizada por el centro de distribución en el área de recepción.

4.3 Elaboración del informe final.

4.4 Socialización del trabajo con el Data Manager del centro de distribución.

En la **Actividad 1**, con el fin de recopilar la mayor de cantidad de información, se realizó la visita técnica y una entrevista con el Data Manager del centro de distribución, para observar la operación de recepción y conocer datos específicos. Se recibió información puntual para la elaboración del modelo.

En la **Actividad 2**, se depuró toda la información y se identificaron los días en los cuales el centro de distribución presentó mayor volumen de demanda en el área de recepción. Así como también la cantidad total de horas suplementarias y extraordinarias efectuadas por operarios de la empresa y las horas totales que fueron necesarias subcontratar para satisfacer la demanda. También se realizó un análisis de los costos totales incurridos de cada tipo de hora como lo son: suplementarias, extraordinarias y subcontratadas. Esto permitió analizar y buscar el modelo acorde a los datos.

En la **Actividad 3**, se implementó el código en base a la formulación matemática, desarrollado en el lenguaje de programación Python.

Finalmente, en la **Actividad 4**, con todos los datos obtenidos se realizó la elaboración de la documentación correspondiente, que fue presentada al Data Manager del centro de distribución.

2.3 Análisis de la información recopilada

En este apartado se realizó el análisis de la información obtenida, para conocer de manera general la problemática y buscar la solución factible. A través de la visita técnica y una entrevista, se pudo obtener diferentes revelaciones y parámetros a considerar en este proyecto. Se identificó la necesidad de aprovechar a todos los operarios del área de recepción para minimizar los costos de subcontratación de personal.

2.3.1 Entrevista semiestructurada

Durante la entrevista realizada en el centro de distribución con el Data Manager, se describió el proceso cotidiano de la recepción de la mercadería. Se evidenció que existe una deficiencia de fuerza laboral, puesto que, existe insuficiente personal para recibir a un proveedor en cada uno de los andenes simultáneamente. Por lo que, es necesario establecer un esquema de trabajo diario con la cantidad adecuada de personas para la recepción de la mercadería.

El manejo de un gran volumen de órdenes de compra dificulta el pronóstico de la cantidad de proveedores y el volumen de mercadería a recibir durante el día. Además, la empresa refleja falta de organización del personal de recepción. La combinación de estos dos factores genera en muchas ocasiones atrasos en los procesos.

A través de la visita técnica se conoció de manera directa el trabajo en el área de recepción. El centro de distribución cuenta con alrededor de dos o tres operadores, que reciben por andén la mercadería. El tiempo de descarga varía de acuerdo con el personal y el volumen en metros cúbicos, siendo evidente que en algunas ocasiones el personal no es suficiente para el proceso.

Es importante aclarar que en ocasiones se tiene que contratar el servicio de operadores para recepción por la falta de personal. Esto permite llevar un registro de los operarios propios del CEDI y el personal tercerizado. Dicho registro muestra información de las horas hombre realizadas tanto por los operarios de la empresa como de los operarios subcontractados, los costos totales diarios de horas suplementarias, horas extraordinarias y horas subcontractadas. Además, existe una planificación manual, que dificulta el proceso y la eficiencia de la productividad.

2.3.2 Análisis de datos proporcionados

Se trabajó con dos bases de datos que incluían el listado de los operarios de la empresa, la demanda en horas hombre, la cantidad de horas suplementarias y

extraordinarias realizadas por los operarios de la empresa y el total de horas subcontratadas en el área de recepción de manera diaria, correspondiente al mes de octubre y primera quincena de noviembre del 2021. De estos días se depuró los domingos dado que en este día no se labora en el área analizada.

Para el análisis de los datos se procedió a seleccionar los días en los cuales se recibe mayor volumen de productos. Tal como se muestra en la figura 2.1, los sábados se recibe aproximadamente $1677,90 m^3$ de mercadería, y para atender esta demanda se necesita alrededor de 300 H-H. Por lo que se debe tener en cuenta que es uno de los dos días que la empresa tiene planificado para que sus colaboradores salgan libres y se debe considerar que las horas extras se pagan con un recargo del 50% una vez cumplida la jornada normal de 8 horas.

Dado esto se infiere que es importante al plantear el modelo al saber que este día se cancela al 50% de recargo en las horas suplementarias. Esto conlleva un factor importante en la contratación o subcontratación de personal al momento de la toma de decisiones.

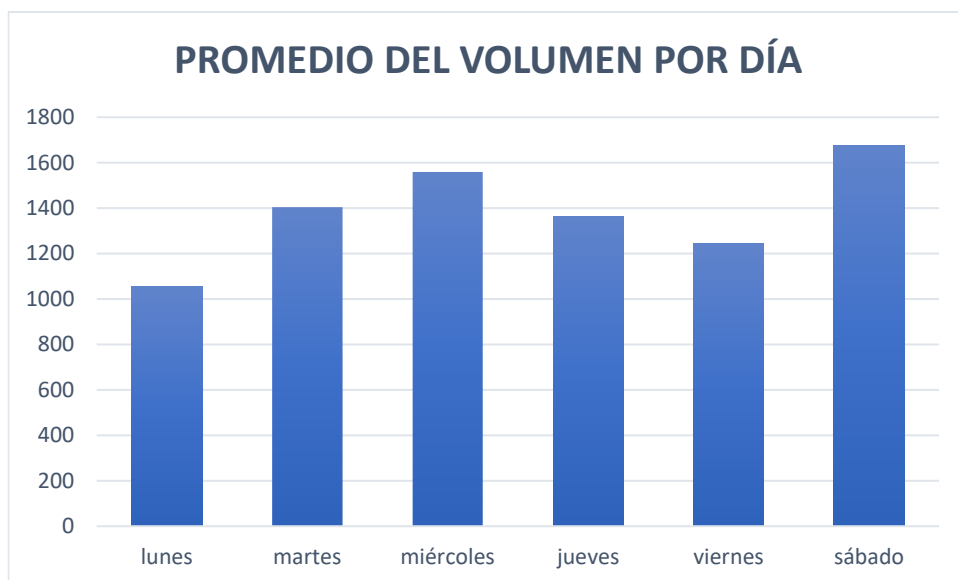


Figura 2.1. Histograma del volumen recibido al día

Fuente: Datos históricos proporcionados por centro de distribución. Elaborado por autores.

Como se muestra en la figura 2.2, la cantidad de operarios subcontratados es mucho mayor en relación con la cantidad de operarios propios del centro de distribución que laboran en el área de recepción. Nos muestra que evidentemente no todos los 12 colaboradores contratados son designados exclusivamente al área de recepción, sino que realizan actividades en otras áreas.

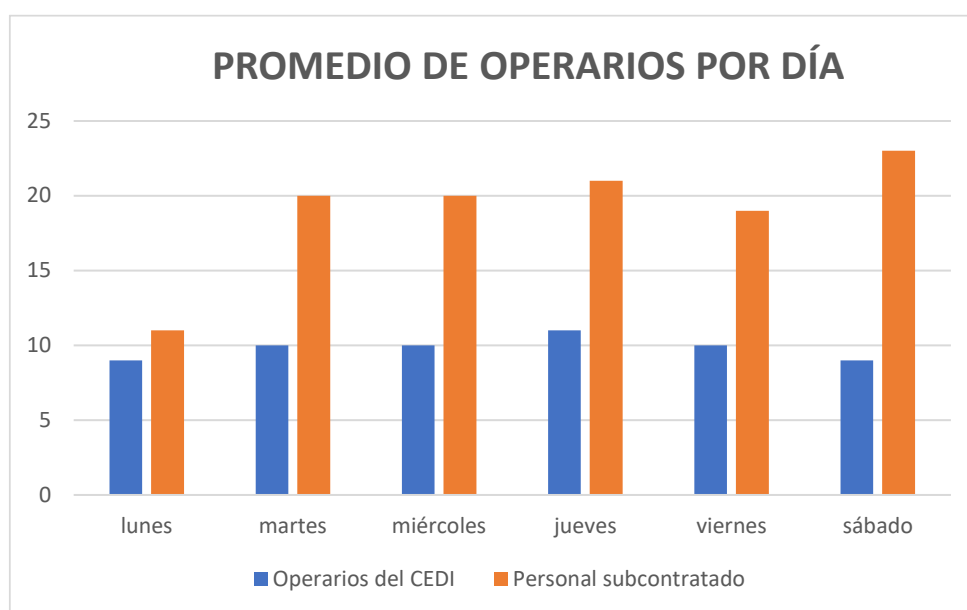


Figura 2.2. Histograma de cantidad por tipo de operarios que laboran por día.

Fuente: Datos históricos proporcionados por centro de distribución. Elaborado por autores.

Luego se realizó un análisis de las horas totales trabajadas por los operarios del centro de distribución específicamente el total de horas suplementarias y extraordinarias además de las horas efectuadas por el personal subcontratado. La data del mes de octubre y primera quincena de noviembre del 2021 refleja que existió mayor cantidad de horas trabajadas por parte del prestador externo, tal como se aprecia en la figura 2.3 a continuación, siendo un detalle importante para la toma de decisión del modelo.

