

Estudio sobre Implementación de Drones en el Control de Inventario para Almacenes en Empresas en Honduras

Rodrigo Sosa, Ingeniero Industrial y de Sistemas, Daniel Reyes, Ingeniero Industrial y de Sistemas Maria Elena Perdomo, Master en Ingeniería Industrial

¹Universidad tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, roderich.s18@unitec.edu, danielreyes25@unitec.edu, maria_perdomo@unitec.edu

Resumen— Con la llegada de la Industria 4.0 se introducen nuevas tecnologías para las industrias o para las empresas que se dedican a la fabricación de productos, este concepto es muy bien recibido por todas las empresas globales, pero en países como Honduras, que están en vía de desarrollo se presentan complicaciones para la implementación de estas diversas tecnologías, por lo que en este artículo se tiene como objetivo abrir un campo que está prácticamente inexplorado e inexistente en Honduras, que es aplicar las tecnologías de la Industria 4.0 en almacenes de empresas. El objetivo es proyectar una gestión de inventarios con drones, posiblemente de encontrar fallas en el método tradicional sobre la realización de un inventario en almacenes con racks. Para este fin se utilizaron diversos métodos estadísticos para buscar mejoras con el método con drones. Los resultados más importantes se pueden analizar en como una empresa al implementar un dron en este proceso puede tener ahorros muy grandes de forma monetario y operacionales, y también en como su uso puede facilitar la realización de inventarios dentro de almacenes en empresas de Honduras.

Palabras claves: Industria 4.0, drones, inventarios, implementación de nuevas tecnologías, gestión de inventarios con drones.

Abstract- With the arrival of Industry 4.0, new technologies are introduced for industries or for companies that are dedicated to the manufacture of products, this concept is very well received by all global companies, but in countries like Honduras, which are in a development path, there are complications for the implementation of these various technologies, so this article aims to open a field that is practically non-explored and non-existent in Honduras, which is to apply the technologies of Industry 4.0 in warehouses of companies. The objective is to project an inventory management with drones, possibly trying to find flaws in the traditional method of carrying out an inventory in warehouses with racks. For this purpose, various statistical methods were used to seek improvements with the drone method. The most important results can be analyzed in how a company when implementing a drone can have very large savings in a monetary and operational way and in how its use can facilitate the carrying out of inventories within warehouses in companies in Honduras.

Keywords: Industry 4.0, drones, inventories, implementation of new technologies, warehouse management with drones.

I. INTRODUCCIÓN

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

II MARCO TEÓRICO

En el siglo XXI el tema de drones y tecnología de drones se ha convertido en algo tan cotidiano para la humanidad que lo vemos como algo normal, como si fuera algo ordinario de todos los días, pero a diferencia de nosotros y las futuras generaciones, en el pasado cuando se hablaba de drones, este era un tema muy

avanzado y en su momento muy complicado para entender, ya que apenas se estaba descubriendo este tipo de tecnología y de dispositivos electrónicos, sin mencionar el hecho que era tecnología privada, por lo que no cualquiera podía tener acceso a ellos. Un dron es un vehículo que puede operar sin necesidad de tener un piloto, sino que puede ser controlado de manera remota [3].

En la actualidad, los drones son utilizados para diversas actividades fuera del uso militar, industrial o agrícola, muchas personas los utilizan por diversión, para filmografía, como método de competición y carreras, para distraerse, otros los utilizan para tomar fotos de paisajes o eventos especiales, también son utilizados en instituciones académicas, y así, sucesivamente se pueden mencionar distintas actividades en las que se usan los drones hoy en día; esto demuestra el gran cambio que esta tecnología ha tenido a lo largo de los años desde sus comienzos, que previamente solo era de uso militar y ahora siendo considerado por ciertas personas solo como un juguete más.

Por su parte, [4] indicaron que los drones o UAV (vehículos aéreos no tripulados) en la actualidad ya se están usando para transportar bienes como paquetes, alimentos y medicamentos. Se están realizando estudios en cuanto a la funcionalidad de los drones a la hora de transportar productos un poco más pesados, pero empresas como Amazon ya han hecho entregas con drones en muchas ocasiones.

Referencia [5] señalaron que las aplicaciones de drones en interiores se clasifican en: beneficios, desafíos tecnológicos y desafíos éticos. Con respecto a los beneficios se tiene que las diversas aplicaciones de interior presentan una menor cantidad de condiciones en comparación con las aplicaciones de exterior. Algunos de los beneficios más evidentes son los siguientes:

- Realizar tareas que presentan un nivel bajo de peligro
- Las regulaciones se hacen un poco más flexibles
- Estabilidad con respecto a las condiciones climáticas
- Los costos iniciales de inversión son muy cómodos

Por otro lado, también se encuentran los desafíos tecnológicos que menciona: [5].

- Vuelo limitado en zonas: al tener muchos obstáculos eso hace que el vuelo sea un poco más complicado.
- Navegación: no se tiene acceso a GPS por el medio ambiente.
- Integración: se puede perder el tiempo en realizar el proceso de integración de drones en algunos de los procesos que ya tiene la empresa.
- Seguridad: posibilidad que los drones puedan presentar algún tipo de falla al usarlos y en casos peligrosos puede que exploten por causa de las baterías.

Referencia [6] nos comenta que existen varios factores o problemas que pueden repercutir o afectar de manera directa o indirecta al uso de drones dentro de una empresa. Dentro de estos problemas los más críticos son el problema de ruta vehicular (VRP, por sus siglas en inglés) y los métodos de implementación de factores dependientes, ya que estos son los más difíciles de reducir lo mayor posible para que el impacto que tengan pase desapercibido y no afecta de manera negativa a la empresa.

