

Estandarización del Cambio

Sala de Baterías

Joaquín Ignacio Torres Rodríguez

Ingeniería Civil Industrial

Compañía Cervecerías Unidas

2do semestre 2023

Santiago, Chile

Resumen Ejecutivo

Este proyecto surge por la necesidad de abordar el desafío del aumento en las horas dedicadas al cambio de batería, específicamente en los centros de distribución CL-8000 y CD-8000 de CCU Chile. En promedio se requieren 207,7 horas mensuales para el CL-8000 y 176,6 horas mensuales para el CD-8000, esto al momento de comenzar con la investigación. El aumento de las horas dedicadas al cambio genera una pérdida operacional que a su vez crea una pérdida económica, además se puede observar cómo se genera un tiempo de espera al entrar a la sala y realizar cambios de batería, lo que abre a oportunidad de evaluar una teoría de colas. Dado el problema, se plantea reducir el tiempo dedicado al cambio de baterías para los centros mencionados anteriormente, en donde se espera llegar a 180 horas para el CL-8000 y 150 horas para el CD-8000. Este aumento se debe principalmente a una falta de planificación y estandarización del proceso de cambio de batería, para lograr medir el tiempo total de demora se multiplica el tiempo que demora el cambio por la cantidad de cambios realizados en el mes. La solución que se propuso para el proyecto se centra en la disminución de horas atacando los dos factores mencionados anteriormente, el tiempo que demora el cambio y la cantidad de cambios realizados por mes. Para llevar a cabo la solución, se desarrolló una aplicación que arroja de forma automática la batería a utilizar, disminuyendo los tiempos de búsqueda de batería, además, entrega la batería con mayor autonomía para disminuir la cantidad de cambios necesarios. Los resultados iniciales indican una reducción en el tiempo dedicado al cambio, sin embargo, se hizo una proyección basada en una regresión lineal que permitió generar resultados hasta julio de 2024, lo que arrojó una disminución del 36,4% para el CL-8000 y 37,7% para el CD-8000, comparando la situación con y sin proyecto, sin embargo, solo para el CD-8000 se logró el objetivo antes mencionado. Por otro lado, se ve una disminución del 81% en el CL-8000 y del 67% en el CD-8000 en el tiempo promedio que la grúa pasa por el sistema, es decir, sala de batería, lo que a su vez aporta a disminuir el tiempo total dedicado al cambio de batería. El alumno demostró aplicar conocimientos ingenieriles clave para lograr el desarrollo del proyecto utilizando herramientas de gestión de operaciones avanzadas, optimización, investigación de operaciones, programación, entre otros. También fue capaz de llevar estas herramientas a un ámbito laboral real con la implementación exitosa del proyecto, el cual genera un impacto positivo para la operación de la empresa. Si bien el impacto se debe continuar midiendo, el proyecto ha demostrado ser un aporte para la empresa y para el área.

Abstract

This project arises from the need to address the challenge of the increase in hours dedicated to batteries changes, specifically in the CL-8000 and CD-8000 distribution centers of CCU Chile. On average, it requires 207.7 hours per month for the CL-8000 and 176.6 hours per month for the CD-8000, this at the time of beginning the research. The increase in hours dedicated to change generates an operational loss which in turn creates an economic loss. In addition, it can be observed how a waiting time is generated when entering the room and performing battery changes, which opens up the opportunity to evaluate a queuing theory. Given the problem, it is proposed to reduce the time spent changing batteries for the centers mentioned above, where it is expected to reach 180 hours for the CL-8000 and 150 hours for the CD-8000. This increase is mainly due to a lack of planning and standardization of the battery change process. In order to measure the total delay time, the time the change takes is multiplied by the number of changes made in the month. The solution proposed for the project focuses on reducing hours by attacking the two factors mentioned above, the time it takes for the change and the number of changes made per month. To carry out the solution, an application was developed that automatically releases the battery to be used, reducing battery search times, and also delivers the battery with greater autonomy to reduce the number of changes. The initial results indicate a reduction in the time dedicated to the change, however, a projection was made based on a linear regression that allowed results to be generated until July 2024, which showed a decrease of 36.4% for the CL-8000 and 37.7% for the CD-8000, comparing the situation with and without the project, however, only for the CD-8000 the aforementioned objective was achieved. On the other hand, there is a decrease of 81% in the CL-8000 and 67% in the CD-8000 in the average time that the crane passes through the system, that is, the battery room, which in turn contributes to reduce the total time spent changing the battery. The student demonstrated applying key engineering knowledge to achieve the development of the project using advanced operations management tools, optimization, programming, among others. He was also able to bring these tools to a real work environment with the successful implementation of the project, which generated a positive impact for the company's operation. Although the impact must continue to be measured, the project has proven to be a contribution for the company and the area.

Contenido

1. Introducción.....	6
a. Contexto.....	6
i. Empresa.....	6
ii. Área	6
iii. Proyecto	6
2. Problema	7
a. Problemática	7
b. Mapa de proceso.....	7
c. Tiempos de espera	8
d. Validación medida de tendencia central	9
3. Objetivos.....	10
a. KPI.....	10
b. Objetivo SMART	10
i. Objetivo CL-8000.....	10
ii. Objetivo CD-8000.....	11
c. Objetivos específicos	11
d. Análisis de causas	12
4. Estado del Arte.....	13
a. Literatura	13
b. Industria.....	16
c. Soluciones propuestas.....	17
d. Solución escogida	18
5. Evaluación económica.....	20
a. Costos	20
b. Beneficios.....	20
c. Flujo	20
d. Indicadores.....	21
e. Análisis de sensibilidad	21
6. Metodología	22
a. Pasos para la implementación	22
b. Impacto	23

c.	Impactos externos	24
d.	Nuevo mapa de proceso	25
e.	Matriz de riesgo.....	26
f.	Modelo Matemático.....	27
7.	KPI's Control	28
a.	KPI Principal.....	28
b.	KPI's Secundarios.....	28
8.	Desarrollo e implementación	29
a.	Planificación	29
b.	Plan de implementación	29
c.	Desarrollo.....	30
9.	Resultados	31
a.	Cualitativos.....	31
b.	Cuantitativos	32
i.	Total de horas mensuales dedicadas al cambio de baterías.....	32
c.	Tiempo de espera	35
d.	Prueba significancia.....	36
10.	Conclusiones	37
11.	Referencias	39
12.	Anexos	40

1. Introducción

a. Contexto

i. Empresa

CCU (Compañía Cervecerías Unidas) es una empresa que se dedica a la producción y distribución de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.

ii. Área

El área de mantenimiento logístico se ocupa del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos logísticos de transporte dentro de la empresa.

iii. Proyecto

Para este proyecto se tomó en cuenta solo las grúas horquillas¹ ya que son los equipos más utilizados y equivalen a un 57% de la operación, es decir, 120 grúas, además, se consideró solo aquellos equipos impulsados por baterías de plomo-ácido², que equivale a un 86%. El proyecto se implementará en la sala de baterías del centro Cervecera³ ubicado en Quilicura, Santiago, específicamente salas de los centros CL-8000 (centro logístico) y CD-8000 (centro distribución).

¹ Anexo 1: Foto grúa horquilla.

² Anexo 2: Foto batería plomo-ácido.

³ Anexo 3: Foto centro Cervecera.

2. Problema

a. Problemática

Durante el último año se puede observar cómo las horas dedicadas al cambio de baterías en el centro Cervecera han ido al aumento llegando a un promedio de 210,14 horas en el centro CL-8000 y de 178,15 horas en el centro CD-8000, como se puede observar en el siguiente gráfico:

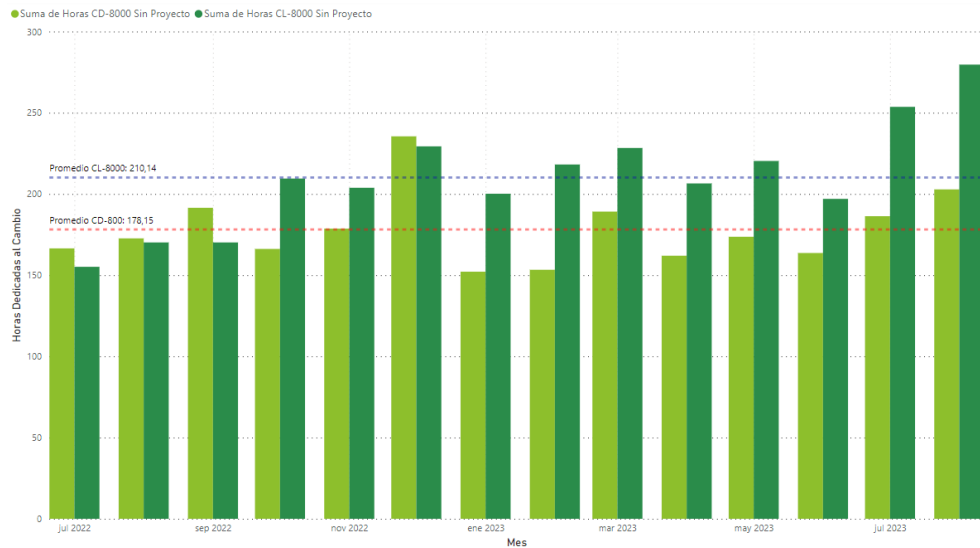


Gráfico 1: Horas dedicadas al cambio.

Esto ha significado un impacto negativo en la operación de la empresa al demandar más tiempo, por lo que se busca reducir los valores expuestos con anterioridad.

Al no tener un control sobre el funcionamiento de las baterías, no se puede crear un plan de inversión que logre satisfacer los distintos centros del país, por lo que se estima un valor de baterías a cambiar y se deben estar modificando las ubicaciones de las baterías constantemente, lo que genera gastos de transporte, tiempo y espacio.

b. Mapa de proceso

El mapa de proceso de cambio de batería consiste en 5 pasos.



Diagrama 1: Mapa de proceso cambio de batería.

