



OPTIMIZACIÓN

DE LA ASIGNACIÓN

DE EMPLEADOS

A PROYECTOS EN

INGENIERÍA TUC S.R.L.

Integrantes:

- Giambroni, Agustina I.
- Jiménez, César I.
- Rodríguez, Josefina

OPTIMIZACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE EMPLEADOS A PROYECTOS

EN INGENIERÍA TUC S.R.L.

Giambroni, Agustina Inés – Jiménez, César Ignacio – Rodríguez, Josefina

agusgiambroni@gmail.com - cesariqji@gmail.com - josefinarood@gmail.com

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| SITUACIÓN PROBLEMÁTICA | 4 |
| PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 5 |
| OBJETIVO | 5 |
| MARCO METODOLÓGICO | 6 |
| Metodología de Investigación:..... | 6 |
| Herramientas a Utilizar (Modelos):..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 7 |
| Programación lineal | 7 |
| Programación binaria | 8 |
| APLICACIÓN | 9 |
| Modelización de programación | 9 |
| Proyector Manager..... | 9 |
| Dibujantes..... | 14 |



| | |
|----------------------|----|
| RECOMENDACIONES..... | 32 |
| CONCLUSIONES..... | 32 |
| REFERENCIAS | 33 |
| APÉNDICE..... | 34 |

RESUMEN

Este trabajo de investigación se enfoca en la optimización de la asignación de recursos humanos en IngenieríaTuc S.R.L., una empresa de ingeniería fundada en San Miguel de Tucumán por dos ingenieros mecánicos con más de 20 años de experiencia en proyectos multidisciplinarios. La empresa se especializa en ingeniería mecánica, eléctrica y civil, y opera bajo un enfoque basado en proyectos, adaptándose a las necesidades específicas de cada cliente. A pesar de su éxito y reconocimiento en la región, IngenieríaTuc S.R.L. enfrenta un desafío significativo en la gestión de su personal, ya que actualmente no dispone de una herramienta específica para gestionar y asignar recursos humanos de manera eficiente.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar e implementar una herramienta de gestión que optimice la asignación de empleados a proyectos en la empresa, mejorando la eficiencia operativa y garantizando el cumplimiento de plazos y calidad.

Los resultados de la investigación muestran una asignación más precisa y eficiente tanto de los PM como de los dibujantes técnicos, lo que mejora significativamente la eficiencia operativa de IngenieríaTuc S.R.L.

En conclusión, la implementación de una herramienta de gestión de recursos humanos en IngenieríaTuc S.R.L. marca un avance significativo hacia la optimización de la asignación de

empleados a proyectos. Esta iniciativa no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también garantiza la calidad y la puntualidad en la entrega de proyectos. Además, refuerza el compromiso de la empresa con la excelencia en la ejecución de proyectos multidisciplinarios, lo que la posiciona de manera más sólida para enfrentar desafíos técnicos y operativos en el futuro.

Palabras Clave: Asignación de personal - Programación lineal - Programación binaria - Optimización de proyectos.

INTRODUCCIÓN

IngenieríaTuc S.R.L. es una empresa de ingeniería fundada por dos ingenieros mecánicos con más de 20 años de experiencia en una amplia variedad de proyectos, incluidos aquellos en plantas de extracción de litio, oro, cobre y agrocentros. Con sede en San Miguel de Tucumán, la empresa se especializa en las disciplinas de ingeniería mecánica, eléctrica y civil. Fundada con la visión de integrar diversas disciplinas de ingeniería bajo un mismo techo, IngenieríaTuc S.R.L. se ha consolidado como un referente en la gestión y ejecución de proyectos multidisciplinarios en la región. La empresa opera mediante un enfoque basado en proyectos, adaptándose a las necesidades específicas de cada cliente y garantizando eficiencia y calidad en la entrega de resultados. Los proyectos pueden abarcar una, dos o las tres disciplinas de ingeniería en las que se especializa la empresa, permitiendo una gran flexibilidad y capacidad de respuesta ante cualquier desafío técnico.

IngenieríaTuc S.R.L. cuenta con un equipo de recursos humanos altamente calificado, compuesto por Project Managers (PM) y dibujantes técnicos. Los Project Managers son profesionales versátiles que gestionan de manera transversal todas las disciplinas involucradas en un proyecto, asegurando la coordinación y el cumplimiento de los plazos y objetivos. Por otro lado, los dibujantes técnicos se especializan en una categoría específica, ya sea mecánica, eléctrica o civil,



proporcionando un soporte detallado y experto en la elaboración de planos y documentos técnicos necesarios para la ejecución de los proyectos.

Gracias a su enfoque multidisciplinario y su dedicación a la calidad y eficiencia, IngenieríaTuc S.R.L. se ha destacado en el ámbito de la ingeniería en San Miguel de Tucumán. La combinación de un equipo altamente calificado y la incorporación de jóvenes talentos asegura que la empresa continúe liderando en la gestión y ejecución de proyectos complejos y desafiantes en el sector de la ingeniería.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La empresa opera principalmente bajo una metodología de trabajo por proyectos. Estos proyectos pueden clasificarse en dos tipos: de largo plazo y de corto plazo. Sin embargo, la empresa enfrenta un desafío significativo en la gestión de su personal. En la actualidad, no se dispone de ninguna herramienta específica para gestionar y asignarlos de manera eficiente.

La asignación se realiza manualmente y de manera subjetiva por el gerente de operaciones, en colaboración con los gestores de proyectos (PM). Este método adolece de falta de precisión y puede resultar en asignaciones ineficaces. La falta de un sistema estructurado obliga a los equipos a recurrir constantemente al gerente de operaciones y a los PM para obtener información sobre cómo se distribuyen los recursos, lo cual puede ser un proceso lento y propenso a errores.

Esta situación no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también puede impactar negativamente en la moral del equipo, ya que la falta de claridad y transparencia en la asignación de recursos puede generar incertidumbre y descontento entre los empleados. Además, la incapacidad de gestionar adecuadamente los recursos puede llevar a la empresa a enfrentar desafíos en la entrega de proyectos, comprometiendo tanto la calidad como los plazos de entrega.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los métodos actuales utilizados por la empresa para asignar recursos humanos y cuáles son sus principales deficiencias?
2. ¿Qué impacto tendría la implementación de una herramienta de gestión de recursos en la eficiencia operativa y la moral del equipo?
3. ¿Cuáles son los criterios clave que deben considerarse al asignar empleados a proyectos, y cómo difieren entre proyectos de largo plazo y corto plazo?

OBJETIVO

Diseñar e implementar una herramienta de gestión que optimice la asignación de empleados a proyectos en la empresa, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y garantizar el cumplimiento de plazos y calidad en la entrega de proyectos.

Del objetivo anterior se derivan los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar los métodos actuales utilizados por la empresa para asignar recursos humanos e identificar sus principales deficiencias en términos de precisión, transparencia y eficiencia.
2. Modelizar el impacto potencial de la implementación de una herramienta de gestión de recursos humanos en la eficiencia operativa, mediante la automatización de procesos de asignación y la optimización de recursos disponibles.
3. Identificar los criterios clave que deben considerarse al asignar empleados a proyectos, diferenciando entre proyectos de largo plazo y corto plazo, para desarrollar un modelo de asignación óptimo y adaptable a las necesidades específicas de cada proyecto.

MARCO METODOLÓGICO

Metodología de Investigación:

Para abordar los objetivos de la investigación, se utilizará una metodología mixta de diseño secuencial exploratorio, en el cual se empieza la primera fase con datos cualitativos para explorar el fenómeno y generar una hipótesis y luego se sigue con una fase cuantitativa para probar esa hipótesis. Esto permitirá obtener una comprensión profunda de los procesos actuales de asignación de recursos humanos, así como evaluar el impacto de la implementación de la nueva herramienta de gestión de recursos humanos.

La recolección de datos se realizará a través de un análisis de documentos internos de la empresa, como registros de asignaciones pasadas, políticas de recursos humanos y documentos relacionados con proyectos específicos, para complementar la información obtenida de las entrevistas.

Herramientas a Utilizar (Modelos):

- Se empleará un modelo de programación binaria para analizar la asignación de los Project Managers (PM) según su función y el tipo de proyecto al que se enfocan. Se le asignará a cada PM a proyectos que se alineen mejor con sus habilidades y experiencia. El objetivo será optimizar la asignación de PM para garantizar una gestión eficiente y efectiva de los proyectos en todas las áreas de especialización.
- Se desarrollará un modelo de programación binaria para optimizar la asignación de empleados a proyectos en una empresa de ingeniería. Este modelo empleará variables binarias para determinar la asignación de cada empleado a proyectos específicos, teniendo en cuenta las especialidades de los empleados, como Civil, Mecánica y Eléctrica. Se buscará

maximizar la eficiencia total del equipo al minimizar la carga de trabajo global y garantizar una distribución equitativa de las tareas.

MARCO TEÓRICO

Programación lineal

Frederick Hillier y Mark Hillier (2008) definen la programación lineal (PL) como una técnica matemática utilizada para encontrar la mejor manera de asignar recursos limitados. En el contexto empresarial, se emplea para maximizar las ganancias o minimizar los costos, siempre sujeto a una serie de restricciones como limitaciones de recursos, tiempo o capacidad. Esta técnica es fundamental en la toma de decisiones empresariales, ya que permite modelar problemas complejos y encontrar soluciones óptimas mediante el uso de algoritmos específicos, como el método simplex.