De acuerdo con [7] otro desafío que se presenta es el mantenimiento y actualización de los drones, ya que cuando los dispositivos son obsoletos o sus sistemas operativos se encuentran desfazados, esto puede generar que los robots no funcionen de una manera apropiada y presenten errores.

Referencia [8] expresaron que con el paso del tiempo los procesos que se deben de hacer para un buen almacenamiento son cada vez más complicados y siempre se busca la automatización para poder aumentar la eficiencia y la eficacia de las operaciones. Por eso se usan los drones para que el proceso de automatización sea un poco más fácil de lograr. Las empresas para abordar este problema tienen la solución técnica de implementar las diversas aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados (UAV). La importancia de los drones es que se pueden aplicar para diversas funciones tales como operaciones de almacén, controles de inventario, etc. En la actualidad hay muchas empresas que cuentan el inventario de una manera muy ineficiente y obsoleta. Aun se realizan en la actualidad operaciones con papel y bolígrafos. No obstante, estos últimos años se ha podido apreciar una introducción de nuevas tecnologías que han llegado gracias a la industria 4.0 haciendo que las empresas tengan que buscar aplicar las nuevas tecnologías para mejorar sus procesos. De acuerdo con [9] la combinación del uso de drones con los fundamentos de la metodología de gestión de inventarios le permitiría a la empresa crear una mejor integración y comunicación a lo largo de toda la cadena de suministro para mejorar la competitividad de esta.

Agregado a lo previamente mencionado, [10] indican que el uso de los drones en la industria 4.0 han sido de gran ayuda en la gestión de inventarios y en la administración de la cadena de suministro ya que ha permitido realizar actividades de manera más eficiente y rápida como lo son: la agilización de las capacidades de respuesta de la empresa, incremento de la exactitud y precisión con la que se realiza el control de inventarios, eliminación de movimientos innecesarios, incremento de la productividad general y por último, pero no menos importante, reducción de la ineficiencia, ante la exigente demanda del mercado, que en los últimos años ha tenido un incremento de hasta el 50%.

Referencia [11] dijo que los drones se pueden usar en el sector logístico de las operaciones de una empresa. Por eso se tiene presente las diversas aplicaciones y utilidad en esa área de la logística. Como principal funcionalidad pueden llegar a ser muy útiles para la entrega de productos y la distribución de la mercancía dentro de los almacenes.

El uso de drones en la industria (tanto UAV como UGV) mejorarán de gran manera la gestión de inventarios de cualquier empresa, junto con la automatización e implementación de los cimientos de la industria 4.0 hasta lograr una modernización casi completa de la empresa [12], ya que, con la ayuda de las nuevas herramientas y métodos que han ido naciendo y perfeccionando en los últimos años como las redes neuronales mediante la implementación del Deep learning, el IoT, la creación de CPS e interconectividad horizontal y vertical entre los distintos departamentos de la empresa, tecnología LiDAR, RFID códigos QR, no solo el control de inventarios será mejorado, sino que todas las actividades podrán ser optimizadas mejorando la eficiencia general de cada una de estas [13]; permitiendo a cualquier tipo de empresa y almacenes que puedan beneficiarse de esta nueva era industrial, sin importar el diseño de almacén, ya sea en forma de U

(U Flow) o sea de flujo continuo (through- fow), la categoría a la que pertenece la empresa, entre otros [14].

Referencia [15] mencionaron que el uso de inventarios con drones puede ser muy beneficioso para la empresa, ya que se pudieron realizar diversas encuestas que podían validar la eficiencia de ese inventario en la empresa de logística de Malasia. El beneficio más claro es la reducción del tiempo que lleva hacer un inventario que fue de una forma significativa, ahora podían completar un inventario en cuestión de horas en lugar de días o semanas.

III. RESULTADOS

Como se puede observar en la Figura 1, la empresa realiza dos inventarios semanales a lo largo de las cincuenta semanas laborales, al año son cien inventarios realizados. Por cada inventario invierten dos horas, semanalmente son 4 horas y al año son doscientas horas. La empresa cuenta con 16 racks en total, siendo 9 para productos grandes y los restantes 7 para productos pequeños. Sistemáticamente, tienen estipulado revisar el 0.32 de racks cada semana.

Datos Método Actual	
2	control de inventario/semana
100	control de inventario/año
2	horas inventario/día
4	horas/semana
200	horas/año
0.32	meta racks revisados/semana
8	personas involucradas
16	racks en total

Fig. 1 Datos Generales del proceso en Ultra Repuestos.

Con el método actual requieren de 8 personas para realizar el control, entre ellos se encuentran dos jefes de bodega, dos trabajadores del departamento de contabilidad y cuatro auxiliares de bodega. La empresa con sus propios estándares, tanto para el tiempo de escaneo como para las unidades escaneadas por semana. En la Figura 2 y 3 se observan cuáles son los datos de estándar estipulados por la empresa hacia sus trabajadores.

Producto Grande		Producto Pequeño	
Estándar de Unidades Escaneadas por Semana	Tiempo Estándar de Escaneo por Producto	Estándar de Unidades Escaneadas por Semana	Tiempo Estándar de Escaneo por Producto
19.2 unidades	37.5 segundos	320 unidades	45 segundos

Fig. 2 Tiempos de Escaneo para los productos y estándar de escaneo de unidades por semana, de acuerdo con el método actual.

