

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO VERTICAL AUTOMATIZADO EN UNA AEROLÍNEA REGIONAL.

AUTOR

JUAN MIGUEL GONZÁLEZ LOZANO

Administrador Logístico

est.juanm.gonzalezl@unimilitar.edu.co

juanmiguelgonzalezlozano9@gmail.com

**Artículo Trabajo Final del programa de Especialización en Gerencia Logística
Integral**



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA LOGÍSTICA INTEGRAL
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
NOVIEMBRE, 2022**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO VERTICAL AUTOMATIZADO EN UNA AEROLÍNEA REGIONAL.

DESING OF AN AUTOMATED VERTICAL STORAGE SYSTEM IN A REGIONAL AIRLINE.

Juan Miguel González Lozano

Especialización en Gerencia Logística Integral

est.juanm.gonzalezl@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En la actualidad y en la evolución de los procesos de cualquier industria, conlleva a la necesidad de inclusión de tecnología en cada una de sus actividades para disminuir tiempos y riesgos adyacentes a la operación propia de cada empresa, es de allí donde surge la importancia de realizar propuestas de inclusión tecnológica en los procesos logísticos, como la transformación del sistema tradicional en un almacén aeronáutico e implementar un sistema de almacenamiento vertical automatizado para el alistamiento de material y herramientas necesarias en el cumplimiento de tareas programadas e imprevistas de mantenimiento de las aeronaves; reducir espacios, tiempos de alistamiento, movimientos en tiempo real que permiten una buena administración de inventario y de recursos adquiridos por la empresa, así mismo cumplir con los trabajos requeridos por los fabricantes y las tareas correctivas propias de la operación de cada aeronave para asegurar su aeronavegabilidad segura bajo los parámetros establecidos por la autoridad aeronáutica, adicionalmente asegurar el cumplimiento de la planeación y programación de itinerarios realizados por la aerolínea.

Palabras Clave: almacenamiento vertical, automatización, gestión de inventario, logística, mantenimiento de aeronaves.

ABSTRACT

At present and in the evolution of the processes of any industry, it leads to the need to include technology in each of its activities to reduce times and risks adjacent to the operation of each company, This is where the importance of making proposals for technological inclusion in logistics processes arises, such as the transformation of the traditional system into an aeronautical warehouse and implementing an automated vertical storage system for the preparation of material and tools necessary to fulfill scheduled tasks. and unforeseen aircraft maintenance; reduce spaces, set-up times, movements in real time that allow a good administration of inventory and resources acquired by the company, as well as comply with the work required by the manufacturers and the corrective tasks specific to the operation of each aircraft to ensure its safe airworthiness under the parameters established by the aeronautical authority, additionally ensuring compliance with the planning and programming of itineraries carried out by the airline.

Keywords: Vertical storage, Automation, Inventory management, Logistics, Aircraft maintenance.

INTRODUCCIÓN

En el proceso logístico de una aerolínea existe un lugar denominado Almacén Aeronáutico, en donde se almacenan los elementos requeridos para el cumplimiento de los diferentes trabajos de mantenimiento programados o imprevisto de las aeronaves; de acuerdo a lo establecido por la autoridad de regulación aeronáutica de Colombia Aerocivil quien establece los parámetros de almacenamiento que deben aplicarse para unas instalaciones seguras para los elementos que se requieren para los trabajos de mantenimiento de las aeronaves, equipos, componentes y herramientas.

Las condiciones de almacenamiento deben asegurar la segregación entre los componentes y materiales certificados para su uso, estar de conformidad con las instrucciones del fabricante para prevenir el deterioro y/o daño de los elementos almacenados de acuerdo a lo estipulado por la autoridad aérea en el RAC 145 "Reglamentos Aeronáuticos de Colombia". Este lugar se divide de acuerdo al tipo de material adquirido o removido de las aeronaves; en este espacio que debe estar de acuerdo a la norma técnica estandarizada por parte de la autoridad aeronáutica segmentado de acuerdo al tipo de elementos almacenados, con el espacio y condiciones ambientales de temperatura y humedad controladas para su utilización en el momento que se requiera [1].

La clasificación de material almacenado debe ser controlada y segregada por tipo de elemento, de acuerdo a sus características físicas y dimensión para que sea accesible su ubicación en el momento que se requiera. A partir de un almacenamiento estandarizado y organizado de los recursos físicos de material se proyecta una planificación de trabajos en el mantenimiento preventivo y mandatorio de las aeronaves, sin embargo, en dicho almacén por la cantidad de referencias (Manufacturing Part Number), las cantidades de cada ítem deben ser controladas en el inventario, ya que, cualquier error por factor humano, por omitir los procedimientos (no realizar salida de almacén), tiene impacto en la programación de trabajos de mantenimiento por lo que se debe asegurar las cantidades físicas reales para realizar el alistamiento respectivo; todo producto aeronáutico y herramienta que ingrese a los almacenes y bodegas, debe ser continuamente verificado de manera detallada para mantener un inventario actualizado, información física y documental desde la fabricación de los elementos adquiridos [2].

Para mitigar los riesgos de pérdida, desperdicio o inexistencia, por parte de la administración del Almacén aeronáutico, es viable implementar herramientas tecnológicas que sean de ayuda de control para generar estadísticas de confiabilidad de inventario en custodia, iniciando con la identificación de material, verificando los elementos físicos son acordes a lo requerido para el trabajo de mantenimiento en las aeronaves según lo pronosticado y programado.

En la gestión de los inventarios, constituye una reserva de material para garantizar un determinado servicio al cliente interno y externo [3]. El inventario es una cantidad de materiales que se utilizan para facilitar la producción o para satisfacer la demanda del consumidor [4].

La gestión de inventarios y almacenes tiene entre otras las siguientes funciones: Garantizar un determinado nivel de servicio, ajustar las curvas de la oferta y la demanda, evitar disminución de inventario, anticiparse ante situaciones imprevistas, evitar los incrementos de precio de adquisición, disminuir los posibles errores en la gestión de compras, asegurar el proceso logístico [5].

Un aspecto importante para el análisis y la administración de los elementos en custodia es determinar el tipo de productos que hacen parte del inventario, clasificar de acuerdo a su composición física y consolidarlos según sus componentes comunes, esto facilita su almacenamiento para el control del inventario.