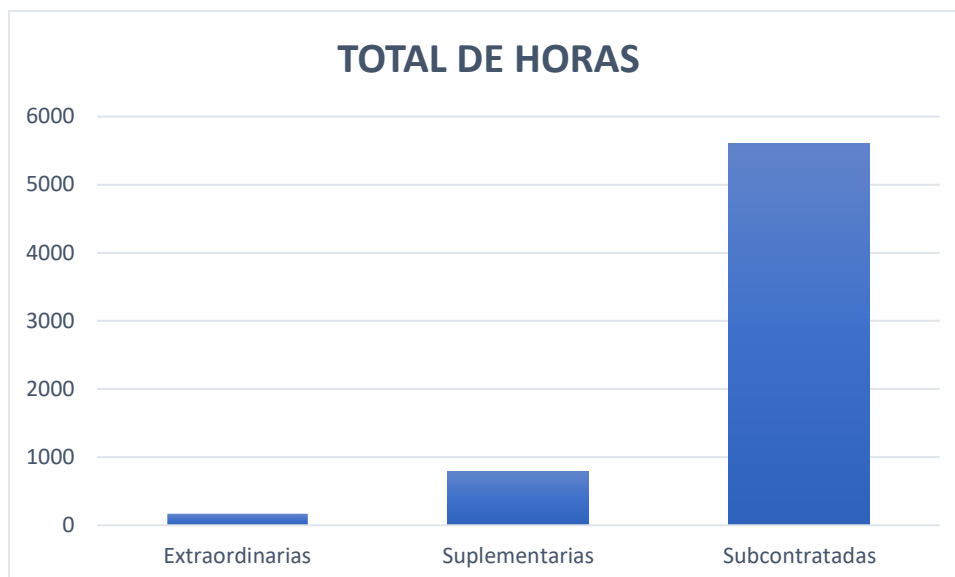


Figura 2.3. Histograma de totales de horas trabajadas durante el periodo analizado

Fuente: Datos históricos proporcionados por centro de distribución. Elaborado por autores.

Por consiguiente, se realizó un análisis de los costos totales por tipo de hora incurridos por el centro de distribución en el área de recepción. Se muestra en la figura 2.4 a continuación los costos totales de las horas efectuadas correspondientes a horas suplementarias, extraordinarias y subcontratadas. Teniendo como resultado que el CEDI presenta un costo muy elevado en las horas subcontratadas en un mes y medio. Estos valores corroboran el poco aprovechamiento de su propio personal. La empresa calcula estos valores considerando que el costo de la hora subcontratada es de \$3,50; la hora suplementaria corresponde al 50% de recargo de la hora ordinaria de trabajo y es de \$2,50 y finalmente el valor de la hora extraordinaria que tiene un recargo del 100% del valor de la hora ordinaria y es de \$3,33.

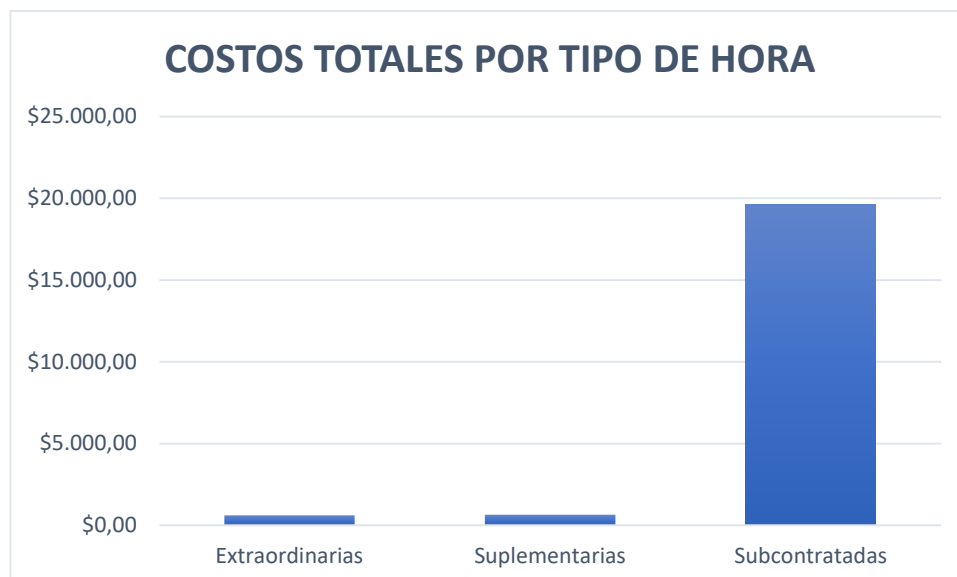


Figura 2.4. Histograma de costos totales por tipo de hora incurridos durante el periodo analizado.

Fuente: Datos históricos proporcionados por centro de distribución. Elaborado por autores.

Para la selección del modelo es importante considerar el siguiente parámetro que es el valor de hora de trabajo correspondiente a los operarios del centro de distribución, este se calcula tal como se muestra en la ecuación (2.1, y el desarrollo se muestra en las ecuaciones (2.2 y (2.3.

$$\text{Valor hora de trabajo} = \frac{\text{Salario Básico}}{\text{Total de horas al mes}} \quad (2.1)$$

$$\text{Valor hora de trabajo} = \frac{\$400}{30 \text{ días} \times 8 \text{ horas}} \quad (2.2)$$

$$\text{Valor hora de trabajo} = \frac{400}{240} = 1,67 \frac{\$}{\text{hora}} \quad (2.3)$$

Con los análisis expuestos anteriormente, el presente proyecto se sujeta al diseño de un modelo matemático el cual minimice las horas suplementarias y extraordinarias. Esto con la finalidad de aprovechar al máximo el personal contratado para el área de recepción y así no incurrir en costos elevados en horas subcontratadas.

2.4 Modelo matemático

2.4.1 Construcción del modelo

El modelo matemático permitió reducir los costos de operación determinando la cantidad óptima de operarios asignados en los turnos y áreas correspondientes. Se utilizó como referencia un modelo de optimización de personal para una tienda por departamento (Aburto & Reyes, 2009).

- **Conjuntos**

T : Conjunto de los días, $t \in \{1, \dots, T\} = \{\text{Lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado}\}$

F : Conjunto de días feriados $F \subseteq T$ y $f \in F = \{\text{año nuevo, carnaval, viernes santo, día del trabajo, batalla de pichincha, primer grito de independencia, independencia de Guayaquil, día de difuntos, independencia de Cuenca y Navidad}\}$

J : Conjunto de trabajadores $j \in \{1, \dots, J\} = \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11\}$

- **Parámetros**

D_t : Demanda de horas hombre en el día t

N : Costo de hora ordinaria de trabajo

- **Variables de decisión**

$S_{j,t}$: Cantidad de horas suplementarias del trabajador j en el día t

$S_{j,f}$: Cantidad de horas extraordinarias del trabajador j en el día f

$$x_{j,t} = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ es asignado en el día } t \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$d_j = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ tiene libre sábado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$l_j = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ tiene libre lunes} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$H_{j,f} = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ labora un día } f \text{ que es feriado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

- **Restricciones**

$$\sum_{t \in T} S_{j,t} \leq 12 \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

La restricción (2.4) verifica que un colaborador j puede hacer máximo 12 horas suplementarias en la semana.

$$S_{j,t} \leq 4 * x_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (2.5)$$

La restricción (2.5) verifica que un colaborador j puede hacer máximo 4 horas suplementarias en el día.

$$x_{j,f} \leq H_{j,f} \quad \forall f \in F, \forall j \in J \quad (2.6)$$

La restricción (2.6) verifica si el colaborador j trabaja en días feriados en el día t .

$$\sum_{j \in J} (8 + S_{j,t}) \geq D_t, \quad \forall t \in T \quad (2.7)$$

La restricción (2.7) asegura el cumplimiento de la demanda en horas durante todos los días incluidos en el conjunto T . Para esto se debe realizar la sumatoria de la cantidad de horas trabajadas en el día t (8 horas normales + suplementarias) por cada colaborador j asignado en ese día t .

$$\sum_{j \in J} (S_{j,t}) \geq D_f, \quad \forall f \in F \quad (2.8)$$

La restricción (2.8) asegura el cumplimiento de la demanda en horas durante los días feriados incluidos en el subconjunto F . Para esto se debe realizar la sumatoria de la cantidad de horas extraordinarias en el día f por cada colaborador j asignado en ese día f .

$$\sum_{j \in J} x_{j,t} \leq 12 \quad \forall t \in T \quad (2.9)$$

La restricción (2.9) verifica que la cantidad de personas contratadas en el día t sea menor que la cantidad de personas disponibles por día, que es 12.

$$d_j + l_j = 1 \quad \forall j \in J \quad (2.10)$$

La igualdad (2.10) verifica que cada operario j tiene derecho a un solo día a la semana, éste puede ser sábado o un lunes.

Finalmente, $x_{j,t}, d_j, l_j, H_{j,f} \in \{0,1\}$, dicho de otra manera, las variables mencionadas son binarias y la variable $S_{j,t} \in \mathbb{N}$.

- **Función Objetivo**

$$\text{Min } z = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} 0.5 * N * S_{j,t} + \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} 1 * N * S_{j,f} \quad (2.11)$$

La ecuación (2.11) representa la función objetivo, que busca minimizar el costo total semanal de horas suplementarias y extraordinarias. Para esto se suma la cantidad de horas suplementarias realizadas por todos los operarios (horas realizadas después de cumplir con las 8 horas diarias) por el 50% del valor de una hora ordinaria más la suma de la cantidad total de horas extraordinarias realizadas por todos los operarios (horas realizadas en días feriados) por el 100% del valor de una hora ordinaria.