El mapa comienza con la llegada de la grúa a la sala de baterías, luego se realiza una inspección de esta, se procede a realizar el proceso de búsqueda de batería dentro de la sala, se monta la batería en la grúa y por último es despachada a la operación.

c. Tiempos de espera

Para obtener una comprensión más detallada del comportamiento operativo, se llevó a cabo un análisis de los tiempos de espera asociados al proceso de cambio de baterías mediante un estudio de teoría de colas, específicamente utilizando el modelo M/M/1, donde M indica la distribución exponencial de las llegadas y salidas, y 1 representa al servidor único por centro, la elección del modelo se basa en la capacidad de capturar la naturaleza aleatoria y continua de la operación. Se recopilaron los datos e indicadores necesarios para realizar un análisis exhaustivo, en el que se determinaron la tasa de llegada (λ) y la tasa de servicio (μ). Este enfoque permitió evaluar de manera efectiva la dinámica de la cola de espera y los tiempos asociados al proceso de cambio, proporcionando información valiosa sobre la eficiencia del sistema, a continuación se observan los valores para cada uno de los centros, medidos desde julio de 2022 hasta agosto 2023.

	CL-8000	CD-8000
Tasa de llegada (λ)	2,92 Bat/hr	2,47 Bat/hr
Tasa de servicio (μ)	6 Bat/hr	6 Bat/hr

Tabla 1: Tasas de los centros.

Gracias a la tasa de llegada y la tasa de servicio, se calculó el número medio de unidades en el sistema (L_s), el número de unidades esperando en la cola (L_q), tiempo medio que una unidad pasa en el sistema (W_s) y tiempo medio que una unidad pasa esperando en la cola (W_q), además se calculó el factor de utilización para cada sistema (ρ).

	CL-8000	CD-8000
L_s	0,95 Bat	0,70 Bat
L_q	0,46 Bat	0,29 Bat
W_s	19,5 min	17,0 min
W_q	9,5 min	7,0 min
ρ	0,49	0,41

Tabla 2: Indicadores de unidades y tiempo.

Se puede observar que en promedio hay 0,95 equipos en el sistema de la sala de batería del CL-8000 y 0,7 equipos en el CD-8000, además se puede observar que en promedio los equipos pasan 19,5 minutos en el sistema, es decir, tanto en cambio como en espera, para el CL-8000 y 17 minutos para el CD-8000, donde 9,5 y 7 minutos corresponden a tiempo que pasan en la cola del sistema. Por último se puede observar

un factor de utilización de 0,49 para el CL-8000 y 0,41 para el CD-8000, lo que indica que hay capacidad disponible para manejar más carga o realizar más tareas.

d. Validación medida de tendencia central

Se realizó un análisis de normalidad⁴ de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk para poder validar el uso del promedio en el análisis de datos. Se obtuvieron los siguientes resultados para los centros CL-8000 y CD-8000:

- CL-8000:
Estadística de prueba (W): 0.9663
Valor p: 0.8232
- CD-8000:
Estadística de prueba (W): 0.8955
Valor p: 0.0969

La estadística de prueba (W) en ambas situaciones representa el valor calculado por la prueba de Shapiro-Wilk. Esta estadística se compara con un valor crítico para determinar si los datos siguen una distribución normal. En el caso del CL-8000, el valor alto de la estadística de prueba sugiere que los datos tienen una distribución más cercana a la normalidad. Además, el valor p asociado es 0.8232, lo cual es superior al umbral típicamente utilizado de 0.05. Un valor p alto indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal.

En el CD-8000, aunque la estadística de prueba es menor, el valor p de 0.0969 aún indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad. Sin embargo, este valor está más cerca del umbral de 0.05, lo que sugiere cierta precaución al interpretar la normalidad de los datos. En resumen, ambos conjuntos de datos muestran indicios de seguir una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk.

⁴ Anexo 4: Prueba de normalidad

3. Objetivos

a. KPI

El KPI primario para trabajar a lo largo del proyecto será el total de horas mensuales dedicadas al cambio de baterías.

b. Objetivo SMART

Se definió como objetivo SMART reducir el tiempo total dedicado al cambio de baterías de forma mensual en los centros CL-8000 y CD-8000, logrando una disminución del promedio de 210,14 horas a 180 horas en el centro CL-8000 y de 178,15 horas a 150 horas en el centro CD-8000, a partir del mes de noviembre.

i. Objetivo CL-8000

Para CL-8000 se espera que el KPI llegue a 180 horas mensuales promedio. Actualmente el KPI en el centro logístico se encuentra en 210,14 horas en promedio, esto durante el último año, sin embargo el último dato figura en 279,7 horas.

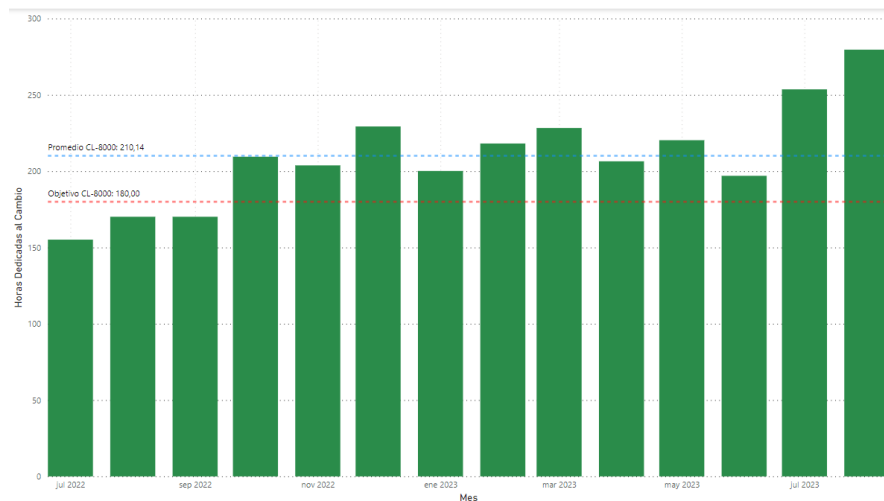


Gráfico 2: Objetivo CL-8000.

En el gráfico 2 podemos observar la línea a la que se busca llegar con el proyecto y la línea promedio actual, rojo y azul respectivamente, y el área entre ambas es la brecha por mitigar.

ii. Objetivo CD-8000

Para CD-8000 se espera que el KPI llegue a 150 horas mensuales promedio. Actualmente el KPI en el centro de distribución se encuentra en 178,15 horas en promedio, esto durante el último año, sin embargo el último dato figura en 202,8 horas.

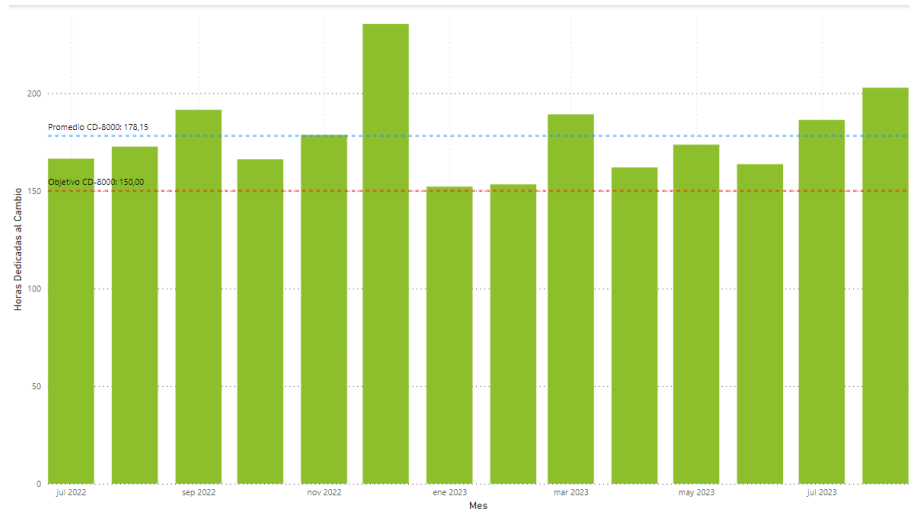


Gráfico 3: Objetivo CD-8000

En el gráfico 3 podemos observar la línea a la que se busca llegar con el proyecto y la línea promedio actual, rojo y azul respectivamente, y el área entre ambas es la brecha por mitigar.

c. Objetivos específicos

1. Analizar y evaluar el rendimiento histórico de las baterías en los centros CL-8000 y CD-8000 para identificar patrones y tendencias en los tiempos de cambio de baterías.
2. Identificar las baterías con mayor autonomía y mejor rendimiento en términos de descarga.
3. Desarrollar e implementar un plan de uso de baterías que asigne las baterías eficientes a los equipos en los centros CL-8000 y CD-8000.
4. Establecer un sistema de monitoreo continuo para rastrear el rendimiento de las baterías y registrar los tiempos de cambio de baterías en los centros.
5. Analizar los datos recopilados del sistema de monitoreo y ajustar el plan de uso de baterías según los resultados obtenidos.

d. Análisis de causas

Para realizar el análisis de causas se recurrió al “diagrama de los ¿por qué?”, teniendo como problema principal el aumento en las horas dedicadas al cambio de baterías.

