



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO, ENTREGA  
Y RECEPCIÓN DE HERRAMIENTAS EN MRO  
DE AVIANCA S.A.**

Autor  
Daniel Felipe Lezcano Ríos

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería  
Mecánica  
Medellín, Colombia  
2019



OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO, ENTREGA Y RECEPCIÓN DE HERRAMIENTAS EN  
MRO DE AVIANCA S.A.

Daniel Felipe Lezcano Ríos

Informe de práctica como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Mecánico

Asesores

Juan Carlos Orrego Barrera, Ingeniero Mecánico

Juan Esteban Marín Betancur, Ingeniero Aeronáutico

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica  
Medellín, Colombia  
2019

## CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	4
2.	INTRODUCCIÓN .....	5
3.	OBJETIVOS.....	6
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	6
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
4.	LÍNEA DE TIEMPO .....	6
5.	MARCO TEÓRICO .....	7
5.1	¿Qué es y cómo se administra un almacén de herramientas?.....	7
5.2	Planificación y organización del almacén .....	8
5.3	Costos de administración.....	9
5.4	Flujo de almacenaje .....	10
5.5	Indicadores de desempeño KPI's.....	11
5.6	Punto de stock de reorden .....	11
6.	DESARROLLO DEL TRABAJO .....	12
6.1	ANÁLISIS DEL FLUJO DE HERRAMIENTAS .....	12
6.2	ESTARNTERÍA HERRAMIENTAS .....	24
6.3	DISPONIBILIDAD DE HERRAMIENTAS .....	29
7.	CONCLUSIONES .....	32
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

## 1. RESUMEN

El proyecto de herramientas en el MRO, nació del proyecto de abastecimiento de materiales y herramientas, donde se encontró la necesidad de analizar el comportamiento interno de los almacenes, debido a que una serie de inconvenientes con respecto a la planeación del día a día en la ejecución de los trabajos de mantenimiento, se presentaban debido a falencias en los procesos internos de almacén y a la falta de manejo de la información y carencia de algunos indicadores importantes.

Lo primero que se hizo fue precisamente medir la dinámica o el comportamiento interno del almacén y el manejo de los pedidos de herramientas, mediante un modelo estadístico de teoría de colas, además, analizar y obtener indicadores de las referencias solicitadas. Luego de medir y analizar, teniendo claridad del flujo de herramientas y acotadas las horas críticas, se proponen mejoras para la taquilla de herramientas en cuanto al layout y el procedimiento, además de los hallazgos que dejan las mediciones.

Una de las falencias encontradas fue en el procedimiento de retorno de herramientas a stock, donde se estaban generando constantemente confusiones y pérdidas de herramientas dentro del almacén, entonces se hicieron cambios en el procedimiento y se diseñó una estructura de apoyo para dichas herramientas y para reubicar las linternas.

Con respecto al inventario de herramientas, no se tenía ningún modelo de análisis, los ajustes y las compras se manejaban empíricamente, además, no se tenían indicadores de demanda y disponibilidad. Por lo tanto, se dio inicio a la obtención de estos indicadores, fundamentales para estimar el inventario y tener una visión real de la disponibilidad de todas las herramientas en el MRO. Con esta información, se vio la complejidad de calcular inventarios, debido a las características de reabastecimiento y variación de stock del almacén de herramientas. Posterior a esto, se ajustó un modelo de análisis individualizado de punto de stock de reorden, que involucra principalmente la demanda, la desviación estándar de la demanda, los criterios o factores de disponibilidad y un stock de seguridad. A partir de este modelo, se propone una inversión de capital en herramientas para ajustar el stock de las herramientas más críticas, teniendo en cuenta la frecuencia con la que no están disponibles y la disponibilidad como tal.

Este modelo de análisis es el comienzo y la raíz del objetivo a largo plazo de poder planear efectivamente las herramientas que se abastecen día a día en las líneas de mantenimiento.

## 2. INTRODUCCIÓN

Para ejecutar una tarea de mantenimiento mayor en una aeronave, se requiere mano de obra técnica, materiales y herramientas, que deben llevar una trazabilidad y manejo impecable, debido a los altos índices de confiabilidad y seguridad que se rige en la aviación. Por tal motivo, se tiene un almacén de herramientas encargado de custodiar, controlar, asignar y retornar los equipos necesarios para cada trabajo, asegurando que el avión se encuentra libre de herramientas, equipos o cualquier otra parte o material al terminar un trabajo, que pueda generar un daño causado por elementos extraños (FOD).

Actualmente, se está adelantando un procedimiento de abastecimiento de materiales y herramientas, que tiene como objetivo garantizar los recursos necesarios y ser puestos en el momento oportuno en las líneas de trabajo, con el fin de optimizar la ejecución y mitigar la necesidad que tienen los técnicos de reservar, reclamar y retornar en los almacenes.

Con el fin de conocer cómo se comporta el almacén de herramientas, se midió diversos factores, principalmente en los momentos críticos, con el propósito de saber cuantitativamente los tiempos, recursos empleados en taquilla, las herramientas de mayor circulación y su ubicación dentro del almacén, relacionándolos con el tipo de servicio y su respectivo progreso, para posteriormente analizar los datos y proponer mejoras, implementarlas y evaluarlas.

Las mejoras estarán enfocadas en el procedimiento de entrega y recepción de las herramientas en taquilla, disminuyendo el tiempo de los procesos y aumentando la trazabilidad y stock de las herramientas, al caracterizar las horas críticas, estimar numéricamente los recursos necesarios e implementar la lectura por código de barras para el retorno.

Con respecto a la planeación de las herramientas, actualmente el almacén pertenece al holding de Avianca, implicando una rotación de los artículos por las diferentes bases de mantenimiento, además, hay herramientas calibrables que tienen un control especial y tiempos de reabastecimiento variables, lo que dificulta la estimación del inventario ideal. Sin embargo, recopilando información e indicadores de demanda histórica, donde se tiene registro de las veces que no estuvo disponible una herramienta, se puede saber la disponibilidad y su variación en el tiempo, además de la desviación estándar de la demanda y el stock actual, información suficiente para implementar un modelo matemático que se acerque lo mejor posible a las necesidades reales de inventario y disponibilidad, a la vez que proporciona indicadores del comportamiento de las herramientas.

### 3. OBJETIVOS

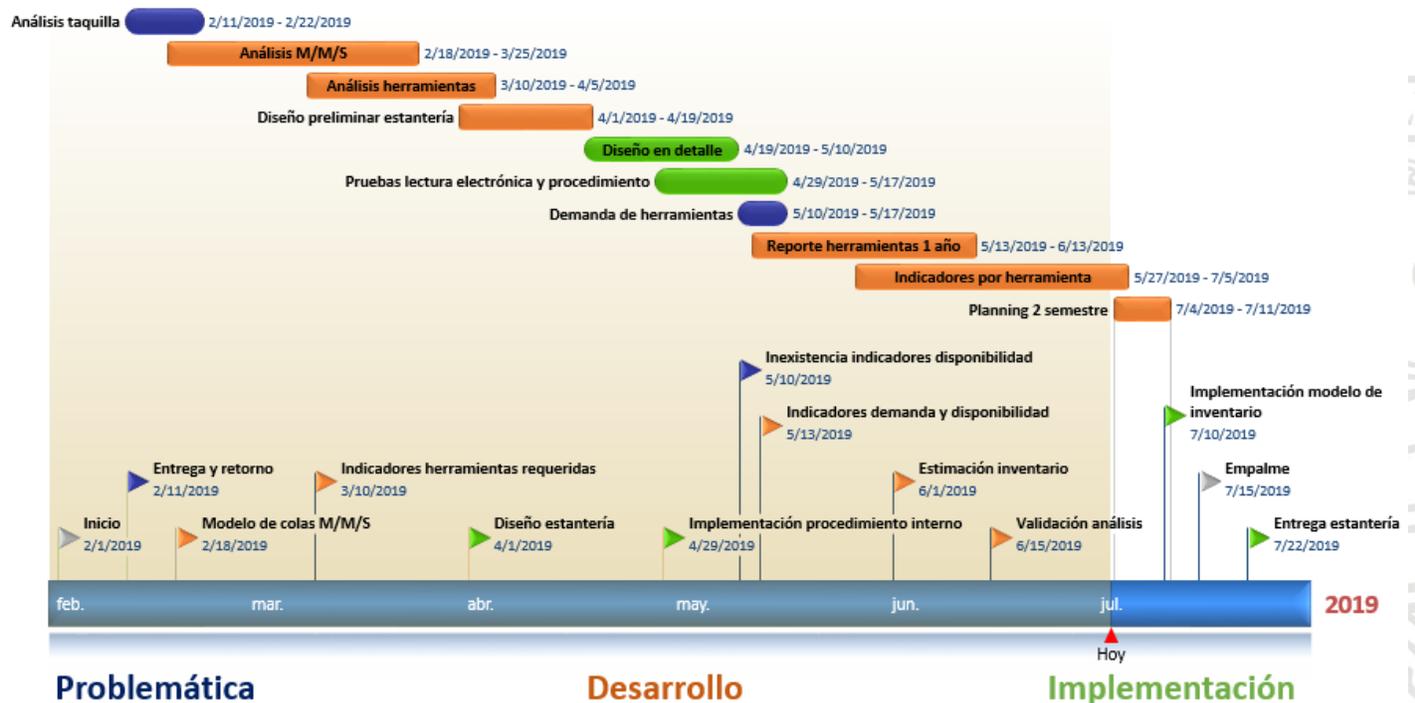
#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer el inventario y planificar las herramientas para el abastecimiento de servicios mayores en el MRO.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener indicadores del almacén.
- Optimizar los procedimientos de entrega y retorno en taquilla.
- Diseñar elementos o estructuras que apoyen los procedimientos.
- Obtener indicadores de demanda y disponibilidad.
- Desarrollar modelo de análisis de inventario y planeación de herramientas.

### 4. LÍNEA DE TIEMPO



Grafica 1. Línea de tiempo proyectó herramientas.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 ¿Qué es y cómo se administra un almacén de herramientas?

A medida que pasan los años y evoluciona el fenómeno logístico, el concepto de almacén ha ido variando y ampliando su ámbito de responsabilidad. El almacén es una unidad de servicio y soporte en la estructura orgánica y funcional de una empresa comercial o industrial con objetivos bien definidos de resguardo, custodia, control y abastecimiento de materiales, herramientas o productos. El almacén de herramientas es un lugar responsable de guardar, controlar y conservar en condiciones óptimas de utilización las herramientas. Estos almacenes son primordiales para el sistema logístico de una organización; fundamentales para las etapas de flujo de herramientas, desde su origen, hasta la entrega del último usuario.

La gestión del almacén, es un proceso de la función logística que trata la recepción, almacenamiento y movimiento de cualquier herramienta, dentro de un mismo almacén, hasta las líneas de utilización, así como también, el tratamiento e información de los datos generados de reservas o pedidos [1].

La correcta gestión de un almacén de herramientas, conlleva a reducir los costos de almacén y acelerar el servicio de atención en el proceso de gestión de pedidos. Se optimizan las operaciones del almacén proporcionando datos de inventario precisos y transparentes que reducen las tareas administrativas y permite optimizar la distribución del almacén y la utilización del espacio.