Tiempo para Piezas Pequeñas Método Actual		Tiempo para Piezas Grandes Método Actual	
Horas para Control	2	Horas para Control	2
Horas Trabajadas	1.467	Horas Trabajadas	1.467
Horas Ociosas	0.533	Horas Ociosas	0.533

Fig. 3 Distribución del tiempo asignado para el control de inventarios, de acuerdo con el método actual.

De las dos horas contabilizadas para el proceso, solamente el 1.467 son horas productivas (equivalente al 73.35%), mientras que el restante 0.533 son horas ociosas (equivalente al 26.65%).

Productos Pequeños Escaneados Vs Tiempo Método Actual

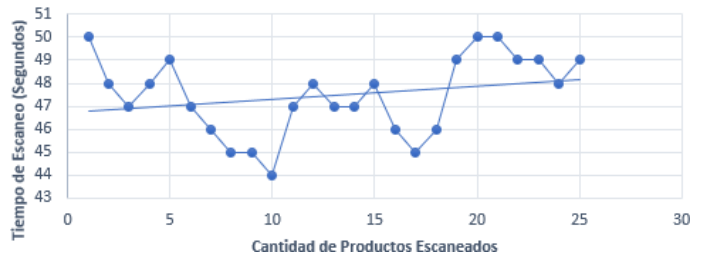


Fig. 4 Tiempo de Escaneo para productos pequeños- Método Actual.

Se hizo una recolección de datos mediante muestreo, con una muestra donde n=25, en el que se evalúa el tiempo requerido para escanear cada producto. Al contabilizar los resultados y analizarlos, el proceso demostró:

- Alta variabilidad
- Incumplimiento constante del estándar
- Picos (altos y bajos) muy alejados de la media

Si se comparan los tiempos de escaneo obtenidos con respecto al tiempo estándar, se observa que más del 70% no lo cumple, lo que se traduce como un nivel bajo de eficiencia y un nivel deficiente de productividad. Ya que la empresa cuenta con dos tipos de productos, se decidió realizar la misma recolección de datos con su respectivo análisis para evaluar que diferencias (si existían) se presentaban en el mismo proceso, pero con productos diferentes.

Productos Grandes Escaneados Vs Tiempo Método Actual

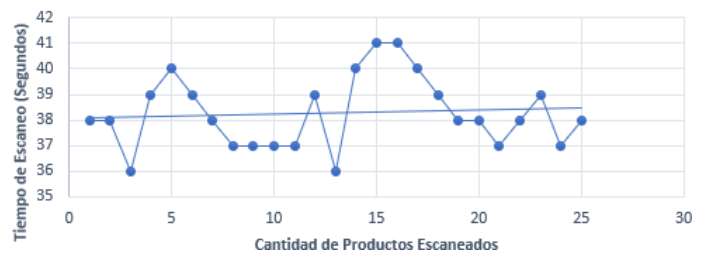


Fig. 5 Tiempo de Escaneo para productos grandes- Método Actual.

De igual manera que con los productos pequeños, los datos se obtuvieron mediante recolección con una muestra, donde n=25. Los resultados demostraron lo siguiente:

- Poca estabilidad
- Alta variabilidad
- Picos muy elevados
- Incumplimiento del estándar

Tal y como sucede con los productos pequeños, el proceso no es estable, ya que sigue presentando alta variabilidad, si se comparan los tiempos obtenidos con respecto a la media para este tipo de producto, en muchas de las ocasiones no cumplen con la

media; sin embargo, ocurren menos ocasiones que con los productos pequeños, pero, aun así, no se presenta ningún tipo de mejoría. Tal y como se menciona al inicio, el objetivo era comparar resultados del método actual con el método mejorado, por lo que se realizó una experimentación mixta para obtener los datos necesarios. Para obtener resultados fáciles de conseguir, se realizó una experimentación en la empresa con el uso de un dron; mientras que, para obtener datos como resultados a largo plazo, se hizo uso de simulación mediante Flexsim.

El dron utilizado en la Figura 6, fue un UPair Two Deluxe, con grabación de video y captura de foto por una cámara con 3 ojos con objetivo principal 4K UHD a 16 MP con capacidad de video de 60 fps. Este dron tiene capacidad de vuelo de hasta una hora con carga completa.



Fig. 6 Dron utilizado para la experimentación.

Como se puede observar en la Figura 7, se hizo una recreación exacta del almacén de Ultra Repuestos. Los pasillos, racks, distancias y distribución son exacta al almacén. Se tuvieron que agregar “sources” para alimentar el sistema con productos y los “task executor” funcionaban como el dron en el campo real. Se tomaron en consideración cualquier tipo de factor, tanto interno como externo, para recrear las mismas condiciones para obtener resultados pegados a la realidad.

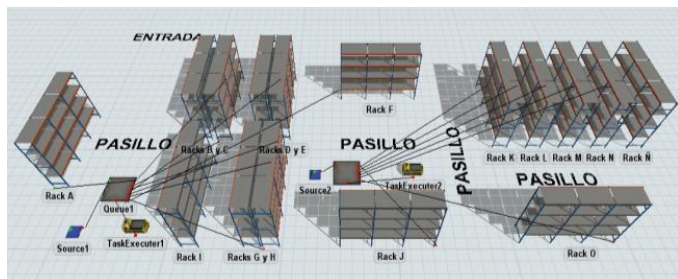


Fig. 7 Recreación de bodega de empresa en Flexsim.