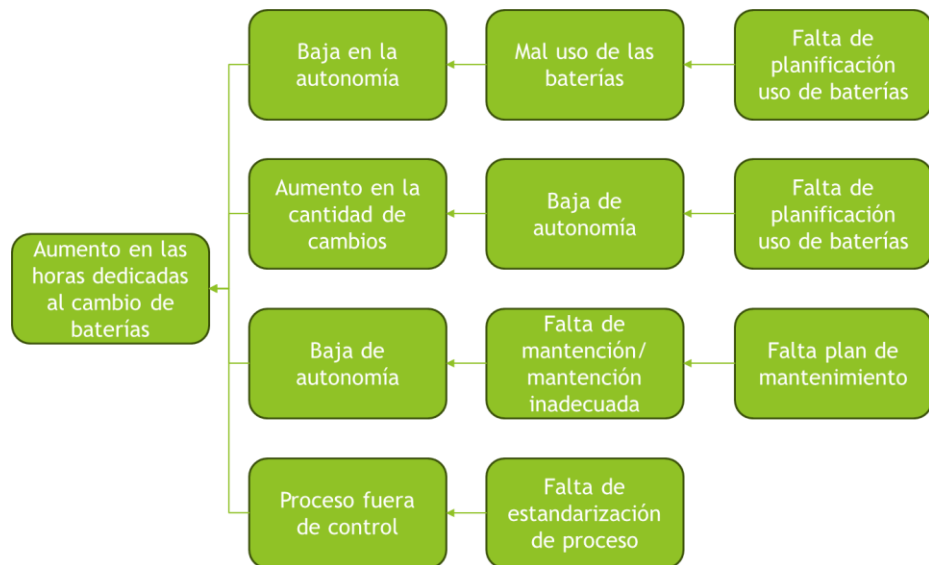


Diagrama 2: Análisis de causas.

Al analizar el diagrama se decidió que la causa principal a trabajar será la falta de planificación en la búsqueda de batería. Al no existir una planificación, se deben realizar cambios con más frecuencia, lo que implica una mayor cantidad de cambios mensuales y a su vez un aumento en las horas dedicadas al cambio de batería. Al atacar la planificación, también se ve involucrada la causa de falta de estandarización de proceso, por lo que se espera también tenga una mejora.

4. Estado del Arte

En el siguiente punto del informe revisaremos el estado del arte del problema, en el cual podemos observar cómo se ha resuelto la falta de planificación en distintos contextos. Cabe mencionar que las soluciones revisadas no van directamente aplicadas al contexto de baterías, sino que a un contexto de planificación.

a. Literatura

1. Sistema de etiquetado y codificación

El etiquetado y codificación de productos en un almacén es el proceso por el cual se marca la mercancía con un código único con el objetivo de facilitar su localización y facilitar el control del almacén. El etiquetado es fundamental para la trazabilidad y para acelerar los procesos de almacenaje y preparación de pedidos.

Para la identificación de un almacén también se suele realizar un etiquetado de sus distintas zonas como pasillos, estanterías, contenedores y paletas. En general, cualquier elemento del almacén que quiera identificarse puede ser codificado y etiquetado para un mejor control y gestión.

Las principales funciones del etiquetado y codificación de mercancías en logística son facilitar las operaciones con los productos (almacenaje y preparación de pedidos, por ejemplo), obtener información sobre los productos y facilitar el control y trazabilidad sobre los mismos.

Los beneficios que aporta a una empresa la codificación de artículos en el almacén son:

- Acelera la preparación de los pedidos.
- Mejora el control de mercancías evitando errores y roturas de stock.
- Reduce costes al hacer un mejor uso de los recursos.
- Permite identificar de forma rápida e inequívoca los productos almacenados.
- Ayuda a lograr una trazabilidad completa.

2. Ubicación física estratégica

La implementación de un sistema de ubicación física estratégica en un almacén se traduce en una gestión más eficiente y precisa de los activos y productos almacenados. Este sistema, aprovechando tecnologías como RFID, GPS y sensores, permite un seguimiento en tiempo real de la ubicación de los elementos dentro del almacén. Esto se traduce en una optimización del inventario, una

gestión de pedidos más eficiente, una reducción de errores, ahorro de costos, mayor satisfacción del cliente y una mayor seguridad y trazabilidad de los productos. Los datos generados por este sistema también pueden utilizarse para la toma de decisiones basadas en datos y análisis de patrones, lo que mejora aún más la gestión del almacén y la cadena de suministro en su conjunto. En última instancia, el sistema de ubicación física estratégica impacta positivamente en la eficiencia operativa y la rentabilidad de la operación del almacén.

3. Sistema FIFO (first-in, first-out)

El sistema FIFO implementado en AIAO (admission-in, admission-out) ha tenido un impacto significativo en los resultados y en el potencial impacto de esta tecnología. La literatura plantea que la utilización de una sola cola FIFO en lugar de múltiples colas como en las soluciones tradicionales ha llevado a una reducción notable en el uso de recursos de memoria, concretamente una reducción del 8% en el uso de bloques de RAM en comparación con un enfoque estándar de programación de paquetes en redes TSN. Esta reducción de recursos es un resultado importante, ya que reduce los costos de implementación y hace que AIAO sea más eficiente en términos de recursos.

En términos de impacto, la reducción del uso de recursos de memoria con AIAO es un avance significativo en la implementación de redes de alta precisión, como las requeridas en aplicaciones críticas. La eficiencia en la gestión de recursos es esencial para garantizar que las redes puedan cumplir con los requisitos de latencia y determinismo, que son cruciales en aplicaciones como la automatización industrial y las comunicaciones de tiempo real.⁵

4. Sistema WMS (warehouse management system)

En el contexto de la gestión de baterías, un Sistema de Gestión de Almacén (WMS) automatiza y optimiza la asignación de baterías a equipos. Esto es esencial para evitar errores humanos y mejorar la eficiencia. Se utiliza un software de planificación (ERP) para organizar y etiquetar las baterías. Aunque la implementación de un ERP puede tener desafíos, como cambios organizativos y capacitación del personal, su elección adecuada es crucial. El objetivo final es maximizar la eficiencia y minimizar los cambios de baterías, lo que ahorra tiempo y recursos. En resumen, la implementación de un sistema automatizado de

⁵ Qianru Lv, Xuyan Jiang, Xiangrui Yang. (2023). Making programmable packet scheduling time-sensitive with a FIFO queue. Hunan, China.

gestión de almacén, respaldado por un software mejorado y una línea de etiquetado y empaquetado, ha resultado en un aumento significativo en la eficiencia, la seguridad y la precisión en la gestión de productos.

El nuevo software permite la organización de datos según el número de serie y la activación de productos, siguiendo el concepto FIFO, lo que reduce al mínimo los errores. La adición de una línea de etiquetado y empaquetado ha simplificado aún más el proceso. En conjunto, estos cambios hacen que el sistema de almacén sea más fiable y eficiente, beneficiando tanto a la empresa como a sus socios comerciales.⁶

5. Scheduling priorizado

A cada proceso en el sistema se le asigna un valor basándose en algún criterio, en este caso la autonomía, donde el mayor valor tiene la mayor prioridad. se favorece a los procesos de alta prioridad al momento de asignar la CPU, sin embargo en el contexto de las baterías el proceso es el mismo, por lo que se está priorizando que la operación dure lo más posible, para el caso de las baterías se trabaja con una prioridad dinámica, debido a que las autonomías de los equipos se van modificando con el tiempo.⁷

⁶ Anas M. Atieh, Hazem Kaylani, Yousef Al-abdallat, Abeer Qaderi, Luma Ghoul, Lina Jaradat, Iman Hdairis. (2016). Performance improvement of inventory management system processes by an automated warehouse management system. Ammán, Jordania.

⁷ H.C. Carvalho, L.H. Silva, J. J. P. Z. S. Tavares. (2013). Automated Planning Applied in Inventory Management. Fortaleza, Brazil.

b. Industria

1. Amazon: Amazon es un claro ejemplo de una empresa que utiliza sistemas de Gestión de Almacén (WMS) avanzados en sus centros de distribución para rastrear y gestionar inventarios, optimizar rutas y acelerar el procesamiento de pedidos.
2. FedEx: Utiliza sistemas de programación priorizada y FIFO para organizar y priorizar la entrega de paquetes, garantizando que los envíos más urgentes se entreguen primero.
3. Walmart: Emplea sistemas de Gestión de Almacén (WMS) para administrar sus operaciones de inventario y logística, lo que les permite mantener un flujo eficiente de productos en sus tiendas.
4. Toyota: Aplica sistemas Just-In-Time (JIT) que utilizan programación priorizada y FIFO en sus procesos de fabricación para minimizar el inventario y mejorar la eficiencia.
5. Ford: Ha implementado sistemas de programación priorizada en sus operaciones de fabricación para garantizar una producción eficiente y minimizar los tiempos de inactividad.
6. IBM: IBM ha utilizado sistemas de planificación y programación avanzada en sus operaciones para gestionar recursos, inventario y procesos de manera efectiva.

c. Soluciones propuestas

De las soluciones observadas en el estado del arte, se proponen las 3 que se espera satisfagan de mejor manera la problemática adaptada al contexto de las baterías.

1. FIFO

- Permite que salga a la operación la mayor cantidad de baterías a lo largo del tiempo con una cantidad similar de veces, lo que ayuda al desgaste de la batería, es decir, la baja de autonomía.
- No impacta de forma directa en el objetivo y la causa raíz identificada para lograrlo, que es la disminución en la cantidad de horas relacionadas al cambio de batería y la falta de planificación respectivamente.

2. WMS

- Permite la automatización del proceso de cambio de batería en la etapa de búsqueda de batería, lo cual lo hace funcionar de forma eficiente.
- Al ser el mismo producto (baterías) muchos aspectos de la metodología no se pueden tener en cuenta, como la ubicación estratégica de los productos.

3. Scheduling priorizado

- Permite atacar de forma directa la causa raíz de planificación, al trabajar con una priorización dinámica a lo largo del tiempo minimizando el tiempo dedicado al cambio de batería.
- Deteriora de mayor forma las baterías eficientes.

d. Solución escogida

Para seleccionar la alternativa más adecuada para abordar el problema del tiempo utilizado al cambio de batería se necesita evaluar las tres soluciones revisadas. Se diseñó una matriz que contiene criterios clave para el desarrollo del proyecto y sus respectivas ponderaciones para el éxito del proyecto. Cada criterio se evalúa en una escala del 1 al 7, siendo 1 la peor evaluación y 7 la mejor.

Criterio	Porcentaje ponderación	FIFO	WMS	Scheduling priorizado
Eficiencia operativa	20%	5	7	6
Flexibilidad	10%	4	6	7
Reducción de costos	10%	3	4	6
Continuidad	15%	5	6	6
Precisión de stock	15%	3	7	5
Deterioro	10%	6	5	4
Causa raíz	20%	2	4	7

Tabla 3: Matriz de selección.