La administración de un almacén de herramientas es compleja y es por ello que debe ser estudiada analíticamente. la dirección de la empresa tiene que examinar el problema del almacenaje según dos aspectos esenciales: El que se refiere a su estructuración, su emplazamiento, sus dependencias, e identificar las exigencias de coordinación con las distintas áreas de la empresa y el que atañe a la organización de su funcionamiento como tal, que se centra en la fijación de los procedimientos y prácticas para la marcha del almacén.

La manera de organizar un almacén de herramientas depende de varios factores tales como, tamaño y plano de organización, el grado de descentralización, la variedad y cantidad de herramientas, la facilidad de manufactura o compra, la demanda y la programación de los servicios. Sin embargo, para proporcionar un servicio eficiente, las siguientes funciones son comunes a todo tipo de almacén de herramientas:

- Registro de entradas y salidas del almacén.
- Recepción de herramientas.
- Almacenamiento.
- Mantenimiento de herramientas y del almacén.
- Despacho.

Coordinación de los recursos del almacén y con las áreas de control de inventario y planeación. Todo esto es necesario para regular y compensar la oferta y la demanda. Implica la adecuación entre cantidades compradas, vendidas o alquiladas. Las decisiones sobre almacenamiento afectan a la determinación del número, localización, tipo y características de los almacenes para atender la demanda [2].

## 5.2 Planificación y organización del almacén

La planificación y organización es un aspecto estratégico, dado que tiene que dar soluciones de recursos en unión con las políticas y objetivos generales que maneja la compañía, a fin de potenciar las ventajas competitivas por las que apuesta la misma. Dentro de las actividades se encuentran:

- **Diseño de la red de distribución de la compañía:** Es la planificación y ubicación estratégica de los almacenes y centros de distribución de manera que permitan gestionar el flujo desde uno o más orígenes hasta el cliente. Requiere considerar una cantidad significativa de elementos: Número de almacenes, las ubicaciones, la propiedad de la gestión o el tamaño de los mismos.
- **Responsabilidades de la Gestión de Almacenes:** Una vez se ha diseñado la red de distribución se procede a determinar si se autogestionará el almacén o si se subcontratará. La gestión propia presenta un mayor grado de control y menos costos a largo plazo, pero condiciones financieras críticas a corto plazo y carencia de flexibilidad. Por otro lado, la subcontratación permite conservar el capital, los riesgos son reducidos, mayor flexibilidad y ventajas fiscales, pero conlleva a mayores problemas de comunicación, carencia de procesos más especiales y mayor costo a largo plazo.
- **Ubicación:** Se recomienda que la localización de los almacenes se aborde desde un enfoque con doble perspectiva, una visión general del mercado para acogerse geográficamente a un área amplia, y una visión local del mercado, que contemple aspectos particulares de las zonas acotadas en la visión general. Históricamente, se ha abordado el tema de la localización de almacenes mediante varios métodos matemáticos, sin embargo, los factores no son meramente cuantitativos y existe una gran cantidad de criterios cualitativos que redundan en el plano financiero.
- **Tamaño del almacén:** El tamaño de un almacén hace referencia al volumen general de la locación en función de las tres dimensiones correspondientes. Determinar el volumen necesario en un almacén es una tarea básica. Un almacén debe ser dimensionado principalmente en función de las herramientas a almacenar, tamaño, cantidad de referencias, demanda, sistemas de manipulación y almacenaje, oficinas necesarias, layout de existencias y niveles de atención. Es importante la consideración de las tres dimensiones para determinar la capacidad del almacén, es decir, determinar la magnitud en función de metros cúbicos.
- **Diseño y Lay-out del almacén:** Luego de que los tipos de almacenes y sus ubicaciones han sido estudiados, se debe trabajar en conseguir el flujo de herramientas más eficiente y efectivo dentro de los almacenes. En este sentido, un diseño efectivo optimiza las actividades de un almacén. Especialistas en logística han identificado dos fases para diseñar un almacén: Diseño de la

instalación (continente) y diseño de la disposición de los elementos que decoran el almacén; el layout (contenido). En cuanto al layout, corresponde a la disposición de los elementos dentro del almacén y debe asegurar el modo más eficiente para manejar las herramientas que se dispongan. Cuando se realiza el layout de un almacén, se debe considerar la estrategia de entradas y salidas, y el tipo de almacenamiento más efectivo, dadas las características de los productos, el método de transporte interno, la rotación de las herramientas, el nivel de inventario a mantener, el embalaje y pautas propias de la preparación de pedidos.

- Dimensionamiento: Es tal vez el factor más importante en el diseño de una instalación de almacenamiento y una de las decisiones más críticas que se asume en la gestión del almacén, ya que esto restringe las operaciones que se pueden ejecutar en el mismo. Realizar una modificación en el diseño interior del almacén es relativamente sencillo, comparado con una modificación que afecte la dimensión externa de la locación [3].

Existe una serie de principios al momento de realizar la distribución en campo de un almacén de herramientas:

- Los artículos de más movimiento deben ubicarse cerca de la salida para reducir el tiempo de desplazamiento.
- Los artículos pesados y difíciles de transportar deben localizarse de tal manera que minimicen el trabajo que se efectúa al desplazarlos y almacenarlos.
- Los espacios altos deben usarse para artículos predominantemente ligeros y protegidos.
- Las herramientas peligrosas o sensibles al agua y al sol pueden almacenarse en algún anexo, en el exterior del edificio del almacén.
- Deben dotarse de protecciones especiales a todos los artículos que lo requieran.
- Todos los elementos de seguridad y contra incendios deben estar situados adecuadamente en relación a los materiales almacenados.
- Cada herramienta dentro del almacén debe tener una codificación y ubicación única, ya sea por estantería o por pasillo.

### 5.3 Costos de administración

Algunos costos pueden variar según la empresa, pero existen clasificaciones generales que se pueden utilizar para identificar diferentes gastos en un almacén de herramientas.

Espacio e instalaciones: Los costos de espacio son los relacionados al lugar físico donde se establece el almacén, incluyendo alquileres, impuestos, seguros, obras de mantenimiento, amortizaciones y financiamiento. Los costos de instalaciones apuntan a la colocación de elementos fijos como estanterías, bancos o puntos de trabajo.

Recursos: son los relacionados al manejo de las herramientas que se encuentran en el almacén, tanto el capital humano como el técnico. Dentro de estos gastos se incluye al personal que trabaja dentro del almacén, la compra de los equipos de traslado y elevación del stock y las unidades de carga.

Administración: Estos costes se derivan de la gestión misma del almacén, personal administrativo, con sus sueldos, materiales de oficina, seguridad social y otros gastos de administración que vayan surgiendo.

Costos de operación: Agua, gas, luz, electricidad, gastos de mantenimiento de elementos de manutención, manipulación y de los sistemas de información.

Costo de capital de inversión en herramientas: Inversión inicial de los elementos a custodiar, asignar y controlar.

Costos ocultos o inesperados: Surgen en actividades como inventario, distribución, aprovisionamiento, obsolescencia o cuando se pierden o estropean herramientas inesperadamente [4].

#### 5.4 Flujo de almacenaje

El flujo rápido de la herramienta que entra, para que esté libre de toda congestión o demora, requiere de la correcta planeación del área de recepción. La recepción es el proceso de planificación de las entradas de unidades, descarga y verificación tal y como se solicitan mediante la actualización de los registros de inventario.

El objetivo al que debe tender una empresa en su proceso de recepción de herramientas es la automatización tanto como sea posible para eliminar o minimizar burocracia e intervenciones humanas que no añaden valor al proceso.

Tras la descarga e identificación de las herramientas, las cuales deben realizarse de manera inmediata y en zona específica habilitada a tal efecto, estas deben pasar a almacenamiento, bien sea temporal a la espera de su ubicación definitiva o en su ubicación definitiva. El almacenamiento es el subproceso operativo concerniente a la guarda y conservación con los mínimos riesgos para las herramientas, las personas y la compañía, optimizando el espacio físico del almacén. El almacén puede dividirse en diferentes zonas:

Taquilla. Zona donde se realizan las actividades de entrega, retorno e inspección de herramientas.

Almacenamiento, reserva o stock: Destino de las herramientas almacenadas, incluye zonas específicas de stock para herramientas especiales, devoluciones, etc.

Salida o consolidación: Donde se produce la expedición y salidas de herramientas por transferencia o mantenimiento.

Paso, maniobra: Zonas destinadas al paso de personas y máquinas, permitiendo la total maniobrabilidad de las máquinas.

Oficinas o escritorios: Ubicación de puestos de trabajo auxiliares a las operaciones propias del almacén.

**Movimiento:** Es un subproceso del almacén relacionado al traslado de las herramientas de una zona a otra de un mismo almacén o desde la zona de recepción a la ubicación de almacenamiento. Se puede lograr por diferentes medios, utilizando una gran variedad de equipos de manipulación de herramientas. El tipo de máquinas utilizado depende de factores como volumen del almacén, de las mercancías, costo de los equipos, cantidad de manipulaciones requeridas y distancia de los movimientos.

**Información:** La función principal de la gestión de almacenes de herramientas es la eficiencia y efectividad en el flujo físico, pero su consecución también está a expensas del flujo de información, este es un eje transversal de los procesos de gestión logística y se extiende a todos los procesos anteriormente descritos, planificación, organización, recepción, almacén y movimiento; desarrollados en paralelo por tres vías: información para la gestión, identificación de ubicaciones e identificación y trazabilidad de las herramientas. Con respecto a la información para la gestión se tiene: Configuración del almacén (lay-out), datos técnicos de las herramientas, informes de actividad de dirección, evolución de indicadores, procedimientos de trabajo, perfiles y requisitos de los puestos y registros de las actividades diarias [1].

### 5.5 Indicadores de desempeño KPI's

La métrica es muy importante para el funcionamiento de una organización, permiten evaluar el desempeño y resultado en los procesos de recepción, almacenamiento, inventarios, despachos, distribución, entregas y flujos de información de las herramientas. Es indispensable que en todo almacén de herramientas se desarrollen habilidades alrededor del manejo de los indicadores de gestión logística, con el fin de poder utilizar la información resultante oportunamente y tomar decisiones [5].

### 5.6 Punto de stock de reorden

El punto de stock de reorden es la cantidad mínima de existencia de un artículo. Este término se refiere al nivel de inventario que activa una acción para reponer ese inventario en particular.

Si el proceso de compra y el reabastecimiento funcionan según lo planificado, el punto de reorden debería dar como resultado que la reposición del inventario llegue lo más justo posible antes de que se agote el artículo. Así, no se interrumpen las actividades de producción, mientras se minimiza la cantidad total de inventario disponible.

Se debe reabastecer antes que se agote el inventario, pero sin estar sobredimensionado el stock, ya que se gastará más por almacenar estos artículos en exceso.

Establecer el punto de stock permite reducir los gastos de inventario, al igual que garantiza que siempre haya disponibilidad del artículo, incluso cuando las cosas cambien inesperadamente [6].