Como se observa en la Figura 8 en comparación con su contraparte en la Figura 1, las horas para cada inventario redujeron a ser una hora por inventario y solamente dos horas

a la semana, lo que al año son solamente cien horas necesarias. Esto equivale a una reducción del 50%. También se observa que ahora solamente se requieren 4 personas, mientras que en el método actual se requieren de 8 personas. Ahora solamente se requiere a un jefe de bodega, un trabajador del departamento de contabilidad y dos auxiliares de bodega. Los otros 4 empleados que ya no se requieren para el control, continuarían con sus operaciones diarias de bodega.

Datos Método con Drones	
2	control de inventario/semana
100	control de inventario/año
1	horas inventario/día
2	horas/semana
100	horas/año
0.32	meta racks revisados/semana
4	personas involucradas
16	racks en total

Fig. 8 Datos generales del proceso con el método propuesto.

Producto Grande		Producto Pequeño	
Estándar de Unidades Escaneadas por Semana	Tiempo Estándar de Escaneo por Producto	Estándar de Unidades Escaneadas por Semana	Tiempo Estándar de Escaneo por Producto
19.2 unidades	16.25 segundos	320 unidades	22.5 segundos

Fig. 9 Tiempos de Escaneo para los productos y estándar de escaneo de unidades por semana propuestos, de acuerdo con el método mejorado.

Si se comparan los datos de la Figura 9, con los de su contraparte en la Figura 2, el estándar de unidades escaneadas por producto se mantiene; mientras que el tiempo de escaneo se reduce en aproximadamente un 50%, esto es gracias a la facilidad de realizar escaneo por medio de drones en comparación de hacerlo con papel y bolígrafo.

Tiempo para Piezas Pequeñas Método con Drones		Tiempo para Piezas Grandes Método con Drones	
Horas para Control	1	Horas para Control	1
Horas Trabajadas	0.9964	Horas Trabajadas	0.9912
Horas Ociosas	0.0036	Horas Ociosas	0.0088

Fig. 10 Distribución del tiempo asignado para el control de inventarios, de acuerdo con el método propuesto.

Se puede apreciar en la Figura 10, que, para el caso del método con drones, los tiempos operativos y ociosos cambian para cada producto, mientras que, en el caso del método actual, los tiempos eran los mismos. El único factor en común para ambos productos es que el tiempo dedicado será solamente de una hora. Para el caso de productos pequeños, de una hora invertida, 0.9964 horas son productivas (equivalente al 99.64%), mientras que las restantes 0.0036 horas son ociosas (equivalente al 0.36%).

Por otro lado, para el caso de los productos grandes, de una hora invertida, 0.9912 horas son productivas (equivalentes al 99.12%), mientras que las restantes 0.0088 son horas ociosas (equivalentes al 0.88%). En términos generales se obtuvo un incremento del 3% en las horas productivas, y por ende un decremento del mismo valor en las horas ociosas. Estos datos se

obtuvieron mediante experimentación con el uso del dron en la empresa. Los datos recolectados se obtuvieron mediante un muestro, cuya muestra era de $n=25$. Al analizar los resultados, el proceso demostró:

- Poca variabilidad
- Cumplimiento del estándar
- Parámetros controlados
- Tiempo requerido menor el esperado

Si comparamos la Figura 11 con la Figura 4, se observa una mejoría no solo en el tiempo, sino que también en la estabilidad y controlabilidad del proceso. Es un proceso más eficiente y rápido. Se realizaron los mismos pasos y procedimientos para los productos grandes.

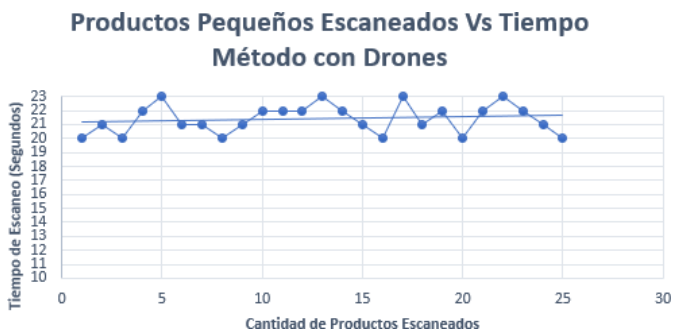


Fig. 11 Tiempo de Escaneo para productos pequeños- Método Mejorado.

De igual manera que con los productos pequeños, los datos se obtuvieron mediante recolección con una muestra, donde $n=25$. Los resultados demostraron lo siguiente:

- Estabilidad a largo plazo
- Muy poca variabilidad
- Inexistencia casi completa de picos
- Cumplimiento del estándar

Como se observa en la Figura 12, sucede lo mismo como con los productos pequeños, el proceso se vio mejorado no solo en la reducción del tiempo de escaneo, sino que también mejoró su estabilidad y controlabilidad. El estándar se cumple en más del 80% de las ocasiones, tanto para los productos grandes como para los productos pequeños.

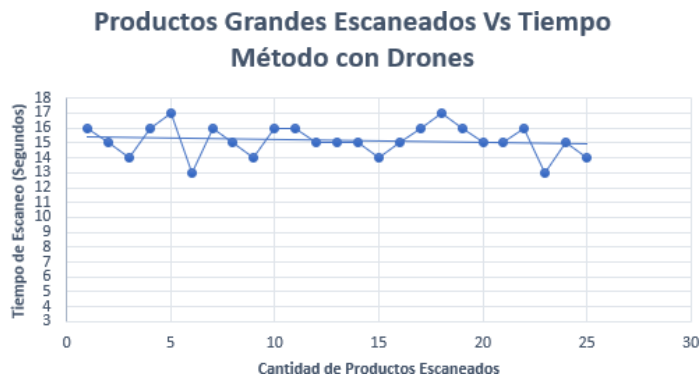


Fig. 12 Tiempo de Escaneo para productos grandes- Método Mejorado.