Render, Stair y Hanna (2013) también enfatizan la importancia de la programación lineal en la optimización de recursos. Según estos autores, la programación lineal es una herramienta crucial para resolver problemas de asignación de recursos en diversas industrias, permitiendo a las empresas tomar decisiones informadas que mejoran la eficiencia y la rentabilidad. La técnica implica la construcción de un modelo matemático que representa el problema, identificando las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo.

Las aplicaciones de la programación lineal son numerosas y variadas. En la industria manufacturera, se utiliza para determinar la combinación óptima de productos que maximizará las ganancias sin exceder la capacidad de producción. En la logística, puede ayudar a planificar las rutas de transporte más eficientes. En la gestión de inventarios, se emplea para decidir las cantidades óptimas de productos que deben mantenerse en stock para satisfacer la demanda sin incurrir en costos excesivos.

Programación binaria

La programación binaria es una extensión de la programación lineal en la que las variables de decisión sólo pueden tomar valores de 0 o 1. Esta técnica es especialmente útil en problemas de selección y asignación donde las decisiones son de naturaleza binaria, es decir, son decisiones del tipo 'sí' o 'no'. En la programación binaria, las variables representan decisiones discretas. Por ejemplo, en un problema de selección de proyectos, cada variable podría indicar si un proyecto específico se selecciona o no. Las restricciones aseguran que se cumplan las condiciones necesarias, como el presupuesto disponible o los recursos necesarios. Según Render, Stair y Hanna (2013), la programación binaria permite modelar y resolver problemas complejos de manera eficiente.

Frederick Hillier y Gerald Liberman (2012) profundizan en la teoría y aplicación de la programación binaria, proporcionando métodos para formular y resolver estos problemas de manera eficiente. Se destaca el uso de esta técnica en problemas de optimización combinatoria, donde la elección entre diferentes opciones discretas puede tener un impacto significativo en el resultado final.

Las aplicaciones de la programación binaria son amplias y abarcan desde la selección de portafolios de inversión hasta la planificación de proyectos y la optimización de redes de comunicación. En la selección de portafolios de inversión, se utiliza para decidir qué activos incluir en el portafolio para maximizar el retorno o minimizar el riesgo, dado un conjunto de restricciones. En la planificación de proyectos, puede ayudar a decidir qué proyectos emprender para optimizar el uso de recursos y cumplir con los plazos. En la optimización de redes de comunicación, se emplea para determinar la configuración óptima de una red para maximizar la eficiencia y minimizar los costos operativos. Según Render, Stair y Hanna (2013), estas aplicaciones demuestran la versatilidad y efectividad de la programación binaria en diversos campos.

APLICACIÓN

Actualmente, la empresa carece de un sistema formal de asignación de proyectos. Las decisiones sobre quién participará en cada proyecto son tomadas de manera subjetiva por el gerente general, sin un proceso sistemático que considere quién es el más adecuado para cada tarea. Esta falta de sistematización puede llevar a una asignación ineficiente de recursos humanos y a la subutilización de las capacidades del personal.

En cuanto a los Project Managers (PM), la empresa no evalúa quién es el ideal para cada proyecto según su orientación y habilidades específicas. Aunque cada PM tiene experiencia en las tres áreas principales de la empresa (mecánica, civil y eléctrica), no todos poseen el mismo nivel de competencia en cada una de estas disciplinas. Este enfoque genérico puede resultar en una asignación subóptima de los PM, lo que puede afectar negativamente el rendimiento y los resultados de los proyectos.

Para los dibujantes, no se considera de manera adecuada sus horarios disponibles ni su carga de trabajo actual, lo que lleva a una distribución desequilibrada del trabajo y a retrasos innecesarios. Además, se busca maximizar la contribución marginal del proyecto en la asignación de los dibujantes. Sin embargo, la ausencia de un sistema formal para esta asignación dificulta la optimización de su contribución.

Modelización de programación

En este periodo hay para comenzar 10 proyectos, 5 de mecánica, 3 de civil, 2 eléctricos.

- **Project Manager**

La empresa cuenta con cuatro Project Managers (PM) cuya evaluación de capacidades se ha realizado en conjunto con el Gerente General. Esta evaluación tiene como objetivo optimizar el

sistema de asignación de proyectos basándose en el desempeño observado en proyectos anteriores. Se establecieron criterios específicos para cada tipo de proyecto, ponderando las habilidades relevantes para garantizar una asignación eficiente y efectiva.

Proyectos de Mecánica: se han identificado tres áreas clave y se les ha asignado un peso basado en su importancia relativa:

- Flowsheet: 30%
- Piping: 50%
- Diseño: 20%

Proyectos de Civil: la evaluación se centra en dos áreas principales:

- Trabajos de Hormigón: 70%
- Suelos: 30%

Proyectos de Eléctrica: se consideran las siguientes capacidades, cada una con su correspondiente peso:

- Montaje: 33%
- Estructura: 17%
- Diseño: 50%

Cada PM fue puntuado en una escala de 1 a 10 en cada una de estas áreas, donde 10 representa el nivel más alto de competencia. Este sistema de evaluación permite una asignación más precisa de los PM a los proyectos, asegurando que se aprovechen al máximo sus habilidades y experiencia en las áreas relevantes. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 1:

Puntaje de los PM para cada tipo de proyecto.

| PM/ TIPO DE PROYECTO | Mecánica | Civil | Eléctrica |
|----------------------|----------|-------|-----------|
|----------------------|----------|-------|-----------|



| | | | |
|------|---|---|---|
| PM 1 | 8 | 6 | 8 |
| PM 2 | 8 | 9 | 6 |
| PM 3 | 6 | 9 | 8 |
| PM 4 | 7 | 6 | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

Variables de decisión:

Se utilizan variables binarias P_{ij} , que toma el valor 1 si el PM i está asignado al proyecto j , y 0 en caso contrario.

Donde i es el número de PM $i= 1, 2, 3$ y j es el proyecto $j= 1, 2, 3, \dots, 10$.

Para mantener la estructura ordenada del problema de programación, se clasifican los proyectos de la siguiente manera:

- Proyectos 1 a 5: Mecánica
- Proyectos 6 a 8: Civil
- Proyectos 9 y 10: Eléctrica

A modo de ejemplo se definen las siguientes variables:

P_{11} {0 no se asigna al PM1 al proyecto 1, 1 se asigna al PM1 al proyecto 1.

P_{22} {0 no se asigna al PM2 al proyecto 2, 1 se asigna al PM2 al proyecto 2.

P_{410} {0 no se asigna al PM4 al proyecto 10, 1 se asigna al PM4 al proyecto 10.

Formula objetivo:

El objetivo principal de la programación es maximizar la efectividad. Para lograrlo, se ha desarrollado la siguiente fórmula, donde cada variable P_{ij} está multiplicada por un coeficiente que representa la calificación del Project Manager (PM) para el proyecto según el tipo de proyecto.

$$FO = 8 * P_{11} + 8 * P_{12} + 8 * P_{13} + 8 * P_{14} + \dots + 6 * P_{49} + 6 * P_{410}$$

Restricciones:

La programación se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

- Restricción 1 a 4: son restricciones de política que establecen que cada project manager puede tomar hasta tres proyectos en simultáneo. Se plantea una restricción a modo de ejemplo:

$$\sum_{j=1}^{10} P_{1j} \leq 3$$

- Restricción 5 a 14: son restricciones de política que establecen que cada proyecto debe tener solo un project manager a cargo. Se plantea la siguiente restricción a modo de ejemplo.

$$\sum_{i=1}^4 P_{i1} = 1$$

- Restricción de binariedad: una variable de decisión puede tomar solo dos valores posibles: 0 o 1. Esta restricción asegura que un recurso (como un PM) esté asignado o no a un proyecto determinado. Se representa:

$$P_{ij} \in \{0, 1\} \forall i = 1, 2, 3, 4 \text{ y } j = 1, 2, \dots, 10$$

Resultados:

La asignación de los Project Managers (PM) a los proyectos se realizó mediante la herramienta Solver en Excel. Esta herramienta optimiza la asignación considerando las capacidades específicas de cada PM y los requisitos de cada proyecto. El resultado final de la asignación fue la siguiente:

- PM1 fue asignado a los proyectos 1, 9 y 10.
- PM2 fue asignado a los proyectos 3, 4 y 5.
- PM3 fue asignado a los proyectos 6, 7 y 8.
- PM4 fue asignado exclusivamente al proyecto 2.

Esta distribución asegura que cada proyecto esté bajo la supervisión de un PM con las habilidades adecuadas para maximizar la eficiencia y la calidad del trabajo realizado.

Se realizó la siguiente tabla en Excel para verificar que cada proyecto tenía un PM asignado correctamente, garantizando así una asignación integral y efectiva de recursos.

Imagen N°1:

Tabla de resumen de resultados de asignación.