En la actualidad en los procesos logísticos ha sido necesario implementar diferentes herramientas tecnológicas para así darle un valor agregado a la cadena de suministro de todas las industrias, en todas las operaciones que realiza una empresa, desde la adquisición de los recursos necesarios para su funcionamiento, integrando las nuevas tecnologías causando un impacto positivo en la disminución de tiempos y costos en cada uno de los eslabones; se puede sintetizar en la palabra

innovación. Entendiendo como innovación la “transformación en valor de oportunidad de mejora, introduciendo un cambio en un sistema de referencia” [6].

Los avances tecnológicos actuales, tanto en el campo de la manipulación física de los materiales como de las técnicas de almacenaje, junto con la aplicación de la informática y la robótica a los procesos logísticos, han creado un campo importante de innovación, como para hacer que los almacenes constituyan una de las áreas tecnificadas dentro de la cadena logística de distribución, sin embargo en la medida que los almacenes evolucionan con técnicas de tecnología avanzadas, la distribución de gastos se invierten, adquiriendo protagonismo los gastos de mantenimiento del equipo, con la disminución de los gastos de personal [7].

En la industria aeronáutica se mantiene en continua investigación, la implementación de la tecnología tanto en las aeronaves, como en toda la cadena de suministro de esta categoría, con el objetivo de automatizar sus procesos para incrementar la competitividad, tal es el caso del centro tecnológico Centro Avanzado para el Desarrollo Aeroespacial (CATEC) a través de proyectos que pretenden desarrollar herramientas y alternativas tecnológicas (Industria 4.0) como la Inteligencia Artificial, para la toma de decisiones, sistema automatizado de pintado, técnicas de realidad aumentada, sensorización RFID de las piezas fabricadas y diferentes proyectos tecnológicos encaminados a brindar valor agregado a cada los eslabones de la cadena logística aeronáutica [8].

Los robots y la robótica de almacén describen la maquinaria y la automatización utilizadas para mejorar la eficiencia de un centro de distribución, centro de producción u otro sistema de almacenamiento con un flujo constante de mercancías o materiales que viajan a través de él. Ya sea a través de robótica o maquinaria de automatización el resultado es el mismo: la optimización de las operaciones en todos los ámbitos de la cadena de suministros [9].

En Colombia una de las implementaciones tecnológicas reconocidas en el sector aeronáutico ha sido la construcción del centro logístico de la Fuerza Aérea Colombiana base aérea CACOM 3 en CATAM donde desde el 2008 se proyectó la inclusión tecnológica en su centro logístico para la organización y almacenamiento de los productos aeronáuticos que tiene en custodia para el cumplimiento de todas las actividades que corresponden a la administración de material de todas las bases del país para el cumplimiento de los trabajos programados e imprevistos de toda la flota aeronáutica que tiene la Fuerza Aérea en el país [10].

En la cadena logística, los almacenes tienen una influencia notoria cuando se trata de disponibilidad de inventario, al ser un punto neurálgico ya que depende la proyección de acuerdo a la demanda de material para el cumplimiento de los trabajos básicos de las empresas [11].

Una de las mejores estrategias de disminuir el impacto de novedades es incluir en los procesos logísticos la transformación digital y tecnología de punta en la cadena

de suministros, los medios de actualización y análisis digital de datos y la robotización en el almacenamiento del material aeronáutico, contribuyen a una planificación de procesos de manera asertiva conllevando a mantener una información de inventario confiable, útil para la toma de decisiones importantes para la empresa y su planeación sea cumplida satisfactoriamente [12].

La tecnología RPA (Robotic Process Automation) que tiene como objetivo reducir la intervención o manejo manual de las actividades en los procesos, automatizando las tareas repetitivas o mecánicas creando robots, con los que se pueden crear las acciones o actividades que realiza una persona [13].

Dentro de un sistema o proceso se pueden generar tareas repetitivas tales como, tareas de documentación, análisis de datos, directorios, conectarse con servidor, uso de aplicaciones, cargar información, uso de correo electrónico, descarga de archivos, uso de bases de datos, realizar cálculos estadísticos, matemáticos etc, toma de decisiones (sin complejidad) debe estar bajo la supervisión de un humano. [13]

El crecimiento de la integración de estas tecnologías, en las actividades de la industria aeroespacial para automatizar los procesos de producción que requieren participación humana para reducir los errores por factor humano y aumentar la productividad, han sido la base fundamental para el crecimiento de la adopción de la tecnología RPA, que ayuda en la optimización de procesos de alto volumen. Sin embargo inicialmente esta tecnología se ha implementado en procesos de producción de aeronaves, realizando actividades manuales de pintura, soldadura, remachar tornillos etc; actividades manuales que se han mejorado notoriamente tanto en la productividad y la disminución de accidentes laborales, sin embargo se tiene proyectado que esta tecnología sea implementada en cada uno de los procesos de la industria, con el objetivo de ser más productivos en cada una de las actividades proyectando para el 2030 una inclusión importante de esta tecnología en la industria aeroespacial. [13]

La contribución de este estudio es proponer un sistema de almacenamiento tecnológico automatizado para la industria aeronáutica, específicamente para una aerolínea, que permita a su almacén aeronáutico mantener físicamente sus productos, herramientas y componentes de manera que se tenga organizado, estandarizado y con las existencias reales para la programación de trabajos programados e imprevistos de las aeronaves, con la implementación de un almacenaje vertical automatizado que se conforma de un robot de almacenamiento programado con un WMS para su control y disponibilidad para el alistamiento de elementos requeridos para el cumplimiento de tareas de mantenimiento.

El objetivo de este estudio es desarrollar un estudio de factibilidad para la implementación en un almacén aeronáutico a través de un proceso de robotización para el almacenamiento automatizado, disponibilidad y alistamiento del material

requerido en el cumplimiento de los trabajos programados e imprevistos de la flota de aeronaves de la aerolínea.

¿Como implementar en un almacén aeronáutico la robotización en un proceso de almacenamiento automatizado, de acuerdo a un estudio de factibilidad que conlleva a mantener la disponibilidad del material requerido en los trabajos programados e imprevistos de la flota de aeronaves?