Meta Vs Productos Grandes Escaneados

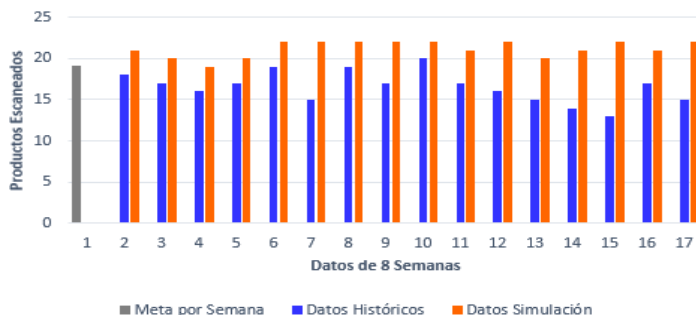


Fig. 13 Comparativa de métodos para el cumplimiento de la meta para los productos pequeños.

Como se puede apreciar en la Figura 13, se compara lado a lado los resultados tanto para el método actual (barras azules) como del método propuesto (barras naranjas). Los resultados del método actual fueron proporcionados por la empresa, mientras que para el método propuesto fueron resultados obtenidos mediante la simulación realizada. Se utilizó una muestra donde $n=16$.

Si se analizan los resultados, en el método actual, la meta es cumplida únicamente en cinco ocasiones, mientras que en el método propuesto se cumplen todas las ocasiones. Esto refleja una diferencia de 31.25%, donde indica que el proceso propuesto es 31.25% veces más eficiente que el método actual. Se realizó el mismo análisis y comparativa para el caso de los productos grandes.

Meta Vs Productos Pequeños Escaneados

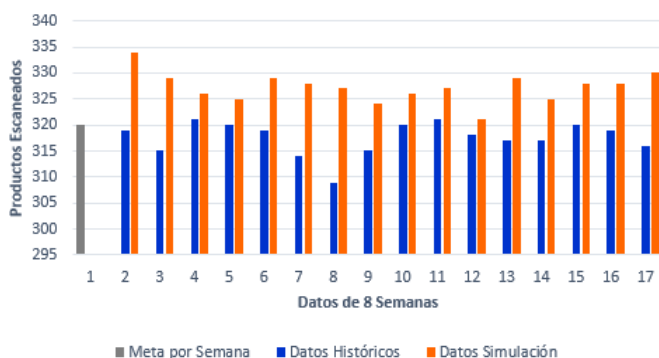


Fig. 14 Comparativa de métodos para el cumplimiento de la meta para los productos grandes.

Tal y como sucedió con los productos pequeños se hizo una comparativa, lado a lado de cada método, donde los resultados para el método actual corresponden a las barras azules, mientras que los resultados para el método propuesto corresponden a las barras naranjas. Los resultados del método actual fueron proporcionados por la empresa, mientras que para el método propuesto fueron resultados obtenidos mediante la simulación realizada. Se utilizó una muestra donde $n=16$.

En el caso del método actual, solamente en 3 ocasiones se cumple con la meta estipulada; mientras que, en el caso del método propuesto, en todas las ocasiones se cumple con la meta.

Esto refleja una diferencia del 81.25%, lo que quiere decir que el método propuesto es 81.25% veces más eficiente que el método actual.

Un dato importante a tomar en consideración para evaluar esta gráfica es que la productividad ideal, estipulada por la empresa debe de ser del 73%. De igual manera, se utilizó una muestra donde n=16. Teniendo en mente este dato, al evaluar los resultados en la Figura 15, en el caso del método actual, en 5 ocasiones no se logró alcanzar esta productividad, mientras que en el caso del método propuesto todas las veces se alcanzó y superó dicha productividad.

Esto indica que el proceso mejoró no solo en relación con las metas estipuladas, sino que también en la productividad de este; además, en muchos de los casos en el método propuesto, los valores superan dicho valor con por lo menos veinte puntos, indicando una clara y amplia mejoría en relación con su contraparte del método actual. Aunque cabe mencionar que los datos de manera individual son constantes a lo largo de las muestras.

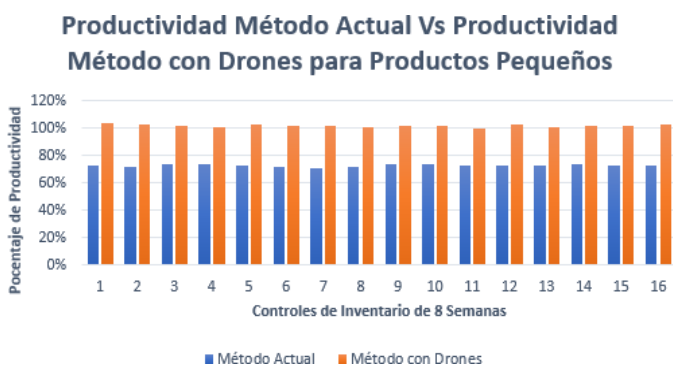


Fig. 15 Comparativa de productividad obtenida por método para los productos pequeños.

Para el caso de los productos grandes, la empresa de igual manera tiene estipulada como productividad ideal un 73%. Así como también el muestreo se llevó a cabo con una muestra de tamaño n=16. Analizando y comparando los datos, se observa que, en el método actual, en 13 ocasiones dicha productividad no fue alcanzada, mientras que, en el caso del método propuesto, fue alcanzada y superada en todas las ocasiones. Tal y como sucede con los productos pequeños, la productividad fue mejorada en todo aspecto posible. Cabe recalcar que, en ambos métodos, se presenta cierta variabilidad entre los resultados; sin embargo, en el método propuestos, esta variabilidad es más controlada y, por ende, se vuelve más controlada en comparación con el método actual.