Resultados

- FIFO: 3,9
- WMS: 5,65
- Scheduling: 5,95

Se puede observar que la mejor opción con los criterios utilizados es realizar un scheduling priorizado, sin embargo, no necesariamente deben ser soluciones excluyentes, por lo que al utilizar un sistema de WMS que opere bajo un criterio de Scheduling priorizado, la nota de criterio aumenta a 6,55.

Se decidió trabajar con un sistema de WMS a través de un scheduling priorizado dinámico. El sistema va a permitir a la operación entregar la batería disponible con la

mayor autonomía, entregando posición de esta y ubicando la batería que ingresa a un cargador.

- **Eficiencia Operativa:** El sistema de WMS proporciona una gestión eficiente del inventario de baterías, garantizando la disponibilidad de recursos críticos. El scheduling priorizado dinámico asegura que las baterías más importantes se asignen primero, maximizando el tiempo de operación sin interrupciones.
- **Flexibilidad:** El enfoque dinámico permite adaptar la asignación de baterías a las necesidades cambiantes de los equipos. Esto es esencial en un entorno logístico donde las demandas pueden variar.
- **Reducción de Costos:** La combinación de WMS y scheduling priorizado ayuda a reducir costos operativos al optimizar el uso de baterías y minimizar los cambios. Esto se traduce en ahorros en el reemplazo de baterías y mantenimiento.
- **Continuidad de las Operaciones:** El scheduling priorizado asegura que las baterías eficientes se asignen primero, garantizando la continuidad de las operaciones de equipos esenciales.

La selección de esta solución demuestra la aplicación de conceptos técnicos avanzados, como la gestión de inventario automatizada (WMS) y la planificación dinámica basada en prioridades.

Para poder llevar a cabo la solución se decidió trabajar con un software de gestión de inventario, lo cual, como se mencionó anteriormente, permitirá entregar de forma automática la batería a utilizar, además de entregar el cargador a la batería que vuelve a la sala y con esto una ubicación.

5. Evaluación económica

a. Costos

- Horas/hombre dedicadas por el ingeniero al desarrollo del proyecto.
- Horas/hombre que demoró la capacitación.
- Horas/hombre de mantención del proyecto.
- Computador.
- Licencia.

b. Beneficios

- Disminución en las horas dedicadas al cambio de batería, por ende, más horas/hombre dedicadas a la operación.

c. Flujo

A continuación, se observa el flujo de caja realizado para el proyecto con plazo hasta junio 2024, es decir, 8 meses.

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Ingresos		\$ 1.055.333	\$ 2.093.333	\$ 3.198.000	\$ 4.348.000	\$ 5.535.000	\$ 5.638.333	\$ 5.738.333	\$ 5.841.667
Costos fijos (CF)		\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000	\$ -570.000
Costos variables (CV = $cv \cdot q$)		\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000	\$ -25.000
Depreciaciones legales (Dep)		\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333	\$ -8.333
Resultado Operacional		\$ 452.000	\$ 1.490.000	\$ 2.594.667	\$ 3.744.667	\$ 4.931.667	\$ 5.035.000	\$ 5.135.000	\$ 5.238.333
Ganancias/pérdidas de capital									\$ 100.000
Pérdidas del ejercicio anterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Resultado no Operacional		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 100.000
Utilidad antes impuestos		\$ 452.000	\$ 1.490.000	\$ 2.594.667	\$ 3.744.667	\$ 4.931.667	\$ 5.035.000	\$ 5.135.000	\$ 5.338.333
Impuesto de Primera Categoría (27%)		\$ 122.040	\$ 402.300	\$ 700.560	\$ 1.011.060	\$ 1.331.550	\$ 1.359.450	\$ 1.386.450	\$ 1.441.350
Utilidad después impuestos		\$ 329.960	\$ 1.087.700	\$ 1.894.107	\$ 2.733.607	\$ 3.600.117	\$ 3.675.550	\$ 3.748.550	\$ 3.896.983
Depreciaciones legales (Dep)		\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333	\$ 8.333
Pérdidas de ejercicio anteriores			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ganancias/pérdidas de capital									\$ -
Flujo Operacional		\$ 338.293	\$ 1.096.033	\$ 1.902.440	\$ 2.741.940	\$ 3.608.450	\$ 3.683.883	\$ 3.756.883	\$ 3.905.317
Inversión fija (I)	\$ -1.300.000								
Valor residual de los activos (Vr)									\$ 300.000
Capital de trabajo (CT)	\$ -95.000								
Recuperación del capital de trabajo (CT)									\$ 95.000
Flujo Capitales	\$ -1.395.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Privado (FC)	\$ -1.395.000	\$ 338.293	\$ 1.096.033	\$ 1.902.440	\$ 2.741.940	\$ 3.608.450	\$ 3.683.883	\$ 3.756.883	\$ 3.905.317

Tabla 4: Flujo de caja.

En la tabla 2 se encuentran considerados todos los costos y beneficios mencionados anteriormente, ya sean costos fijos, variables o de inversión. Los beneficios del

proyecto van asociados a la operación y la disminución de horas necesarias para realizar cambios de batería.

d. Indicadores

Gracias al flujo de caja se pueden calcular los indicadores VAN⁸ y TIR, para ver la rentabilidad del proyecto. Utilizando el costo de capital ponderado de CCU, de un 6% el resultado del VAN del proyecto da un total de \$13.911.031, indicando que el proyecto generará más ingresos de lo que cuesta realizar su implementación. Por otro lado, el cálculo de la TIR arroja un 84% lo que indica que tiene una tasa de retorno adecuada y el proyecto tiene potencial de continuar generando rendimientos con respecto a su inversión.

Al tener un VAN positivo y una TIR adecuada, el proyecto cumple con la viabilidad de ser económicamente rentable. Se puede observar que la inversión realizada para llevar a cabo el proyecto será justificada con los beneficios proyectados.

e. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se llevó a cabo para evaluar cómo afectaría al flujo de caja del proyecto una variación en el tiempo por cambio de batería, específicamente, reduciéndolo a 7,5 minutos en lugar de los 5 minutos propuestos inicialmente.

Flujo de Caja Privado (FC)	\$	-1.395.000	\$	-67.333	\$	352.397	\$	735.170	\$	1.154.920	\$	1.588.175	\$	1.625.892	\$	1.662.392	\$	1.773.108
----------------------------	----	------------	----	---------	----	---------	----	---------	----	-----------	----	-----------	----	-----------	----	-----------	----	-----------

Tabla 5: Análisis de sensibilidad

La representación del flujo de caja en este escenario muestra que, aunque los resultados siguen siendo positivos, los valores son considerablemente menores en comparación con la propuesta original. El Valor Actual Neto (VAN) disminuye a \$4.938.199, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza el 42%. Aunque estos indicadores aún respaldan la viabilidad positiva del proyecto, es evidente que la reducción del tiempo de cambio a 7,5 minutos genera beneficios menores en términos financieros.

Este análisis destaca la importancia crítica de mantener el tiempo de cambio de batería en 5 minutos para maximizar los beneficios económicos y operativos del proyecto. Cualquier incremento en este tiempo podría afectar significativamente la rentabilidad y eficacia del proyecto en el largo plazo.

⁸ Anexo 5: Formula VAN.

6. Metodología

La metodología utilizada en la empresa es la metodología TPM (Total Productive Maintenance), que es una metodología utilizada para mejorar la eficiencia y la confiabilidad de los equipos en la producción a través de la mejora continua. Esta metodología se aplicará para los 5 objetivos específicos del proyecto:

a. Pasos para la implementación

Para lograr la implementación se recomienda seguir los siguientes pasos para lograr un correcto desarrollo del proyecto.

1. Analizar y evaluar el rendimiento histórico de las baterías.

En esta fase, se debe llevar a cabo una exhaustiva recopilación y evaluación de los datos históricos relacionados con el rendimiento de las baterías. Se analizarán ciclos de carga, duración de la carga y la frecuencia de recambio para identificar patrones y posibles problemas. La finalidad es obtener una comprensión profunda del comportamiento pasado de las baterías, estableciendo métricas clave que servirán como referencia para mejoras futuras.

2. Identificar baterías eficientes y crear inventario.

En base a la evaluación previa, se debe evaluar el estado actual de cada batería, destacando aquellas que han demostrado ser eficientes y confiables a lo largo del tiempo. Este análisis permitirá la creación de un inventario detallado, clasificando las baterías según su capacidad, estado y eficiencia. Este inventario servirá como base para la toma de decisiones informadas en fases posteriores del proyecto.

3. Desarrollar e implementar un plan de uso de baterías.

Se debe diseñar un modelo de uso estratégico de las baterías que incluya directrices precisas para la carga, descarga y almacenamiento. Este plan debe incorporar prácticas específicas destinadas a prolongar la vida útil de las baterías y garantizar la asignación adecuada de las más eficientes. La implementación de este plan optimizado buscará maximizar la eficiencia, minimizar el riesgo de fallos y quiebre de stock.

4. Establecer un sistema de monitoreo continuo.

La siguiente fase implica la implementación de un sistema de monitoreo y control en tiempo de cada batería. Este sistema permitirá recopilar datos continuos y configurar alertas para detectar cualquier anomalía. Además, se debe establecer un sistema de gestión centralizado para supervisar eficazmente el estado de todas las baterías, garantizando una respuesta rápida a cualquier situación adversa.