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| PM1 | X | | | | | | | | X | X |
| PM2 | | | X | X | X | | | | | |
| PM3 | | | | | | X | X | X | | |
| PM4 | | X | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

- **Dibujantes**

La empresa cuenta con un total de 20 dibujantes, distribuidos en 8 especializados en mecánica, 7 en civil y 5 en eléctrica. La asignación de estos dibujantes a los proyectos se realiza considerando varios factores críticos para cumplir con los requerimientos establecidos por la gerencia:

- **Especialización y Disponibilidad:** Cada dibujante tiene una especialización en mecánica, civil o eléctrica, lo que determina su idoneidad para diferentes tipos de proyectos.
- **Requerimientos de Asignación:** La gerencia ha establecido porcentajes específicos de asignación para cada dibujante en los proyectos. Estos porcentajes indican la proporción del tiempo de cada dibujante que debe ser asignada a proyectos específicos.
- **Optimización de Recursos:** Se considera la disponibilidad horaria de cada dibujante y el requerimiento máximo de horas de cada proyecto para asegurar una asignación eficiente y cumplir con los porcentajes establecidos por la gerencia.
- **Costos y Valor por Hora:** El costo por hora de cada dibujante se relaciona con el precio por hora del proyecto para calcular y asignar adecuadamente los costos de cada proyecto.

Se tienen los siguientes datos:

Tabla N° 2:

Disponibilidad horaria de Dibujantes.

| Dibujante | Jornada Laboral | En hs | Área | Horas disponibles mensuales | Capacidad cuatrimestral | Costo por Hora |
|-----------|-----------------|-------|----------|-----------------------------|-------------------------|----------------|
| 1 | Completa | 8 | Mecánica | 168 | 672 | \$10,000.00 |
| 2 | Completa | 8 | Mecánica | 168 | 672 | \$6,500.00 |
| 3 | Completa | 8 | Mecánica | 168 | 672 | \$8,000.00 |

| | | | | | | |
|----|----------|---|-----------|-----|-----|-------------|
| 4 | Completa | 8 | Mecánica | 168 | 672 | \$6,900.00 |
| 5 | Completa | 8 | Mecánica | 168 | 672 | \$6,000.00 |
| 6 | Media | 4 | Mecánica | 84 | 336 | \$7,200.00 |
| 7 | Media | 4 | Mecánica | 84 | 336 | \$7,600.00 |
| 8 | Completa | 4 | Mecánica | 84 | 336 | \$5,900.00 |
| 9 | Media | 8 | Civil | 168 | 672 | \$6,000.00 |
| 10 | Media | 4 | Civil | 84 | 336 | \$7,500.00 |
| 11 | Media | 4 | Civil | 84 | 336 | \$5,000.00 |
| 12 | Completa | 8 | Civil | 168 | 672 | \$5,800.00 |
| 13 | Completa | 8 | Civil | 168 | 672 | \$15,000.00 |
| 14 | Completa | 8 | Civil | 168 | 672 | \$7,000.00 |
| 15 | Media | 8 | Civil | 168 | 672 | \$8,000.00 |
| 16 | Media | 4 | Eléctrica | 84 | 336 | \$7,200.00 |
| 17 | Media | 4 | Eléctrica | 84 | 336 | \$6,500.00 |
| 18 | Completa | 8 | Eléctrica | 168 | 672 | \$6,200.00 |
| 19 | Completa | 8 | Eléctrica | 168 | 672 | \$7,300.00 |
| 20 | Completa | 8 | Eléctrica | 168 | 672 | \$15,000.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Se calcula la capacidad cuatrimestral debido a que los proyectos se realizan durante este plazo.

A continuación, se detallan los datos relevantes sobre los proyectos, incluyendo el área correspondiente, los requerimientos de horas y el precio por hora:

Tabla N° 3:



Requerimiento horario de los proyectos.

| | Horas | Área | Precio por hora | |
|----|-------|-----------|-----------------|-------------|
| P1 | 750 | Mecánica | \$18,000.00 | |
| P2 | 800 | Mecánica | \$18,000.00 | |
| P3 | 500 | Mecánica | \$18,000.00 | |
| P4 | 1200 | Mecánica | \$15,000.00 | |
| P5 | 1000 | Mecánica | \$15,000.00 | |
| P6 | 300 | Civil | \$18,000.00 | |
| P7 | 2000 | Civil | \$15,000.00 | |
| P8 | 1200 | Civil | \$15,000.00 | |
| P9 | 1800 | Eléctrica | \$15,000.00 | |
| | P10 | 600 | Eléctrica | \$18,000.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Variables de decisión:

Se emplean las variables D_iP_j que representan las horas del Dibujante i trabajadas en el Proyecto j .

Donde i es el número de Dibujante $i= 1, 2, 3..., 20$ y j es el proyecto $j= 1, 2, 3..., 10$.

Para mantener la organización en la programación, se mantiene el orden de los proyectos usado en la programación de los PM y se agrupan a los dibujantes de la siguiente manera: los primeros 8 dibujantes se especializan en mecánica, los siguientes 7 en civil, y los últimos 5 en eléctrica. Esto facilita la asignación eficiente de recursos según las áreas de especialización requeridas para cada proyecto.

A modo de ejemplo se definen las siguientes variables:

D_{1P_1} : horas del Dibujante 1 trabajadas en Proyecto 1.

D_{2P_2} : horas del Dibujante 2 trabajadas en Proyecto 2.

$D_{20P_{10}}$: horas del Dibujante 20 trabajadas en Proyecto 10.

Formula objetivo:

El objetivo principal de la programación es maximizar la contribución marginal de cada proyecto. Para lograrlo, se ha desarrollado la siguiente fórmula, donde cada variable D_iP_j está multiplicada por un coeficiente que representa la contribución marginal del dibujante i en el proyecto j .

Debido a la cantidad de variables de decisión se realizó la programación de forma separada por área para mantener la prolijidad en la realización.

Se desarrollará la formula objetivo de asignación de dibujantes eléctricos a modo de ejemplificación:

$$FO = (15.000 - 7.200) * D_{16}P_9 + (18.000 - 7.200) * D_{16}P_{10} + (15.000 - 6.500) * D_{17}P_9 \\ + (18.000 - 6500) * D_{17}P_{10} + \dots + (18.000 - 15.000) * D_{20}P_{10}$$

Restricciones:

La programación se encuentra sujeta a las siguientes restricciones:

- Restricción 1 a 8 (mecánica), 1 a 7 (civiles), 1 a 5 (eléctrica): son restricciones de capacidad, este tipo de restricción asegura que la suma de las horas dedicadas al proyecto por un dibujante no supere sus horas disponibles. Se plantea una restricción a modo de ejemplo:



$$\sum_{j=1}^5 D_1 P_j \leq 672 \text{ horas}$$

- Restricción 9 a 13 (mecánica), 8 a 10 (civil), 6 y 7 (eléctrica): son restricciones de capacidad, este tipo de restricción asegura que la suma de las horas disponibles de los dibujantes asignados a un proyecto sea al igual que las horas requeridas por ese proyecto. Se plantea una restricción a modo de ejemplo:

$$\sum_{i=1}^8 D_i P_1 \leq 750 \text{ horas}$$

- Restricción 14 a 18 (mecánica), 11 a 13(civil), 8 y 9(eléctrica): restricción de política, la gerencia exige que los dibujantes senior (aquellos que cobran desde \$10.000 por hora) participen en al menos el 10% de cada proyecto de su área. Se plantea una restricción a modo de ejemplo:

$$D_1 P_1 \geq 0,1 * 750 \text{ horas}$$

- Restricción 19 a 58 (mecánica), 14 a 34 (civil), 10 a 19 (eléctrica): para garantizar un desarrollo profesional equilibrado y efectivo de los dibujantes en diferentes áreas de especialización, la gerencia ha establecido políticas específicas sobre la distribución del tiempo de cada dibujante entre los proyectos. Estos porcentajes varían según el tipo de proyecto y se basan en las horas históricamente requeridas por los proyectos de cada área: los dibujantes de mecánica no deben dedicar más del 50% de su tiempo a un solo proyecto, en proyectos civiles, esta limitación se ajusta al 60% del tiempo total, para proyectos

eléctricos, se permite hasta el 75% del tiempo total dedicado a un solo proyecto. Se presenta una restricción a modo de ejemplo:

$$D_1P_1 \leq 0,5 * \sum_{j=1}^5 D_1P_j$$

Resultados:

La simulación se llevó a cabo utilizando la herramienta Solver en Excel.

Resultado dibujantes mecánicos:

- Dibujante 1 (D1): se han asignado 204 horas al Proyecto 1, 80 horas al Proyecto 2, 50 horas al Proyecto 3, 120 horas al Proyecto 4, y 100 horas al Proyecto 5.
- Dibujante 2 (D2): se han asignado 210 horas al Proyecto 1, 216 horas al Proyecto 2, 174 horas al Proyecto 3, 72 horas al Proyecto 4, y no ha asignado horas al Proyecto 5.
- Dibujante 3 (D3): se han asignado 336 horas tanto al Proyecto 1 como al Proyecto 2, y no ha asignado horas a los Proyectos 3, 4 y 5.
- Dibujante 4 (D4): no se han asignado horas a los Proyectos 1 y 2, pero ha asignado 276 horas al Proyecto 3, 336 horas al Proyecto 4 y 60 horas al Proyecto 5.
- Dibujante 5 (D5): no se han asignado horas a los Proyectos 1, 2 y 3, pero ha asignado 336 horas tanto al Proyecto 4 como al Proyecto 5.
- Dibujante 6 (D6): no se han asignado horas a los Proyectos 1, 2 y 3, pero ha asignado 168 horas tanto al Proyecto 4 como al Proyecto 5.
- Dibujante 7 (D7): no se han asignado horas a los Proyectos 1, 2 y 3, pero ha asignado 168 horas tanto al Proyecto 4 como al Proyecto 5.