El algoritmo se muestra a continuación a través del siguiente pseudocódigo:

Tabla 2.0.1. Algoritmo de pseudocódigo.

	Entrada: Leer Archivo
1:	ListaFeriados ← ObtenerFeriados(Archivo)
2:	Salario ← 400
3:	Hora_normal ← salario
4:	Hora_suplementaria ← hora_normal/2
5:	Max_horas_sup_semana ← 12
6:	Max_horas_sup_diario ← 4
7:	Demandas_diarias ← ObtenerDemandaDiaria(Archivo)
8:	NominaTrabajadores ← ObtenerNomina(Archivo)
9:	TrabajadoresDiarioAnual ← PlanAnualTrabajadores(NominaTrabajadores)
10:	Meses ← ["Enero, Febrero, Marzo.... Diciembre"]
11:	Días ← ["Lunes, Martes.... Sabado"]
12:	Mostrar PlanÓptimoDeTrabajo(días, meses, ListaFeriados, salario, max_horas_sup_diario, max_horas_sup_semana, demandas_diarias, NóminaTrabajadores, TrabajadoresDiarioAnual)
	Fin Algoritmo

2.5 Uso de software

Para la ejecución del modelo matemático se usaron los softwares nombrados a continuación, estos permiten y facilitan el manejo de los datos, el uso de gráficos y una correcta proyección.

- **Microsoft Excel:** En el presente proyecto se usó las hojas de cálculo que permite leer la información de los datos a través de las tablas dinámicas, realización de los gráficos y tablas para poder reflejar los resultados de manera más sencilla.
- **Phyton:** Este lenguaje de programación permite modelizar el esquema de trabajo para el área de recepción. Para ellos se utilizó la librería PyQt5 que

sirve para la interfaz gráfica, pandas para procesamiento de datos, requests para obtener datos de internet, bs4 para procesar datos de internet, openpyxl para trabajar con Excel, date y calendar para trabajar con fechas, pulp para optimización.

2.6 Consideraciones éticas y legales

Para poder realizar el presente trabajo se ha considerado que actualmente el centro de distribución cuenta con 12 operarios que firmaron contrato para laborar en el área de recepción con un sueldo básico establecido por ley de \$400 dólares en el año 2021. De acuerdo con el contrato establecido deben laborar 8 horas diarias durante 5 días a la semana entre lunes y sábado; hay que tener en cuenta que el domingo no se labora en esta área. Por otra parte, cada operador tiene derecho a un día libre a la semana que puede ser un sábado o un lunes, estos días han sido determinados por parte de capital humano como días libres. Se asigna a cada operador un día de alternando entre sábado y domingo semana a semana.

Se conoce como horas suplementarias a las horas en las que se laboran luego de haber cumplido las horas ordinarias estipuladas en el contrato, las cuales corresponden a 8 horas por día y tienen un recargo del 50% del valor de la hora ordinaria de trabajo. Mientras que las horas extraordinarias son las horas que se laboran en un día feriado y tienen el recargo del 100% de la hora ordinaria de trabajo.

En el Art. 55 del Código de Trabajo vigente se menciona que las horas suplementarias no pueden exceder de cuatro horas al día, ni de doce horas a la semana. Por lo que es muy importante considerar en los parámetros del modelo y buscar una solución más próxima a la realidad.

El valor total que se debe cancelar al trabajador por las horas correspondientes a horas suplementarias o extraordinarias se hace en relación con el valor de la hora ordinaria. Se debe calcular dividiendo el salario básico para el total de horas en el mes de acuerdo con lo estipulado en la ley; es decir \$1.67 por hora.

2.7 Cronograma de trabajo

De acuerdo con el plan de actividades nombrado anteriormente se desarrolló de manera ordenada el cronograma de trabajo con las actividades trabajadas alrededor de 4 meses. A continuación de muestra el cronograma con su respectiva fecha para cada actividad.

ACTIVIDADES	INICIO	TIEMPO	FINAL	Octubre			Noviembre				Diciembre					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RECOPILACION DE INFORMACION																
Entrevista con el Data Manager del centro de distribución	12/10/2021	0	12/10/2021													
Visita técnica al centro de distribución	15/10/2021	0	15/10/2021													
Levantamiento y análisis de los datos	22/10/2021	17	8/11/2021													
ELABORACION DEL MODELO																
Depuración de datos	8/11/2021	5	13/11/2021													
Reconocimiento y descripción de variables, parámetros, función objetivo	13/11/2021	7	20/11/2021													
Elaboración del modelo matemático	20/11/2021	9	29/11/2021													
IMPLEMENTACION DEL MODELO																
Implementar en Python	6/12/2021	11	17/12/2021													
ENTREGABLES																
Discusión	20/12/2021	10	30/12/2021													
Comparación	3/1/2022	9	12/1/2022													
Informe final	13/1/2022	7	20/1/2022													
Exposición de resultados	1/2/2022	3	4/2/2022													

Figura 2.3. Cronograma de Actividades.

Elaborado por autores

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

La implementación de un esquema de trabajo en el área de recepción de un centro de distribución como solución a la falta de planificación del recurso humano permite el desarrollo eficiente del proceso de recepción. En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos en la implementación del modelo de programación matemático, teniendo en cuenta las horas hombre demandas por día, durante el periodo del mes de octubre y los primeros quince días del mes de noviembre del año 2021.

Para determinar la eficiencia de la propuesta del presente trabajo, se realizó un análisis de los costos totales de las horas suplementarias, extraordinaria y subcontratadas de acuerdo con la planificación realizada por el centro de distribución y los resultados obtenidos al ejecutar el modelo de programación matemático.

3.1. Análisis de demanda por horas

Se puede observar en la Tabla 3.1 y 3.2, la cantidad de horas hombre trabajadas por día durante el mes de octubre y la primera quincena de noviembre; se tiene que el lunes y sábado la empresa ha considerado como opción de días libres para que sus colaboradores en el área de recepción gocen de descanso. Puesto que los sábados presentaron mayor demanda que los lunes, es necesario contar con el mayor porcentaje de trabajadores operativos en este día y procurar que en el lunes salga la mayor parte de los colaboradores libres, sin dejar de atender la demanda.

Tabla 3.1. Demanda de horas hombre por día en el mes de octubre

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

Fecha	Día	Demanda de horas hombre	Fecha	Día	Demanda de horas hombre
1/10/2021	viernes	138,60	16/10/2021	sábado	149,70
2/10/2021	sábado	109,62	18/10/2021	lunes	181,51
4/10/2021	lunes	168,76	19/10/2021	martes	323,68
5/10/2021	martes	206,99	20/10/2021	miércoles	304,48
6/10/2021	miércoles	275,67	21/10/2021	jueves	221,32
7/10/2021	jueves	281,36	22/10/2021	viernes	249,82
8/10/2021	viernes	104,34	23/10/2021	sábado	278,69
9/10/2021	sábado	147,15	25/10/2021	lunes	183,19
11/10/2021	lunes	121,50	26/10/2021	martes	294,79
12/10/2021	martes	277,28	27/10/2021	miércoles	218,64
13/10/2021	miércoles	197,00	28/10/2021	jueves	275,17
14/10/2021	jueves	226,00	29/10/2021	viernes	322,17
15/10/2021	viernes	244,25	30/10/2021	sábado	443,18

Tabla 3.2 Demanda de horas hombre por día en la primera quincena de noviembre

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

Fecha	Día	Demanda de horas hombre
1/11/2021	lunes	76,99
2/11/2021	martes	122,84
3/11/2021	miércoles	196,44
4/11/2021	jueves	218,15
5/11/2021	viernes	332,47
6/11/2021	sábado	278,00
8/11/2021	lunes	230,91
9/11/2021	martes	235,96
10/11/2021	miércoles	295,66
11/11/2021	jueves	287,31
12/11/2021	viernes	270,31
13/11/2021	sábado	273,94
15/11/2021	lunes	74,87

En base a la información proporcionada por el centro de distribución; tal como se evidencia en la Tabla 3.3, el total de horas hombre de tipo suplementarias y extraordinarias realizadas por los operarios propios del centro de distribución fue mucho

menor en comparación con las horas hombre de subcontratación. Esto demostró que la fuerza laboral no fue aprovechada al máximo y se incurrió en gastos de elevados de subcontratación.