Como se observa en la Figura 17, también se evaluaron los errores presentes por cada método, en este caso el método actual. Para medir los errores, se realizó un muestreo, con un tamaño de muestra n=30. Se presentaron tres tipos de errores, los cuales fueron los siguientes:

- Datos no leíbles/difíciles de entender
- Digitación incorrecta
- Datos inconclusos

El primero de estos se presentó con una frecuencia de 7 veces, el segundo se presentó en dos ocasiones y el tercero se presentó solamente una vez, haciendo un total de 10 veces en la que se presentó un error.

Productividad Método Actual Vs Productividad Método con Drones para Productos Grandes

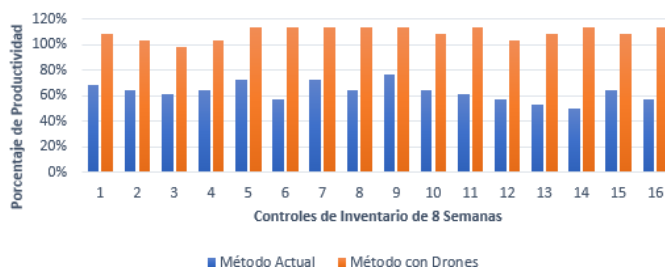


Fig. 16 Comparativa de productividad obtenida por método para los productos grandes.

Tipo de Error vs Frecuencia por cada Tipo Método Actual

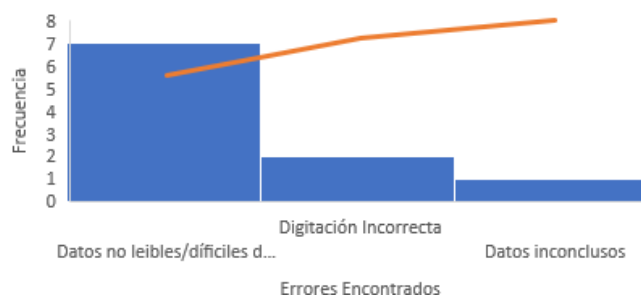


Fig. 17 Errores presentes y frecuencia- Método Actual.

Como se puede apreciar, en el caso del método propuesto, solamente se presentaron dos tipos de errores, los cuales fueron:

- Datos no leíbles/difíciles de entender
- Procesamiento lento de imagen

Se observa que se logró eliminar dos de los errores presentes en el método actual; sin embargo, surgió un nuevo error, debido a la capacidad de procesamiento de la cámara del dron. A pesar de esto, el primero de estos se presentó en tres ocasiones mientras que el segundo se presentó solamente una vez, haciendo un total de 4 veces en las que se presentó un error. Así como se hizo con el método actual, los datos fueron obtenidos mediante un muestreo, con un tamaño de muestra n=30.

Tipo de Error Vs Frecuencia por cada Tipo Método con Drones

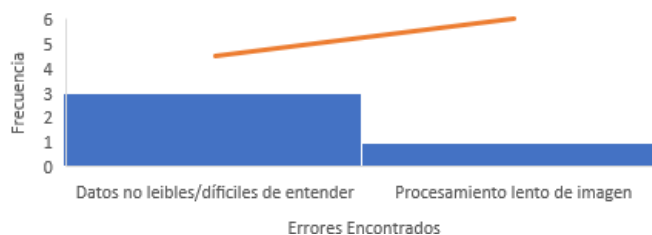


Fig. 18 Errores presentes y frecuencia- Método Mejorado

Se realizó un estudio para evaluar la frecuencia con la que se puede esperar que se presente un error para cada método. En el caso del método actual, en base a la muestra de n=30, se puede esperar que en un 33% se pueda presentar alguno de los tres posibles errores; por lado contrario, en el caso del método propuesto, se espera que en un 13% de las ocasiones se presente alguno de los dos posibles errores.

La Figura 19 indica un decremento del 20% en la frecuencia de errores, en el método propuesto con respecto al método actual, lo que es una importante reducción para la empresa.

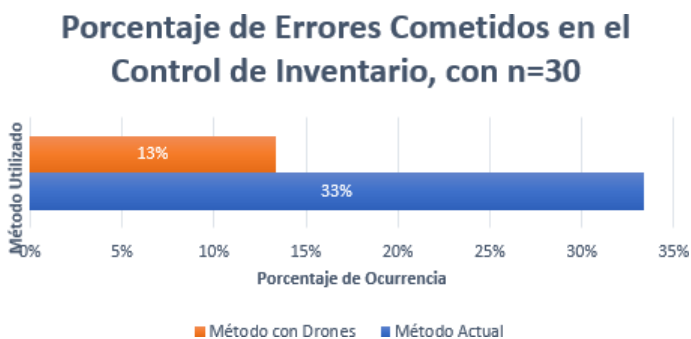


Fig. 19 Comparativa de errores por método, en porcentajes

En la Figura 20, se aprecian los costos totales y su respectivo desglose con respecto al método actual. Primeramente, se encuentran los costos de salario normal, los correspondientes al salario de los 8 integrantes necesarios para realizar el control de inventarios. Estos costos representan el 83.28% del costo total. Posteriormente, se encuentran los costos de salario extra. Estos surgen de la siguiente manera. Debido a que se requieren 4 integrantes de bodega para realizar el control, bodega necesita llamar a 3 operarios más para cubrir las actividades normales de bodega de los 4 integrantes involucrados en el control. A estos como es una tarea adicional, se les paga como salario adicional, correspondiente al 50% del salario normal. Estos costos representan el 15.61% del costo total.