- Dibujante 8 (D8): no se han asignado horas a los Proyectos 1 y 3, pero ha asignado 168 horas tanto al Proyecto 2 como al Proyecto 5, y no ha asignado horas al Proyecto 4.

La siguiente tabla se realizó en el Excel de la programación a modo de resumen de las horas asignadas a cada proyecto.

Imagen N°2:

Tabla de resumen de resultados de asignación de dibujantes mecánicos.

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D1 | 204 | 80 | 50 | 120 | 100 |
| D2 | 210 | 216 | 174 | 72 | 0 |
| D3 | 336 | 336 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | 0 | 0 | 276 | 336 | 60 |
| D5 | 0 | 0 | 0 | 336 | 336 |
| D6 | 0 | 0 | 0 | 168 | 168 |
| D7 | 0 | 0 | 0 | 168 | 168 |
| D8 | 0 | 168 | 0 | 0 | 168 |

Fuente: Elaboración propia.

Resultado dibujantes civiles:

- Dibujante 9 (D9): se han asignado 270 horas al Proyecto 6, 402 horas al Proyecto 7 y no ha asignado horas al Proyecto 8.
- Dibujante 10 (D10): no se han asignado horas al Proyecto 6, pero ha asignado 201.6 horas al Proyecto 7 y 134.4 horas al Proyecto 8.
- Dibujante 11 (D11): no se han asignado horas al Proyecto 6, pero ha asignado 201.6 horas al Proyecto 7 y 134.4 horas al Proyecto 8.
- Dibujante 12 (D12): no se han asignado horas al Proyecto 6, pero ha asignado 403.2 horas al Proyecto 7 y 268.8 horas al Proyecto 8.

- Dibujante 13 (D13): se han asignado 30 horas al Proyecto 6, 200 horas al Proyecto 7 y 120 horas al Proyecto 8.
- Dibujante 14 (D14): no se han asignado horas al Proyecto 6, pero ha asignado 403.2 horas al Proyecto 7 y 268.8 horas al Proyecto 8.
- Dibujante 15 (D15): no se han asignado horas al Proyecto 6, pero ha asignado 188.4 horas al Proyecto 7 y 273.6 horas al Proyecto 8.

La siguiente tabla se realizó en el Excel de la programación a modo de resumen de las horas asignadas a cada proyecto.

Imagen N°3:

Tabla de resumen de resultados de asignación de dibujantes civiles.

| | P6 | P7 | P8 |
|-----|-----|-------|-------|
| D9 | 270 | 402 | 0 |
| D10 | 0 | 201,6 | 134,4 |
| D11 | 0 | 201,6 | 134,4 |
| D12 | 0 | 403,2 | 268,8 |
| D13 | 30 | 200 | 120 |
| D14 | 0 | 403,2 | 268,8 |
| D15 | 0 | 188,4 | 273,6 |

Fuente: Elaboración propia.

Resultado dibujantes eléctricos:

- Dibujante 16 (D16): se han asignado 252 horas al Proyecto 9 y 84 horas al Proyecto 10.
- Dibujante 17 (D17): se han asignado 252 horas al Proyecto 9 y 84 horas al Proyecto 10.
- Dibujante 18 (D18): se han asignado 504 horas al Proyecto 9 y 168 horas al Proyecto 10.
- Dibujante 19 (D19): se han asignado 504 horas al Proyecto 9 y 168 horas al Proyecto 10.
- Dibujante 20 (D20): se han asignado 288 horas al Proyecto 9 y 96 horas al Proyecto 10.

La siguiente tabla se realizó en el Excel de la programación a modo de resumen de las horas asignadas a cada proyecto.

Imagen N°4:

Tabla de resumen de resultados de asignación de dibujantes eléctricos.

| | P9 | P10 |
|-----|-----|-----|
| D16 | 252 | 84 |
| D17 | 252 | 84 |
| D18 | 504 | 168 |
| D19 | 504 | 168 |
| D20 | 288 | 96 |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad en programación lineal proporciona información crucial sobre cómo cambios en los coeficientes objetivos y en los recursos disponibles pueden afectar la solución óptima. Este análisis evalúa los rangos de optimalidad, que indican hasta qué punto pueden variar los coeficientes objetivos de las variables de decisión sin cambiar la solución óptima, así como los rangos de factibilidad, que determinan la flexibilidad de los recursos sin comprometer la viabilidad de la solución. A continuación, se presenta un análisis detallado de las restricciones y variables de decisión clave en el contexto de la programación de horas de dibujantes en proyectos.

Mecánicos: las restricciones de capacidad de los dibujantes (R1 a R8) y de demanda de proyectos (R9 a R13) son vinculantes, utilizando completamente las horas disponibles y cumpliendo estrictamente con los requisitos, mientras que R14 no es vinculante, indicando un margen de desviación. Las restricciones de porcentaje de tiempo (R19 a R58) son mayormente no vinculantes, con algunas excepciones críticas. Las variables de decisión clave como D1P1, D3P2 y D5P5 tienen

rangos permisibles estrechos, destacando su importancia en la solución óptima. En general, la flexibilidad y los precios sombra altos en ciertas restricciones indican áreas críticas y potenciales para ajustes sin afectar la solución óptima.

Imagen N°5:

Informe de respuesta dibujantes mecánicos.

| Celda | Nombre | Valor de la celda | Fórmula | Estado | Demora |
|----------|--------|-------------------|--------------------|---------------|--------|
| \$AP\$12 | R9 | 750 | \$AP\$12=\$AR\$12 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$13 | R10 | 800 | \$AP\$13=\$AR\$13 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$14 | R11 | 500 | \$AP\$14=\$AR\$14 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$15 | R12 | 1200 | \$AP\$15=\$AR\$15 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$16 | R13 | 1000 | \$AP\$16=\$AR\$16 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$17 | R14 | 204 | \$AP\$17>=\$AR\$17 | No vinculante | 129 |
| \$AP\$18 | R15 | 80 | \$AP\$18>=\$AR\$18 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$19 | R16 | 50 | \$AP\$19>=\$AR\$19 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$20 | R17 | 120 | \$AP\$20>=\$AR\$20 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$21 | R18 | 100 | \$AP\$21>=\$AR\$21 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$22 | R19 | -73 | \$AP\$22<=\$AR\$22 | No vinculante | 73 |
| \$AP\$23 | R20 | -197 | \$AP\$23<=\$AR\$23 | No vinculante | 197 |
| \$AP\$24 | R21 | -227 | \$AP\$24<=\$AR\$24 | No vinculante | 227 |
| \$AP\$25 | R22 | -157 | \$AP\$25<=\$AR\$25 | No vinculante | 157 |
| \$AP\$26 | R23 | -177 | \$AP\$26<=\$AR\$26 | No vinculante | 177 |
| \$AP\$27 | R24 | -126 | \$AP\$27<=\$AR\$27 | No vinculante | 126 |
| \$AP\$28 | R25 | -120 | \$AP\$28<=\$AR\$28 | No vinculante | 120 |
| \$AP\$29 | R26 | -162 | \$AP\$29<=\$AR\$29 | No vinculante | 162 |
| \$AP\$30 | R27 | -264 | \$AP\$30<=\$AR\$30 | No vinculante | 264 |
| \$AP\$31 | R28 | -336 | \$AP\$31<=\$AR\$31 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$32 | R29 | 0 | \$AP\$32<=\$AR\$32 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$33 | R30 | 0 | \$AP\$33<=\$AR\$33 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$34 | R31 | -336 | \$AP\$34<=\$AR\$34 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$35 | R32 | -336 | \$AP\$35<=\$AR\$35 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$36 | R33 | -336 | \$AP\$36<=\$AR\$36 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$37 | R34 | -336 | \$AP\$37<=\$AR\$37 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$38 | R35 | -336 | \$AP\$38<=\$AR\$38 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$39 | R36 | -60 | \$AP\$39<=\$AR\$39 | No vinculante | 60 |
| \$AP\$40 | R37 | 0 | \$AP\$40<=\$AR\$40 | Vinculante | 0 |
| \$AP\$41 | R38 | -276 | \$AP\$41<=\$AR\$41 | No vinculante | 276 |
| \$AP\$42 | R39 | -336 | \$AP\$42<=\$AR\$42 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$43 | R40 | -336 | \$AP\$43<=\$AR\$43 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$44 | R41 | -336 | \$AP\$44<=\$AR\$44 | No vinculante | 336 |
| \$AP\$45 | R42 | 0 | \$AP\$45<=\$AR\$45 | Vinculante | 0 |