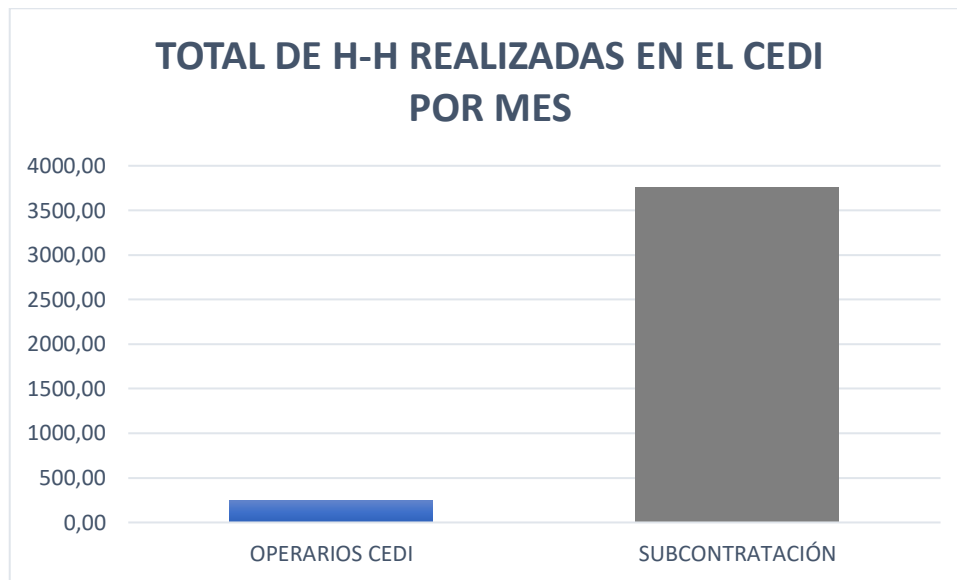


Figura 3.1. Total de horas hombre realizadas Distribución del total de horas hombre por día realizado por el centro de distribución.

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

3.2. Análisis de propuestas

3.2.1. Propuesta 1

En esta sección se consideró que el centro de distribución cuenta con 12 operarios en el área de recepción, quienes cumplen una jornada diaria de 8 horas, se tuvo presente que era necesario ejecutar horas suplementarias las mismas que no pueden exceder por operador un máximo de 4 horas diarias y 12 horas a la semana, esto con el fin de satisfacer la demanda. Debido a que el recurso humano no es suficiente para atender la demanda diaria, el centro de distribución debe subcontratar la diferencia de horas hombre necesarias.

También se consideró para el análisis de esta propuesta que el 70% de los colaboradores, es decir 8 operarios trabajaron los sábados mientras que el 30% que corresponde a los otros 4 operarios tuvieron día de descanso. Esto se realizó con el fin

de presentar a los colaboradores una opción de ingreso adicional que se vería reflejado en su rol de pago al término del mes y para la empresa representó un ahorro al disminuir el costo total de horas hombre subcontratadas.

Los datos que se obtuvieron en la simulación mostraron que se efectuó una mayor cantidad de horas suplementarias y extraordinarias de los operarios del CEDI, y se tuvo un ahorro del 12,38%, que representan \$1.662,25 al mes y \$19.947 de ahorro al año.

Tabla 3.3 Costo total Propuesta 1

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

	Costo total de horas suplementarias y extraordinarias	Costo total de horas subcontratadas	TOTAL
Planificación realizada por el CEDI	\$246,08	\$13.179,02	\$13.425,10
Propuesta de planificación	\$542,16	\$11.220,69	\$11.762,85
Ahorro	-\$296,08	\$1.958,33	\$1.662,25
Porcentaje de ahorro	12,38%		

En la figura 3.4 se muestra el costo total de horas mensual correspondientes al centro de distribución y a la propuesta, en donde se aprecia un costo mayor en los costos incurridos por el centro de distribución mientras que con la propuesta se obtuvo un costo menor siendo una respuesta factible para la asignación de los operarios en el área de recepción. El costo total que se obtuvo con la planificación que efectuó el CEDI fue de \$13.425,10 pero con la propuesta presentada se observó un costo total de \$11.762,85, la diferencia de estos dos valores dio como resultado un ahorro de \$1.662,25 que representó un 12,38% que la empresa pudo haber ahorrado.

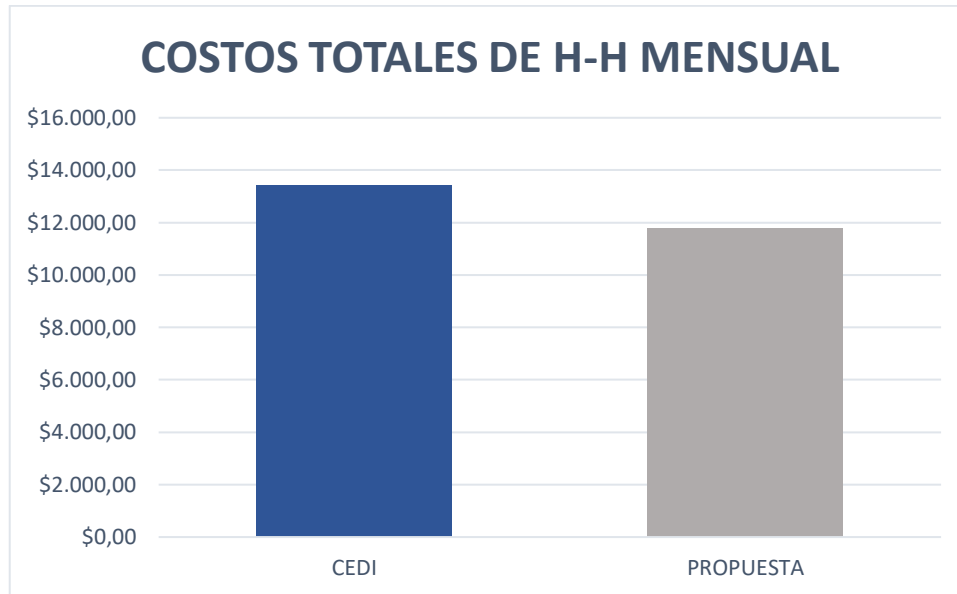


Figura 3.2. Costo totales horas hombres mensual

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

3.2.2. Propuesta 2

Se planteó otros cambios en la función objetivo, en este caso se detalló la simulación con una variante en los datos, se consideró los lunes y viernes como días que pueden tener libres los operarios. El 70% de operarios; es decir, 8 operarios tuvieron descanso los lunes, porque los lunes presentaron menor demanda que los viernes y al otro 30% que son los otros 4 operarios, se los asignó para laborar. Por otro lado, los lunes tuvieron un 70% de fuerza laboral ya que el 30% de operarios estuvo de descanso. Esta variación mostró un ahorro mensual de \$1.078,46 con respecto a lo ejecutado en el centro de distribución, lo que se obtiene un porcentaje de ahorro del 8,03%, tal como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Costo total Propuesta 2

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

	Costo total de horas suplementarias y extraordinarias	Costo total de horas subcontratadas	TOTAL
Planificación realizada por el CEDI	\$246,08	\$13.179,02	\$13.425,10
Propuesta de planificación	\$491,35	\$11.855,29	\$12.346,64
Ahorro	-\$245,26	\$1.323,72	\$1.078,46
Porcentaje de ahorro	8,03%		

En la figura 3.5, se aprecia los costos totales de horas hombres para la propuesta 2. El centro de distribución incurrió en un costo total de \$13.425,10 con la planificación que ejecutó, pero con la propuesta que se planteó con el modelo matemático, se tuvo un costo total de \$12.346,64. El ahorro con esta propuesta fue de \$1.078,46, que correspondió a un 8,03% en un mes.

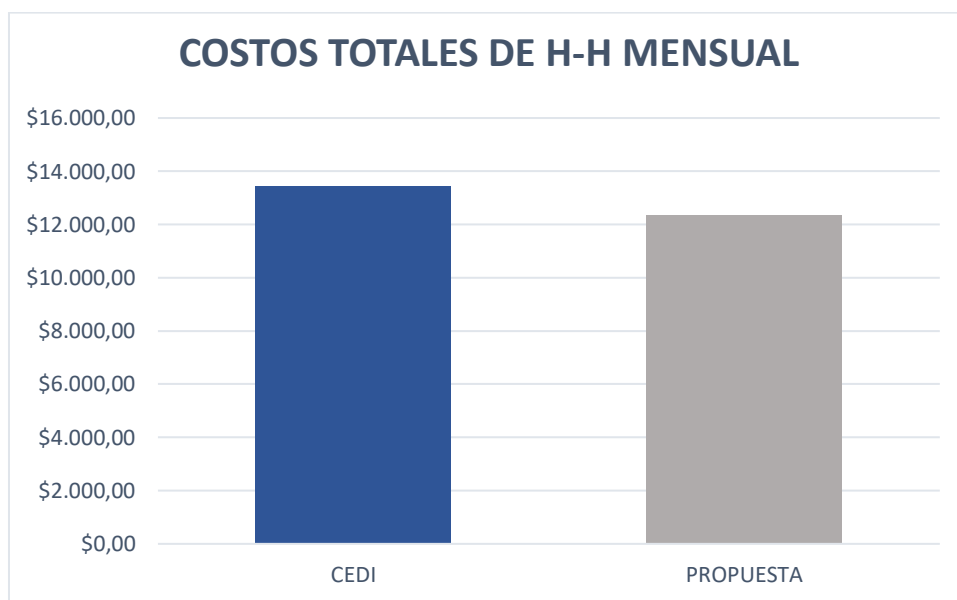


Figura 3.3. Costo totales horas hombres mensual

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

3.2.3. Propuesta 3

Para el planteamiento de la propuesta 3 se propuso contratar a 2 operarios para el área de recepción; es decir que el CEDI contó con 14 operarios. Los sábados y lunes se consideraron como opción de días libres, el 60% de operarios laboró los sábados y el otro 40% tuvo ese día como descanso. Los lunes se tuvo una presencia operativa menor, del 40% de operarios, por presentar demandas inferiores a la de los sábados, y se asignó al 60% de operarios que salgan libres. Se consiguió un ahorro de \$2.807,57 que representó un 20,91% de ahorro mensual. Es necesario señalar que al enrolar 2 operarios más a la nómina del centro de distribución, se incluyó en el costo total de la propuesta los salarios mensuales de los 2 operarios que se contrataron.