El stock se calcula tomando en consideración la cantidad del artículo necesaria para cubrir una variación de la demanda y un riesgo de llegada al almacén. El punto de reorden puede ser diferente

para cada artículo de inventario, ya que los artículos pueden tener una demanda diferente y pueden requerir de tiempos de espera de reabastecimiento diferentes de llegada al almacén. En este orden de ideas, los parámetros a tener en cuenta son la demanda promedio diaria, la desviación estándar de la demanda, el tiempo promedio de entrega, la desviación estándar del tiempo promedio de entrega y el coeficiente de seguridad (0 a 4). Las estimaciones se basan en promedios, a pesar de considerar las desviaciones estándar, por tanto, la demanda en un momento dado puede estar por encima o por debajo de su nivel promedio. [7].

## 6. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 6.1 ANÁLISIS DEL FLUJO DE HERRAMIENTAS

#### TEORÍA DE COLAS

Inicialmente, se planteó un modelo estadístico para calcular diversas variables desconocidas por parte del almacén de herramientas, principalmente en las horas pico, como la tasa de llegada de técnicos, la capacidad de atención de los almacenistas, la probabilidad de llegada de los pedidos, el tiempo en fila y siendo atendidos, la cantidad de operaciones en las horas pico, las horas hombre reales de los técnicos invertidas en prestar las herramientas, entre otros datos, que ayudan a conocer con mayor certeza la capacidad y posibles necesidades del almacén, además de poder predecir matemáticamente condiciones futuras o simular situaciones críticas con un mayor o menor número de almacenistas.

Debido a que en el almacén generalmente hay 2 almacenistas en horas pico atendiendo en paralelo, a veces 3 y en casos especiales 1, se empleó el modelo de teoría de colas M/M/s, que consta de los siguientes parámetros principales:

$s = \text{número de servidores}$

$\lambda = \text{media de llegada de las personas} = [Tecn/h]$

$\mu = \text{media de atención por servidor} = [Tecn/h * almac]$

$p_0 = \text{Probabilidad de que ninguna persona se encuentre en el sistema}$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \left[ \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} * \left( \frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right) \right]}$$

$$L_q = \text{promedio de personas en cola} = \frac{(\lambda/\mu)^s \lambda \mu}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^s} p_0$$

$$L_s = \text{promedio de personas en el sistema} = L_q + \lambda/\mu$$

$$T_c = \text{tiempo medio de espera en cola} = L_q/\lambda$$

$$T_s = \text{tiempo medio de estancia} = T_c + 1/\mu$$

Se programaron estas ecuaciones y se ajustaron a la dinámica del almacén de herramientas del MRO de Avianca, donde surgen otras variables a tener en cuenta, tales como personas acompañantes, tiempo sin personas en el sistema, personas que reciben y personas que entregan. Tomando y midiendo los datos de entrada en las horas pico en el almacén, se calculan los demás parámetros y se hace el análisis por 1 mes, donde se presentaron la mayoría de condiciones posibles en el hangar; desde tener solo dos líneas en operación hasta tener una más de la capacidad, es decir, con seis aviones, además, con varios servicios largos, medios, cortos, en diferentes etapas del mantenimiento, momentos en los que falló el software o había un solo almacenista en una hora crítica.

Se va a simplificar que los proyectos cortos son aquellos que tardan entre una y dos semanas, los medios entre 2 y 3 semanas, y los largos de 3 semanas en adelante, con el fin de comparar el comportamiento de los pedidos con respecto a la duración y etapa de los servicios.

#### MODELO DE COLAS PROGRAMADO

VARIABLE	DÍA	
	MAÑANA L18FEB	TARDE L18FEB
Almacenistas	2	2
Inicia hora pico	7:30	15:30
Termina hora pico	8:50	17:30
Tiempo pico [min]	80	90
Tiempo sin personas durante el pico [min]	6	7
# Técnicos durante el pico pidiendo herr	68	49
# Técnicos durante el pico entregando herr	2	25
# Técnicos durante el pico	70	74
Personas acompañantes	9	7
Técnicos atendidos	61	67
Media de llegada de las personas $\lambda$ [Tecn/hora]	46	45
Tiempo medio siendo atendido c/u [min]	2.43	2.48
Media de atención por almacenista $\mu$ [Tecn/hora]	25	24
Probabilidad de que ninguna persona esté en fila	0.039	0.040
Promedio de personas en fila	11	10
Promedio de personas en el sistema	13	12
Tiempo medio de espera en fila [min]	14.4	14.1
Tiempo medio de estancia [min]	16.8	16.6
Horas hombre en hora pico [Horas]	19.6	20.4
Costo para la compañía [USD]	\$ 373	\$ 388
H1 - 284AV	NO ABST	NO ABST
H2 - 524TA	NO ABST	NO ABST
H3 - 590EL 20-28FEB	SI ABST	SI ABST
H4 - (6000FH+20M)490TA 16-28FEB(%)	NO ABST	NO ABST
H5 - (12A+6A+24M+U CARG) 480TA 21EN-23FEB	NO ABST	NO ABST

Tabla 1. Modelo de colas M/M/S Almacén Herramientas MRO.

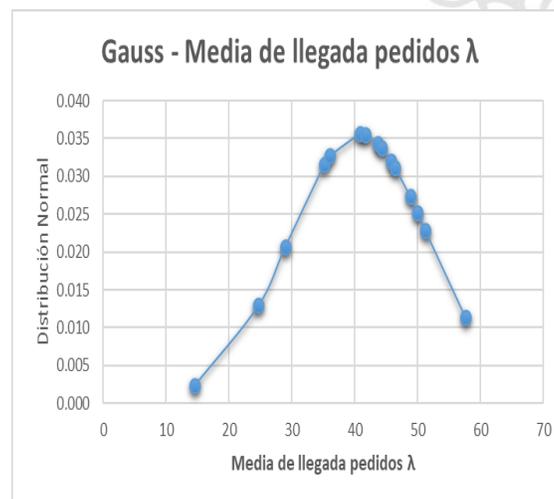
La Tabla 1, muestra los datos de entrada (celdas azules) y los datos calculados, para las horas pico de por la mañana y por la tarde, del lunes 18 de febrero de 2019, así mismo, se hizo para 3 semanas más, excluyendo los sábados y domingos.

## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Los cálculos representan con mucha precisión la realidad de lo que sucede en el almacén y permiten posteriormente calcular cuánto tiempo, dinero y recursos se emplean en dicha operación. Teniendo esto, se simula mediante el modelo estadístico las mismas situaciones en el almacén, pero con un número mayor o menor de almacenistas, para determinar si realmente existe la necesidad de agregar equipos y personas en taquilla, o en su defecto sobran. A continuación, se muestra el resumen de los datos obtenidos en un mes.

DÍA	L18FEB	L25FEB	M26FEB	W27FEB	J28FEB	V1MAR	L4MAR	M5MAR	W6MAR	J7MAR	V8MAR	L11MAR	M12MAR	W13MAR	J14MAR
Almacenistas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
Inicia hora pico	7:30	7:40	7:40	7:30	7:35	7:30	7:30	8:00	7:30	7:30	8:05	7:30	7:30	7:35	7:35
Termina hora pico	8:50	8:50	8:50	8:55	9:00	9:50	8:45	9:15	8:45	9:00	9:00	8:45	9:00	8:40	8:50
Tiempo pico [min]	80	70	70	85	85	140	75	75	75	90	55	75	90	65	75
Tiempo sin personas [min]	6	9	7	7	14	20	4	5	4	6	3	5	20	5	6
# Personas pidiendo herr	68	43	55	62	43	35	66	68	78	78	38	61	61	51	55
# Personas entregando herr	2	1	1	3	2	3	3	3	2	3	0	3	2	2	1
# Personas durante el pico	70	44	56	65	45	38	69	71	80	81	38	64	63	53	56
Personas acompañantes	9	3	5	6	4	4	8	7	8	6	5	6	6	5	5
Personas atendidas	61	41	51	59	41	34	61	64	72	75	33	58	57	48	51
Media de llegada $\lambda$ [Tecn/hora]	46	35	44	42	29	15	49	51	58	50	36	46	25	44	41
Tiempo medio atención c/u [min]	2.43	2.98	2.47	2.64	3.46	7.06	2.33	2.19	1.97	2.24	3.15	2.41	2.30	2.50	2.71
Media de atención $\mu$ [Tecn/hora]	25	20	24	23	17	9	26	27	30	27	19	25	26	24	22
Probabilidad de ningún pedido	0.039	0.069	0.053	0.043	0.090	0.077	0.027	0.034	0.027	0.034	0.028	0.034	0.054	0.040	0.042
Promedio de personas en fila	11	6	8	10	4	5	16	13	16	13	16	13	16	11	10
Promedio de personas en el sistema	13	7	9	12	6	6	18	14	18	14	18	14	17	12	12
Tiempo medio de espera en fila [min]	14.4	9.4	10.5	14.1	8.0	19.5	20.1	14.8	17.0	15.1	26.5	16.3	39.9	14.4	14.9
Tiempo medio de estancia [min]	16.8	12.4	13.0	16.7	11.5	26.6	22.4	17.0	19.0	17.4	29.7	18.7	42.2	16.9	17.6
Horas hombre en una mañana [Horas]	19.6	9.1	12.1	18.1	8.6	16.9	25.8	20.1	25.3	23.5	18.8	20.0	44.4	14.9	16.4
Costo para la compañía [USD]	\$ 373	\$ 172	\$ 231	\$ 345	\$ 163	\$ 320	\$ 490	\$ 382	\$ 481	\$ 446	\$ 357	\$ 380	\$ 843	\$ 284	\$ 312
H1	NO ABST	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST									
H2	NO ABST	SIN	NO ABST												
H3	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	SIN	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST				
H4	NO ABST														
H5	NO ABST	SI ABST	NO ABST	SIN AV	SIN AV	SIN AV	NO ABST								

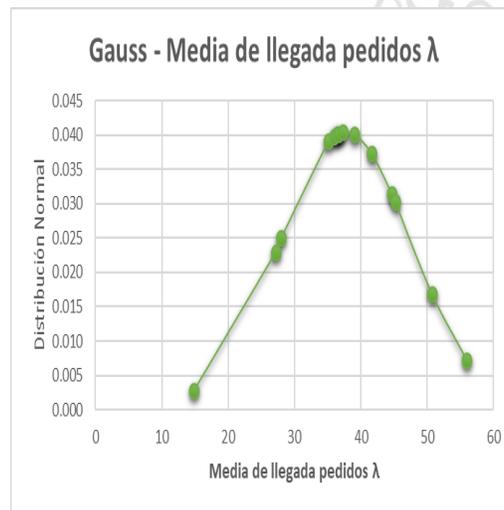
Tabla 2. Modelo de colas M/M/S Almacén Herramientas MRO – Resumen Mañana.



