



Diseño de layout en un almacén del Ingenio Azucarero de Imbabura, Ecuador

Layout design in a warehouse of Sugar Mill of Imbabura, Ecuador

Erik Orozco-Crespo^I

 <https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>


Neyfe Sablón-Cossío^{II}

 <https://orcid.org/0000-0003-2811-6243>

Karla Estefanía Barrezueta-Arias^I

 <https://orcid.org/0000-0001-8876-4248>

Fabiola Sánchez-Galván^{III}

 <https://orcid.org/0000-0002-6534-3210>

^I Universidad Técnica del Norte. Quito, Ecuador

Correo electrónico: eorozco@utn.edu.ec, cebarrezuetaa@utn.edu.ec

^{II} Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador

Correo electrónico: nsabloncossio@gmail.com

^{III} Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, México

Correo electrónico: fsgalvan01@gmail.com

Recibido: 12 de diciembre del 2018.

Aprobado: 22 de diciembre del 2019.

RESUMEN

En muchas ocasiones, los sistemas productivos obtienen sus ventajas competitivas de la efectiva gestión de sus almacenes e inventarios, donde la toma de decisiones define fundamentalmente la estructura de los costos y nivel de servicio al cliente. Esto conlleva a que el diseño de almacenes se convierta en un problema de alta complejidad, especialmente por: los problemas de tamaño y de dimensionamiento de todas sus áreas. En tal sentido, se diseñó una propuesta de *layout*, de conjunto con el dimensionamiento de todas sus áreas, para el almacén de productos terminados en un ingenio azucarero de Imbabura, Ecuador. Se emplearon la combinación efectiva de herramientas de pronósticos, tales como: la simulación de eventos discretos y los modelos de gestión de inventarios. Se obtuvo un mejor uso de la capacidad neta, de la utilización del área y de la altura de almacenamiento, para un alto nivel de servicio al cliente y disminuyendo los costos por concepto de manipulación de materiales.

Palabras Claves: almacenes, inventario, *layout*, simulación.

ABSTRACT

On many occasions, the productive systems obtain their competitive advantages from the effective management of their warehouses and inventories, where the decision-making fundamentally defines the cost structure and level of customer service. This leads to the design of warehouses becoming a

problem of high complexity, especially due to: the problems of size and sizing of all its areas. In this sense, a layout proposal was designed, together with the sizing of all its areas, for the warehouse of finished products in a sugar mill in Imbabura, Ecuador. The effective combination of forecasting tools was used, such as: simulation of discrete events and inventory management models. A better use of the net capacity, the use of the area and the storage height was obtained, for a high level of customer service and reducing the costs for material handling

Keywords: warehouse, inventory, *layout*, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño y las operaciones de los almacenes han sufrido importantes cambios en las últimas décadas, en particular, influenciado por el comercio electrónico, el almacenamiento de una gran variedad de productos (*Stock Keeping Units*, en sus siglas en inglés SKU) en pequeñas cantidades, los patrones de demanda volátiles y los pedidos en línea de los clientes [1].

El diseño de un almacén es un proceso altamente complejo que es abordado por los autores a partir de un conjunto de pasos interrelacionados, que poseen cierto grado de reiteración y que no conducen a la solución óptima en todos los casos [2]. Las metodologías que se emplean para tal efecto se enfocan en tres etapas fundamentales: determinar los requisitos de almacenamiento, diseñar el sistema de manipulación de materiales y diseñar el *layout* del almacén [3, 4, 5, 6, 7]. Otros autores abordan en sus metodologías no solo el diseño, sino la gestión y el control de almacenes [8, 9, 10, 11, 12].

Independientemente de que se realice un diseño totalmente nuevo, una remodelación o una ampliación, estas deben ser capaces de absorber la incertidumbre ambiental, también vista como dinamismo ambiental o complejidad dinámica [13]. Esto conduce a que los gerentes de almacén tengan que enfrentar decisiones operativas cada vez más complejas [14]. Estas decisiones operativas coordinan los flujos de materiales dentro y alrededor del almacén y la utilización de sus recursos (espacio, equipo y mano de obra) para satisfacer la demanda del cliente. Las mismas son el resultado de los procesos de planificación, control y optimización [14]. Desde 1997, las más estudiadas por los investigadores se refieren a la eficiencia en la preparación de los pedidos a través de un mejor *layout*, procesamiento de lotes, asignación de almacenamiento y enrutamiento de los vehículos de transporte [1]. Dentro de estas el diseño de *layout* es la de mayor frecuencia de publicaciones [1; 15], específicamente, dirigidas al diseño estructural de almacenes y al tamaño y dimensionamiento de los mismos.