Tabla 3.5 Costo total Propuesta 3

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

	Costo total de horas suplementarias y extraordinarias	Costo total de horas subcontractadas	TOTAL
Planificación realizada por el CEDI	\$246,08	\$13.179,02	\$13.425,10
Propuesta de planificación	\$558,84	\$10.058,69	\$10.617,53
Ahorro	-\$312,76	\$3.120,33	\$2.807,57
Porcentaje de ahorro	20,91%		

En la figura 3.6, se puede apreciar que con esta propuesta de contratar 2 operarios más para contar con un total de 14 operarios propios para el área de recepción, se tuvo un costo total de horas hombre demandadas de \$10.617,53. Se realizó la comparativa con el costo total que tuvo el centro de distribución con su planificación que fue de \$13.425,10 y dio como resultado un ahorro de \$2.807,57; dicho de otra forma, se obtuvo un 20,91% de ahorro en el mes.

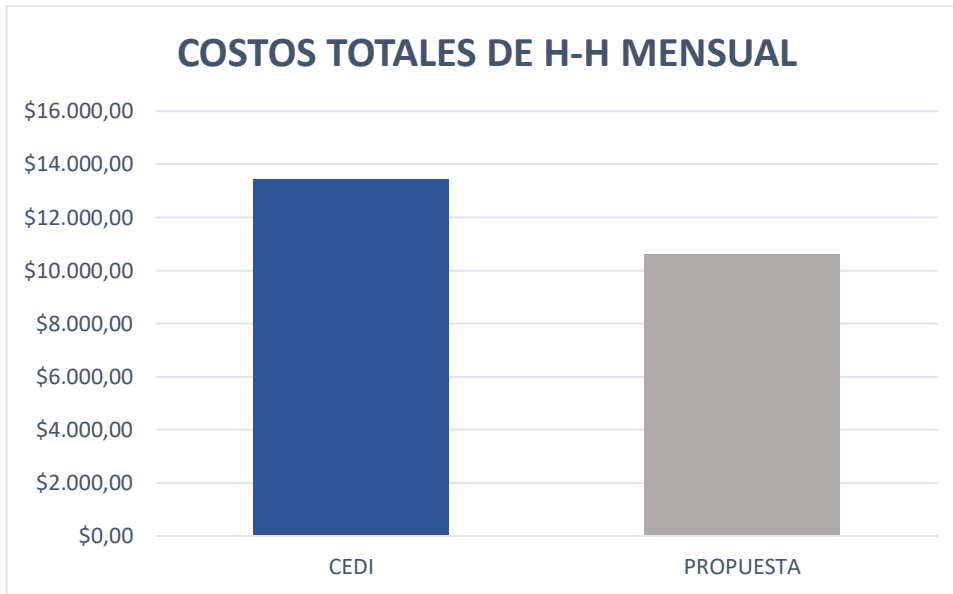


Figura 3.4. Costo totales horas hombres mensual

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

3.2.4. Comparación de los ahorros presentados en las tres propuestas

Luego de haber presentado las tres propuestas, se consideró el análisis en el mes de octubre para facilitar las comparaciones y poder proyectar el ahorro de forma anual. Como se muestra en la figura 3.7, se puede observar que se tuvieron tres ahorros de 12,38%, 8.03% y 20,91% correspondientes a la propuesta 1, propuesta2 y propuesta 3.

Se evidencia que la propuesta 3, con la opción de unir 2 operarios más a la fuerza laboral en el área de recepción, tuvo el más alto impacto en el ahorro y fue de 20,91%, que al mes fue \$2.807,57 y al año se tendría un ahorro de \$ 33.690,84.

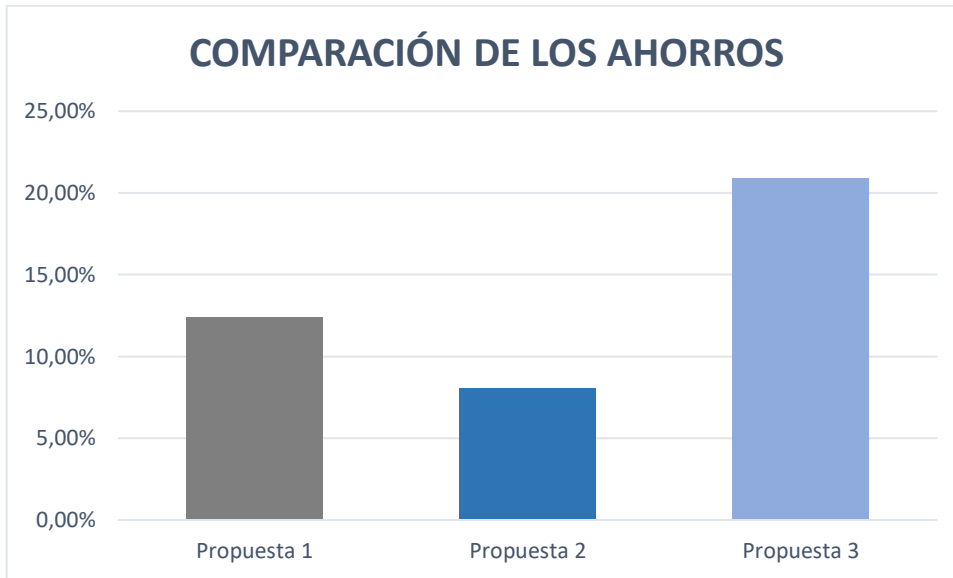


Figura 3.5. Ahorro mensual de las tres propuestas

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

3.3 Análisis del compartimento de las gráficas de la demanda

En este apartado se realizó dos gráficas, la Figura 3.2 se la desarrolló en base a la figura 3.1, donde se pudo ver el comportamiento de los datos históricos con los pronósticos a través del método de suavizamiento exponencial doble. Se lo usó debido a la poca cantidad de datos proporcionados por el centro de distribución y que sirvió para analizar la asignación de colaboradores en el área de recepción entre las fechas del 16 de noviembre de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2021.

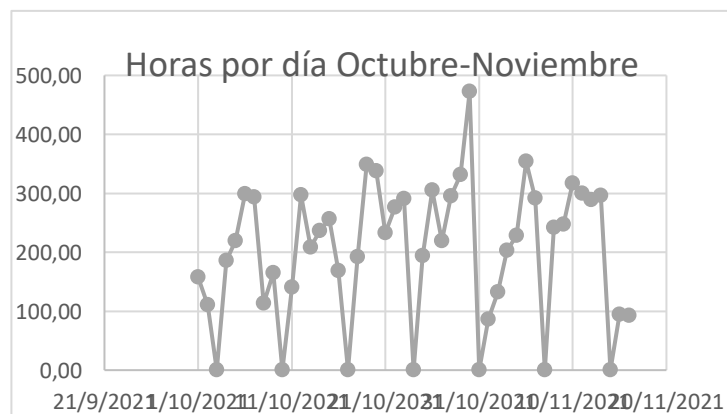


Figura 3.6. Demanda en horas hombre desde el 01/10/2021 hasta el 15/11/2021

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores.



Figura 3.7. Demanda en horas hombre desde el 16/11/2021 hasta el 31/12/2021

Fuente: Pronóstico realizado en Excel. Elaborado por autores.

Luego de que se obtuvo el pronóstico de la demanda para el periodo del 16 de noviembre al 31 de diciembre, y como se dijo anteriormente, debido a los pocos datos que se proporcionó por parte del centro de distribución, se pudo obtener el pronóstico hasta el fin del año 2021. Con la propuesta de la planificación que resultó del modelo matemático, se utilizó el cien por ciento el recurso humano que tiene el centro de distribución destinado para el área de recepción, esto no permitió que los operarios realicen polifuncionalidad, sino que fueron destinados solo a realizar actividades en el área de recepción.

Como se muestra en la Tabla 3.9, se asignó los 12 trabajadores en días normales de trabajo, en la mayoría de los casos tuvieron que realizar horas suplementarias, en el caso de día feriado, que para este periodo solo se tuvo el 25 de diciembre, se observó que trabajó todo el personal cumpliendo 12 horas cada uno. Se tuvo un total de 264,31 horas aproximadamente que debió ser subcontratadas para así satisfacer la demanda en ese día.