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente es un estudio tipo de investigación exploratorio, cualitativo. Con respecto al alcance de esta investigación es exploratorio ya que, al momento en la industria aeronáutica, solo se ha implementado la robotización en procesos de producción, con este estudio se propone que se implemente una automatización robótica de procesos, o RPA (Robotic Process Automation) en un almacén aeronáutico [14].

La metodología del presente estudio se divide en tres etapas; diagnóstico, diseño y evaluación, presentada en la **Figura 1**.

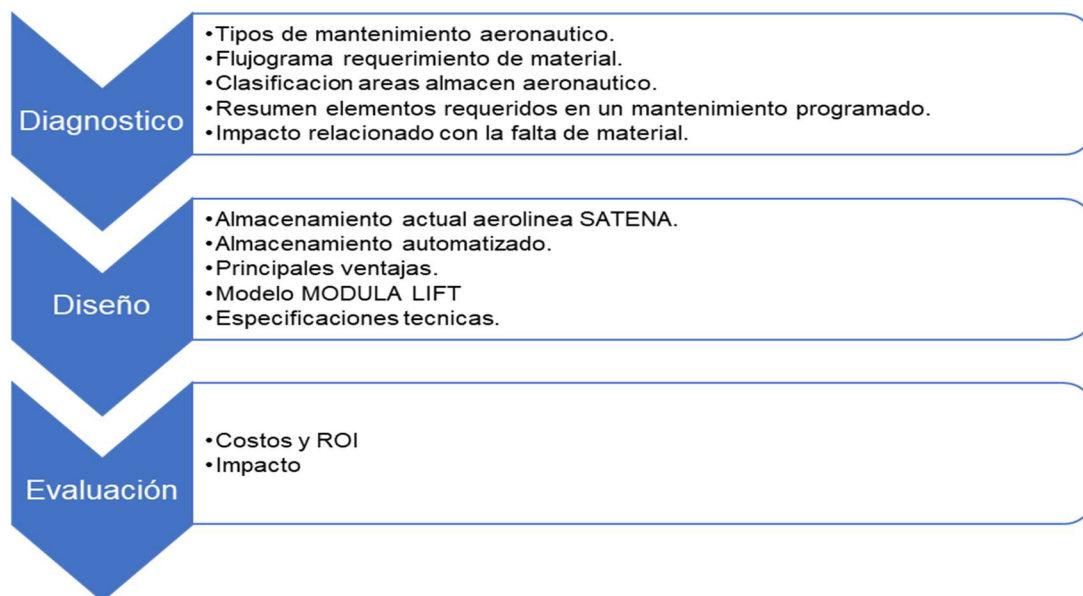


Figura 1. Diagrama Fases de la metodología aplicada.

Fuente: Elaboración propia.

En el diagnóstico se inició con la verificación del flujo de proceso de requerimiento de material para las aeronaves, luego se indica cómo está dividido el almacén aeronáutico y sus bodegas.

Se continua con cuadro informativo de las tareas a realizar para un periodo determinado (vigencia), con cada uno de los materiales requeridos para el cumplimiento de los trabajos programados en una aeronave.

Seguido, se resume las implicaciones que se presentan en el momento del no cumplimiento de las tareas programadas en las aeronaves que han surgido a través del tiempo en el almacén aeronáutico, que derivan en el retraso y en algunas ocasiones en el no cumplimiento de tiempos en la programación de los trabajos de mantenimiento programados e imprevistos de las aeronaves que impactan con el cumplimiento de lo proyectado por la organización.

En la etapa del diseño, se analizaron las herramientas tecnológicas que pueden ser complementadas con la robotización para mejorar los niveles de servicio, cumplimiento y del inventario.

Finalmente, en la etapa de evaluación se verifica y concluye si la inclusión de la tecnología RPA en el almacén aeronáutico de la aerolínea cumple con los estándares de calidad requeridos por la autoridad aeronáutica, así mismo se evalúa el impacto en la programación de trabajos de mantenimiento, con el alistamiento y separación del material requerido, las salidas de almacén en tiempo real y la verificación automática del inventario general del almacén con sus respectivos reportes.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico

Actualmente en la aerolínea se realiza la programación de tareas de mantenimiento a través de un listado de elementos y herramientas requeridos para el cumplimiento de servicios de mantenimiento de las aeronaves, existe un listado master de elementos y herramientas requeridas para realizar el mantenimiento de cada una de las aeronaves de la flota, inicialmente el área de ingeniería técnica, la cual analiza y programa los servicios y chequeos a cumplir en un rango de tiempo definido, de acuerdo a horas o ciclos de vuelo de cada una de las aeronaves. Este listado máster se compone de tareas mandatarías a realizar de acuerdo a la condición de los componentes en cada inspección, relacionado al detalle el material y las cantidades requeridas para la ejecución del mantenimiento; generalmente esta proyección y programación de mantenimiento de las aeronaves se realiza para un año, siendo este listado el insumo detallado base de la planificación logística a ejecutar.

Inicialmente este listado de material debe ser consolidado y cruzado con las existencias del inventario del almacén aeronáutico, con las cantidades necesarias

determinadas por la programación de mantenimiento ya que, si no hay existencias de los productos requeridos o las cantidades solicitadas, se debe realizar la ejecución de pedidos al área de abastecimientos para su proceso de adquisición.

En la figura 2 se representa cual es el proceso actual de requerimiento de material desde el inicio de la necesidad (programación de trabajo de mantenimiento) hasta la utilización del material en la aeronave:

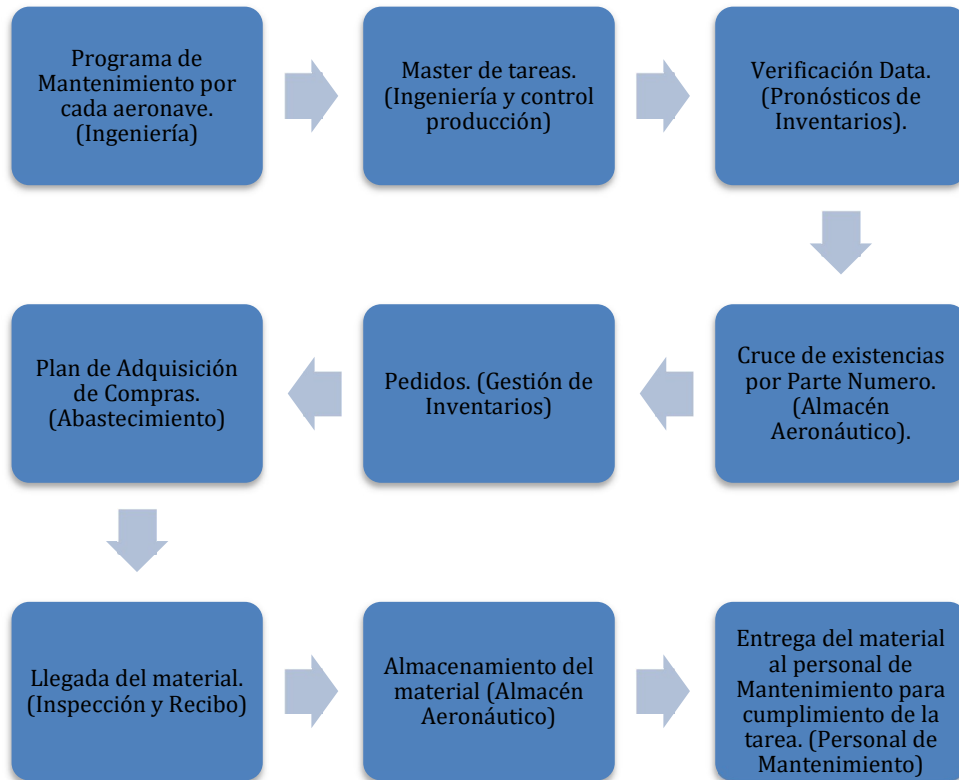


Figura 2. Mapa de proceso requerimiento de material.

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la clasificación y definición de cada una de las áreas del Almacén donde se ubican físicamente los elementos que corresponden al inventario general del Almacén Aeronáutico.

- a) Almacén Aeronáutico: Es el área establecida para almacenar y custodiar todos los elementos y/o componentes adquiridos en condición nueva y en servicio para el cumplimiento de los trabajos de mantenimiento una vez efectuada la inspección y recibo certificada por un inspector aeronáutico de calidad.
- b) Almacén Reparables: Es el lugar establecido en donde se almacenan los componentes en condición: serviciables y/o no serviciables, que son

susceptibles de reparación debidamente identificados, para su posterior almacenamiento y/o envío a talleres reparadores.

- c) Almacén Herramientas: Es el lugar establecido para almacenar, custodiar y administrar, toda herramienta adquirida para el cumplimiento de los trabajos de mantenimiento, con su correspondiente inspección de recibo y control de calibración y/o mantenimiento como sea requerido.
- d) Bodega de Lubricantes: Es el área establecida para almacenar, custodiar y administrar todo el material de lubricantes, grasas, aceites, químicos y otros de su especificación adquiridos para el cumplimiento de los trabajos de mantenimiento una vez efectuada la inspección de recibo, aplicando el control de vida límite cuando corresponda (shelf life).
- e) Bodega de Llantas: Es el área establecida para almacenar y custodiar el material de cauchos para el armado de ruedas una vez efectuada la inspección de recibo.
- f) Cuarto Ambiente Controlado: Es el lugar establecido para almacenar los componentes que requieren control especial de conservación por humedad y temperatura, según las recomendaciones dadas por el fabricante.
- g) Cuarto de Baterías: Es el lugar establecido para almacenar bajo stock de baterías disponibles, para cubrir los diferentes requerimientos de las aeronaves.
- h) Cuarto de Botellas Extintoras: Es el lugar establecido para almacenar las botellas extintoras disponibles, para cubrir los diferentes requerimientos de las aeronaves.

A continuación, se realiza una breve descripción de los tipos de mantenimiento necesario en las aeronaves de acuerdo a lo estipulado por la autoridad aeronáutica colombiana (rac43)

Mantenimiento: Ejecución de trabajos requeridos en la aeronave, para asegurar funcionamiento de todos sus equipos y la aeronavegabilidad segura, lo que incluye una o varias tareas como son de reacondicionamiento, reemplazo de piezas, inspecciones, rectificación de defectos, modificación o reparación de alguna parte de la aeronave, Inspección anual o programada: es una revisión general de la aeronave y sus programas de mantenimiento del fabricante, Mantenimiento en línea: trabajo que asegura la condición de aeronavegabilidad, de la aeronave, que no requieren instalaciones especializadas, equipos, procedimientos específicos que se pueden clasificar como cualquier tipo de mantenimiento no programado resultante de eventos imprevistos en la operación, así mismo la instalación de unidades reemplazables de fácil acceso [15].

En la Tabla 1 se detalla el consolidado de elementos requeridos para la ejecución de las tareas de mantenimiento programado y los elementos necesarios de ejecución en una aeronave de operación regional.

Tareas de mantenimiento programado y elementos requeridos para la ejecución.	
AERONAVES	1
TAREAS A CUMPLIR	743
PROGRAMACIÓN	12 MESES
HERRAMIENTAS REQUERIDAS	386
CONSUMIBLES	4611
COMPONENTES	120

Tabla 1. Tareas de mantenimiento programado y elementos requeridos para la ejecución.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3. resume los factores relacionados con el material requerido que generan impacto o Implicaciones que se tienen en la programación de trabajos de mantenimiento de las aeronaves y las consecuencias que conllevan al momento que ocurre una falla en la planeación logística y generan consecuencias importantes para la empresa, principalmente consecuencias económicas.



Figura 3. Consecuencias en la operación por novedades en el material requerido para el mantenimiento de aeronaves.

Fuente: Elaboración propia.

Como se presenta en la Ilustración 1, el almacén aeronáutico actual de la aerolínea SATENA, se encuentra segmentado por tipo de material, clasificado de acuerdo a su dimensión donde los elementos consumibles de pequeña dimensión se encuentran almacenados en gavetas plásticas, organizados alfanuméricamente para su ubicación. La mesa de alistamiento es el centro de preparación de listados de material requerido, donde el operador de almacén debe realizar la inspección física y documental del material, de acuerdo a solicitud realizada por parte del técnico de mantenimiento que va a ejecutar el trabajo de mantenimiento, el operador de almacén debe realizar el movimiento de salida en el sistema de control de inventarios, ya que de esta manera se disminuye la cantidad del elemento que será utilizado.