5. Analizar datos y realizar ajustes.

Se debe llevar a cabo un análisis regular de los datos recopilados por el sistema de monitoreo continuo. La identificación de patrones emergentes y tendencias permitirá la toma de decisiones informadas para optimizar el rendimiento de las baterías. Ajustes en el plan de uso y en la asignación de baterías se deben realizar según las tendencias identificadas, asegurando una adaptabilidad continua y mejoras basadas en datos en tiempo real. Este ciclo de retroalimentación continuo asegurará la eficacia sostenida del sistema.

b. Impacto

Los impactos del proyecto son significativos y se traducen en mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y la utilización de recursos. A continuación, se detallan los impactos clave:

1. Reducción del Tiempo de Búsqueda de Batería.

La implementación del sistema de scheduling y WMS reducirá drásticamente el tiempo de búsqueda de baterías de 10 a 5 minutos. Esta mejora directa en la eficiencia operativa optimizará las operaciones diarias, permitiendo un acceso más rápido y eficiente a las baterías necesarias.

2. Maximización del Uso de Baterías Eficientes.

El proyecto tiene como objetivo maximizar la utilización de baterías eficientes, definidas por una autonomía igual o superior a 6 horas. Esto se traduce en una reducción significativa en la cantidad de cambios de batería, pasando de una tasa de aumento promedio de 120 cambios por mes a tan solo 50. Esta disminución evidencia la optimización del rendimiento de las baterías y reduce la necesidad de cambios frecuentes.

3. Minimización del Tiempo Dedicado al Cambio de Batería.

La implementación del sistema de scheduling y WMS también contribuirá a la minimización del tiempo dedicado al cambio de batería. Al priorizar y asignar eficientemente las baterías con mayor autonomía, se reducirá el tiempo general dedicado a realizar cambios, aumentando así la productividad y la continuidad en las operaciones.

Estos impactos reflejan el enfoque estratégico del proyecto para abordar los desafíos identificados en la gestión de baterías. La optimización de procesos y la maximización de recursos eficientes no solo mejorarán la eficiencia operativa, sino que también

tendrán un impacto positivo en la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones logísticas de la empresa.

c. Impactos externos

A continuación, se abordarán los posibles impactos externos que puede producir la implementación del proyecto.

- El proyecto permitirá tener un mayor control sobre las baterías observando el sobrante y faltante en las salas, lo que a la vez va a permitir distribuir de mejor forma y no concurrir en gastos evitables de transporte.
- Se podrá solicitar con eficacia al proveedor la cantidad de baterías que han caído al estatus baja y que van a caer a lo largo del año.
- Al utilizar las baterías con mayores rendimientos, se va a necesitar realizar una menor cantidad de cambios y cargas, por lo que va a disminuir la energía requerida en la sala de baterías.

d. Nuevo mapa de proceso

A continuación, se revisará el nuevo mapa de proceso los cambios de batería.

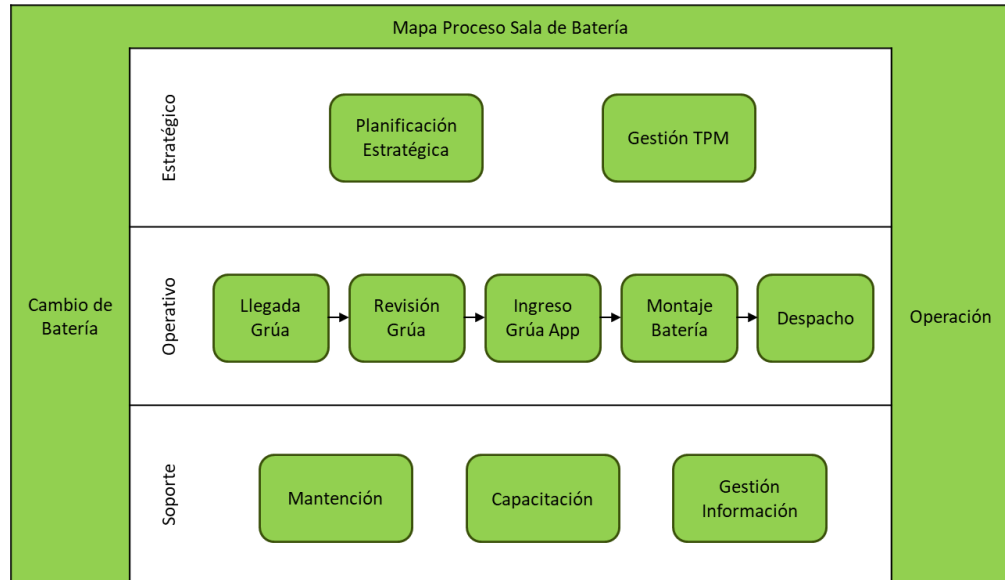


Diagrama 3: Nuevo mapa proceso cambio de batería.

En el diagrama se puede observar que en el proceso de cambio de batería debe haber tres subgrupos de procesos, estratégico, operativo y soporte. Los tres subgrupos serán fundamentales para llevar a cabo la solución.

- **Estratégico:** Crear una planificación a través del scheduling dinámico priorizado y una gestión TPM que permita asegurar la correcta funcionalidad de los equipos logísticos.
- **Operativo:** Proceso que realiza la grúa y los pasos a seguir del operador, donde el ingreso de la grúa en la aplicación es la novedad, ya que arrojará de forma automática la batería a utilizar siguiendo el scheduling priorizado, además de la posición.
- **Soporte:** Va a permitir realizar una correcta mantenimiento de los recursos utilizados en la solución (baterías y aplicación), además de ocuparse de capacitar a la gente involucrada, es decir, ingenieros, analistas de datos y operadores de sala, por último, una correcta gestión de la información va a ser imprescindible para poder detectar fallas y necesidades.

e. Matriz de riesgo

En la evaluación de los riesgos vinculados al proyecto, se implementó una matriz de riesgo que considera el porcentaje de probabilidad de ocurrencia, el porcentaje de impacto dentro del proyecto y el nivel de riesgo, calculado como la multiplicación de ambos factores. Además, se identificaron medidas mitigantes para abordar los riesgos identificados.

Riesgo	Ocurrencia	Impacto	Nivel de Riesgo	Medida Mitigante
Fallo aplicación	3	4	12	Periodo de prueba y ajuste identificando fallas.
Falta de recursos	2	5	10	Reasignación/compra de baterías para permitir que los CD tengan un número adecuado de baterías.
Error humano	3	3	9	Realizar capacitaciones continuas que permitan entender el funcionamiento de la app y el trasfondo.

Tabla 6: Matriz de riesgo.

La matriz opera en una escala del 1 al 5, donde 5 representa el nivel de riesgo más alto tanto para la ocurrencia como para el impacto, indicando una probabilidad casi segura de que ocurra con un impacto significativo. El nivel de riesgo varía de 1 a 25, siendo el resultado de multiplicar la probabilidad de ocurrencia por el impacto⁹. Se destaca que ninguno de los riesgos asociados al proyecto presenta un peligro mayor e irremediable. Sin embargo, se enfatiza la importancia de implementar las medidas mitigantes correspondientes para garantizar el desarrollo sin contratiempos del proyecto.

⁹ Anexo 6: Escala matriz de riesgo.

f. Modelo Matemático

El modelo matemático¹⁰ diseñado es una representación formal de la operación de gestión de baterías, integrando tanto el sistema de scheduling priorizado como el sistema de Warehouse Management System (WMS). Los elementos clave del modelo incluyen:

1. Parámetros

Se identificaron y definieron parámetros relevantes, como la autonomía de cada batería, el tiempo de cambio, la disponibilidad de baterías y otros factores que afectan la toma de decisiones en el proceso de gestión.

2. Conjuntos

Los conjuntos fueron definidos para representar categorías específicas de baterías, estados de carga, y cualquier otro elemento necesario para la formulación del modelo. Esto proporciona una estructura organizada para el análisis.

3. Variables de Decisión

Se introdujeron variables de decisión que representan las elecciones óptimas en la asignación de baterías para maximizar la autonomía y minimizar el tiempo de inactividad.

4. Función Objetivo

La función objetivo fue diseñada para maximizar la autonomía total y minimizar el tiempo dedicado al cambio de baterías. Este objetivo refleja la meta principal de optimizar la eficiencia operativa.

5. Restricciones

Se establecieron restricciones que reflejan las limitaciones del sistema, como la disponibilidad de baterías, la capacidad del área de carga, y cualquier otra condición que deba cumplirse para garantizar la viabilidad del modelo.

Este modelo matemático se integra de manera coherente con la naturaleza de la operación, permitiendo una representación cuantitativa precisa de las decisiones a tomar en la gestión de baterías. La solución propuesta responde directamente a los desafíos específicos identificados en la operación logística y busca optimizar la utilización de las baterías a través de un enfoque inteligente de scheduling y gestión de almacenes.

¹⁰ Anexo 7: Modelo matemático.

7. KPI's Control

a. KPI Principal

El KPI principal total de horas mensuales dedicadas al cambio de baterías se establece como la métrica fundamental para medir el rendimiento y el éxito del proyecto. Este indicador cuantifica de manera precisa el tiempo total dedicado a la actividad de cambio de baterías en los centros CL-8000 y CD-8000.

b. KPI's Secundarios

A continuación se presentan los KPI's de control que van alineados a los objetivos secundarios y permitirán el desarrollo y el éxito del proyecto.

1. Total de Cambios de Baterías

Este KPI proporciona datos cuantitativos sobre la frecuencia de cambios, permitiendo evaluar tendencias y patrones históricos en los tiempos de cambio de baterías en los centros CL-8000 y CD-8000.

2. Número de Baterías Eficientes Identificadas

Mide la identificación de baterías eficientes, cumpliendo con el objetivo de seleccionar aquellas con mayor autonomía.

3. Porcentaje de Uso Eficiente de Baterías

Evalúa la eficacia del plan implementado, al medir qué proporción del tiempo total de operación se utiliza con las baterías identificadas como eficientes.

4. Tiempos de Carga y Descarga Registrados

Relaciona directamente con el objetivo de establecer un sistema de monitoreo continuo, ya que evalúa la precisión y frecuencia con la que se registran los tiempos de carga y descarga.

5. Cumplimiento de Objetivos de Tiempo de Cambio

Mide la efectividad en la reducción de tiempos de cambio, siendo fundamental para ajustar el plan de uso de baterías según los resultados obtenidos del análisis de datos.