Gráfica 2. Campana de Gauss –  $\lambda$

DATO \ DÍA	L18FEB	L25FEB	M26FEB	W27FEB	J28FEB	V1MAR	L4MAR	M5MAR	W6MAR	J7MAR	V8MAR	L11MAR	M12MAR	W13MAR	J14MAR
Almacenistas s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Inicia hora pico	15:30	15:35	17:00	15:55	15:40	15:45	16:30	16:30	16:50	16:30	16:55	16:30	16:05	16:30	16:45
Termina hora pico	17:30	17:00	18:10	18:10	16:55	16:45	17:55	18:20	17:50	18:00	17:55	17:45	17:55	18:00	17:50
Tiempo pico [min]	90	85	70	135	75	60	85	110	60	90	60	75	110	90	65
Tiempo sin personas [min]	7	28	10	8	17	15	5	7	3	10	6	6	9	7	9
# Personas pidiendo herr	49	24	38	75	25	21	65	95	61	57	41	53	71	58	41
# Personas entregando herr	25	0	5	18	12	10	7	9	2	3	3	4	5	4	3
# Personas	74	24	43	93	37	31	72	104	63	60	44	57	76	62	44
Acompañantes	7	3	2	11	3	3	8	11	7	5	5	5	9	6	5
PS atendids	67	21	41	82	34	28	64	93	56	55	39	52	67	56	39
Media de llegada $\lambda$ [Tecn/hora]	45	15	35	36	27	28	45	51	56	37	39	42	37	37	36
Tiempo medio atención c/u [min]	2.48	5.43	2.93	3.10	3.41	3.21	2.50	2.22	2.04	2.91	2.77	2.65	3.01	2.96	2.87
Media de atención $\mu$ [Tecn/hora]	24	11	21	19	18	19	24	27	29	21	22	23	20	20	21
Probabilidad de ningún pedido	0.040	0.197	0.077	0.031	0.128	0.143	0.030	0.033	0.026	0.059	0.053	0.042	0.043	0.040	0.074
Promedio de personas en fila	10	1	5	14	2	2	15	13	18	7	8	10	10	10	5
Promedio de personas en el sistema	12	2	6	16	4	3	16	15	19	8	9	12	12	12	7
Tiempo medio de espera en fila [min]	14.1	4.4	8.1	23.8	5.1	4.1	19.4	15.8	18.8	11.0	11.8	14.6	16.2	16.9	8.3
Tiempo medio de estancia [min]	16.6	9.9	11.0	26.9	8.5	7.3	21.9	18.0	20.9	13.9	14.6	17.3	19.2	19.8	11.1
Horas hombre una tarde [Horas]	20.4	3.9	7.9	41.7	5.2	3.8	26.3	31.2	21.9	13.9	10.7	16.4	24.3	20.5	8.2
Costo para la compañía [USD]	\$ 388	\$ 75	\$ 150	\$ 793	\$ 99	\$ 72	\$ 499	\$ 592	\$ 417	\$ 263	\$ 203	\$ 312	\$ 462	\$ 389	\$ 155
H1	NO ABST	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST									
H2	NO ABST	SIN	NO ABST												
H3	SI ABST	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	SIN	SI ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST	NO ABST				
H4	NO ABST														
H5	NO ABST	NO ABST	SI ABST	SI ABST	SI ABST	SI ABST	NO ABST	SIN AV	SIN AV	SIN AV	NO ABST				

Tabla 3. Modelo de colas M/M/S Almacén Herramientas MRO – Resumen Tarde.



Gráfica 3. Campana de Gauss –  $\lambda$ .

A partir de la desviación estándar y la media de las muestras, se calcula de distribución normal, la curva que se obtiene es comúnmente conocida como campana de Gauss, esta curva nos dice en qué rango de valores se concentra la mayor cantidad de datos y cómo se distribuye la probabilidad de que aparezcan datos atípicos o alejados del valor medio.

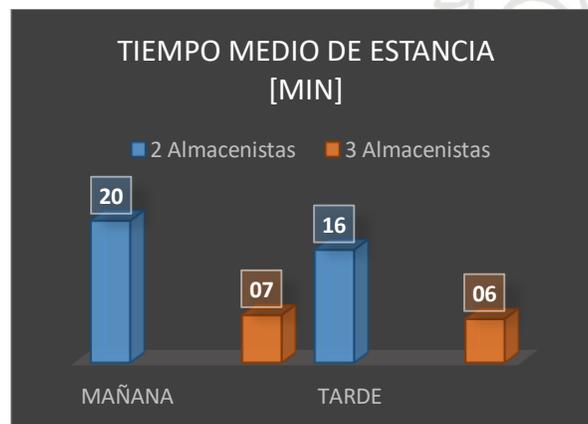
## ESTIMACIÓN DE ALMACENISTAS REQUERIDOS

Al ver que los valores promedio representan de forma adecuada toda la muestra, se puede simular matemáticamente como sería el comportamiento si se modifica alguna variable, como la cantidad de almacenistas en taquilla.

CONDICIÓN	Mañana	Simulación	Tarde	Simulación
Almacenistas	2	3	2	3
Inicia hora pico	7:36	7:36	16:18	16:18
Termina hora pico	8:57	8:57	17:44	17:44
Tiempo pico [min]	80.3	80.3	84	84
Tiempo sin personas [min]	8	8	9.8	9.8
# Personas pidiendo herr	57	57	52	52
# Personas entregando herr	2	2	7	7
# Personas durante el pico	59	59	59	59
Personas acompañantes	6	6	6	6
Personas atendidas	53	53	53	53
Media de llegada pedidos $\lambda$ [Tecn/h]	40	40	38	38
Tiempo medio atención c/u [min]	2.9	4.1	3.0	4.2
Media de atención $\mu$ [Tecn/hora]	21	15	21	14
Probabilidad ningun pedido en fila	0.006	0.02	0.068	0.030
Promedio de personas en fila	11	2	9	1
Promedio de personas en el sistema	13	4	10	4
Tiempo medio de espera en fila [min]	17.0	2.6	12.8	1.9
Tiempo medio de estancia [min]	19.9	6.7	16	6
Horas hombre [Horas]	19.5	6.5	17.1	6.0
Costo para la compañía [USD]	\$ 371	\$ 124	\$ 325	\$ 114

Tabla 4. Valores representativos y simulación.

Al simular la dinámica de la taquilla en las horas pico, con los mismos datos de entrada, pero con 3 almacenistas en lugar de 2, se tiene una reducción teórica del 67% y 65% por la mañana y por la tarde, respectivamente, en los parámetros de tiempo medio de estancia, horas hombre en las horas pico invertidas y por lo tanto en el costo de dichas horas; siempre y cuando, sean 3 almacenistas independientes, cada uno con computador y ventana de atención independiente.



Gráfica 4. Tiempo medio de estancia.

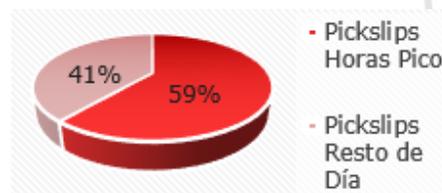


Gráfica 5. Costo para la compañía.

Teóricamente, se disminuye de 19.5 horas hombre promedio invertidas por parte de los técnicos pidiendo herramientas en la hora pico por la mañana con 2 almacenistas, a 6.5 horas. En la hora pico por la tarde, la reducción sería de 17.1 horas a 6.0; es decir, 24.6 horas menos en las dos jornadas o 738 horas al mes.

Si se asume que en promedio una hora hombre de un técnico le cuesta a la compañía 19 dólares, serían \$14,022 dólares al mes en horas hombre, horas que se podrían disponer directamente en la ejecución de las tareas de mantenimiento en las aeronaves. Lo anterior, asumiendo que el tercer almacenista tenga la misma habilidad o capacidad de atención y que los 3 cuentan con computador independiente.

Comparando el porcentaje promedio de pickslips asignados durante las horas pico, con los asignados en promedio durante el resto del día, se tiene que en la suma de las horas pico de la mañana y la tarde, es decir, 2 horas con 43 minutos, el almacén entrega más del 60% de los pedidos de todo el día.

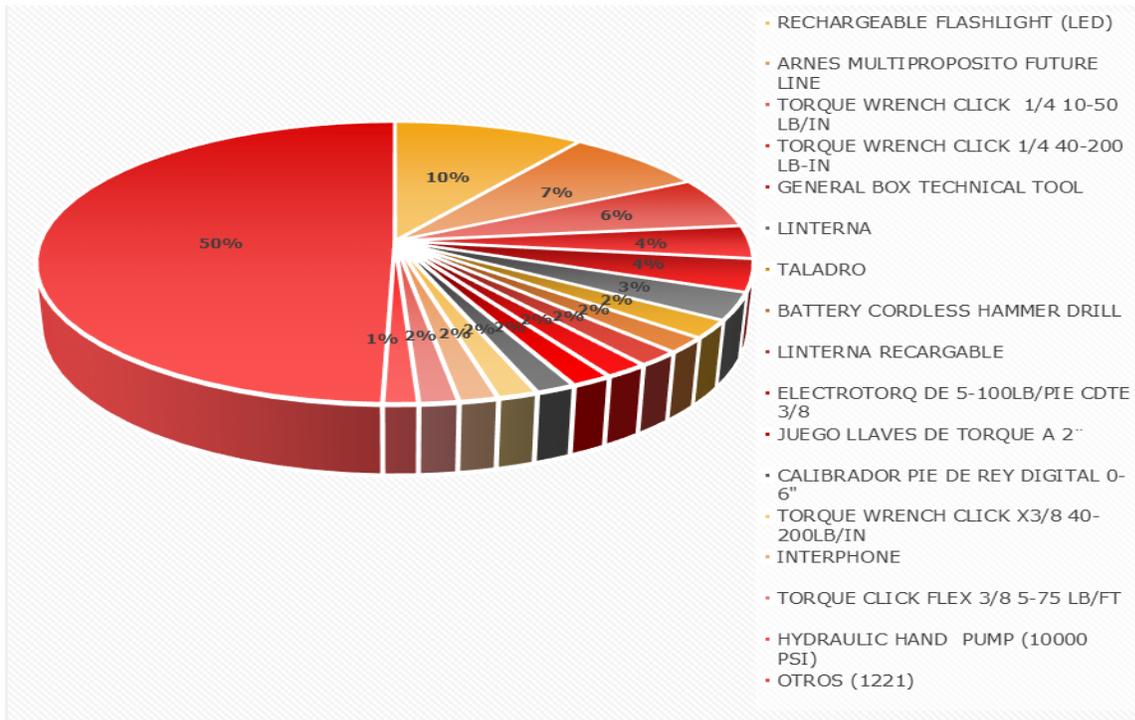


Gráfica 6. Pickslips hora pico y resto de día.

Esto indica claramente, que el número de almacenistas en taquilla durante las horas pico, no debe ser igual al resto del día; donde lo ideal es asignar 3 almacenistas independientes en las horas críticas del almacén, y 2 almacenistas el resto del día, cumpliendo con las labores que no son solo de almacenaje, como el manejo de información y pedidos a través del correo electrónico, las transferencias, salidas y llegadas por Incoming Inspection, entre otras.

Por otro lado, se obtuvo las estadísticas de las herramientas que se prestaron durante estas horas pico, incluyendo las herramientas básicas que se registran con vale manual, porque no están ingresadas en el software AMOS.

## HERRAMIENTAS PEDIDAS EN LAS HORAS CRÍTICAS



Gráfica 7. Herramientas pedidas horas críticas.

16 herramientas son el 50% de todas las pedidas, entre 1975 tipos de herramientas diferentes que existen en el almacén, importante para redefinir el layout del almacén y agrupar estratégicamente las herramientas.