Ilustración: 1. almacén aeronáutico actual de los elementos consumibles de pequeña dimensión y mesa de alistamiento

Fuente: propia

En la Ilustración 2. se presenta como están divididos los pasillos, el material pequeño, gavetas plásticas y como están almacenados los materiales de mediana dimensión (máximo 70 cm) distribuidos en el almacén aeronáutico actualmente.



Ilustración: 2. almacenamiento de material de diferente tamaño, de acuerdo a tipo y dimensión del elemento.

Fuente: propia

En la Ilustración 3, se muestran los muebles corredizos utilizados para almacenar los componentes removidos de las aeronaves, que son susceptibles de reparación, el tamaño de los elementos varía, su máxima dimensión es de (80 cm) cada uno.



Ilustración: 3. Zona de componentes removidos de las aeronaves, susceptibles de reparación.

Fuente: propia.

Diseño

Almacenamiento vertical automatizado en el almacén aeronáutico.

Los almacenes automáticos definidos con el concepto vertical son aquellos basados en el concepto de ahorro de espacio en el suelo, que son llevados a la altura de hasta 16,1 metros de altura y una carga neta máxima de hasta 90.000 kilogramos [17]. Se pueden almacenar cualquier tipo de material de manera segura, limpia y ordenada, que permiten ahorrar hasta el 90% de espacio del suelo del almacén aeronáutico, esta tecnología está concebida para aprovechar el espacio de una bodega conllevando la inclusión de tecnología como respuesta a las necesidades del almacenamiento.

La implementación del sistema de almacenamiento vertical automatizado en el almacén aeronáutico de la aerolínea SATENA, se debe inicialmente realizar una reclasificación y unificación de los elementos que hacen parte del inventario, segmentando por tipo de elementos de acuerdo a sus características y dimensiones, de esta manera, las cajas plásticas donde se encuentran almacenadas en 12 pasillos de 218 ubicaciones cada uno, es decir 2.616 gavetas plásticas que ocupan alrededor de 90 mts². Este material será almacenado en una máquina de almacenamiento modula lift que ocupa 15 mts².

para los 470 elementos de mediana dimensión (máximo de 70 cm) que actualmente están almacenados en el almacén aeronáutico distribuidos en 8 stands serán unificados en una máquina modula lift.

Las 320 herramientas de uso repetitivo de pequeña y mediana dimensión que ocupan 6 estantes que ocupan actualmente 60 mts² serán almacenados en una máquina modula lift que ocupa 15 mts².

Con el sistema de reconocimiento puntero láser el elemento que es requerido por parte del operador de almacén a través de la pantalla dinámica de cada máquina de almacenamiento, inmediatamente se realiza la salida de almacén, de acuerdo a la configuración realizada en el WMS, este material será descontado del inventario realizando la salida de almacén, con los datos como el número de tarea de mantenimiento y trabajo a realizar cargado a una aeronave.

A partir de la implementación del sistema de almacenamiento automatizado vertical se mitigan los factores de riesgo de preparación y alistamiento de material requerido para el cumplimiento de trabajos de mantenimiento ya que al mantener un sistema automatizado de control de inventario autónomo se asegura el control de las existencias y la disponibilidad de material que hacen parte del inventario que permiten prever adquisiciones de material adicionales, llevando a si una planeación logística acorde a la necesidad de los requerimientos obteniendo las siguientes ventajas para la administración de inventarios y recursos para los operarios del almacén:

DISMINUCIÓN DE TIEMPOS: Los operarios no tienen que moverse por todo el almacén para almacenar o ubicar los elementos requeridos, utilizando el almacenaje vertical, utilizando el principio de almacenamiento de acuerdo a tipo de elementos, este será ubicado directamente en la máquina de almacenamiento.

REDUCCIÓN RIESGOS: Reduce y evita situaciones peligrosas de manejo de mercancías a los operarios del almacén aeronáutico para acceder a un nivel de altura por medio de escalera.

SEGURIDAD: El acceso a los materiales almacenados dentro del almacén solo está permitido a operadores autorizados con las aprobaciones correspondientes (clave, contraseña), cada acceso puede ser monitoreado e incluso limitado a bandejas específicas a través de permisos específicos.

PRECISIÓN EN EL ALMACENAMIENTO: con el uso de herramientas visuales simples e intuitivas que ofrece el almacenamiento vertical propuesto, cada operador del almacén aeronáutico puede identificar fácilmente aquellos productos que necesitan ser almacenados o requeridos en el almacén automatizado, esto contribuye a una reducción importante de tiempo y errores en el inventario.

GESTIÓN DEL STOCK DEL ALMACÉN: Cada vez que se almacenan o requieren un elemento para ser utilizado, el operador recibe indicaciones claras sobre los niveles de cantidades de existencias y los compara con las cantidades reales de stock para realizar una comparación de inventario en tiempo real.

La solución tecnológica propuesta ahorra espacio y tiempo en el almacenamiento, además que mejora la seguridad y flexibilidad de los almacenes automatizados que representan una solución viable para cualquier industria, construidos con una robusta estructura, estantes y bandejas están elaborados en acero, que alberga y soporta las bandejas, con un elevador motorizado central para moverlas desde los estantes de soporte hasta las bahías del operador para incluir o extraer elementos del inventario.

La bahía externa proporciona una ergonomía cómoda de trabajo para los operadores del almacén, se pueden equipar con un solo nivel de entrega, adecuado para cuando el acceso a la máquina es esporádico o para el momento de la recolección de los elementos para el operador es corto. La bandeja de espera se presenta al operador solo unos segundos después que la bandeja anterior haya sido completada, casi simultáneo el cambio de bandejas puede aumentar la productividad significativamente.

En la Ilustración 4, se muestra como la bandeja de almacenamiento del material queda a disposición del operario del almacén para tomar el elemento que fue solicitado a través de la pantalla dinámica, para realizar el alistamiento correspondiente.



Ilustración: 4. Bandeja externa que atrae el material al operador del almacén.