Tabla 3.6 Simulación de la propuesta de planificación del total de horas hombre por día para el periodo del 16/11/2021 hasta el 31/12/2021

Fuente: Datos obtenidos de la simulación del modelo matemático. Elaborado por autores

FECHA	Demanda de horas hombre	Total horas normales	Total horas extraordinarias	Total horas suplementarias	Horas a subcontratar	Porcentaje de subcontratación de horas	Costos horas ordinarias	Costos horas extraordinarias	Costo horas suplementarias	Costo horas subcontratadas
16/11/2021	200,00	96	-	48	56,00	28,00%	\$160,00	-	\$40,00	\$196,00
17/11/2021	289,67	96	-	48	145,67	50,29%	\$160,00	-	\$40,00	\$509,85
18/11/2021	290,44	96	-	48	146,44	50,42%	\$160,00	-	\$40,00	\$512,54
19/11/2021	320,83	96	-	48	176,83	55,12%	\$160,00	-	\$40,00	\$618,92
20/11/2021	324,18	64	-	32	228,18	70,39%	\$106,67	-	\$26,67	\$798,62
22/11/2021	156,79	32	-	16	108,79	69,39%	\$53,33	-	\$13,33	\$380,78
23/11/2021	178,67	96	-	48	34,67	19,40%	\$160,00	-	\$40,00	\$121,34
24/11/2021	296,90	96	-	48	152,90	51,50%	\$160,00	-	\$40,00	\$535,14
25/11/2021	297,67	96	-	48	153,67	51,62%	\$160,00	-	\$40,00	\$537,83
26/11/2021	328,06	96	-	48	184,06	56,11%	\$160,00	-	\$40,00	\$644,21
27/11/2021	331,40	64	-	32	235,40	71,03%	\$106,67	-	\$26,67	\$823,91
29/11/2021	164,02	32	-	16	116,02	70,74%	\$53,33	-	\$13,33	\$406,07
30/11/2021	185,89	96	-	48	41,89	22,54%	\$160,00	-	\$40,00	\$146,63
1/12/2021	304,12	96	-	48	160,12	52,65%	\$160,00	-	\$40,00	\$560,43
2/12/2021	304,89	96	-	48	160,89	52,77%	\$160,00	-	\$40,00	\$563,13
3/12/2021	335,29	96	-	48	191,29	57,05%	\$160,00	-	\$40,00	\$669,50
4/12/2021	338,63	64	-	32	242,63	71,65%	\$106,67	-	\$26,67	\$849,20
6/12/2021	171,25	32	-	16	123,25	71,97%	\$53,33	-	\$13,33	\$431,36
7/12/2021	193,12	96	-	48	81,12	42,01%	\$160,00	-	\$13,33	\$283,92
8/12/2021	311,35	96	-	48	167,35	53,75%	\$160,00	-	\$40,00	\$585,72
9/12/2021	312,12	96	-	48	168,12	53,86%	\$160,00	-	\$40,00	\$588,42
10/12/2021	342,51	96	-	48	198,51	57,96%	\$160,00	-	\$40,00	\$694,80
11/12/2021	345,86	64	-	32	249,86	72,24%	\$106,67	-	\$26,67	\$874,50
13/12/2021	178,47	32	-	16	130,47	73,11%	\$53,33	-	\$13,33	\$456,65
14/12/2021	200,35	96	-	48	56,35	28,12%	\$160,00	-	\$40,00	\$197,22
15/12/2021	318,58	96	-	48	174,58	54,80%	\$160,00	-	\$40,00	\$611,01
16/12/2021	319,35	96	-	48	175,35	54,91%	\$160,00	-	\$40,00	\$613,71
17/12/2021	349,74	96	-	48	205,74	58,83%	\$160,00	-	\$40,00	\$720,09
18/12/2021	353,08	64	-	32	257,08	72,81%	\$106,67	-	\$26,67	\$899,79
20/12/2021	185,70	32	-	16	137,70	74,15%	\$53,33	-	\$13,33	\$481,95
21/12/2021	207,57	96	-	48	63,57	30,63%	\$160,00	-	\$40,00	\$222,51
22/12/2021	325,80	96	-	48	181,80	55,80%	\$160,00	-	\$40,00	\$636,31
23/12/2021	326,57	96	-	48	182,57	55,91%	\$160,00	-	\$40,00	\$639,00
24/12/2021	356,97	-	96	-	260,97	73,11%	-	\$320,00	-	\$913,38
25/12/2021	360,31	64	-	32	264,31	73,36%	\$106,67	-	\$26,67	\$925,08
27/12/2021	192,93	32	-	16	144,93	75,12%	\$53,33	-	\$13,33	\$507,24
28/12/2021	214,80	96	-	48	70,80	32,96%	\$160,00	-	\$40,00	\$247,80
29/12/2021	333,03	96	-	48	189,03	56,76%	\$160,00	-	\$40,00	\$661,60
30/12/2021	333,80	96	-	48	189,80	56,86%	\$160,00	-	\$40,00	\$664,30
31/12/2021	364,19	96	-	48	220,19	60,46%	\$160,00	-	\$40,00	\$770,67

A continuación, en la Tabla 3.10, se da a conocer los costos totales de las horas suplementarias, extraordinarias y de las horas que en centro de distribución necesitó subcontratar en el área de recepción para cumplir con la demanda del periodo pronosticado del 16 de noviembre al 31 de diciembre del 2021. Se obtuvo un total de \$320 en horas extraordinarias que correspondieron al 24 de diciembre, \$1.253,33 como costo total de horas suplementarias y \$22.305,11 como costo total de horas que debieron ser subcontratadas.

Finalmente, al sumar todos los costos de las diferentes horas que se necesitaron para cumplir la demanda en el periodo señalado se tuvo un valor de USD 23,878, 44.

Tabla 3.7 Simulación de la propuesta de planificación del total de horas hombre por día para el periodo del 16/11/2021 hasta el 31/12/2021.

Fuente: Datos obtenidos de la simulación del modelo matemático. Elaborado por autores

Año: 2021	Propuesta de planificación			
Periodo	Costo total de horas suplementarias	Costo total de horas extraordinarias	Costo total de horas subcontratadas	Costo total
16 nov-31 dic	\$1.253,33	\$320,00	\$22.305,11	\$23.878,44

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Discusión de resultados

Al realizar las comparaciones entre la planificación que efectuó el centro de distribución frente a las propuestas de planificación obtenidas con la ejecución del modelo se evidenció ahorros en los costos totales de las horas necesarias para satisfacer las demandas diarias durante el periodo de octubre. Para apreciar de mejor manera los resultados y relacionar los ahorros de manera anual se trabajó en las comparaciones considerando el mes de octubre con la data que facilitó el centro de distribución correspondiente al área de recepción.

Se evidenció que no se aprovechó el recurso humano que tiene firmado contrato para laborar en el área de recepción, más bien solo trabajan entre un 60% y un 80% aproximadamente y el resto cumplían actividades polifuncionales en otras áreas. Este porcentaje restante causó un déficit en las horas hombre necesarias para atender la demanda total.

Con la data histórica proporcionada por el centro de distribución, la cual fue muy limitada a mes y medio aproximadamente, hizo que se realizara un diagrama de pronóstico mediante Suavizamiento Exponencial Doble. Aunque este pronóstico obtenido no sea uno de los mejores pronósticos que hay, sirvió de base para poder ejecutar la efectividad del modelo. El centro de distribución al no conocer la demanda semanal es necesario que efectúe pronósticos utilizando una base de datos histórica que contenga un periodo muy amplio como ejemplo podría ser de seis meses.

Para poder desarrollar la propuesta de planificación mediante la ejecución del modelo matemático, se aprovechó al cien por ciento el total de los doce operarios que tiene el centro de distribución en el área de recepción, evitando polifuncionalidad de los colaboradores en otras áreas, los operarios tienen la

oportunidad de generar un mayor ingreso al realizar horas suplementarias. Así como también aprovechar laborar en días feriados que son pagados con un recargo del 100%.

Para la asignación diaria eficiente de los trabajadores con derecho a un día libre a la semana, considerando que la semana laboral es de lunes a sábado, ya que el domingo no se labora, una de las propuestas que se realizó fue que el modelo matemático considerara que el 30% del personal salga libre los sábados y el 70% restante los lunes; debido que los sábados presentan mayor demanda que los lunes. Se necesitará aprovechar la mayor cantidad de personal para no incurrir en horas subcontractadas o de ser el caso éstas sean mínimas.

Otra de las propuestas fue cambiar un día de opción de descanso, tomando los lunes y viernes debido a que en esos días existe poca demanda. Entre estas dos propuestas se observó que la opción que referencia a los días de descanso lunes y sábado dio como resultado un mayor ahorro en comparación a la segunda propuesta la cual fue días de descanso lunes y viernes.

Como tercera propuesta se realizó un análisis donde se agregó la contratación de 2 operarios, sumándolos a la nómina local. Esta estrategia fue utilizada para medir el impacto que se obtiene al aumentar la capacidad de operarios y según los resultados concluir si era necesario esas contrataciones. Debido a esto se generaron resultados muy favorables, se tuvo como porcentaje de ahorro un 20,91% en el ejercicio, es una diferencia muy notable de 8.53% a favor, en relación con la que era la mejor opción; es decir, la propuesta 1.

Como se demostró anteriormente, el modelo generó un ahorro del 20,91% al incluir dos operarios más a su fuerza laboral en el área de recepción de acuerdo con la propuesta de planificación basada en el modelo matemático.