## RETORNO DE HERRAMIENTAS A STOCK

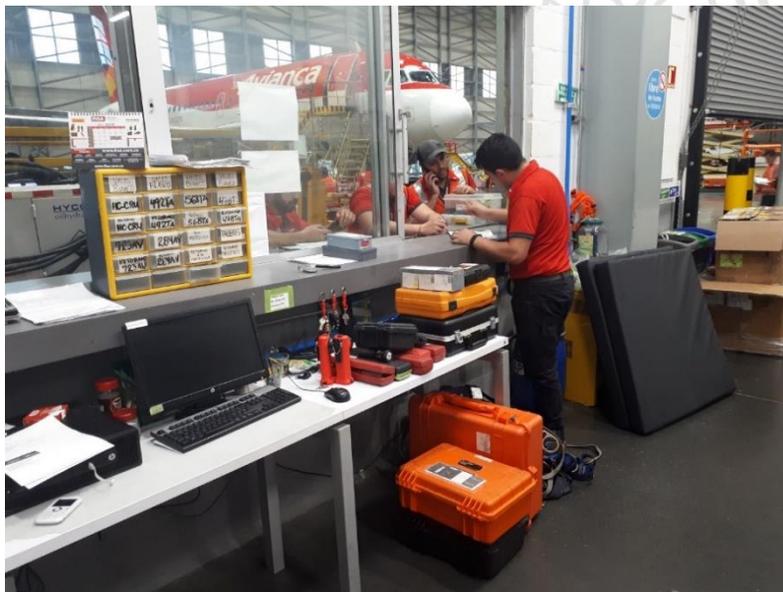


Imagen 1. Ilustración retorno herramientas en taquilla.

El retorno de las herramientas al software y al almacén, actualmente, se hace un tiempo después de que es dejada en la taquilla e incluye 6 pasos manuales en el sistema: 1- Observar en el label de la herramienta la serie-número 2- Digitar la S/N de la herramienta. 3- Copiar celda Usuario. 4- Click a Return To Store. 5- Pegar Usuario en la celda Tool User. 6- Click a Return.

Este procedimiento genera una serie de inconvenientes frecuentemente, el principal es con respecto a la trazabilidad de la herramienta, ya que cualquier persona la puede dejar en taquilla, irse sin quedar retornada y quedar puesta en cualquier parte, constantemente hay confusiones y se pierden herramientas estando dentro del almacén.

Por otro lado, estas herramientas se quedan hasta una hora o incluso más, en espera por ser retornadas al software, causando una disminución importante en la disponibilidad, ya que, en este lapso de tiempo, las pueden necesitar en alguna línea o taller, y en el software están no disponibles. Finalmente, el retorno manual de las herramientas suele ser más complejo y lento, al incluir la serie de pasos mencionados anteriormente.

Luego de analizar la dinámica del almacén de herramientas, se decide implementar un conjunto de mejoras:

Actualmente, la taquilla dispone de dos computadores, dos almacenistas y una única ventana para entregar y recibir, donde uno de los dos almacenistas ocupa alrededor del 80% de tiempo de las horas pico atendiendo por la puerta grande las herramientas que no pasan por taquilla, entre ellas, las cajas generales, de estructuras y eléctricas, que requieren de un chequeo y una inspección visual más detallada y son herramientas de alto flujo.

Teniendo en cuenta la demanda en las horas pico, el tipo de herramientas pedidas, el layout actual del almacén, la simulación de las horas pico con un número diferente de almacenistas, entre otros, se propone habilitar segunda ventana en taquilla exclusiva para entregar herramienta a los técnicos, y la actual destinarla para retornar en las horas pico y entregar y/o recibir en las horas que no son pico de retorno al almacén, esta segunda ventana incluye un computador portátil para conectar una pantalla que está en desuso, la cual mostrará a los técnicos en tiempo real, la operación de retorno de la herramienta, brindándole la tranquilidad de quedar correctamente ingresada a stock, todo esto mediante la lectura por código de barras y en el momento que llega a la taquilla.

## IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA

Se implementó el sistema por código de barras, con la expectativa principal de retornar inmediatamente cuando el técnico la entrega, evitando frecuentes confusiones y pérdida de herramientas, a la vez que queda en stock en el software, además, se disminuye significativamente el tiempo, complejidad de esta operación al no hacerla manualmente y se evitan errores al ingresar el parte-número.

Lo primero que se hizo, fue acondicionar la taquilla con los recursos necesarios para hacer la prueba del retorno de las herramientas con la pistola de lectura de código de barras, despejando y abriendo

la segunda ventana en taquilla, y realizando las conexiones de la pantalla y el lector de código de barras.



Imagen 2. Acondicionamiento nuevo procedimiento almacén

Con la lectura por código de barras, los 6 pasos manuales quedan reducidos a sólo 2 y se hacen inmediatamente cuando llega la herramienta, en frente del técnico: 1- Escanear el código de barras. 2- Click a Return.

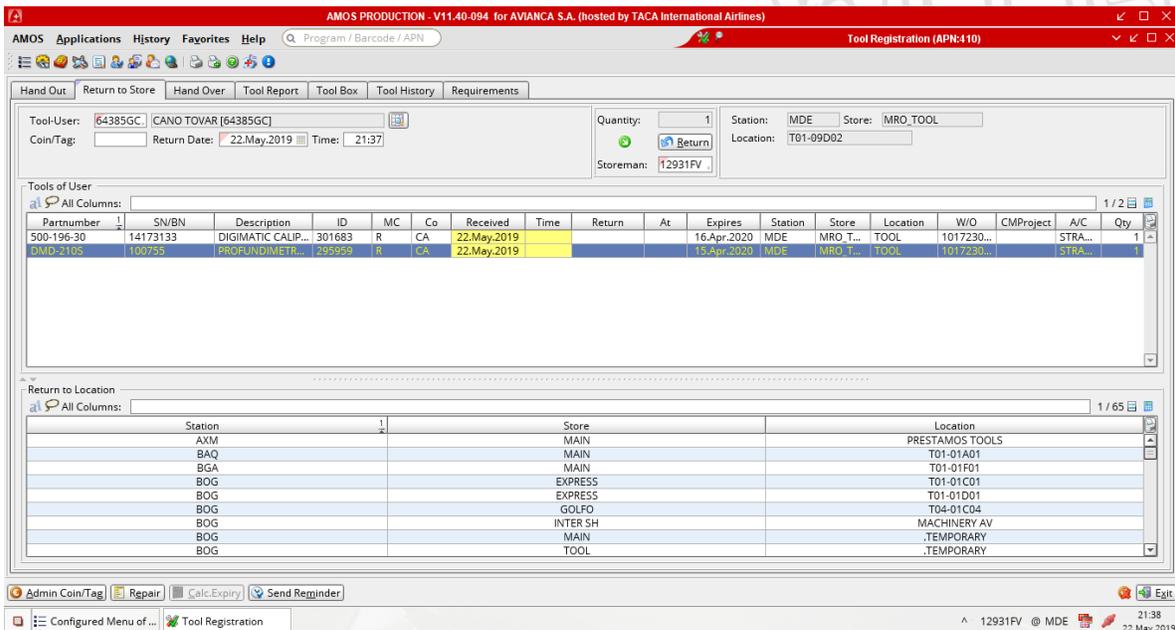


Imagen 3. Pantalla al identificar código.

## MEDICIÓN DE LAS MEJORAS

Se hizo la prueba durante varios días, para comparar inicialmente los dos procedimientos, donde se pasa de hacer el retorno completo, desde que llega el técnico con la herramienta a la taquilla, hasta almacenarla en su sitio original, en 3 etapas: 1 – Revisar la herramienta y dejarla en espera. 2 – Retornarla en el software manualmente (6 pasos). 3 – Almacenarla en sitio original. Para hacerse en 2 etapas: 1 – Revisar la herramienta, retornarla al software inmediatamente, a la vista del técnico, por medio de lectura electrónica y dejarla en espera. 2 – Almacenarla en sitio original.



Imagen 4. Retorno manual de las herramientas al almacén.

PRUEBA	1- Tiempo recibiendo la herramienta [seg]	2- Tiempo retornando al sistema [seg]	3- Tiempo almacenándola en stand [seg]	TOTAL
1	35	56.5	27	118.5
2	23.5	41.7	29.5	94.7
3	8	45.8	44.4	98.2
4	28	75	36	139
5	39	53.4	31.3	123.7
6	33.6	36.1	20	89.7
7	52	126	30	208
8	38	48	32	118
9	23.3	47.4	7.8	78.5
10	26	53.2	33	112.2
11	44	52	48.1	144.1
12	21.6	42.7	22.2	86.5
13	28	77.4	39	144.4
14	24	49	44.3	117.3
15	47	54.6	35	136.6
16	19.1	46	28	93.1
17	12	57.8	37.9	107.7
18	32.6	72.3	29	133.9
19	17	42.8	46.2	106
20	31	62	36	129
PROM	29	57	33	119

Tabla 5. Tiempos ingreso manual.

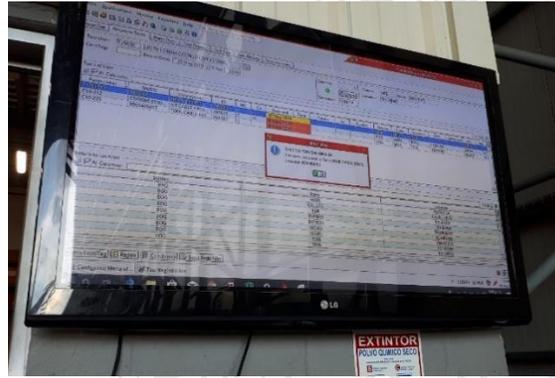
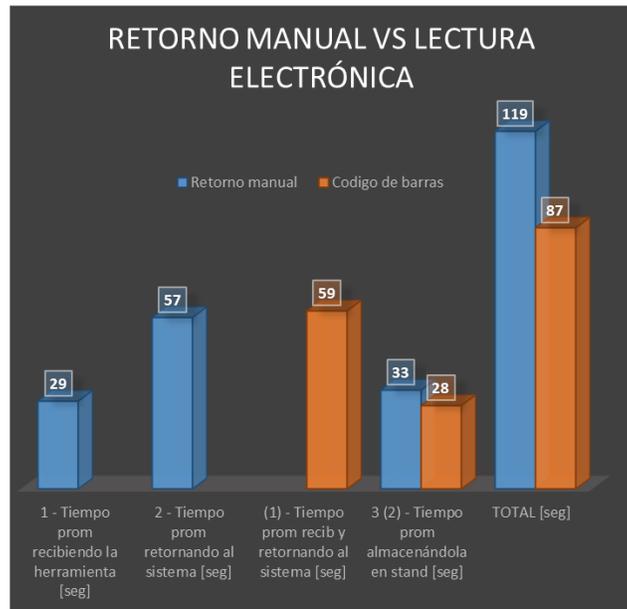


Imagen 5. Nuevo procedimiento de retorno con lectura electrónica de código de barras.

PRUEBA	1- Tiempo recib y retornando [seg]	2- Tiempo almacenándo [seg]	TOTAL
1	60	22	82
2	34.6	26.3	60.9
3	47.2	19	66.2
4	56	31.9	87.9
5	87	27	114
6	38.1	34	72.1
7	57.3	16.7	74
8	49	19.2	68.2
9	58	22	80
10	64	27	91
11	83	27	110
12	70	14.8	84.8
13	59	43	102
14	67	38	105
15	53.4	22.6	76
16	76	31.2	107.2
17	68	23.7	91.7
18	42	32.8	74.8
19	51	46	97
20	63	29	92
PROM	59	28	87

Tabla 6. Tiempos nuevo procedimiento.