Fuente: [16]

MODULA LIFT: De acuerdo al fabricante del sistema de almacenamiento vertical Modula Lift el modelo inicial lanzado al mercado en el año de 1987 y cuenta con más de mil máquinas instaladas en todo el mundo con una evolución significativa a través del tiempo, Modula Lift es uno de los almacenes verticales automatizado más fiables y más utilizados en el mundo, ya que representa una solución tecnológica ideal en el almacenamiento de productos industriales de cualquier tipo de elemento y en cualquier industria por sus ventajas para reorganizar y mejorar su flujo de procesos por su flexibilidad, diseño y facilidad de uso, apoyando efectivamente al proceso de gestión de organización de alistamientos y organización del inventario.

Un producto tecnológico de almacenes automatizados se puede implementar como una mejora significativa a los procesos logísticos, que al mismo tiempo se puede acelerar la productividad en el alistamiento de material que permiten controlar la entrada y salida de los productos de inventario, garantizando un control de existencias más rápido y preciso, adicional que la manipulación de la carga totalmente automática aporta ventajas significativas en los procesos de alistamiento y producción traducidas en optimización completa del sistema de almacenamiento.

La ilustración 5, presenta el diseño establecido de cada una de las máquinas de almacenamiento vertical automatizado Modula Lift, se visualiza cada una de las partes que conforman su estructura, definido por cada sección, los soportes y accesorios que realizan el mecanismo de movimientos internos de las bandejas que contienen el material almacenado que conforma el inventario.

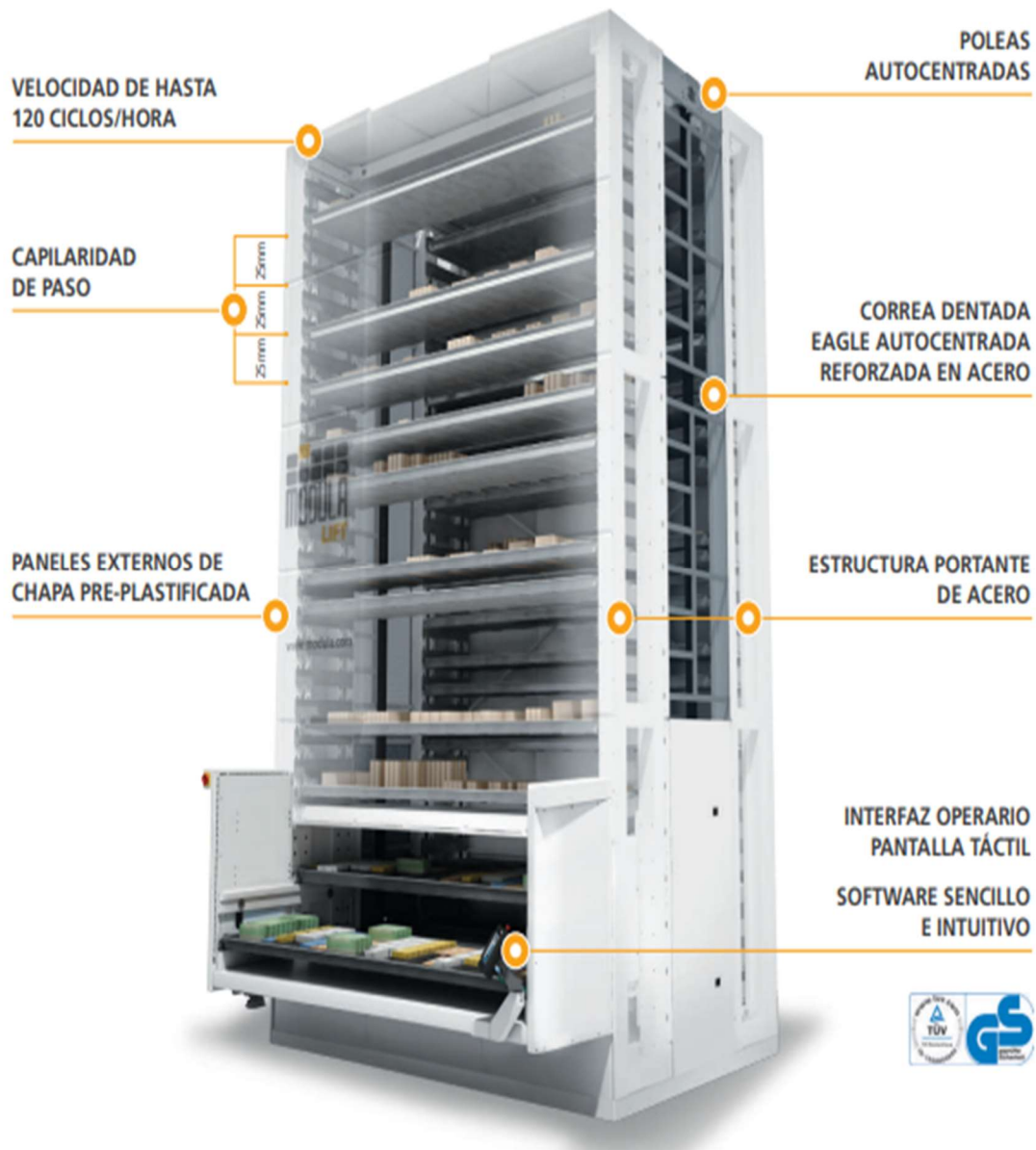


Ilustración: 5. Sistema de almacenamiento vertical automatizado, con cada una de sus partes que lo componen.

Fuente: [16]

En la Ilustración 6, se observa el sistema de bandejas utilizado para la máquina de almacenamiento automatizado, están divididas por separadores metálicos que permiten mantener los elementos segregados por referencia, divididos en cada uno de sus compartimientos que será definido de acuerdo al tipo de material.



Ilustración: 6. Modelo de bandejas separadoras que conforman el sistema de almacenamiento.

Fuente: [16]

Especificaciones técnicas del sistema de almacenamiento vertical automatizado modula lift, a continuación, se detalla las dimensiones, material construido y rendimiento de la máquina modula lift [17].