| | | | |
|--------------|------|----------------------------------|-----|
| \$AP\$46 R43 | 0 | \$AP\$46<=\$AR\$46 Vinculante | 0 |
| \$AP\$47 R44 | -168 | \$AP\$47<=\$AR\$47 No vinculante | 168 |
| \$AP\$48 R45 | -168 | \$AP\$48<=\$AR\$48 No vinculante | 168 |
| \$AP\$49 R46 | -168 | \$AP\$49<=\$AR\$49 No vinculante | 168 |
| \$AP\$50 R47 | 0 | \$AP\$50<=\$AR\$50 Vinculante | 0 |
| \$AP\$51 R48 | 0 | \$AP\$51<=\$AR\$51 Vinculante | 0 |
| \$AP\$52 R49 | -168 | \$AP\$52<=\$AR\$52 No vinculante | 168 |
| \$AP\$53 R50 | -168 | \$AP\$53<=\$AR\$53 No vinculante | 168 |
| \$AP\$54 R51 | -168 | \$AP\$54<=\$AR\$54 No vinculante | 168 |
| \$AP\$55 R52 | 0 | \$AP\$55<=\$AR\$55 Vinculante | 0 |
| \$AP\$56 R53 | 0 | \$AP\$56<=\$AR\$56 Vinculante | 0 |
| \$AP\$57 R54 | -168 | \$AP\$57<=\$AR\$57 No vinculante | 168 |
| \$AP\$58 R55 | 0 | \$AP\$58<=\$AR\$58 Vinculante | 0 |
| \$AP\$59 R56 | -168 | \$AP\$59<=\$AR\$59 No vinculante | 168 |
| \$AP\$60 R57 | -168 | \$AP\$60<=\$AR\$60 No vinculante | 168 |
| \$AP\$61 R58 | 0 | \$AP\$61<=\$AR\$61 Vinculante | 0 |
| \$AP\$4 R1 | 554 | \$AP\$4<=\$AR\$4 No vinculante | 118 |
| \$AP\$5 R2 | 672 | \$AP\$5<=\$AR\$5 Vinculante | 0 |
| \$AP\$6 R3 | 672 | \$AP\$6<=\$AR\$6 Vinculante | 0 |
| \$AP\$7 R4 | 672 | \$AP\$7<=\$AR\$7 Vinculante | 0 |
| \$AP\$8 R5 | 672 | \$AP\$8<=\$AR\$8 Vinculante | 0 |
| \$AP\$9 R6 | 336 | \$AP\$9<=\$AR\$9 Vinculante | 0 |
| \$AP\$10 R7 | 336 | \$AP\$10<=\$AR\$10 Vinculante | 0 |
| \$AP\$11 R8 | 336 | \$AP\$11<=\$AR\$11 Vinculante | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°6:

Informe de sensibilidad – celdas variables dibujantes mecánicos.

| Celda | Nombre | Final Valor | Reducido Coste | Objetivo Coeficiente | Permisible | | RGO OPTIMALIDAD | |
|--------|---------|-------------|----------------|----------------------|------------|---------|-----------------|-------|
| | | | | | Aumentar | Reducir | | |
| \$B\$2 | VD D1P1 | 204 | 0 | 8000 | 2000 | 0 | 6000 | 10000 |
| \$C\$2 | VD D1P2 | 80 | 0 | 8000 | 0 | 1E+30 | 8000 | 8000 |
| \$D\$2 | VD D1P3 | 50 | 0 | 8000 | 0 | 1E+30 | 8000 | 8000 |
| \$E\$2 | VD D1P4 | 120 | 0 | 5000 | 0 | 1E+30 | 5000 | 5000 |
| \$F\$2 | VD D1P5 | 100 | 0 | 5000 | 0 | 1E+30 | 5000 | 5000 |
| \$G\$2 | VD D2P1 | 210 | 0 | 11500 | 0 | 0 | 11500 | 11500 |
| \$H\$2 | VD D2P2 | 216 | 0 | 11500 | 0 | 0 | 11500 | 11500 |
| \$I\$2 | VD D2P3 | 174 | 0 | 11500 | 0 | 0 | 11500 | 11500 |
| \$J\$2 | VD D2P4 | 72 | 0 | 8500 | 0 | 0 | 8500 | 8500 |
| \$K\$2 | VD D2P5 | 0 | 0 | 8500 | 0 | 1E+30 | 8500 | 8500 |
| \$L\$2 | VD D3P1 | 336 | 0 | 10000 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |
| \$M\$2 | VD D3P2 | 336 | 0 | 10000 | 0 | 0 | 10000 | 10000 |
| \$N\$2 | VD D3P3 | 0 | 0 | 10000 | 0 | 1E+30 | 10000 | 10000 |
| \$O\$2 | VD D3P4 | 0 | 0 | 7000 | 0 | 1E+30 | 7000 | 7000 |
| \$P\$2 | VD D3P5 | 0 | 0 | 7000 | 0 | 1E+30 | 7000 | 7000 |
| \$Q\$2 | VD D4P1 | 0 | 0 | 11100 | 0 | 1E+30 | 11100 | 11100 |
| \$R\$2 | VD D4P2 | 0 | 0 | 11100 | 0 | 1E+30 | 11100 | 11100 |
| \$S\$2 | VD D4P3 | 276 | 0 | 11100 | 0 | 0 | 11100 | 11100 |
| \$T\$2 | VD D4P4 | 336 | 0 | 8100 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |
| \$U\$2 | VD D4P5 | 60 | 0 | 8100 | 0 | 0 | 8100 | 8100 |
| \$V\$2 | VD D5P1 | 0 | 0 | 12000 | 0 | 1E+30 | 12000 | 12000 |
| \$W\$2 | VD D5P2 | 0 | 0 | 12000 | 0 | 1E+30 | 12000 | 12000 |
| \$X\$2 | VD D5P3 | 0 | 0 | 12000 | 0 | 1E+30 | 12000 | 12000 |
| \$Y\$2 | VD D5P4 | 336 | 0 | 9000 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |
| \$Z\$2 | VD D5P5 | 336 | 0 | 9000 | 0 | 0 | 9000 | 9000 |



| | | | | | | | | |
|---------|---------|-----|---|-------|-------|-------|--------|-------|
| \$AA\$2 | VD D6P1 | 0 | 0 | 10800 | 0 | 1E+30 | 10800 | 10800 |
| \$AB\$2 | VD D6P2 | 0 | 0 | 10800 | 0 | 1E+30 | 10800 | 10800 |
| \$AC\$2 | VD D6P3 | 0 | 0 | 10800 | 0 | 1E+30 | 10800 | 10800 |
| \$AD\$2 | VD D6P4 | 168 | 0 | 7800 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |
| \$AE\$2 | VD D6P5 | 168 | 0 | 7800 | 0 | 0 | 7800 | 7800 |
| \$AF\$2 | VD D7P1 | 0 | 0 | 10400 | 0 | 1E+30 | 10400 | 10400 |
| \$AG\$2 | VD D7P2 | 0 | 0 | 10400 | 0 | 1E+30 | 10400 | 10400 |
| \$AH\$2 | VD D7P3 | 0 | 0 | 10400 | 0 | 1E+30 | 10400 | 10400 |
| \$AI\$2 | VD D7P4 | 168 | 0 | 7400 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |
| \$AJ\$2 | VD D7P5 | 168 | 0 | 7400 | 0 | 0 | 7400 | 7400 |
| \$AK\$2 | VD D8P1 | 0 | 0 | 12100 | 0 | 1E+30 | 12100 | 12100 |
| \$AL\$2 | VD D8P2 | 168 | 0 | 12100 | 0 | 0 | 12100 | 12100 |
| \$AM\$2 | VD D8P3 | 0 | 0 | 12100 | 0 | 1E+30 | 12100 | 12100 |
| \$AN\$2 | VD D8P4 | 0 | 0 | 9100 | 0 | 1E+30 | 9100 | 9100 |
| \$AO\$2 | VD D8P5 | 168 | 0 | 9100 | 1E+30 | 0 | -1E+30 | 1E+30 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°7:

Informe de sensibilidad – restricciones dibujantes mecánicos.

| Celda | Nombre | Final Valor | Sombra Precio | Restricción Lado derecho | Permisible Aumentar | Permisible Reducir | RGO FACTIBILIDAD | |
|----------|--------|----------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| \$AP\$12 | R9 | 750 | 8000 | 750 | 118 | 129 | 621 | 868 |
| \$AP\$13 | R10 | 800 | 8000 | 800 | 118 | 126 | 674 | 918 |
| \$AP\$14 | R11 | 500 | 8000 | 500 | 118 | 126 | 374 | 618 |
| \$AP\$15 | R12 | 1200 | 5000 | 1200 | 118 | 72 | 1128 | 1318 |
| \$AP\$16 | R13 | 1000 | 5000 | 1000 | 118 | 60 | 940 | 1118 |
| \$AP\$17 | R14 | 204 | 0 | 75 | 129 | 1E+30 | -1E+30 | 204 |
| \$AP\$18 | R15 | 80 | 0 | 80 | 126 | 73 | 7 | 206 |
| \$AP\$19 | R16 | 50 | 0 | 50 | 126 | 50 | 0 | 176 |
| \$AP\$20 | R17 | 120 | 0 | 120 | 72 | 73 | 47 | 192 |
| \$AP\$21 | R18 | 100 | 0 | 100 | 60 | 73 | 27 | 160 |
| \$AP\$22 | R19 | -73 | 0 | 0 | 1E+30 | 73 | -73 | 1E+30 |
| \$AP\$23 | R20 | -197 | 0 | 0 | 1E+30 | 197 | -197 | 1E+30 |
| \$AP\$24 | R21 | -227 | 0 | 0 | 1E+30 | 227 | -227 | 1E+30 |
| \$AP\$25 | R22 | -157 | 0 | 0 | 1E+30 | 157 | -157 | 1E+30 |
| \$AP\$26 | R23 | -177 | 0 | 0 | 1E+30 | 177 | -177 | 1E+30 |
| \$AP\$27 | R24 | -126 | 0 | 0 | 1E+30 | 126 | -126 | 1E+30 |
| \$AP\$28 | R25 | -120 | 0 | 0 | 1E+30 | 120 | -120 | 1E+30 |
| \$AP\$29 | R26 | -162 | 0 | 0 | 1E+30 | 162 | -162 | 1E+30 |
| \$AP\$30 | R27 | -264 | 0 | 0 | 1E+30 | 264 | -264 | 1E+30 |
| \$AP\$31 | R28 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$32 | R29 | 0 | 0 | 0 | 120 | 0 | 0 | 120 |
| \$AP\$33 | R30 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| \$AP\$34 | R31 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$35 | R32 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$36 | R33 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$37 | R34 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$38 | R35 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$AP\$39 | R36 | -60 | 0 | 0 | 1E+30 | 60 | -60 | 1E+30 |
| \$AP\$40 | R37 | 0 | 0 | 0 | 72 | 60 | -60 | 72 |