## RESULTADOS DE MEDICIONES NUEVO PROCEDIMIENTO



Gráfica 8. Resultados mediciones de retorno.

En un día en promedio son 248 retornos de herramientas, con este procedimiento se disminuye cada operación en 32 segundos, es decir, 132 minutos ahorrados por día o 66 horas por mes.

Por parte de los técnicos, el tiempo aumentaría, debido a que actualmente sólo están presentes en el paso 1 del procedimiento manual (29 seg). Con el nuevo procedimiento, estarían presentes en el paso (1) (59 seg) porque el objetivo principal es que se retorne al sistema inmediatamente y en presencia del técnico. Aumenta 30 segundos la presencia de cada técnico en cada retorno, en 248 retornos, 124 minutos, o en un mes, 62 horas. A pesar de esto, prevalece la importancia de retornar inmediatamente y en presencia del técnico, por la correcta trazabilidad y disponibilidad de las herramientas y para evitar confusiones.

El tiempo del paso (1), se puede reducir aún más, con el mejoramiento de los label en las herramientas, ya que actualmente hay un problema con la impresora y falla constantemente, este fue el principal y único inconveniente encontrado con este procedimiento.

El tiempo del paso (2), se reduce rediseñando el layout del almacén, teniendo en cuenta la demanda de herramientas y los picos de consumo, así como la teoría de inventarios. Actualmente está distribuido empíricamente.

## 6.2 ESTARNTERÍA HERRAMIENTAS

### OPORTUNIDAD DE MEJORA

Al ver que las herramientas son puestas en el piso cuando regresan al almacén, a la espera de que finalice el tiempo pico para ser almacenadas en su sitio original, se diseñó una estantería para las herramientas que van a estar de paso por un momento, con la certeza de que ya están en stock. Además, tendrá instalados todos los cargadores de las linternas, garantizando la correcta carga y permitiendo que estén cerca a la taquilla, ya que es el ítem de mayor circulación en las horas pico y actualmente está almacenado en la parte de atrás del almacén, con una tercera parte de los cargadores totales, causando que muchas linternas se presten con una carga de las baterías insuficiente, obligando a las personas a regresar, o en el peor de los casos, utilizar el celular como linterna. Finalmente, tendrá un lugar para las herramientas que se van a abastecer y que está dividido por las 5 líneas de mantenimiento, ligado a un banco diseñado en conjunto con los encargados del proyecto de abastecimiento, que se desplazará hasta el lugar de trabajo a abastecer línea por línea.

### CONDICIÓN ACTUAL



Imagen 6. Acopio de herramientas en taquilla.



Imagen 7. Puesto de linternas.

### DISEÑO CONCEPTUAL

El primer paso para el diseño de la estantería, fue identificar algunos factores con respecto al retorno de herramientas en las horas pico, como la cantidad, ubicación y tamaño de las herramientas, los espacios disponibles, los materiales y recursos disponibles en la compañía para su elaboración, ya que es fundamental que sea elaborado internamente, es decir, con materiales, mano de obra y equipos de manufactura disponibles en la empresa sin necesidad de compra, además que sean materiales no aeronáuticos.

## DISEÑO PRELIMINAR

Luego, teniendo las necesidades, características y recursos, se diseña en software Inventor.

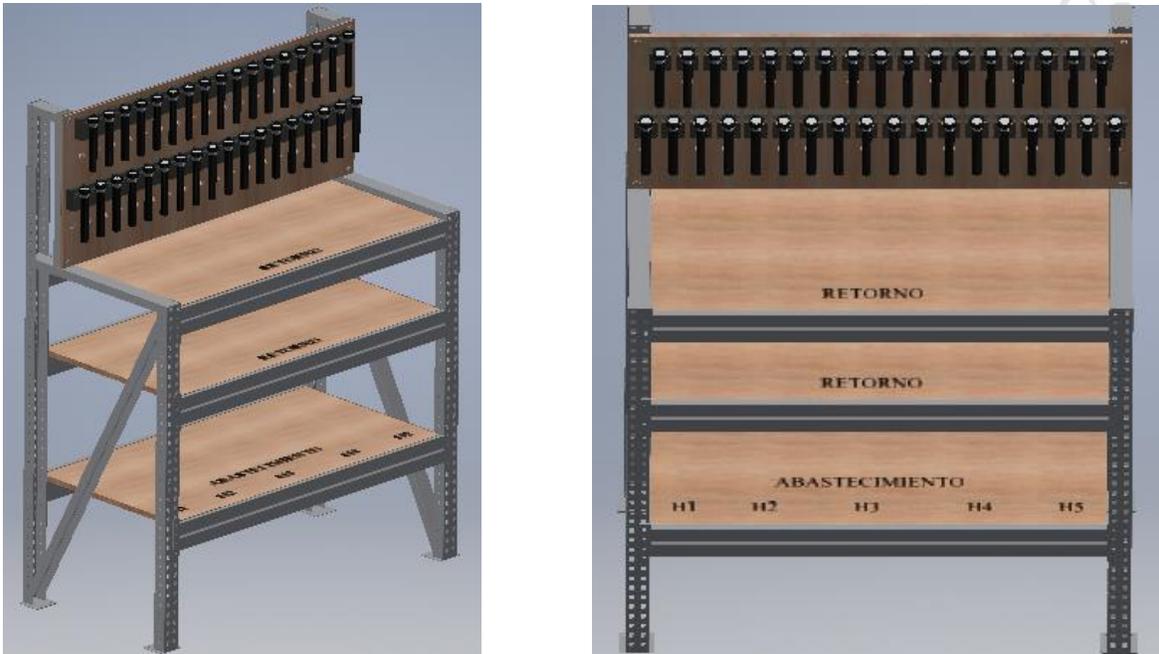


Imagen 8. Estantería herramientas.

La longitud horizontal de 1400mm está limitada por el espacio disponible en taquilla, la longitud vertical está limitada por estatura de una persona promedio, los entrepaños de lámina de acero galvanizado separados de acuerdo a las dimensiones de las herramientas comunes más grandes y con la opción de subir o bajar la altura fácilmente.



Imagen 9. Nuevo stant linternas.



Imagen 10. Ficha técnica cargadores.

Las linternas estarán cerca de la taquilla y con todos sus cargadores, los cuales quedan en la parte posterior de la estantería, conectados en regletas puenteadas y finalmente en un solo tomacorriente; la tensión de salida de los cargadores es de 12.7V y la corriente de 800 mA, es decir una potencia eléctrica de 10 Watts por cargador. Asumiendo que las 35 linternas estén cargando a la vez, la potencia de 350 Watts estaría lejos de generar una sobrecarga eléctrica.

## SIMULACIÓN ELEMENTOS FINITOS

Con el fin de garantizar la rigidez correcta de la estantería, se hace un análisis de elementos finitos en la plataforma Workbench del software Ansys, donde la pieza más crítica del ensamble son los sobrepaños de madera laminada.

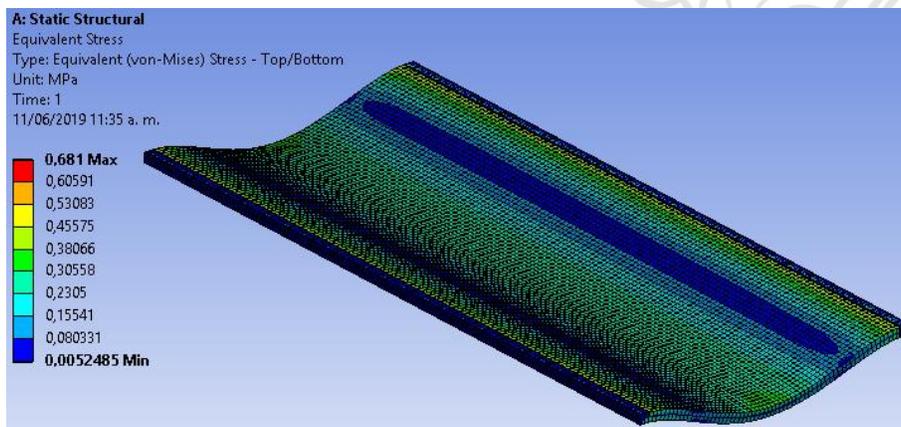


Imagen 11. Análisis elementos finitos. Von Misses (Auto scale).

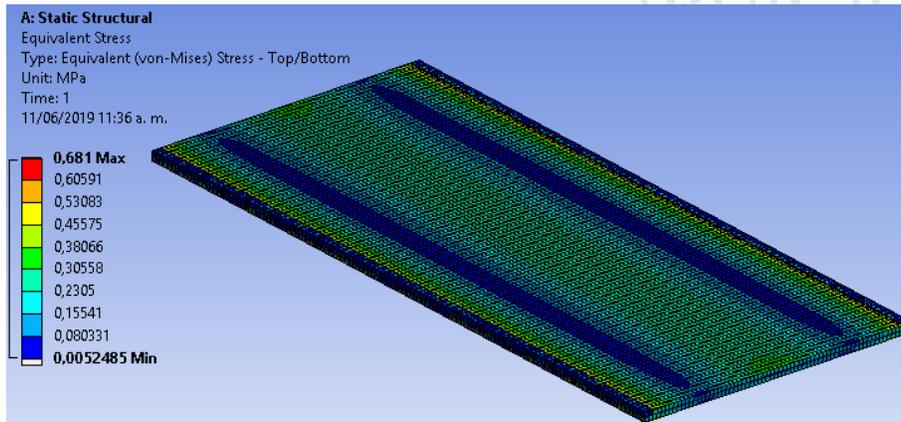


Imagen 12. Análisis elementos finitos. Von Misses (True scale).

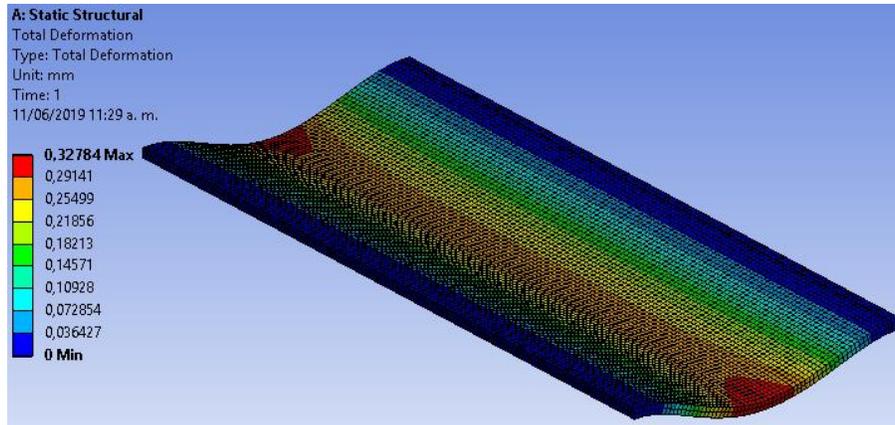


Imagen 13. Análisis elementos finitos. Total Deformation (Auto scale).