- Incremento de altura de la unidad: 200 mm
- Paso de almacenamiento de la bandeja: 25 mm
- Anchos de bandeja: de 1.900 mm a 4.100 mm
- Profundidades de la bandeja: 654 mm y 857 mm
- Carga útil neta de la bandeja: 250-500-750-990 kg
- Carga útil neta total: de 40.000 kg a 80.000 kg según modelo y configuración
- Carga útil bruta total: de 50 000 kg a 90 000 kg según el modelo y la configuración
- Altura máxima apilable: 695 mm (bahía S) / 895 mm (bahía M) / 1295 mm (bahía XL)
- Rendimiento: hasta 120 bandejas/hora (dependiendo de la configuración)
- Interfaz de operador: Consola industrial con tecnología de pantalla táctil de 10,4"
- Número de corredores: hasta 3, también sobre rasante y en el mismo lateral
- Tipos de bahía: interna o externa con nivel de entrega simple o doble
- Consumo mínimo de energía
- Comprobación automática de peso en el retorno de la bandeja
- Altura de los muebles: de 3.300 mm a 16.100 mm
- Estructura portante en acero galvanizado
- Transmisión por correa dentada reforzada con acero Eagle
- Sistema de guía de elevador con 6 rodillos de HDPE

Las máquinas modula lift están equipadas con un sistema de interfaz de operador de pantalla, diseñada para cualquier entorno industrial que permite el acceso a todas las funciones de la máquina, de forma inmediata y sencilla. Es una pantalla táctil que tiene una interfaz moderna desarrollada en un entorno de iconos y gráficos simples donde el manejo es netamente intuitivo para los operadores ya que no necesitan un entrenamiento particular para el uso de la máquina, esta pantalla es instalada junto a la bahía de ingreso y salida del material a una altura ergonómica para el alcance del operario en el momento de realizar un alistamiento.

En la ilustración 7, se presenta la pantalla que hace parte del sistema de almacenamiento automatizado y diseñada para evitar cualquier contacto entre los operadores y las cortinas de luz de seguridad, además está equipada con un botón de seguridad integrado en el momento que el operario necesite para inmediatamente la máquina. Además, esta consola es deslizante, la cual el operario puede manipular a lo largo y ancho de la bandeja durante la preparación de los materiales requeridos.



Ilustración: 7 Pantalla operadora sistema automatizado.

Fuente: [17]

En la Ilustración 8, el fabricante informa los modelos existentes, que de acuerdo a las necesidades de cada empresa tanto en peso o dimensiones requeridas se puede implementar el sistema de almacenamiento vertical automatizado.


ML & ML-D		Model	Width tray (mm)	Depth tray (mm)	Unit height tray wall tray (mm)	Net tray payload (kg)	Unit footprint with INTERNAL bay (Width x Depth) (mm)	Unit footprint with EXTERNAL bay (Width x Depth) (mm)
		ML25	4,100	654	70 / 120	250	4,517x2,556	4,517x3,246
		ML25D	4,100	857	70 / 120	250	4,517x3,165	4,517x4,058
		ML50	4,100	654	120	500	4,517x2,556	4,517x3,246
		ML50D	4,100	857	120	500	4,517x3,165	4,517x4,058
		ML75	4,100	654	120	750	4,517x2,556	4,517x3,246
		ML75D	4,100	857	120	750	4,517x3,165	4,517x4,058
		ML1000	4,060	654	145	990	4,517x2,556	4,517x3,246
		ML1000D	4,060	857	145	990	4,517x3,165	4,517x4,058

Ilustración: 8. Modelos existentes, diferentes dimensiones y capacidad de acuerdo a la necesidad de la empresa y tipo de inventario para almacenar.

Fuente: [16]

El sistema de almacenamiento vertical automatizado, tiene la opción de integrar un Software Modula WMS (Warehouse Management Software), sistema de gestión de almacenes creado para solventar y registrar todos y cada uno de los movimientos realizados en los almacenes, utilizable como herramienta independiente, con herramientas de apoyo de análisis de datos para una proyección de demanda e históricos de los elementos que hacen parte del inventario del almacén [18].

Software Modula WMS (Warehouse Management Software):

- Aporta obtener datos reales de existencias del almacén.
- Automatiza actividades de los operarios de almacén y reduce tiempos de alistamiento de material.
- Agiliza los procedimientos del almacén y aumenta el control de los procesos.
- Permite un alistamiento de material de manera más ágil y precisa.
- Permite el seguimiento completo de las operaciones realizadas en la preparación de requerimientos.
- Software de gestión del almacén configurable de acuerdo a la necesidad.
- Software con instrumentos gráficos para la gestión del layout de las bandejas y tiene interfaz con otros sistemas ERP (Enterprise Resource Planning).

Evaluación

Finalmente, para determinar si este modelo de almacenamiento vertical automatizado se ajusta a las necesidades actuales de la aerolínea SATENA, se toman dos aspectos:

Primer aspecto: Comparativo físico, ejemplo presentado en la Ilustración 9, en donde inicialmente se visualiza un almacenamiento tradicional y luego un almacenamiento vertical automatizado.

Almacenamiento tradicional / Almacenamiento automatizado



Ilustración: 9. Comparación gráfica del almacenamiento tradicional y almacenamiento automatizado.

Fuente: [16]

El resultado que se obtiene con la puesta en marcha en el proceso de almacenamiento y operatividad logística se obtienen los siguientes resultados derivados de la implementación:

Recuperación de espacio: se unifican los elementos almacenados actualmente en gavetas se calcula una optimización del 80% de espacio de almacenamiento

Velocidad de preparación requerimientos: los alistamientos de material de manera práctica y ágil por parte de los operadores del almacén aeronáutico.

Control del stock: Inventario actualizado en tiempo real, con cantidades de existencias de cada producto.

Errores en la preparación: en el momento del alistamiento se realizan los movimientos en tiempo real, asegurando los elementos solicitados con las cantidades correctas, con el fin de la programación de las tareas con los elementos necesarios para el cumplimiento de las órdenes de trabajo de mantenimiento de las aeronaves.

De esta manera se cumple con el objetivo propuesto ya que, con la optimización de espacio y actividades centradas en la administración del material almacenado, el alistamiento de material por parte del operador del almacén es más efectivo con

movimientos en tiempo real manteniendo un inventario con existencias manejadas a través del WMS del sistema de almacenamiento modula lift.