| | | | | | | | | |
|--------|-----|------|------|-----|-------|-----|------|-------|
| ŞAPŞ41 | R38 | -276 | 0 | 0 | 1E+30 | 276 | -276 | 1E+30 |
| ŞAPŞ42 | R39 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| ŞAPŞ43 | R40 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| ŞAPŞ44 | R41 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| ŞAPŞ45 | R42 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 0 | 72 |
| ŞAPŞ46 | R43 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| ŞAPŞ47 | R44 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ48 | R45 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ49 | R46 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ50 | R47 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 0 | 72 |
| ŞAPŞ51 | R48 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| ŞAPŞ52 | R49 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ53 | R50 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ54 | R51 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ55 | R52 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 0 | 72 |
| ŞAPŞ56 | R53 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| ŞAPŞ57 | R54 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ58 | R55 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| ŞAPŞ59 | R56 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ60 | R57 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| ŞAPŞ61 | R58 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 60 |
| ŞAPŞ4 | R1 | 554 | 0 | 672 | 1E+30 | 118 | 554 | 1E+30 |
| ŞAPŞ5 | R2 | 672 | 3500 | 672 | 129 | 118 | 554 | 801 |
| ŞAPŞ6 | R3 | 672 | 2000 | 672 | 129 | 118 | 554 | 801 |
| ŞAPŞ7 | R4 | 672 | 3100 | 672 | 126 | 118 | 554 | 798 |
| ŞAPŞ8 | R5 | 672 | 4000 | 672 | 120 | 118 | 554 | 792 |
| ŞAPŞ9 | R6 | 336 | 2800 | 336 | 120 | 118 | 218 | 456 |
| ŞAPŞ10 | R7 | 336 | 2400 | 336 | 120 | 118 | 218 | 456 |
| ŞAPŞ11 | R8 | 336 | 4100 | 336 | 120 | 118 | 218 | 456 |

Fuente: Elaboración propia.

Civiles: las restricciones de capacidad, tales como R8, R9, R10, R11, R12 y R13, son vinculantes, lo que implica que las capacidades disponibles se utilizan completamente sin holgura. Algunas restricciones como R14, R15, R16 y R17 no son vinculantes, mostrando demoras que indican la cantidad de capacidad no utilizada. En términos de costos reducidos y coeficientes objetivos, varias variables de decisión, como D9P6, D9P7, y D10P6, presentan costos reducidos de 0, lo que indica que están en la solución óptima. Los precios sombra elevados en ciertas restricciones, como en R8 y R9, sugieren que aumentar estas capacidades tendría un impacto positivo significativo en el objetivo. El rango permisible para ajustes muestra que varias restricciones tienen una flexibilidad considerable antes de afectar la viabilidad de la solución. El sistema tiene áreas críticas donde los recursos se utilizan al máximo y otras donde hay margen para optimización adicional sin cambiar la solución óptima.

Imagen N°8:

Informe de respuesta dibujantes civiles.

| Celda | Nombre | Valor de la celda | Fórmula | Estado | Demora |
|---------|--------|-------------------|------------------|---------------|--------|
| \$W\$11 | R8 | 300,00 | \$W\$11=\$Y\$11 | Vinculante | 0 |
| \$W\$12 | R9 | 2.000,00 | \$W\$12=\$Y\$12 | Vinculante | 0 |
| \$W\$13 | R10 | 1.200,00 | \$W\$13=\$Y\$13 | Vinculante | 0 |
| \$W\$14 | R11 | 30,00 | \$W\$14>=\$Y\$14 | Vinculante | 0,00 |
| \$W\$15 | R12 | 200,00 | \$W\$15>=\$Y\$15 | Vinculante | 0,00 |
| \$W\$16 | R13 | 120,00 | \$W\$16>=\$Y\$16 | Vinculante | 0,00 |
| \$W\$17 | R14 | -133,20 | \$W\$17<=\$Y\$17 | No vinculante | 133,2 |
| \$W\$18 | R15 | -1,20 | \$W\$18<=\$Y\$18 | No vinculante | 1,2 |
| \$W\$19 | R16 | -403,20 | \$W\$19<=\$Y\$19 | No vinculante | 403,2 |
| \$W\$20 | R17 | -201,60 | \$W\$20<=\$Y\$20 | No vinculante | 201,6 |
| \$W\$21 | R18 | 0,00 | \$W\$21<=\$Y\$21 | Vinculante | 0 |
| \$W\$22 | R19 | -67,20 | \$W\$22<=\$Y\$22 | No vinculante | 67,2 |
| \$W\$23 | R20 | -201,60 | \$W\$23<=\$Y\$23 | No vinculante | 201,6 |
| \$W\$24 | R21 | 0,00 | \$W\$24<=\$Y\$24 | Vinculante | 0 |
| \$W\$25 | R22 | -67,20 | \$W\$25<=\$Y\$25 | No vinculante | 67,2 |
| \$W\$26 | R23 | -403,20 | \$W\$26<=\$Y\$26 | No vinculante | 403,2 |
| \$W\$27 | R24 | 0,00 | \$W\$27<=\$Y\$27 | Vinculante | 0 |
| \$W\$28 | R25 | -134,40 | \$W\$28<=\$Y\$28 | No vinculante | 134,4 |
| \$W\$29 | R26 | -180,00 | \$W\$29<=\$Y\$29 | No vinculante | 180 |
| \$W\$30 | R27 | -10,00 | \$W\$30<=\$Y\$30 | No vinculante | 10 |
| \$W\$31 | R28 | -90,00 | \$W\$31<=\$Y\$31 | No vinculante | 90 |
| \$W\$32 | R29 | -403,20 | \$W\$32<=\$Y\$32 | No vinculante | 403,2 |
| \$W\$33 | R30 | 0,00 | \$W\$33<=\$Y\$33 | Vinculante | 0 |
| \$W\$34 | R31 | -134,40 | \$W\$34<=\$Y\$34 | No vinculante | 134,4 |
| \$W\$35 | R32 | -277,20 | \$W\$35<=\$Y\$35 | No vinculante | 277,2 |
| \$W\$36 | R33 | -88,80 | \$W\$36<=\$Y\$36 | No vinculante | 88,8 |
| \$W\$37 | R34 | -3,60 | \$W\$37<=\$Y\$37 | No vinculante | 3,6 |
| \$W\$4 | R1 | 672,00 | \$W\$4<=\$Y\$4 | Vinculante | 0 |
| \$W\$5 | R2 | 336,00 | \$W\$5<=\$Y\$5 | Vinculante | 0 |
| \$W\$6 | R3 | 336,00 | \$W\$6<=\$Y\$6 | Vinculante | 0 |
| \$W\$7 | R4 | 672,00 | \$W\$7<=\$Y\$7 | Vinculante | 0 |
| \$W\$8 | R5 | 350,00 | \$W\$8<=\$Y\$8 | No vinculante | 322 |
| \$W\$9 | R6 | 672,00 | \$W\$9<=\$Y\$9 | Vinculante | 0 |
| \$W\$10 | R7 | 462,00 | \$W\$10<=\$Y\$10 | No vinculante | 210 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°9:

Informe de sensibilidad – celdas variables dibujantes civiles.

| Celda | Nombre | Final Valor | Reducido Coste | Objetivo Coeficiente | Permisible Aumentar | Permisible Reducir | Rgo Optimalidad | |
|--------|----------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|-------|
| \$B\$2 | VD D9P6 | 270 | 0 | 12000 | 1E+30 | 3,638E-12 | 12000 | 1E+30 |
| \$C\$2 | VD D9P7 | 402 | 0 | 9000 | 3,638E-12 | 0 | 9000 | 9000 |
| \$D\$2 | VD D9P8 | 0 | 0 | 9000 | 0 | 1E+30 | -1E+30 | 9000 |
| \$E\$2 | VD D10P6 | 0 | -7,276E-12 | 10500 | 7,276E-12 | 1E+30 | -1E+30 | 10500 |
| \$F\$2 | VD D10P7 | 201,6 | 0 | 7500 | 1E+30 | 0 | 7500 | 1E+30 |
| \$G\$2 | VD D10P8 | 134,4 | 0 | 7500 | 0 | 7,276E-12 | 7500 | 7500 |
| \$H\$2 | VD D11P6 | 0 | -7,276E-12 | 13000 | 7,276E-12 | 1E+30 | -1E+30 | 13000 |
| \$I\$2 | VD D11P7 | 201,6 | 0 | 10000 | 1E+30 | 0 | 10000 | 1E+30 |
| \$J\$2 | VD D11P8 | 134,4 | 0 | 10000 | 0 | 7,276E-12 | 10000 | 10000 |
| \$K\$2 | VD D12P6 | 0 | -7,276E-12 | 12200 | 7,276E-12 | 1E+30 | -1E+30 | 12200 |
| \$L\$2 | VD D12P7 | 403,2 | 0 | 9200 | 1E+30 | 0 | 9200 | 1E+30 |
| \$M\$2 | VD D12P8 | 268,8 | 0 | 9200 | 0 | 7,276E-12 | 9200 | 9200 |
| \$N\$2 | VD D13P6 | 30 | 0 | 3000 | 7000 | 1E+30 | -1E+30 | 10000 |
| \$O\$2 | VD D13P7 | 200 | 0 | 0 | 7000 | 1E+30 | -1E+30 | 7000 |
| \$P\$2 | VD D13P8 | 120 | 0 | 0 | 7000 | 1E+30 | -1E+30 | 7000 |
| \$Q\$2 | VD D14P6 | 0 | -7,276E-12 | 11000 | 7,276E-12 | 1E+30 | -1E+30 | 11000 |
| \$R\$2 | VD D14P7 | 403,2 | 0 | 8000 | 1E+30 | 0 | 8000 | 1E+30 |
| \$S\$2 | VD D14P8 | 268,8 | 0 | 8000 | 0 | 7,276E-12 | 8000 | 8000 |
| \$T\$2 | VD D15P6 | 0 | -3,638E-12 | 10000 | 3,638E-12 | 1E+30 | -1E+30 | 10000 |
| \$U\$2 | VD D15P7 | 188,4 | 0 | 7000 | 0 | 3,638E-12 | 7000 | 7000 |
| \$V\$2 | VD D15P8 | 273,6 | 0 | 7000 | 7,276E-12 | 0 | 7000 | 7000 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°10:

Informe de sensibilidad – restricciones dibujantes civiles.



| Celda | Nombre | Final Valor | Sombra Precio | Restricción Lado derecho | Permisible Aumentar | Permisible Reducir | Rgo Factibilidad | |
|---------|--------|----------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| \$W\$11 | R8 | 300 | 10000 | 300 | 133,2 | 1,2 | 298,8 | 433,2 |
| \$W\$12 | R9 | 2000 | 7000 | 2000 | 210 | 6 | 1994 | 2210 |
| \$W\$13 | R10 | 1200 | 7000 | 1200 | 9 | 148 | 1052 | 1209 |
| \$W\$14 | R11 | 30 | -7000 | 30 | 1,2 | 16,6666667 | 13,3333333 | 31,2 |
| \$W\$15 | R12 | 200 | -7000 | 200 | 6 | 150 | 50 | 206 |
| \$W\$16 | R13 | 120 | -7000 | 120 | 148 | 9 | 111 | 268 |
| \$W\$17 | R14 | -133,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 133,2 | -133,2 | 1E+30 |
| \$W\$18 | R15 | -1,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 1,2 | -1,2 | 1E+30 |
| \$W\$19 | R16 | -403,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 403,2 | -403,2 | 1E+30 |
| \$W\$20 | R17 | -201,6 | 0 | 0 | 1E+30 | 201,6 | -201,6 | 1E+30 |
| \$W\$21 | R18 | 1,4211E-14 | 0 | 0 | 3,6 | 67,2 | -67,2 | 3,6 |
| \$W\$22 | R19 | -67,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 67,2 | -67,2 | 1E+30 |
| \$W\$23 | R20 | -201,6 | 0 | 0 | 1E+30 | 201,6 | -201,6 | 1E+30 |
| \$W\$24 | R21 | 1,4211E-14 | 0 | 0 | 3,6 | 67,2 | -67,2 | 3,6 |
| \$W\$25 | R22 | -67,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 67,2 | -67,2 | 1E+30 |
| \$W\$26 | R23 | -403,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 403,2 | -403,2 | 1E+30 |
| \$W\$27 | R24 | 2,8422E-14 | 0 | 0 | 3,6 | 88,8 | -88,8 | 3,6 |
| \$W\$28 | R25 | -134,4 | 0 | 0 | 1E+30 | 134,4 | -134,4 | 1E+30 |
| \$W\$29 | R26 | -180 | 0 | 0 | 1E+30 | 180 | -180 | 1E+30 |
| \$W\$30 | R27 | -10 | 0 | 0 | 1E+30 | 10 | -10 | 1E+30 |
| \$W\$31 | R28 | -90 | 0 | 0 | 1E+30 | 90 | -90 | 1E+30 |
| \$W\$32 | R29 | -403,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 403,2 | -403,2 | 1E+30 |
| \$W\$33 | R30 | 2,8422E-14 | 0 | 0 | 3,6 | 88,8 | -88,8 | 3,6 |
| \$W\$34 | R31 | -134,4 | 0 | 0 | 1E+30 | 134,4 | -134,4 | 1E+30 |
| \$W\$35 | R32 | -277,2 | 0 | 0 | 1E+30 | 277,2 | -277,2 | 1E+30 |
| \$W\$36 | R33 | -88,8 | 0 | 0 | 1E+30 | 88,8 | -88,8 | 1E+30 |
| \$W\$37 | R34 | -3,6 | 0 | 0 | 1E+30 | 3,6 | -3,6 | 1E+30 |
| \$W\$4 | R1 | 672 | 2000 | 672 | 3 | 210 | 462 | 675 |
| \$W\$5 | R2 | 336 | 500 | 336 | 18 | 210 | 126 | 354 |
| \$W\$6 | R3 | 336 | 3000 | 336 | 18 | 210 | 126 | 354 |
| \$W\$7 | R4 | 672 | 2200 | 672 | 18 | 210 | 462 | 690 |
| \$W\$8 | R5 | 350 | 0 | 672 | 1E+30 | 322 | 350 | 1E+30 |
| \$W\$9 | R6 | 672 | 1000 | 672 | 18 | 210 | 462 | 690 |
| \$W\$10 | R7 | 462 | 0 | 672 | 1E+30 | 210 | 462 | 1E+30 |

Fuente: Elaboración propia.

Eléctricos: restricciones como R6 y R7 se encuentran completamente utilizadas, indicando que no hay capacidad disponible adicional, mientras que R8 y R9 muestran capacidad no utilizada con demoras asociadas, lo que sugiere áreas donde se podría optimizar el uso de recursos. Las variables de decisión críticas, con costos reducidos de 0, están firmemente establecidas en la solución óptima, subrayando su importancia estratégica. Por otro lado, otras variables muestran costos reducidos significativos, señalando su influencia en el objetivo del modelo. El análisis de sensibilidad identifica rangos permisibles tanto para aumentar como para reducir los parámetros de

las restricciones sin alterar la solución óptima, destacando así las áreas donde se pueden realizar ajustes para mejorar el rendimiento general del sistema.

Imagen N°11:

Informe de respuesta dibujantes eléctricos.

| Celda | Nombre | Valor de la celda | Fórmula | Estado | Demora |
|---------|--------|-------------------|------------------|---------------|--------|
| \$L\$9 | R6 | 1.800,00 | \$L\$9=\$N\$9 | Vinculante | 0 |
| \$L\$10 | R7 | 600,00 | \$L\$10=\$N\$10 | Vinculante | 0 |
| \$L\$11 | R8 | 288,00 | \$L\$11>=\$N\$11 | No vinculante | 108,00 |
| \$L\$12 | R9 | 96,00 | \$L\$12>=\$N\$12 | No vinculante | 36,00 |
| \$L\$13 | R10 | 0,00 | \$L\$13<=\$N\$13 | Vinculante | 0 |
| \$L\$14 | R11 | -168,00 | \$L\$14<=\$N\$14 | No vinculante | 168 |
| \$L\$15 | R12 | 0,00 | \$L\$15<=\$N\$15 | Vinculante | 0 |
| \$L\$16 | R13 | -168,00 | \$L\$16<=\$N\$16 | No vinculante | 168 |
| \$L\$17 | R14 | 0,00 | \$L\$17<=\$N\$17 | Vinculante | 0 |
| \$L\$18 | R15 | -336,00 | \$L\$18<=\$N\$18 | No vinculante | 336 |
| \$L\$19 | R16 | 0,00 | \$L\$19<=\$N\$19 | Vinculante | 0 |
| \$L\$20 | R17 | -336,00 | \$L\$20<=\$N\$20 | No vinculante | 336 |
| \$L\$21 | R18 | 0,00 | \$L\$21<=\$N\$21 | Vinculante | 0 |
| \$L\$22 | R19 | -192,00 | \$L\$22<=\$N\$22 | No vinculante | 192 |
| \$L\$4 | R1 | 336,00 | \$L\$4<=\$N\$4 | Vinculante | 0 |
| \$L\$5 | R2 | 336,00 | \$L\$5<=\$N\$5 | Vinculante | 0 |
| \$L\$6 | R3 | 672,00 | \$L\$6<=\$N\$6 | Vinculante | 0 |
| \$L\$7 | R4 | 672,00 | \$L\$7<=\$N\$7 | Vinculante | 0 |
| \$L\$8 | R5 | 384,00 | \$L\$8<=\$N\$8 | No vinculante | 288 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°12:

Informe de sensibilidad – celdas variables dibujantes eléctricos.