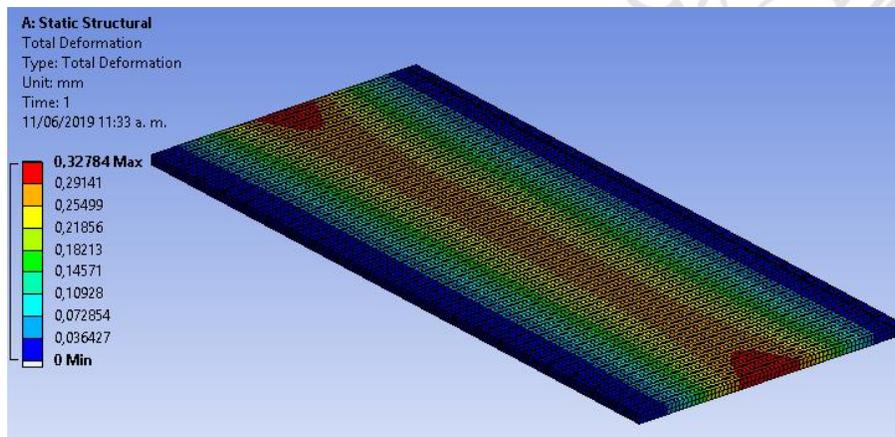


Imagen 14. Análisis elementos finitos. Total Deformation (True scale).

La magnitud de la deformación máxima es de 0.33 mm para una carga de 1000N, es decir, herramientas con una masa levemente superior a los 100kg. Siendo una deformación despreciable que no afecta el correcto funcionamiento de la estantería ni sus elementos dependientes, además, el esfuerzo equivalente en el punto máximo, es inferior al límite elástico de la madera laminada utilizada.

Los tres pisos de la estantería estarán divididos así: el piso 1, servirá de apoyo al proyecto de abastecimiento de herramientas en las líneas, dividido por líneas, para que la persona encargada las recoja, sabiendo para cual línea se dirige. Los dos pisos restantes, serán exclusivos para el retorno a stock, se ubican las que ya están ingresadas en el software, pendientes por ser almacenadas; y en las horas críticas de retorno, el piso 1 respaldará los otros dos pisos. Esto es posible, ya que las horas críticas de retorno no coinciden con la preparación del abastecimiento.

## DISEÑO EN DETALLE

Luego de la validación del diseño preliminar por parte del almacén, el taller de maquinaria y la gerencia de facilidades y equipos, se realizan los planos de ensamble y constructivos para dar inicio a la fabricación.

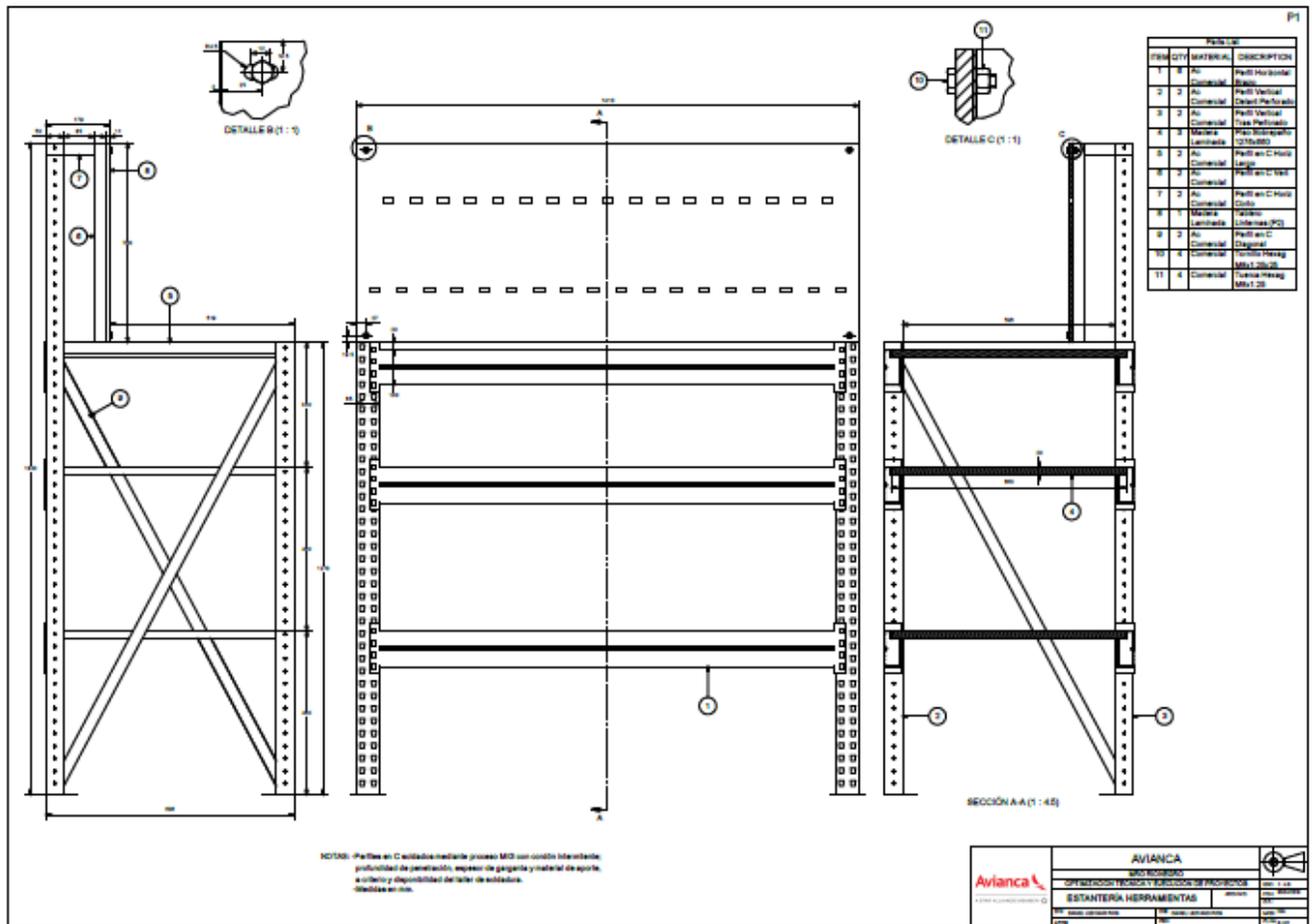


Figura 1. Plano de ensamble estantería herramientas.

## RESUMEN PROCEDIMIENTO EN TAQUILLA

- Se sugiere asignar un tercer almacenista en taquilla en las horas críticas de 7:00 a 9:00 y de 15:00 a 18:00.
- Un almacenista estará en la ventana habilitada (Entrega), el otro estará en la ventana convencional (Entrega/Retorno), y el último atendiendo principalmente las cajas generales y herramientas grandes que salen por la puerta principal.
- En las horas pico de entrega, la estantería de Tools Return debe estar sin herramientas, excepto las que lleguen a dicha hora y las linternas, ya que el nuevo puesto de almacenaje será precisamente en la estantería, cerca de la taquilla y con todos los cargadores en servicio.
- Un computador portátil estará asignado a la ventana convencional (Entrega/Retorno) y será el que esté conectado a la pantalla y a la pistola de lectura electrónica, donde se hará el retorno al software de manera inmediata y en presencia del técnico. Posteriormente se deja

en stand by en la estantería de Tools Return, la cual debe contener sólo herramientas que ya estén en stock.

- Finalizada la hora pico de retorno, se debe almacenar las herramientas en su sitio original, ya que, terminado el retorno, se cuenta con aproximadamente 45 minutos para que inicie la hora pico de entrega.

### 6.3 DISPONIBILIDAD DE HERRAMIENTAS

#### CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente, no se tiene establecido un modelo de análisis de inventario en los almacenes de herramientas del holding; y tampoco se tienen indicadores de demanda y disponibilidad. Teniendo en cuenta que el objetivo a largo plazo es planearlas día a día con una disponibilidad alta, y, además, independizar el almacén del MRO, se da inicio a obtener los reportes de demanda y asignación de herramientas durante el último año, así como la cantidad de veces que no estuvo disponible cada elemento.

#### ANÁLISIS DE DATOS

MONTH	BOOKED OK	BOOKED=0	DISP
MAY	6628	170	97%
JUN	8264	223	97%
JUL	9481	230	98%
AUG	8579	456	95%
SEP	8071	412	95%
OCT	6803	315	96%
NOV	5910	249	96%
DEC	5658	181	97%
JAN	8069	413	95%
FEB	8921	281	97%
MAR	9186	367	96%
APR	9284	669	93%
<b>TOTAL</b>	<b>94854</b>	<b>3966</b>	<b>96%</b>

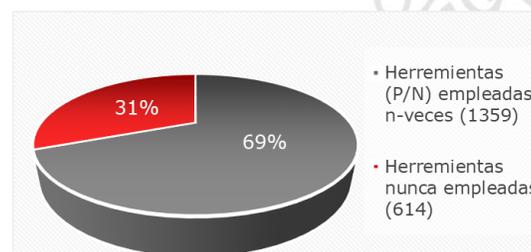


Tabla 7, Gráfica 9. Disponibilidad global herramientas por mes.

La disponibilidad global del almacén es del 96%, siendo un indicador positivo y que cumple con las metas fijadas a la fecha, pero, debido a que el inventario de herramientas ha sido ajustado empíricamente a lo largo del tiempo, se tienen referencias con un stock y disponibilidad sobredimensionado, y otras con una disponibilidad muy baja, es decir, la disponibilidad global del almacén no es estable para todas las referencias existentes.

DESCRIPTION	P/N	BOOKED=0	%	BOOKED>0	TOTAL	DISP	NO DISP	DD	QTY MRO	PRICE (USD)
HARNES MULTIPROPOSITO FUTURE LINE	1170209	394	9.9%	10415	10809	96%	0.9	29.6	48	56.45
TORQUE WRENCH CLICK 1/4 10-50 LB/IN	QD1R50	228	15.7%	7238	7466	97%	1.6	20.5	20	175.5
RECHARGEABLE FLASHLIGHT (LED)	STINGER 75662	112	18.5%	2638	2750	96%	3.3	7.5	31	230.2
SAFETY LOCK-ACTUATOR,CARGO DOORS	98D52307515000	103	21.1%	223	326	68%	3.5	0.9	37	3297.5
GENERAL BOX TECHNICAL TOOL	AVI-GEN-134	88	23.3%	1767	1855	95%	4.1	5.1	18	10582.4
INTERPHONE	H3310	77	25.3%	1093	1170	93%	4.7	3.2	N/A	
TORQUE WRENCH CLICK 1/4 40-200 LB-IN	QD1R200	63	26.9%	4262	4325	99%	5.8	11.8	17	115.3
GROUND LOCK SLEEVE	460005835	62	28.4%	188	250	75%	5.9	0.7	3	32.5
CABLE HOLDING STRAP	98A24403000000	60	29.9%	381	441	86%	6.1	1.2	7	249.0
HEAT GUN	CV-1981	55	31.3%	4	59	7%	6.6	0.2	1	825.4
FILL UNIT - AIR	98D29003501003	51	32.6%	373	424	88%	7.2	1.2	2	4820.3
HYDRAULIC HAND PUMP (10000 PSI)	P460	50	33.9%	712	762	93%	7.3	2.1	5	160.2
RULER	182-305	49	35.1%	869	918	95%	7.4	2.5	3	18.9
RIGGING PIN	98DNSA20208060	44	36.2%	515	559	92%	8.3	1.5	40	186.9
JACK TRIPOD (40 TON) FORWARD BODY	733A	41	37.2%	34	75	45%	8.9	0.2	6	18103.6
CAJA ESTRUCTURAS	AVI-EST-74	39	38.2%	1260	1299	97%	9.4	3.6	18	13638.4
ELECTROTORQ DE 5-100LB/PIE CDTE 3/8	CTECH2FR100A	39	39.2%	1668	1707	98%	9.4	4.7	4	222.0
TORQUE WRENCH CLICK X3/8 40-200LB/IN	QD2R200	36	40.1%	1913	1949	98%	10.1	5.3	19	170.9
METER, MILLIOHM - EXPLOSIVE ATMOS	97F92003500000	34	41.0%	1980	2014	98%	10.7	5.5	11	750.0
CALIBRADOR PIE DE REY DIGITAL 0-6"	500-144	34	41.8%	1365	1399	98%	10.7	3.8	5	
TORQUE CLICK FLEX 3/8 5-75 LB/FT	QD2FR75	32	42.6%	1358	1390	98%	11.4	3.8	10	190.8
BATTERY CORDLESS HAMMER DRILL	CDR8850H	32	43.4%	941	973	97%	11.4	2.7	5	666.2
JACK	8721A	31	44.2%	26	57	46%	11.8	0.2	3	7640.2
SAFETY PIN - NLG DOOR	98D32203502000	27	44.9%	422	449	94%	13.5	1.2	14	105.2
DIGIMATIC CALIPER	500-196-30	27	45.6%	1207	1234	98%	13.5	3.4	3	
TORQUE SCREWDRIVER	QTS135	26	46.2%	1268	1294	98%	14.0	3.5	8	136.5
LOCK-OUT PIN	HIX3008	26	46.9%	193	219	88%	14.0	0.6	22	84.5
LINTERNA RECARGABLE	STINGER DS	25	47.5%	4	29	14%	14.6	0.1	8	135.7
JUEGO LLAVES DE TORQUE A 2"	226FC	25	48.2%	1203	1228	98%	14.6	3.4	5	937.5
ENGRASADORA INALAMBRICA	2646-22CT M18	23	48.7%	929	952	98%	15.9	2.6	7	469.5