Aspecto económico: Costos y ROI (retorno sobre la inversión):

Inversión estimada: Se calcula una inversión de EUR40.000 aproximadamente por máquina el cual cubre la instalación de todos los equipos y soporte técnico 24/7. una proyección de necesidad para abarcar el material del total del inventario actual se estima de la siguiente manera:

Almacén aeronáutico (03) tres máquinas para el material consumible y componentes pequeños.

almacén herramientas (01) una máquina para unas 300 herramientas del actual inventario.

almacén lubricantes (01) una máquina.

almacenes reparables (01) una máquina

para un total de (06) maquinas modula lift costo aproximado de inversión de EUR 240.000

3. CONCLUSIONES

La implementación de la tecnología en los procesos de almacenamiento en cualquier industria es una evolución necesaria para estar a la vanguardia del avance tecnológico que día a día se sigue implementando en la cadena logística de cualquier compañía, como se observa en el presente estudio, la importancia del control del inventario es esencial para la programación y cumplimiento de los trabajos de mantenimiento de las aeronaves de una compañía de la industria aeronáutica ya que su costo de adquisición de algunos elementos es de gran cuantía y así mismo el impacto ya que en el momento de no contar con una pieza específica, puede acarrear costos significativos adicionales con el fin de cumplir con la operación normal de las aeronaves. estos costos adicionales pueden verse reflejados en adquisiciones en el exterior, que debido a la urgencia de la necesidad, algunos proveedores pueden aprovechar la ocasión y aplicar costos excesivos por el bien conocido en la aviación como avión en tierra (AOG) por sus siglas en inglés, además de los costos asociados que conllevan a la empresa por cambio o cancelación de los itinerarios programados que conllevan a costos asumidos por la compañía como son los pagos a los usuarios como los resarcimientos y sin que decir del impacto a la imagen corporativa de la empresa por incumplimiento.

La importancia del almacenamiento práctico, sencillo y eficaz con los beneficios que brinda una herramienta tecnológica automatizada, conlleva a un cumplimiento de requerimientos necesarios para asegurar la aeronavegabilidad de las aeronaves

con los estándares de seguridad establecidos por la autoridad aeronáutica mundial, con la confiabilidad necesaria de los elementos incorporados en las aeronaves ya que su ciclo de almacenamiento se cumple y adicionalmente el proceso logístico cumple a cabalidad con los requerimientos establecidos bajo los programas de mantenimiento de las aeronaves.

Conforme al estudio de factibilidad realizado en el presente estudio, se concluye que la implementación de un sistema de almacenamiento vertical automatizado en el almacén aeronáutico de la aerolínea SATENA tiene un impacto positivo en su reestructuración física por la optimización de espacio y a su vez la mitigación de riesgo de entrega de material sin el respectivo movimiento, ya que se realiza su salida de inventario, ya que el láser de reconocimiento realiza la salida de almacén en el momento que se realice la solicitud a través del WMS incorporado.

La optimización de tiempos y la exactitud del alistamiento de material requerido mejoran, con sus cantidades concretas, de acuerdo a lo solicitado para el cumplimiento de tareas y trabajos de mantenimiento, incrementando el nivel de servicio del almacén aeronáutico y a su vez mantienen un inventario con sus cantidades reales.

Para finalizar se determina que la inclusión de tecnología en el proceso de almacenamiento de suministros, materiales y herramientas conlleva a la empresa a mantener un estándar de calidad de acuerdo a la regulación exigida por parte de la aeronáutica civil, manteniendo la seguridad de sus operadores de almacén y una mejora considerable en todo su proceso logístico ya que el almacén aeronáutico es parte fundamental en el pronóstico y la planeación de la operación de las aeronaves de la aerolínea SATENA.

REFERENCIAS

- [1] G. Estructura Normativa and E. Aeronáuticos, "Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil SECRETARÍA DE AUTORIDAD AERONÁUTICA."
- [2] Jose atehortua, "Ingeniería & estructuras aeronáuticas," www.josemiguelatehortua.com/practicas-estandar/numero-de-parte-y-c%C3%B3digo-de-suministro/, Sep. 26, 2022. www.josemiguelatehortua.com/practicas-estandar/numero-de-parte-y-c%C3%B3digo-de-suministro/ (accessed Nov. 07, 2022).
- [3] R. Cespón Castro, *Administración de la Cadena de Suministro*. 2012.
- [4] Anabelle De La Claridad Salinas Fragoso, "Fundamentos teóricos de la gestión de inventarios," www.gestiopolis.com/fundamentos-teoricos-de-la-gestion-de-inventarios/, Oct. 14, 2022.
- [5] Alberto Tundidor, Eva Hernández, Cristina Peña, Javier Campos, and Carlos Hernández, "Cadena de suministro 4.0," Oct. 30, 2018.
- [6] Fernando lasagni, "La industria 4.0 en el sector aeroespacial," www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2734316/aei-521-industria-40-sector-aeroespacial, Nov. 02, 2020.
- [7] Alemán Rodríguez, *TESIS EN OPCIÓN AL GRADO DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL*. Santa clara: 2013, 2013.
- [8] A. Maceda Díaz, *Procedimiento para el diseño del sistema de gestión de inventario en la Empresa Gráfica*. Cuba: 2012, 2012.
- [9] Julio Juan Anaya Tejero, *Almacenes análisis, diseño y organización*. Esic editorial, 2008.
- [10] B. Garrido Floyd Carlos Alberto Ds Bocanegra Peña Mauricio Ds Vásquez Alvarez John Edison, "Diseño de un Centro Logístico para el Comando Aéreo de Transporte Militar CATAM Design of a Supply Center for Catam."
- [11] D. Solística, "En que consiste la gestión de almacenes," Nov. 05, 2018.
- [12] Mecalux, "El almacén robotizado en la era de la logística 4.0," www.mecalux.com.co/blog/almacen-robotizado#:~:text=Un%20almac%C3%A9n%20robotizado%20es%20aque,log%C3%ADstico%20no%20es%20algo%20nuevo, Nov. 05, 2020.
- [13] RPA in Aerospace Industry Trend, "Robotic Process Automation in Aerospace Market Report 2021-2030," Nov. 07, 2020.
- [14] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGraw Hill, 2010.
- [15] Estructura Normativa G Aeronáuticos E, "Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil," 2019.
- [16] T. Vertical and T. Modula, "Modula LIFT N E W G E N E R A T I O N."
- [17] Vertical T and Modula T, "modula.com EN Modula World."
- [18] Vertical T and Modula T, "Modula Ventajas Think Vertical, Think Modula."