4.2 Conclusiones

- El modelo matemático implementado es factible para elaborar la planificación de los operarios en el centro de distribución en el área de recepción. Hay que tener en consideración que, si se dispone de una data histórica de la demanda, se obtendrán mejores resultados, reduciendo los porcentajes de horas que deben ser subcontratadas para satisfacer la demanda y los costos totales de las horas necesarias.
- De acuerdo con la sensibilidad del análisis de la demanda en los días que tienen como opción para salir libre los operarios se planteó dos escenarios, en donde se tomó en cuenta los sábados y lunes para generar el primer escenario donde nos dio como resultado un 12,38% de porcentaje de ahorro, tomando en cuenta que los sábados se presenta mayor demanda en comparación con los lunes.
- Por otro lado, se tuvo el segundo escenario, donde se analizó el efecto que causaría al aplicar el modelo matemático con una variante, tomando en cuenta lunes y viernes como días de descanso, en este caso se obtuvo el resultado de un 8,03% de ahorro. Hasta ahora se obtuvo el mayor resultado en el primer escenario.
- Debido a los dos resultados que se obtuvieron, se realizó una comparativa de mejorar el resultado más favorable, donde se reconoció que era necesario la contratación de 2 operarios en la fuerza operativa en el área de recepción. Al sumar estos dos trabajadores a la nómina local dio como resultado un ahorro del 20,91% donde se reflejó una diferencia de 8,53% versus la mejor opción.

4.3 Recomendaciones

- Para poder obtener una mejor planificación en futuros trabajos, es necesario contar con una data histórica robusta de la demanda en horas diaria para así poder pronosticar y realizar una mejor clasificación de los parámetros.
- Es importante que de acuerdo con la planificación y a los resultados obtenidos se sugiere que la empresa agregue dos operarios, para que al aplicar el modelo matemático existan los resultados que se tienen proyectos y así la empresa pueda obtener un 20,91% en las operaciones mensuales de esta área de recepción.
- Se recomienda que la empresa debe aprovechar al cien por ciento la cantidad de operadores con los que debería de contar según el modelo matemático serían 14 operarios para el área de recepción para que la organización tenga un ahorro en los costos de las horas demandadas, principalmente en las horas de subcontratación.
- Según los resultados que se obtengan en el área de recepción al aplicar este modelo matemático, se esperan los mejores resultados que es la optimización del máximo ahorro, debido a la efectividad y éxito de este proyecto se sugiere extrapolar en diversas áreas del centro de distribución donde necesite optimizar.

ANEXOS

Tabla 5.0.1 Detalle de horas hombre realizadas en el CEDI en el periodo del 01/10/2021 al 15/11/2021

Fuente: Datos proporcionados por el centro de distribución. Elaborado por autores

Fecha	Día	Demanda de horas hombre	Total horas normales	Total horas extraordinarias	Total horas suplementarias	Horas subcontratadas	Porcentaje de subcontratación de horas	Costos horas ordinarias	Costos horas extraordinarias	Costo horas suplementarias	Costo horas subcontratadas	Personal contratado	Personal subcontratado
1/10/2021	viernes	138,60	61,43	-	2,00	75,17	54,23%	\$102,38	-	\$1,67	\$263,08	8	11
2/10/2021	sábado	109,62	63,95	-	2,00	43,67	39,84%	\$106,58	-	\$1,67	\$152,83	8	5
4/10/2021	lunes	168,76	86,76	-	2,67	79,33	47,01%	\$144,60	-	\$2,23	\$277,67	11	10
5/10/2021	martes	206,99	88,00	-	3,66	115,33	55,72%	\$146,67	-	\$3,05	\$403,67	11	16
6/10/2021	miércoles	275,67	80,00	-	15,00	180,67	65,54%	\$133,33	-	\$12,50	\$632,33	10	22
7/10/2021	jueves	281,36	95,70	-	6,99	178,67	63,50%	\$159,50	-	\$5,83	\$625,33	12	22
8/10/2021	viernes	104,34	-	48,67	-	55,67	53,35%	-	\$81,12	-	\$194,83	7	8
9/10/2021	sábado	147,15	62,65	-	-	84,50	57,42%	\$104,42	-	-	\$295,75	8	13
11/10/2021	lunes	121,50	58,17	-	0,33	63,00	51,85%	\$96,95	-	\$0,28	\$220,50	8	9
12/10/2021	martes	277,28	91,85	-	0,66	184,77	66,64%	\$153,08	-	\$0,55	\$646,68	12	26
13/10/2021	miércoles	197,00	72,00	-	8,33	116,67	59,22%	\$120,00	-	\$6,94	\$408,33	9	14
14/10/2021	jueves	226,00	80,00	-	6,67	139,33	61,65%	\$133,33	-	\$5,56	\$487,67	10	16
15/10/2021	viernes	244,25	88,00	-	4,00	152,25	62,33%	\$146,67	-	\$3,33	\$532,88	11	20
16/10/2021	sábado	149,70	62,70	-	-	87,00	58,12%	\$104,50	-	-	\$304,50	8	11
18/10/2021	lunes	181,51	79,50	-	4,68	97,33	53,62%	\$132,50	-	\$3,90	\$340,67	10	16
19/10/2021	martes	323,68	72,00	-	14,01	237,67	73,43%	\$120,00	-	\$11,68	\$831,83	9	25
20/10/2021	miércoles	304,48	72,00	-	14,65	217,83	71,54%	\$120,00	-	\$12,21	\$762,42	10	23
21/10/2021	jueves	221,32	88,00	-	4,32	129,00	58,29%	\$146,67	-	\$3,60	\$451,50	11	15
22/10/2021	viernes	249,82	88,00	-	4,99	156,83	62,78%	\$146,67	-	\$4,16	\$548,92	11	18
23/10/2021	sábado	278,69	72,00	-	11,02	195,67	70,21%	\$120,00	-	\$9,18	\$684,83	9	25
25/10/2021	lunes	183,19	79,95	-	1,66	101,58	55,45%	\$133,25	-	\$1,38	\$355,54	10	13
26/10/2021	martes	294,79	78,12	-	19,67	197,00	66,83%	\$130,20	-	\$16,39	\$689,50	10	20
27/10/2021	miércoles	218,64	64,00	-	11,64	143,00	65,40%	\$106,67	-	\$9,70	\$500,50	8	16
28/10/2021	jueves	275,17	80,00	-	21,00	174,17	63,29%	\$133,33	-	\$17,50	\$609,58	10	20
29/10/2021	viernes	322,17	96,00	-	4,00	222,17	68,96%	\$160,00	-	\$3,33	\$777,58	12	27
30/10/2021	sábado	443,18	72,00	-	34,01	337,17	76,08%	\$120,00	-	\$28,34	\$1.180,08	9	58
1/11/2021	lunes	76,99	-	39,99	-	37,00	48,06%	-	\$66,65	-	\$129,50	5	5
2/11/2021	martes	122,84	-	53,01	-	69,83	56,85%	-	\$88,35	-	\$244,42	7	11
3/11/2021	miércoles	196,44	87,77	-	-	108,67	55,32%	\$146,28	-	-	\$380,33	11	17
4/11/2021	jueves	218,15	95,98	-	-	122,17	56,00%	\$159,97	-	-	\$427,58	12	26
5/11/2021	viernes	332,47	96,00	-	4,97	231,50	69,63%	\$160,00	-	\$4,14	\$810,25	12	29
6/11/2021	sábado	278,00	88,00	-	12,67	177,33	63,79%	\$146,67	-	\$10,56	\$620,67	11	19
8/11/2021	lunes	230,91	79,92	-	1,99	149,00	64,53%	\$133,20	-	\$1,66	\$521,50	10	27
9/11/2021	martes	235,96	79,93	-	6,36	149,67	63,43%	\$133,22	-	\$5,30	\$523,83	10	21
10/11/2021	miércoles	295,66	72,00	-	11,66	212,00	71,70%	\$120,00	-	\$9,72	\$742,00	9	31
11/11/2021	jueves	287,31	79,98	-	3,33	204,00	71,00%	\$133,30	-	\$2,78	\$714,00	10	26
12/11/2021	viernes	270,31	95,97	-	7,67	166,67	61,66%	\$159,95	-	\$6,39	\$583,33	12	20
13/11/2021	sábado	273,94	63,60	-	4,67	205,67	75,08%	\$106,00	-	\$3,89	\$719,83	8	26
15/11/2021	lunes	74,87	71,87	-	3,00	-	-	\$119,78	-	\$2,50	-	9	0

MODELO MATEMÁTICO

- **Conjuntos**

T : Conjunto de los días, $t \in \{1, \dots, T\}$

F : Conjunto de días feriados $F \subseteq T$ y $f \in F$

J : Conjunto de trabajadores $j \in \{1, \dots, J\}$

- **Parámetros**

D_t : Demanda de horas hombre en el día t

N : Costo de hora ordinaria de trabajo

- **Variables de decisión**

$S_{j,t}$: Cantidad de horas suplementarias del trabajador j en el día t

$S_{j,f}$: Cantidad de horas extraordinarias del trabajador j en el día f

$$x_{j,t} = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ es asignado en el día } t \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$d_j = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ tiene libre sábado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$l_j = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ tiene libre lunes} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$H_{j,f} = \begin{cases} 1 & \text{El trabajador } j \text{ labora un día } f \text{ que es feriado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

- **Función Objetivo**

$$\text{Min } z = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} 0.5 * N * S_{j,t} + \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} 1 * N * S_{j,f}$$