Tabla 8. Análisis disponibilidad.



Grafica 10. Herramientas no usadas en el último año.

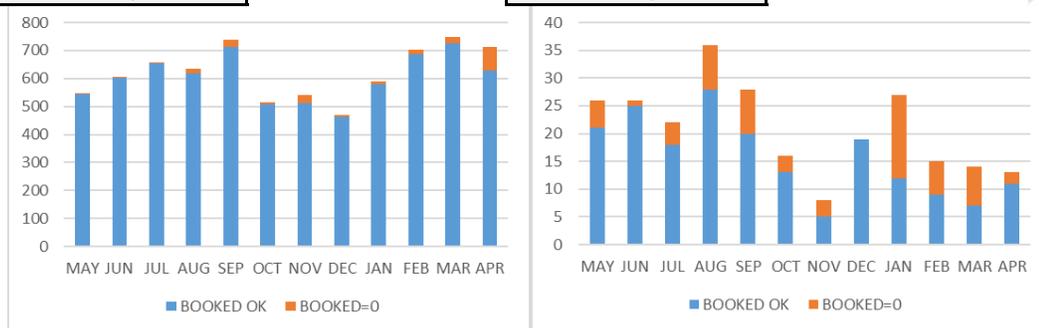
La tabla 8, muestra una pequeña muestra de la totalidad de herramientas en el almacén. Al hacer un Pareto de las herramientas que más veces no estuvieron disponibles, se tiene que 58 parte-números generan el 60% de la no disponibilidad, de 1975 P/N en total, de las cuales 614 nunca se utilizaron, una cantidad importante que abre la oportunidad de analizarlas para enviar herramientas a otras bases, venderlas o alquilarlas, mejorando el inventario y la rentabilidad de negocio.

## ESTIMACIÓN DE INVENTARIO TEÓRICO

En cuanto al cálculo del inventario óptimo teórico, se encontró una situación especial, el tiempo de reabastecimiento y de estancia de las herramientas en el almacén, es variable, porque una vez que salen al hangar, no se sabe cuándo regresan, también está la posibilidad de hacer transferencias con

otras bases del holding, y, por otro lado, las herramientas calibrables tienen un control especial y salen a mantenimiento con cierta frecuencia, sin saber cuánto tiempo estará no servicial. Teniendo en cuenta que cada herramienta tiene un trato particular, se inició el análisis para el top 60 de las que más veces no estuvieron disponibles y de las que menor disponibilidad tienen, ya que son dos cosas diferentes, empezando por conocer el comportamiento de la demanda y disponibilidad por temporadas.

MONTH\TOOL	TORQUE WRENCH CLICK 1/4 10-50 LB/IN P/N QD1R50				GROUND LOCK SLEEVE P/N 460005835			
	BOOKED OK	BOOKED=0	DD	DISP	BOOKED OK	BOOKED=0	DEMANDA DIA	DISP
MAY	543	4	18	99%	21	5	1	81%
JUN	601	4	20	99%	25	1	1	96%
JUL	654	3	21	100%	18	4	1	82%
AUG	620	15	20	98%	28	8	1	78%
SEP	714	25	25	97%	20	8	1	71%
OCT	510	6	17	99%	13	3	1	81%
NOV	511	29	18	95%	5	3	0	63%
DEC	462	9	15	98%	19	0	1	100%
JAN	580	11	20	98%	12	15	1	44%
FEB	688	14	25	98%	9	6	1	60%
MAR	726	23	25	97%	7	7	0	50%
APR	629	85	24	88%	11	2	0	85%
<b>TOTAL</b>	<b>7238</b>	<b>228</b>	<b>21</b>	<b>97%</b>	<b>188</b>	<b>62</b>	<b>1</b>	<b>75%</b>
DES. STD		3			DES. STD	0.3		
QTY MRO		20			QTY MRO	3		
QTY TEÓRICO		20			QTY TEÓRICO	5		
DIFERENCIA		0			DIFERENCIA	2		
PRICE [USD]	\$	175			PRICE [USD]	\$	32	
INVERSION	\$	-			INVERSION	\$	64	



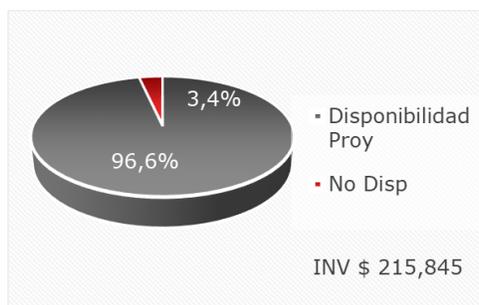
Grafica 11. Analisis individual demanda y disponibilidad.

Se muestran 2 ejemplos del estudio hecho a las herramientas más críticas según demanda y disponibilidad.

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DEMANDA Y DISPONIBILIDAD

Teniendo la demanda, la desviación estándar de la demanda, la disponibilidad y la cantidad de herramientas, es posible estimar la cantidad de herramientas para proyectar a cierto grado o criterio de disponibilidad mediante la ecuación estadística de punto de reorden.

Del top 60, 32 tienen una disponibilidad inferior al 96%. El modelo permite estimar la cantidad de herramientas necesarias para proyectar su disponibilidad a 96% teóricamente, o hasta cualquier porcentaje que se quiera llegar.



*Grafica 12. Proyección disponibilidad.*

La inversión para ajustar los 32 P/N a una disponibilidad del 96%, es de \$ 215,845 dólares, donde la disponibilidad global aumentaría de 96% a 96,6%. Mitigando en gran medida la cantidad la no disponibilidad de las herramientas más críticas en este momento.

## 7. CONCLUSIONES

- Los indicadores del proceso de entrega y retorno de herramientas, permitieron identificar con claridad la capacidad de respuesta del almacén, los tiempos empleados por los técnicos pidiendo herramientas, cuáles son las más frecuentes, entre otros. Con el procedimiento planteado, se pasa de 36,6 horas hombre al día invertidas en reclamar herramientas en taquilla, a 12,5 horas, una disminución de 24,1 horas al día. El costo para la compañía promedio por hora para un técnico es de 19 dólares, es decir, al día son USD \$ 458, o USD \$ 13928 dólares al mes, en horas hombre que se pueden invertir directamente en la ejecución de las tareas de mantenimiento, aumentando la productividad.
- A pesar del abastecimiento de herramientas, las mediciones indican que efectivamente las herramientas pedidas en las horas críticas, son en su mayoría elementos básicos que no se cargan a las órdenes de trabajo, pero son necesarias para su ejecución, hallazgo importante para tomar medidas con estas herramientas y facilitar su ubicación y control.
- Se logra identificar la causa de las constantes confusiones y pérdidas de herramientas en el almacén, proponiendo e implementando un nuevo procedimiento, que reduce el tiempo de cada operación de 119 a 87 segundos, lo que representa una disminución de 132 minutos diarios o 66 horas mensuales, a la vez que se eliminan las pérdidas de herramientas en el almacén y aumenta la disponibilidad al ingresar los artículos a stock en el momento que llegan a taquilla.

- Se espera que, con la nueva estantería, se mejore notablemente la disposición de las linternas y orden de las herramientas que están de paso en taquilla, siendo el apoyo estructural del nuevo procedimiento.
- Conociendo la demanda y la disponibilidad de cada herramienta, se tienen las bases para optimizar el inventario y lograr el objetivo principal de planificar y abastecer las herramientas día a día, con efectividad y claridad a cerca de su comportamiento. Para ajustar la disponibilidad de las 60 herramientas más críticas por su demanda y disponibilidad, al 96%, se estima una inversión de USD \$ 216000, aumentando la disponibilidad global de 95,9% a 96,6%.
- El modelo de análisis de inventario muestra el comportamiento real de las herramientas y permite el análisis por parte de la gerencia de facilidades y equipos, siendo una alerta para tomar acciones en cuanto al nivel de stock y las oportunidades de negocio con los equipos de uso esporádico.
- Conociendo la demanda de herramientas por temporadas, se puede planear el momento oportuno para hacer mantenimiento de herramientas y tener el mejor stock en las temporadas de mayor demanda. Además, analizar el historial de desgaste y compra de herramientas, con la disponibilidad y demanda, para acelerar, retardar o corregir la cantidad de herramientas a comprar.
- Los indicadores de demanda y disponibilidad, además del modelo de análisis, son la puerta de entrada y una herramienta esencial para lograr la efectividad en la planeación y abastecimiento de herramientas a mantenimiento.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEAN Manufacturing, Gestión de Almacenes. (2016). Tomado de: [www.ingenieríaindustrialonline.com](http://www.ingenieríaindustrialonline.com)
- [2] SOLUMAT S.A.S. (2017). El proceso de almacenaje.
- [3] NOEGA Systems. (2018). Soluciones de almacenaje, Planificación y ubicación de los almacenes.
- [4] SERVICIOS S.L. (2017). Los costes en presupuestos de almacén.
- [5] ISOTools. (2019). Software Gestión Procesos, KPI (Key Performance Indicators) Indicadores clave de desempeño.
- [6] Helmut Sy Corvo. (2018). Punto de reorden: Cómo calcularlo en inventarios.
- [7] LEAN Lab. (2013). 10 Exercises on Reorder Point. Tomado de: [www.leanmanufacturingpdf.com](http://www.leanmanufacturingpdf.com)