Método Actual		
Costos de Salario Normal	L 93,703. ³⁶	83.28%
Costos de Salario Extra	L 17,569. ³⁸	15.61%
Costos de Materiales	L 1,244. ⁰⁰	1.11%
Total	L 112,516.⁷⁴	100%

Fig. 20 Costos directos del proceso-Método actual

Por último, se encuentran los costos de materiales. Estos costos son los relacionados para la compra de todos los materiales necesarios para la realización del control de inventarios. Dentro de estos materiales se pueden mencionar: lápices, borradores, bolígrafos, hojas de papel, entre otros. Dentro de estos costos también se incluyen el costo de

mantenimiento de las computadoras que realizan para dicho proceso. Estos costos representan el restante 1.11% del costo total del proceso. Al final, el costo total del control de inventario en el método actual es de un total de L. 112,516.74.

Para el caso de los costos con el método con drones, se puede apreciar en la Figura 21, a diferencia del método actual se requiere de una inversión inicial, así como también costos de capacitación. La inversión inicial, corresponde a la cantidad necesaria para la adquisición de un dron, creación de plataforma integrada y creación de software para que el dron pueda estar conectado de manera simultánea en dispositivos con los involucrados en el proceso. Esto corresponde al 20.71% del costo total. Luego se encuentra el costo de salario normal. Este surge del salario de los involucrados en el proceso. A diferencia del método actual, en este caso, los costos son más bajos ya que se les paga a 8 trabajadores, sino que solamente es a 4 trabajadores, por lo que estos costos se disminuyen en un 50%. Además, incluido a esto, no existen costos de salario extra, ya que los 4 integrantes que ya no se ocupan en el proceso, pueden cubrir las actividades de sus colegas. Esto representa el 63.66% del costo total.

Método con Drones		
Inversión Inicial	L 15,245. ⁰⁰	20.71%
Costos de Salario Normal	L 46,851. ⁶⁸	63.66%
Costos de Capacitación	L 6,900.00	9.38%
Costos de Materiales	L 4,600. ⁰⁰	6.25%
Total	L 73,596.⁶⁸	100%

Fig. 21 Costos directos del proceso-Método mejorado

Posteriormente, se encuentran los costos de capacitación. Se debe de capacitar a 6 empleados para que estos sean capaces de manejar y operar de manera adecuada y segura el dron y la plataforma como tal. Se capacita a 6 empleados para que pueda existir rotación entre ellos y lograr de esta manera fatigar solamente a uno. Estos costos corresponden al 9.38% del costo total. Por último, se encuentran los costos de materiales. Para este caso, no se requieren materiales, por lo que estos costos son para el mantenimiento del dron, de la plataforma integrada, del software y del hardware utilizado dentro del proceso. Estos costos representan el restante 6.25% del costo total. El costo total de este método es de L. 73,596.⁶⁸. Se puede observar que los costos son menores en comparación con el método actual en aproximadamente un 35%, esto es debido a que, a pesar de que se requiere invertir en una inversión inicial y en capacitación de personal, el costo de salario normal se redujo, y en este caso ya no existen los costos de salario adicional, por lo que se logra equilibrar la balanza y además, resulta relativamente más económico el uso de drones en el control de inventario en comparación con el costo actual de la empresa para dicho proceso.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los cálculos estadísticos utilizados y analizados a lo largo de esta investigación, permiten brindarnos información muy variada, pero, sobre todo, información muy

importante con respecto al uso de drones y tecnología de la Industria 4.0 en empresas de Honduras. Gracias a las comparativas porcentuales de la productividad obtenida para cada método con respecto para los productos tanto pequeños como productos grandes, nos permiten observar que la productividad se ve mejorada en aproximadamente un 45% desde una perspectiva general, cifra que es muy importante, ya que esto permitiría a Ultra Repuestos a mejorar su capacidad operacional en la bodega, aprovechar mejor el tiempo invertido para todas las tareas que se necesitan llevar a cabo, así como también hacer un mejor uso del tiempo y de los recursos disponibles para la realización de todas las tareas necesarias por hacer. También nos indica que, gracias a la simplificación del proceso, de los instrumentos requeridos y también del personal necesario, la implementación de drones en el control de inventarios ocasiona que los costos se reduzcan en un 35%, lo cual es algo muy favorable para la empresa, ya que no solo permite ahorrarse costos, sino que a su vez es capaz de operar con mejores niveles de eficiencia y operatividad mientras sus costos son reducidos, aspecto que no es fácil lograr. Por último, pero no quiere decir que menos importante, contesta el enfoque principal de la investigación, si la implementación de drones en el proceso de control de inventarios, y en general, la implementación de la tecnología de la Industria 4.0 en cualquier proceso, resulta rentable para las empresas en Honduras. Después de esta exhaustiva investigación y de todas las experimentaciones posibles a poder ser realizadas, se puede tener la certeza que la implementación de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 es rentable para empresas de Honduras, siempre y cuando estas tengan las capacidades y la motivación de implementar dichas mejoras. Esta investigación, se enfocó en el uso de drones en el control de inventarios, pero pueden ser utilizada en otras áreas de logística orientadas al procesamiento de pedido o a temas de seguridad industrial [16-18].