Al relacionar estos KPI's con los objetivos secundarios, se establece una conexión clara entre las mediciones cuantitativas y los logros específicos que buscan mejorar la eficiencia y rendimiento de las baterías en los centros CL-8000 y CD-8000.

8. Desarrollo e implementación

a. Planificación

Para poder medir el avance del proyecto y definir cómo se va a proceder, se construyó una carta Gantt.

		Julio				Agosto					Septiembre				Octubre				Noviembre				
Tarea	Duración	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Reconocimiento del Área	1 semana																						
Busqueda de Oportunidades	4 semanas																						
Definición del Proyecto	2 semanas																						
Definición del Alcance y Objetivos	1 semana																						
Aprobación y Comunicación	2 semanas																						
Análisis y Planificación Inicial	2 semanas																						
Identificación de Actividades	2 semanas																						
Estimación de Duración y Recursos	1 semana																						
Asignación de Recursos	1 semana																						
Estado del Arte y Definición de Solución	5 semanas																						
Plan de Ejecución	4 semanas																						
Ejecución y Monitoreo	5 semanas																						
Control y Ajustes	4 semanas																						
Evaluación y Finalización	1 semana																						

Tabla 7: Carta Gantt.

En la tabla anterior se puede observar la carta Gantt del proyecto medido en semanas. Se puede observar que existen tareas destacadas en azul, estas serán los hitos que serán clave para el éxito del proyecto. Hay que destacar que las tareas del proyecto serán en su mayoría realizadas solo por el alumno, sin embargo, para la ejecución y monitoreo será imprescindible el apoyo de los operadores para que el proyecto sea exitoso.

b. Plan de implementación

La implementación del proyecto se llevó a cabo siguiendo un plan detallado y estructurado que abarcó diversos aspectos clave. A continuación, se describen con mayor detalle cada uno de los pasos del plan de implementación:

1. Analizar y evaluar el rendimiento histórico de las baterías:

Se realizó una exhaustiva evaluación del rendimiento de las baterías a lo largo del último año. Este análisis involucró la revisión de patrones y tendencias en el uso de las baterías, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

2. Identificar baterías eficientes:

Fue necesario identificar las baterías que cumplen con los criterios definidos como eficientes por la empresa. Esto se basó en una autonomía mínima de 6 horas. El análisis reveló que actualmente el 74% de las baterías cumplen con este estándar, destacando la importancia de mantener un porcentaje adecuado.

3. Desarrollar e implementar un plan de uso de baterías:

Se diseñó un plan de uso dinámico de las baterías mediante un sistema de scheduling priorizado basado en la autonomía. La implementación de esta solución permitió una gestión más eficiente de las baterías, asegurando su uso óptimo en tiempo real.

4. Establecer un sistema de monitoreo continuo:

Se implementaron KPIs de control para llevar a cabo un monitoreo en tiempo real del proyecto a través de una aplicación. Estos indicadores proporcionaron insights cruciales para analizar patrones y datos, asegurando un funcionamiento óptimo y permitiendo una rápida identificación de posibles problemas.

5. Analizar los datos y realizar ajustes:

Durante esta etapa, se llevaron a cabo análisis periódicos de los datos recopilados. Se corrigieron errores surgidos durante la implementación y se realizaron ajustes necesarios para garantizar la continuidad del proyecto de manera exitosa.

La implementación de este plan no estuvo exenta de desafíos. La coordinación entre equipos internos y la adaptación a nuevas tecnologías fueron aspectos críticos que requirieron una gestión cuidadosa. La continua participación de distintos actores involucrados fue fundamental para superar las complejidades y lograr una implementación exitosa del proyecto, tanto de los operadores de sala, como del área administrativa.

c. Desarrollo

Con respecto al desarrollo de la solución, se desarrolló un software de gestión de inventario en la plataforma Anvil, que funciona en base a un lenguaje de programación Python. Permite realizar cambios de batería en base a todos los criterios definidos anteriormente. La aplicación se encarga de asignar automáticamente la batería a utilizar por la grúa que solicitó el cambio, identificando la posición de esta dentro de la sala y el cargador a utilizar por la batería que va ingresando a la sala, además registra todos los puntos necesarios para evaluar el avance y mejora del proceso de la solución, como lo son la cantidad de cambios, las baterías más eficientes, las nuevas autonomías, etc¹¹.

¹¹ Anexo 8: Foto aplicación cambio de batería.

9. Resultados

En el siguiente punto se podrán observar los resultados tanto cualitativos como cuantitativos de la implementación del proyecto, se debe mencionar que el proyecto lleva un mes de implementación (noviembre).

a. Cualitativos

Los resultados cualitativos del proyecto, centrados en la implementación de un sistema de scheduling priorizado mediante un sistema WMS (Warehouse Management System) para el cambio de baterías, son de gran relevancia para la optimización de las operaciones logísticas en los Centros de Distribución. A continuación, se destacan algunos aspectos cualitativos clave:

- **Estandarización del Proceso**
La implementación del sistema de scheduling priorizado a través de un WMS ha permitido estandarizar el proceso de cambio de baterías en los CD. La uniformidad en la ejecución de las tareas contribuye a una mayor eficiencia y control en las operaciones.
- **Priorización basada en Autonomía**
La priorización de las baterías según su autonomía ha demostrado ser una estrategia eficaz para maximizar el tiempo de operación sin interrupciones. Este enfoque cualitativo asegura que las baterías con mayor capacidad sean utilizadas preferentemente, aumentando el rendimiento operativo.
- **Visibilidad y Monitoreo en Tiempo Real**
La aplicación del WMS proporciona una visibilidad en tiempo real de las métricas relevantes, como la cantidad de cambios realizados y las actualizaciones de autonomía. Este aspecto cualitativo facilita una toma de decisiones informada y la capacidad de realizar ajustes en tiempo real para mejorar la eficiencia.
- **Reducción de Tiempos de Espera**
La implementación del scheduling priorizado ha contribuido a la reducción significativa de los tiempos de espera para el cambio de baterías. Las baterías con mayor autonomía, al ser priorizadas, disminuyen la necesidad de cambios frecuentes, lo que se traduce en una mayor continuidad operativa.
- **Mejora en la Gestión de Recursos**

El sistema de scheduling priorizado, junto con el monitoreo en tiempo real a través del WMS, ha permitido una asignación más eficiente de las baterías, reduciendo la necesidad de reemplazos innecesarios.

- **Adaptabilidad a la Demanda**

La cualidad adaptativa del sistema es clave. La capacidad de ajustar dinámicamente las prioridades asegura una respuesta ágil a los cambios operativos y a las necesidades específicas.

En conjunto, estos resultados cualitativos respaldan la eficacia de la implementación del sistema de scheduling priorizado mediante un WMS para el cambio de baterías en los CD. La estandarización, la priorización inteligente y la adaptabilidad a las condiciones operativas emergen como aspectos clave que contribuyen al éxito del proyecto.

b. Cuantitativos

Se realizó una proyección utilizando una regresión lineal considerando el histórico de un año antes del inicio del proyecto (junio 2022) y proyectando para los siguientes 6 meses (enero 2024 - junio 2024).

i. Total de horas mensuales dedicadas al cambio de baterías

- **CL-8000**

A continuación se observa el gráfico de resultados del proyecto en el CL-8000.

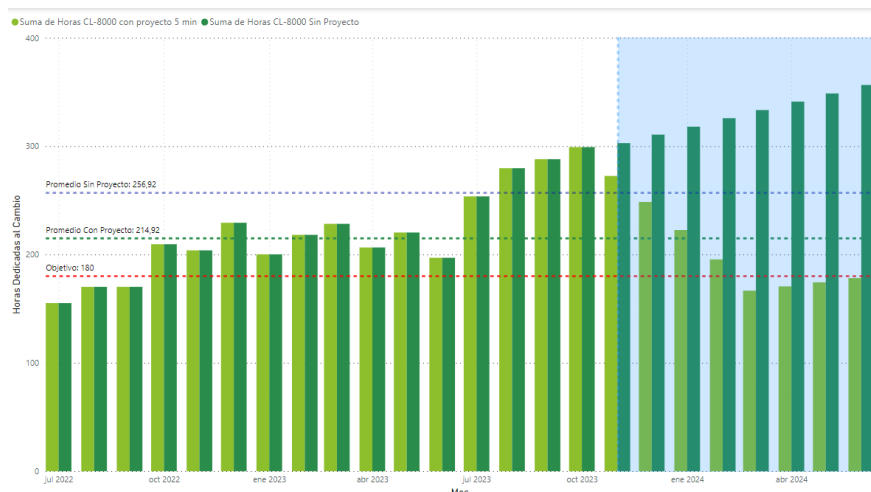


Gráfico 4: Resultados CL-8000.

En el gráfico, se evidencia la efectividad de la implementación del proyecto al reducir las horas dedicadas al cambio, a pesar del continuo aumento en la cantidad de cambios. Aunque el promedio registrado alcanza las 215 horas, quedando 35 horas por encima del objetivo, la comparación con la situación

sin proyecto revela una reducción significativa del 16,3% en las horas promedio dedicadas al cambio.

Se debe realizar una distinción con respecto a cuando se comenzó a implementar el proyecto, por lo que a continuación se puede ver un grafico que muestra el comportamiento dentro del periodo.