- **Restricciones**

$$\sum_{t \in T} S_{j,t} \leq 12 \quad \forall j \in J$$

$$s_{j,t} \leq 4 * x_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$x_{j,f} \leq H_{j,f} \quad \forall f \in F, \forall j \in J$$

$$\sum_{j \in J} (8 + S_{j,t}) \geq D_t, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{j \in J} (S_{j,t}) \geq D_f, \quad \forall f \in F$$

$$\sum_{j \in J} x_{j,t} \leq 12 \quad \forall t \in T$$

$$d_j + l_j = 1 \quad \forall j \in J$$

$$x_{j,t}, d_j, l_j, H_{j,f} \in \{0,1\}$$

$$S_{j,t} \in \mathbb{N}$$

SOLUCIONES DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICO

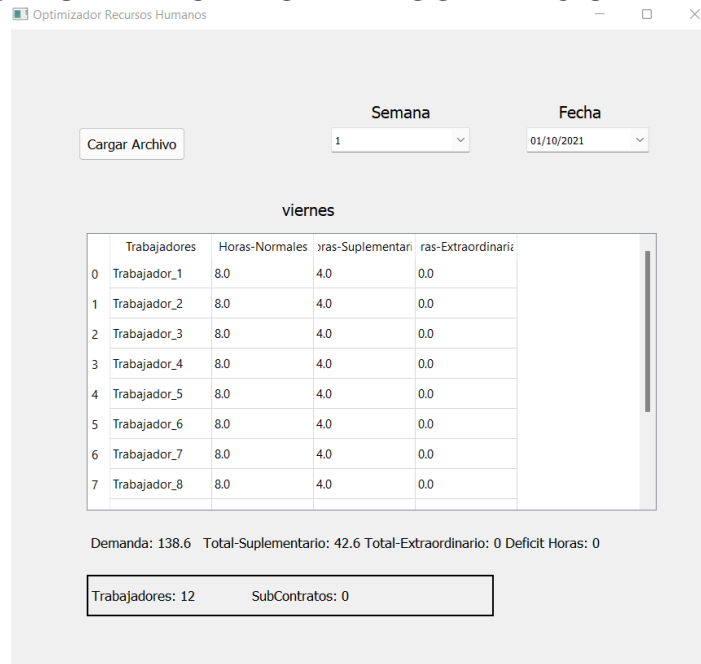


Figura 5.1. Solución del modelo Subcontratos 0

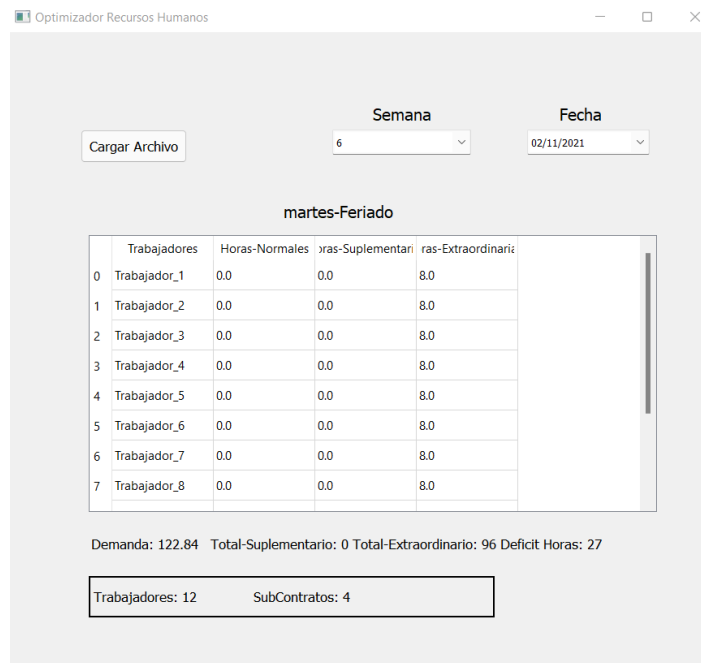


Figura 5.2. Solución del modelo Subcontratos 4.

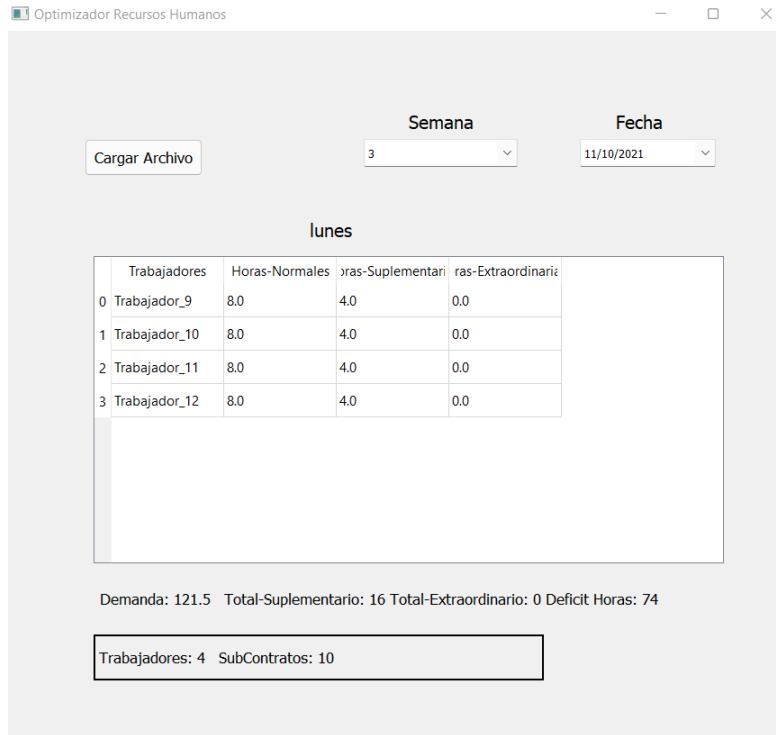


Figura 5.3. Solución del modelo Subcontratos 10.

PSEUDOCÓDIGO DEL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla 5.2 Modelo de Implementación

	Entrada: Leer Archivo
1:	ListaFeriados ← ObtenerFeriados(Archivo)
2:	Salario ← 400
3:	Hora_normal ← salario
4:	Hora_suplementaria ← hora_normal/2
5:	Max_horas_sup_semana ← 12
6:	Max_horas_sup_diario ← 4
7:	Demandas_diarias ← ObtenerDemandaDiaria(Archivo)
8:	NominaTrabajadores ← ObtenerNomina(Archivo)
9:	TrabajadoresDiarioAnual ← PlanAnualTrabajadores(NominaTrabajadores)
10:	Meses ← ["Enero,Febrero, Marzo.... Diciembre"]
11:	Días ← ["Lunes, Martes.... Sabado"]
12:	Mostrar PlanOptimoDeTrabajo(días,meses,ListaFeriados,salario,max_horas_sup_diario, max_horas_sup_semana, demandas_diarias,NominaTrabajadores, TrabajadoresDiarioAnual
	Fin Algoritmo

BIBLIOGRAFÍA

- Blazewicz, J., H. Ecker, K., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2007). *Handbook on Scheduling From Theory to Applications*. Alemania: Springer.
- Cabezas, X. (2021). *Fundamentals of Optimization Lecture 1*. Notas de Curso, Guayaquil.
- Código del trabajo. Trabajo.gob.ec. (2022). Recuperado de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/11/C%C3%B3digo-de-Tabajo-PDF.pdf>.
- H.Holland, J. (1992). *ADAPTATION IN NATURAL AND ARTIFICIAL SYSTEMS*. Londres: MIT. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=wSOLEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=adaptation+in+natural+and+artificial+systems&ots=PCRJ5sqaio&sig=jPNNeuVA91OvOBPOwu2aHs5tDjQ#v=onepage&q=adaptation%20in%20natural%20and%20artificial%20systems&f=false>
- J. Grefenstette, J. (1985). *Proceedings of the firts internacional conference on genetic Algorithms and their aplications*. Pittsburgh: Lawrence Eibum Associates. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=II17AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=P A136&dq=Job+Shop+Scheduling&ots=0Mm-b6R54s&sig=GCBG5Os77ZvgyQXLbfso4WuwQAE#v=onepage&q=Job%20Sho p%20Scheduling&f=false>
- Mahdi Ahmadian, M., Khatami, M., & Salehipour, A. (24 de Marzo de 2021). Four decades of research on the open-shop scheduling problem to minimize the makespan. *European Journal of Operational Research*, 295, 339-426. doi:10.1016/j.ejor.2021.03.026
- Millán Páramo, C., Matoski, A., & Mazer, W. (Junio de 2017). Modified Simulated Annealing Algorithm for optimum design of truss structures with continuous variables. *Revista Tecnologia en Marcha*, 30. doi:10.18845/tm.v30i2.3209
- Mora García, L. A. (2011). *Gestión logística en centros de distribucion, bodegas y almacenes* (Vol. Primera Edición). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=hXs5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA165&dq=centros+de+distribuci%C3%B3n+&ots=B3Mjz4IKLM&sig=zI-CFniUz1-26UBloYJcWqlvaVo&redir_esc=y#v=onepage&q=centros%20de%20distribuci%C3%B3n&f=false
- R. Sule, D. (2008). *Production Planning and Industrial Scheduling*. Boca Raton, Florida, Estados Unidos de América: Francis Group. Obtenido de

<https://books.google.com.ec/books?id=CZbMBQAAQBAJ&pg=PA10&dq=flow+shop+jobs+are+processed+on+multiple+machines+in+an&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiR1cPSh-vzAhUGRjABHePbAlSQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=flow%20shop%20jobs%20are%20processed%20on%20multiple%20machine>

Sandoya, F. (2017). *MODELOS DE PROGRAMACION LP Y MIP*. Guayaquil.