REFERENCIAS

[1] MÜLLER, J. M., KIEL, D., & VOIGT, K.-I. (2018). WHAT DRIVES THE IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0? THE ROLE OF OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY. *SUSTAINABILITY*, 10(1), 247. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SU10010247](https://doi.org/10.3390/su10010247)

[2] BENAVIDES, A. M. V., & DE CALI, S. (2021). INDUSTRIA 4.0 EN LOS PAÍSES DESARROLLADOS Y PAÍSES DE LATINOAMÉRICA. 77.

[3] AGUSTIADY, R., MUDA, N. R. S., MINGGU, D., HERKARIAWAN, C., & SURYANA, M. L. N. (2021). DESIGN OF DISTANCE SENSING AND DISTANCE USING QUADCOPTER DRONE BASED ON FACE RECOGNITION METHOD. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 1098(3), 032012. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1757-899X/1098/3/032012](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/3/032012)

[4] LIN, M., LYU, J.-Y., GAO, J.-J., & LI, L.-Y. (2020). MODEL AND HYBRID ALGORITHM OF COLLABORATIVE DISTRIBUTION SYSTEM WITH MULTIPLE DRONES AND A TRUCK. *SCIENTIFIC PROGRAMMING*, 2020, 1–16. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2020/8887057](https://doi.org/10.1155/2020/8887057)

[5] WAWRLA, L., MAGHAZEL, O., & NETLAND, D. T. (2019). APPLICATIONS OF DRONES IN WAREHOUSE OPERATIONS. 14.

[6] ERMAĞAN, U., YILDIZ, B., & SALMAN, F. S. (2021). A LEARNING BASED ALGORITHM FOR DRONE ROUTING. *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH*, 137, 105524. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.COR.2021.105524](https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105524)

[7] NASUTION, M. K. M. (2021). INDUSTRY 4.0: DATA SCIENCE PERSPECTIVE. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 1122(1), 012037. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1757-899X/1122/1/012037](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012037)

[8] ĐURIĆ, J. S., JOVANOVIĆ, S. Z., & ŠIBALIJA, T. (2019). IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE WAREHOUSE STORAGE PROCESS WITH THE USE OF DRONES. *INTERNATIONAL JOURNAL*, 46(3), 7.

[9] SALAS-NAVARRO, K., MAIGUEL-MEJÍA, H., & ACEVEDO-CHEIDID, J. (2017). METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE INTEGRACIÓN Y COLABORACIÓN EN UNA CADENA DE SUMINISTRO. *INGENIARE. REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA*, 25(2), 326–337. [HTTPS://DOI.ORG/10.4067/S0718-33052017000200326](https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000200326)

[10] COMPANIK, E., GRAVIER, M. J., & FARRIS, M. T. (2018). FEASIBILITY OF WAREHOUSE DRONE ADOPTION AND IMPLEMENTATION. *JOURNAL OF TRANSPORTATION MANAGEMENT*, 28(2), 31–48. [HTTPS://DOI.ORG/10.22237/JOTM/1541030640](https://doi.org/10.22237/JOTM/1541030640)

[11] GABRIELA, B. Z. A. (2021A). TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN CONTABILIDAD Y AUDITORIA. 44.

[12] APPELBAUM, D., & NEHMER, R. A. (2017). USING DRONES IN INTERNAL AND EXTERNAL AUDITS: AN EXPLORATORY FRAMEWORK. *JOURNAL OF EMERGING TECHNOLOGIES IN ACCOUNTING*, 14(1), 99–113. [HTTPS://DOI.ORG/10.2308/JETA-51704](https://doi.org/10.2308/JETA-51704)

[13] WALLER, M. A., & FAWCETT, S. E. (2013). DATA SCIENCE, PREDICTIVE ANALYTICS, AND BIG DATA: A REVOLUTION THAT WILL TRANSFORM SUPPLY CHAIN DESIGN AND MANAGEMENT. *JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS*, 34(2), 77–84. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/JBL.12010](https://doi.org/10.1111/jbl.12010)

[14] BERG, J. P. VAN DEN, & ZIJM, W. H. M. (1999). MODELS FOR WAREHOUSE MANAGEMENT: CLASSIFICATION AND EXAMPLES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 59(1–3), 519–528. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/S0925-5273\(98\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00114-5)

[15] NIER, R. D. J., WAHAB, S. N., & DAUD, D. (2020). A QUALITATIVE CASE STUDY ON THE USE OF DRONE TECHNOLOGY FOR STOCK TAKE ACTIVITY IN A THIRD-PARTY LOGISTICS FIRM IN MALAYSIA. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 780, 062014. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1757-899X/780/6/062014](https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/6/062014)

[16] M. E. PERDOMO Y J. L. ORDOÑEZ AVILA, «SIMULACIÓN CON ROBOTS COLABORATIVOS PARA PRÁCTICAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA CON ESTUDIANTES DE INGENIERÍA», *INNOVARE REV. CIENC. TECNOL.*, VOL. 8, N.O 2, PP. 116-119, 2019.

[17] J. L. O. AVILA ET AL., «STUDY CASE: TELEOPERATED VOICE PICKING ROBOTS PROTOTYPE AS A LOGISTIC SOLUTION IN HONDURAS», EN 2020 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND ROBOTICS ENGINEERING (ICCRE), ABR. 2020, PP. 19-24. DOI: 10.1109/ICCRE49379.2020.9096483.

[18] D. F. N. RIVERA Y A. M. R. DUKE, «WORK SAFETY ASSESSMENT THROUGH CONTEXTUAL ANALYSIS WITH COMPUTER VISION», EN 2020 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND ROBOTICS ENGINEERING (ICCRE), ABR. 2020, PP. 207-212. DOI: 10.1109/ICCRE49379.2020.9096264.