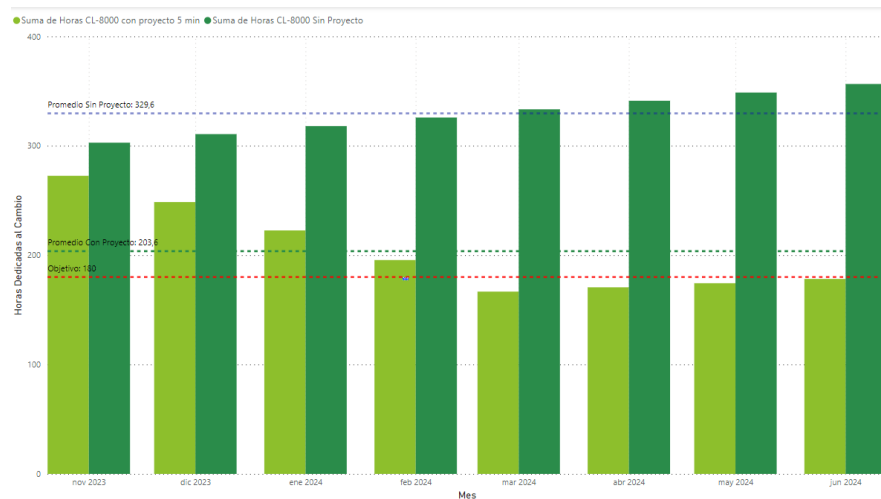


Gráfico 5: Resultados CL-8000 post implementación.

En el gráfico se puede observar que si se considera solo desde que se aplicó el proyecto, alcanza 203,6 horas promedio para cambio, lo cual sigue sin cumplir con el objetivo, sin embargo, si se considera el mismo periodo para la situación sin proyecto, se puede observar una disminución del 36,4% con respecto al promedio.

- CD-8000

A continuación se observa el gráfico de proyección del proyecto en el CD-8000.

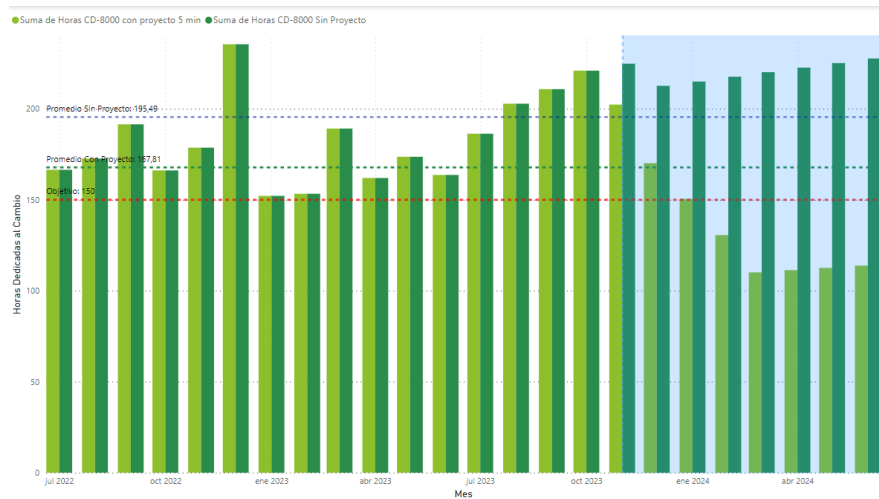


Gráfico 6: Resultados CD-8000

En el gráfico, se evidencia cómo la implementación del proyecto logró reducir las horas dedicadas al cambio, a pesar del continuo aumento en la cantidad de cambios. Aunque el promedio registrado alcanza las 167 horas, quedando 17 horas por encima del objetivo, la comparación con la situación sin proyecto dentro de la proyección revela una disminución del 14,2% en las horas promedio dedicadas al cambio.

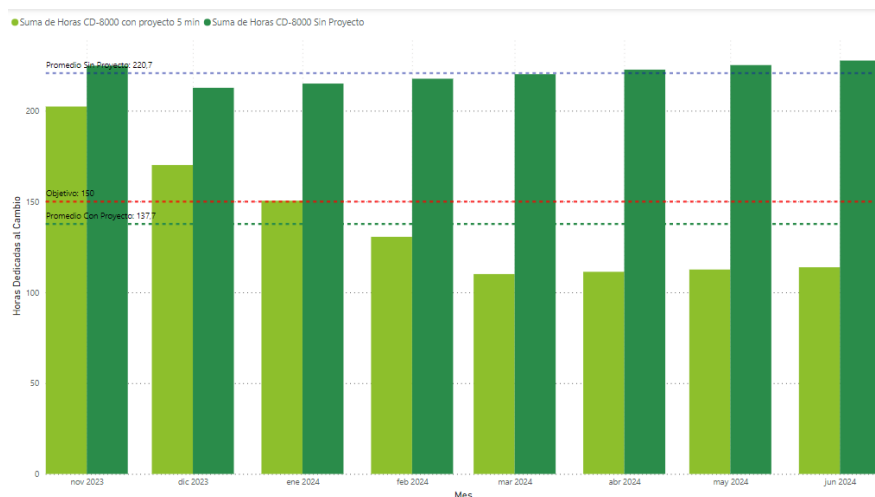


Gráfico 7: Resultados CD-8000 post implementación.

Si se considera solo desde que se aplicó el proyecto, alcanza 137,7 horas promedio para cambio, lo cual cumple con el objetivo y presenta una disminución de un 37,7% con respecto al mismo periodo para la situación sin proyecto.

c. Tiempo de espera

Cuando se analiza la cola en los centros CL-8000 y CD-8000, es esencial considerar el aumento en la tasa de llegada, que alcanza un promedio de 3,57 baterías por hora en el CL-8000 y 2,72 baterías por hora en el CD-8000, desde julio de 2022 hasta la proyección de junio de 2024. Manteniendo constante la tasa de servicio en 6 baterías por hora, se observa cómo varían los indicadores desde el inicio del proyecto.

	CL-8000	CD-8000
Ls	1,47 Bat	0,83 Bat
Lq	0,87 Bat	0,37 Bat
Ws	24,67 min	18,27 Bat
Wq	14,67 min	8,27 min
ρ	0,59	0,45

Tabla 8: Indicadores situación sin proyecto.

Es evidente que todos los indicadores estudiados han experimentado un incremento con respecto al comienzo del proyecto, lo que podría llevar a un colapso en la sala de baterías y a mayores demoras para que la grúa vuelva a operar. No obstante, la implementación de la solución, que implica aumentar la tasa de servicio de 6 a 12 baterías por hora, ha resultado en una reducción significativa en el número de unidades y en los tiempos de espera, esto teniendo en consideración la totalidad de los datos.

	CL-8000	CD-8000
Ls	0,42 Bat	0,29 Bat
Lq	0,13 Bat	0,07 Bat
Ws	7,12 min	6,46 min
Wq	2,12 min	1,46 min
ρ	0,30	0,23

Tabla 9: Indicadores situación con proyecto

La dependencia casi total de los tiempos necesarios para el cambio de batería con respecto al tiempo de servicio resalta la importancia crucial de mantener una tasa de servicio óptima. Dado que la tasa de llegada tiende a aumentar, controlar de manera minuciosa la respuesta operacional de la sala de baterías es esencial para garantizar una eficiencia continua y evitar posibles congestiones en el sistema.

Finalmente, para evaluar la situación desde la implementación del proyecto, se realizará una comparación desde noviembre de 2023 hasta la proyección de junio de 2024, anticipando que las tasas de llegada promedio alcancen las 4,58 baterías por hora para el CL-8000 y 3,07 baterías por hora para el CD-8000.

	CL-8000 sin proyecto	CD-8000 sin proyecto	CL-8000 con proyecto	CD-8000 con proyecto
Ls	3,22 Bat	1,04 Bat	0,62 Bat	0,34 Bat
Lq	2,46 Bat	0,53 Bat	0,24 Bat	0,09 Bat
Ws	42,2 min	20,45 min	8,08 min	6,72 min
Wq	32,2 min	10,45 min	3,08 min	1,72 min
ρ	0,76	0,51	0,38	0,26

Tabla 10: Indicadores situación sin y con proyecto desde implementación.

Es evidente que el aumento en la tasa de servicio ha mejorado drásticamente la situación en comparación con la ausencia del proyecto. Además, se destaca que, a pesar del significativo aumento en la tasa de llegada, no tiene un impacto importante en los tiempos y en la cantidad de unidades en el sistema. Específicamente, se logró reducir en un 81% el tiempo promedio que las grúas pasan en el sistema en el CL-8000 y en un 67% en el CD-8000. Este logro se atribuye principalmente a la drástica disminución de un 90% para CL-8000 y 84% para CD-8000 en la cola generada en el sistema.

d. Prueba significancia¹²

Para evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de cambio de baterías en los centros CL-8000 y CD-8000, antes y después de implementado el proyecto, se realizó una prueba ttest. Para el CL-8000, la estadística t de 2,6618 y el valor p de 0,0159 indican que existe una diferencia significativa en los tiempos de cambio, siendo menores en el CL-8000 en comparación con la muestra de referencia. En el caso del CD-8000, la estadística t de 3,75399 y el valor p extremadamente bajo de 0,0011 sugieren una diferencia aún más significativa, indicando tiempos de cambio sustancialmente menores en comparación con la muestra de referencia. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la implementación del proyecto ha tenido un impacto significativo en la reducción de los tiempos de cambio de baterías en ambos centros.

¹² Anexo 9: Prueba de significancia ttest.

10. Conclusiones

En conclusión, la implementación efectiva del proyecto ha representado un avance significativo hacia la optimización de las operaciones logísticas de la empresa. El modelo desarrollado ha cumplido con éxito las expectativas al mejorar de manera notable los tiempos de respuesta en el cambio de baterías y reducir las horas dedicadas a esta tarea. La disminución del tiempo entre la situación con y sin proyecto resalta la eficacia de la solución, sentando las bases para futuras expansiones en los centros de distribución del país.

Es importante destacar que el no cumplimiento total del objetivo en el CL-8000 no debe interpretarse como un fracaso, dado el desafío inherente a la meta, especialmente considerando el aumento reciente en los cambios de batería. Se espera una significativa disminución en comparación con la situación sin proyecto, lo cual se percibe como un avance positivo.

Similarmente, en el CD-8000, aunque no se alcanza el objetivo si se considera el periodo anterior a la implementación, se observa una disminución en el promedio del tiempo dedicado al cambio. Por otro lado, si se considera el periodo post implementación, se cumple el objetivo, lo que beneficia la operación y se considera un éxito en este centro.