| Celda | Nombre | Final Reducido Valor | Objetivo Reducido Coste | Objetivo Coeficiente | Permisible Aumentar | Permisible Reducir | Rgo Optimalidad | |
|--------|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|------------|
| \$B\$2 | VD D16P9 | 252 | 0 | 7800 | 0 | 10400 | -2600 | 7800 |
| \$C\$2 | VD D16P10 | 84 | 0 | 10800 | 1E+30 | 0 | 10800 | 1E+30 |
| \$D\$2 | VD D17P9 | 252 | 0 | 8500 | 1E+30 | 0 | 8500 | 1E+30 |
| \$E\$2 | VD D17P10 | 84 | 0 | 11500 | 0 | 34000 | -22500 | 11500 |
| \$F\$2 | VD D18P9 | 504 | 0 | 8800 | 1E+30 | 0 | 8800 | 1E+30 |
| \$G\$2 | VD D18P10 | 168 | 0 | 11800 | 0 | 35200 | -23400 | 11800 |
| \$H\$2 | VD D19P9 | 504 | 0 | 7700 | 1E+30 | 0 | 7700 | 1E+30 |
| \$I\$2 | VD D19P10 | 168 | 0 | 10700 | 0 | 30800 | -20100 | 10700 |
| \$J\$2 | VD D20P9 | 288 | 0 | 0 | 10266,66667 | 0 | 0 | 10266,6667 |
| \$K\$2 | VD D20P10 | 96 | 0 | 3000 | 0 | 1E+30 | -1E+30 | 3000 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°13:

Informe de sensibilidad – restricciones dibujantes eléctricos.

| Celda | Nombre | Final Sombra Valor | Restricción Precio | Restricción Lado derecho | Permisible Aumentar | Permisible Reducir | Rgo Factibilidad | |
|---------|--------|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------|
| \$L\$9 | R6 | 1800 | 0 | 1800 | 0 | 144 | 1656 | 1800 |
| \$L\$10 | R7 | 600 | 3000 | 600 | 224 | 0 | 600 | 824 |
| \$L\$11 | R8 | 288 | 0 | 180 | 108 | 1E+30 | -1E+30 | 288 |
| \$L\$12 | R9 | 96 | 0 | 60 | 36 | 1E+30 | -1E+30 | 96 |
| \$L\$13 | R10 | 0 | 0 | 0 | 1E+30 | 0 | 0 | 1E+30 |
| \$L\$14 | R11 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| \$L\$15 | R12 | 0 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 84 |
| \$L\$16 | R13 | -168 | 0 | 0 | 1E+30 | 168 | -168 | 1E+30 |
| \$L\$17 | R14 | 0 | 0 | 0 | 168 | 0 | 0 | 168 |
| \$L\$18 | R15 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$L\$19 | R16 | 0 | 0 | 0 | 168 | 0 | 0 | 168 |
| \$L\$20 | R17 | -336 | 0 | 0 | 1E+30 | 336 | -336 | 1E+30 |
| \$L\$21 | R18 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 | 36 |
| \$L\$22 | R19 | -192 | 0 | 0 | 1E+30 | 192 | -192 | 1E+30 |
| \$L\$4 | R1 | 336 | 7800 | 336 | 144 | 288 | 48 | 480 |
| \$L\$5 | R2 | 336 | 8500 | 336 | 144 | 288 | 48 | 480 |
| \$L\$6 | R3 | 672 | 8800 | 672 | 144 | 288 | 384 | 816 |
| \$L\$7 | R4 | 672 | 7700 | 672 | 144 | 288 | 384 | 816 |
| \$L\$8 | R5 | 384 | 0 | 672 | 1E+30 | 288 | 384 | 1E+30 |

RECOMENDACIONES

Se recomienda al gerente de IngenieríaTuc S.R.L.:

- Integrar el modelo de programación lineal con otros sistemas de gestión de proyectos y recursos humanos para asegurar una visión holística y coherente de la asignación de recursos.
- Evaluar el impacto económico de la implementación del modelo de programación lineal en términos de ahorro de costos y aumento de la rentabilidad.
- Realizar programaciones mensuales de operaciones, esto para tener en cuenta los cambios en capacidades, habilidades, costos, precios pueden requerir ajustes en el modelo.
- Establecer un mecanismo de feedback donde los PM y los dibujantes puedan proporcionar retroalimentación sobre las asignaciones. Utilizar esta información para refinar continuamente el modelo y mejorar su efectividad.
- Incorporar una gestión del riesgo que considere posibles desviaciones y variaciones en las capacidades y necesidades de los proyectos, permitiendo ajustes dinámicos en las asignaciones.

CONCLUSIONES

El diseño e implementación de una herramienta de gestión de recursos humanos en IngenieríaTuc S.R.L. representa un paso significativo hacia la optimización de la asignación de empleados a proyectos. Esta iniciativa surge como respuesta a los desafíos identificados en la asignación manual y subjetiva de recursos humanos, que afectaba la eficiencia operativa y la moral del equipo.

La investigación realizada reveló las deficiencias en los métodos actuales de asignación, destacando la falta de precisión, transparencia y eficiencia. La falta de un sistema estructurado no solo ralentizaba el proceso de asignación, sino que también podía comprometer la calidad y los plazos de entrega de los proyectos.

La implementación propuesta de una herramienta basada en modelos de programación binaria para los Project Managers y lineal para los dibujantes, representa una solución robusta y adaptativa. Este enfoque permite una asignación más precisa y eficiente teniendo en cuenta criterios específicos como habilidades, experiencia y disponibilidad. Además, la automatización de procesos reduce la carga administrativa, liberando tiempo para actividades estratégicas y de valor añadido.

En resumen, la implementación de esta herramienta no solo posiciona a IngenieríaTuc S.R.L. en una mejor capacidad para enfrentar desafíos técnicos y operativos, sino que también refuerza su compromiso con la calidad y la excelencia en la ejecución de proyectos multidisciplinarios. Este avance no solo optimiza la gestión de recursos humanos, sino que también sienta las bases para un crecimiento sostenido y una mayor competitividad en el mercado regional de la ingeniería.

REFERENCIAS

Render B., Stair R. M., Hanna M. E. (2013). Métodos Cuantitativos para los negocios (11^a ed.). Pearson.

Hillier F., Hillier M. (2008). Métodos cuantitativos para administración (3^a ed.). McGraw-Hill.

Hillier F., Liberman, G. (2012). Investigación de operaciones (8^a ed.). McGraw-Hill.

APÉNDICE

Tabla N°4:

Calificación de los Project Manager.

| Ponderación | Mecánico | | | | Civil | | | Eléctrico | | | |
|-------------|------------|--------|--------|---------|----------|-------|---------|-----------|------------|--------|---------|
| | 30% | 50% | 20% | Puntaje | 70% | 30% | Puntaje | 33% | 17% | 50% | Puntaje |
| | Flowsheets | Piping | Diseño | | Hormigón | Suelo | | Montaje | Estructura | Diseño | |
| PM 1 | 10 | 8 | 5 | 8 | 7 | 4 | 6.1 | 6 | 6 | 10 | 8 |
| PM 2 | 9 | 7 | 8 | 7.8 | 10 | 7 | 9.1 | 4 | 6 | 7 | 5.84 |
| PM 3 | 4 | 8 | 4 | 6 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 6 | 8 |
| PM 4 | 3 | 8 | 10 | 6.9 | 4 | 10 | 5.8 | 3 | 5 | 8 | 5.84 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°14:

Programación de los Project Manager.

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°15:

Programación de los Dibujantes Civiles.

Para programar las asignaciones de los dibujantes, se llevaron a cabo varios intentos utilizando Solver, aunque algunos no obtuvieron respuesta. Esto se debió a la dificultad para alcanzar una asignación óptima o cumplir todas las restricciones, incluyendo casos donde algunos dibujantes no fueron asignados a proyectos específicos. Algunos de estos intentos incluyeron métodos de programación binaria, programación por metas y ajustes en parámetros clave para encontrar la configuración más adecuada.

Imagen N°17:

Intento número 4 de programación de los dibujantes, sin resultado.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|---|------|
| | A1 | A2 | B1 | B2 | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 | 1A | 1B | 1C | 1D | 1E | 2A | 2B | 2C | 2D | 2E | | | |
| VD | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,1 | 0,9 | 1 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6500 | 6700 | 5600 | 5600 | 6500 | 5850 | 5740 | 5630 | 5520 | 5410 | 0 | | |
| R1 | -1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | -1 <= | | 0 |
| R2 | | -1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 0 <= | | 0 |
| R3 | | | -1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | -1 <= | | 0 |
| R4 | | | | -1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 0 <= | | 0 |
| R5 | | | | | -1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | -0,107 <= | | 0 |
| R6 | | | | | | -1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | -0,893 <= | | 0 |
| R7 | | | | | | | -1 | | | | | | | | 1 | | | | | | -1 <= | | 0 |
| R8 | | | | | | | | -1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0 <= | | 0 |
| R9 | | | | | | | | | -1 | | | | | | 1 | | | | | | -0,72 <= | | 0 |
| R10 | | | | | | | | | | -1 | | | | | | | | | | 1 | 0 <= | | 0 |
| R11 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | 0 <= | | 336 |
| R12 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | 0 <= | | 336 |
| R13 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 0 <= | | 672 |
| R14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | 0 <= | | 672 |
| R15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 0 <= | | 672 |
| R16 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 = | | 1 |
| R17 | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 = | | 1 |
| R18 | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 = | | 1 |
| R19 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 = | | 1 |
| R20 | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 0,7202 = | | 1 |
| R21 | 336 | | 336 | | 672 | | 672 | | 672 | | | | | | | | | | | | 1900 <= | | 1900 |
| R22 | | 336 | | 336 | | 672 | | 672 | | 672 | | | | | | | | | | | 600 <= | | 600 |

Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°18:

Intento número 7 de programación de los dibujantes, sin resultado.