Por otra parte, es importante destacar que al incrementar los tiempos de respuesta del sistema, se brinda a la sala la capacidad de reducir la congestión y las colas, lo que, a su vez, amplía el tiempo de operación y contribuye a una disminución más significativa en los tiempos dedicados al cambio de batería.

La proyección del proyecto a nivel nacional promete beneficios adicionales al facilitar una observación detallada de los sobrantes y faltantes de baterías en cada centro de distribución. Esto mejorará la gestión de recursos y la continuidad operativa.

A pesar de los éxitos alcanzados, es crucial reconocer que el proyecto llegará a un punto de estabilización en la disminución de horas dedicadas al cambio de baterías. Este estancamiento no implica un retroceso, sino la consolidación de mejoras. El proyecto se situará en una línea de eficiencia sostenible, donde la continuidad operativa y la gestión óptima de recursos se mantendrán en equilibrio. Mantener una vigilancia constante sobre las necesidades de baterías y los recursos disponibles garantizará la sostenibilidad a largo plazo de los beneficios y permitirá la adaptabilidad continua a las dinámicas del entorno empresarial.

La aplicación exitosa de herramientas de gestión de operaciones avanzadas, optimización, programación y formulación y evaluación de proyectos ha sido clave para el desarrollo y éxito del proyecto. La habilidad para modelar y resolver problemas operativos, junto con la capacidad de utilizar datos históricos para analizar comportamientos y tomar decisiones

informadas, ha contribuido significativamente a la identificación y solución de problemas reales, impactando positivamente en la eficiencia de la empresa.

11. Referencias

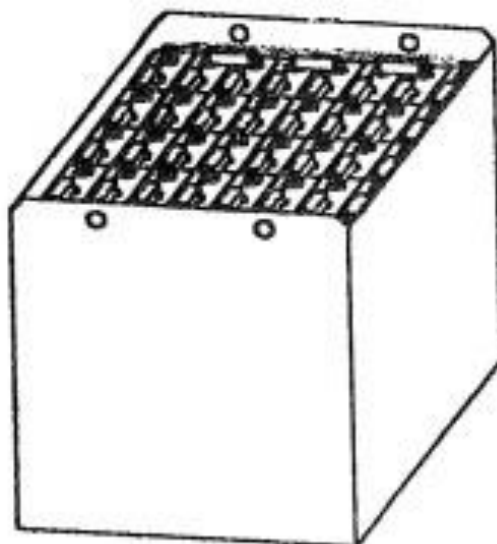
1. Qianru Lv, Xuyan Jiang, Xiangrui Yang. (2023). Making programmable packet scheduling time-sensitive with a FIFO queue. Hunan, China.
2. Anas M. Atieh, Hazem Kaylani, Yousef Al-abdallat, Abeer Qaderi, Luma Ghoul, Lina Jaradat, Iman Hdairis. (2016). Performance improvement of inventory management system processes by an automated warehouse management system. Ammán, Jordania.
3. H.C. Carvalho, L.H. Silva, J. J. P. Z. S. Tavares. (2013). Automated Planning Applied in Inventory Management. Fortaleza, Brazil.
4. Technical White Paper, Warehouse Management in Microsoft Dynamics NAV 2013.

12. Anexos

1. Grúa horquilla



2. Batería plomo-ácido



3. Centro Cervecera



4. Prueba normalidad (Shapiro-Wilk)

a. CL-8000

```
1 import pandas as pd
2 from scipy import stats
3 datos = pd.read_excel('/content/Normalidad y TTest.xlsx')
4 valores = datos['N° Cambios CL-8000']
5 stat, p = stats.shapiro(valores)
6 print(f'Estadística de prueba (W): {stat}')
7 print(f'Valor p: {p}')
```

b. CD-8000

```
1 import pandas as pd
2 from scipy import stats
3 datos = pd.read_excel('/content/Normalidad y TTest.xlsx')
4 valores = datos['N° Cambios CD-8000']
5 stat, p = stats.shapiro(valores)
6 print(f'Estadística de prueba (W): {stat}')
7 print(f'Valor p: {p}')
```

Este código en Python carga datos desde un archivo Excel y utiliza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar si la columna 'N° Cambios CL-8000' y 'N° Cambios CD-8000' sigue una distribución normal. La estadística de prueba (W) y el valor p se imprimen para ayudar a interpretar la normalidad de los datos. En el caso de la estadística de prueba (W), se busca cercanía a 1, y para el valor p, un valor alto indica normalidad. Estos resultados se utilizan para decidir si es apropiado aplicar análisis estadísticos que asumen normalidad en los datos.

5. Formula VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

F_t = Flujo de caja neto en el periodo t
 k = Costo de capital de CCU
 I_0 = Inversión inicial

6. Escala matriz de riesgo

1	2	3	4	5
2	4	6	8	10
3	6	9	12	15
4	8	12	16	20
5	10	15	20	25

7. Modelo matemático

a. Parámetros

$B_{i,j,m}$: Cantidad de baterías i en el centro de distribución k para el inicio del mes m .

$E_{j,k,m}$: Cantidad de equipos j en el centro de distribución k para el inicio del mes m .

A_i : Autonomía para la batería i .

$C_{i,k,m}$: Cambios de batería i en el centro de distribución k para el mes m .

T : Tiempo que demora en cambiar la batería.

$O_{i,k,m}$: Cantidad de baterías i que se dan de baja en el centro de distribución k para el final del mes $m - 1$

$S_{i,k,m}$: Cantidad de baterías i que ingresan en el centro de distribución k para el final del mes $m - 1$

$L_{j,k,m}$: Cantidad de equipos j que se dan de baja en el centro de distribución k para el final del mes $m - 1$

$F_{j,k,m}$: Cantidad de equipos j que ingresan en el centro de distribución k para el final del mes $m - 1$

b. Conjuntos

i : Conjunto de baterías con $i \in \{1, \dots, n\}$

j : Conjunto de centros de distribución con $j \in \{1, 2\}$

m : Conjunto de meses $\in \{1, \dots, 12\}$

c. Variables de decisión

- Asignación de Baterías a Equipos

Variable binaria $x_{i,j,t}$ que indica si la batería i se asigna al equipo j en el período de tiempo t .

- Orden de Cambio de Baterías

Variable entera $y_{i,t}$ que representa el orden en el que se cambiarán las baterías i en el período de tiempo t .

- Disponibilidad de Baterías

Variable binaria $z_{i,t}$ que indica si la batería i está disponible en el período t .

d. Función Objetivo

En el siguiente punto se observa la función objetivo del modelo de la solución. La fórmula busca minimizar la multiplicación de la cantidad de cambios de la batería i en el centro de distribución k en el mes m con el tiempo que demora cada cambio de batería, para todas las baterías y los dos centros de distribución.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^2 C_{i,k,m} \times T$$

e. Restricciones

- Unicidad de los equipos: Todos los equipos tienen una sola batería asignada a la vez.

$$\sum_i x_{i,j,t} = 1$$

- Orden de cambio de baterías: Asegura que el orden de cambio de baterías sea coherente. Para cada batería i y periodo de tiempo t , se garantiza que el orden de cambio de baterías avanza o se mantiene constante con el tiempo, evitando retrocesos.

$$y_{i(t+1)} \geq y_{i,t} \quad \forall i \text{ y } t$$

- Inventario baterías: Considera el inventario actual de baterías i en el centro de distribución k al inicio del mes m .

$$B_{i,k,m} = B_{i,k,m-1} + S_{i,k,m-1} - O_{i,k,m-1}$$

- Inventario equipos: Considera el inventario actual de equipos j en el centro de distribución k al inicio del mes m .

$$E_{j,k,m} = E_{j,k,m-1} + F_{j,k,m-1} - L_{j,k,m-1}$$

- Disponibilidad de baterías: Esta restricción controla la disponibilidad de las baterías en función de su estado de carga. Específicamente, para cada batería i y período de tiempo t , se asegura que una batería está disponible en un periodo t si no ha sido asignada a ningún equipo en periodos anteriores.

$$z_{i,t} = 1 - \sum_{t' < t} x_{i,j,t'} \quad \forall i \text{ y } t.$$

- Naturaleza de las variables: Esta restricción se encarga de definir la naturaleza de las variables de decisión.

$x_{i,j,t} \in \{0,1\}$, 1 si batería i se asigna al equipo j
en el tiempo t , 0 si no.

$z_{i,t} \in \{0,1\}$, 1 si la batería i está disponible en el tiempo t ,
0 si no esta disponible.

8. App cambio de batería



Esta es la parte principal de la aplicación que aporta al proyecto, ya que ingresando el código de la grúa automáticamente asigna la batería que estaba utilizando a un cargador vacío y arroja la batería a utilizar siguiendo los criterios del proyecto..

9. Validación de datos (ttest)

```
import pandas as pd
from scipy import stats

# Cargar tus datos desde un archivo Excel
datos = pd.read_excel('/content/Normalidad y TTest.xlsx')

# Seleccionar las columnas de interés para comparar (por ejemplo, 'Columna_A' y 'Columna_B')
columna_a = datos['N° Cambios']
columna_b = datos['Ttest']

# Eliminar valores NaN
columna_a = columna_a.dropna()
columna_b = columna_b.dropna()

# Verificar si hay suficientes datos para realizar la prueba
if len(columna_a) < 2 or len(columna_b) < 2:
    print('No hay suficientes datos para realizar la prueba t.')
else:
    # Realizar la prueba t de Student
    t_statistic, p_value = stats.ttest_ind(columna_a, columna_b)

    # Imprimir los resultados
    print(f'Estadística t: {t_statistic}')
```



```
print(f'Valor p: {p_value}')

# Interpretar los resultados
if p_value < 0.05: # Usando un nivel de significancia común del 5%
    print('Hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, los resultados son estadísticamente
significativos.')
else:
    print('No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, los resultados pueden
deberse a la variabilidad aleatoria.')
```

Con el código anterior de python fue posible comprobar que existe evidencia estadística de que la implementación del proyecto tuvo una incidencia real en la operación y no fue un evento aleatorio.