El tamaño y dimensionamiento del almacén determinan su capacidad de almacenamiento. Ante esta decisión existen dos escenarios para su modelado:

1. los niveles de inventario se determinan externamente, por lo que el almacén no tiene control directo sobre cuándo llegarán los envíos entrantes y sus cantidades y todos los requisitos exógenos para el espacio de almacenamiento deben ser cumplidos
2. el almacén puede controlar directamente la política de inventario [15].

En este último caso, deben considerarse el horizonte de planificación, si la demanda es estocástica o determinística y sus patrones de comportamiento, si el tamaño es fijo o cambiante, la nomenclatura de productos, así como, la política de pedido, la política de inventario y los costos de inventario. Los costos más comunes a considerar se concentran en los costos de construcción, mantenimiento y reposición del inventario, los de demanda de almacenamiento insatisfecha y los de arriendo para almacenes con tamaño cambiante [1; 19]. En tal sentido se plantean modelos que permiten optimizar la toma de decisiones, tales como los planteados por: Cormier y Gunn (1996), Goh, et al. (2001), ungy Fisk (1984), Levy (1974), y Rao, A. y Rao, M (1998) [16; 17; 18; 19; 20]. Específicamente, para resolver el problema del dimensionamiento de zonas de almacenamiento se pueden encontrar los modelos planteados por [21, 22].

Ante la toma de decisiones en este entorno altamente complejo, la simulación emerge como una potente herramienta de aplicación para la gestión de los nodos de almacenamiento en la cadena de suministros. Esta técnica es la más utilizada para la evaluación del rendimiento del almacén en la literatura académica, así como en la práctica [15]. Posee aplicaciones en el diseño de la estructura general de almacenes para proporcionar una evaluación detallada del rendimiento de varias

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

alternativas [23]. En Rosenblatt y Roll integran el modelo de optimización con un modelo de simulación que evalúa el costo de la escasez de almacenamiento, en función de la capacidad de almacenamiento y el número de zonas [24]. Muestran los efectos de las políticas de control de inventario, como por ejemplo el punto de pedido y la cantidad de pedido, en la capacidad de almacenamiento total requerido. Independientemente de la complejidad del modelo que se plantee, se pueden obtener beneficios sustanciales diseñando y operando adecuadamente un almacén mediante pocas reglas simples y genéricas. Ejemplo de ello son los estudios de casos de Zeng (2002), Van Oudheusden (1998), Dekker (2004) que ayudan a visualizar la realidad compleja del almacenamiento, más allá de los modelos restringidos por supuestos en las publicaciones científicas [25; 26; 27].

Este artículo se enfoca en el almacén de productos terminados de una empresa productora de alimentos del Ecuador y donde el sector productor de alimentos y bebidas es el más importante. Lo anterior se debe a que este sector aporta el 38% del PIB del país, con un producto generado de alrededor de los 5.29700000 de dólares [28;29]. Además, aporta el 49% del total de utilidades y genera el 36.3% del empleo dentro de la industria manufacturera ecuatoriana [30].

El Ingenio Azucarero de Imbabura es una empresa que cultiva, produce y comercializa productos derivados de la caña de azúcar con más de 50 años en el mercado, considerada el motor económico del norte del país. Es uno de los ingenios más significativos a nivel nacional debido a su gran capacidad de producción y cuenta con más de 250 colaboradores [31] ¹.

En visitas a la entidad se constató el déficit de capacidad para el almacenamiento que origina:

- alturas en las estibas que alcanzan el techo
- los pasillos para el trabajo, la circulación
- la seguridad del personal o no existen o no cumplen con las dimensiones establecidas en el Decreto 2393 del Ministerio del Trabajo [Ministerio del Trabajo, 198636]
- los SKU´s no están ubicados en el *layout* de acuerdo a su rotación y en correspondencia con las puertas del almacén; y no cuenta con señalización para sus principales áreas.

Esto provoca en una inadecuada organización y sobre apilamiento de sacos de azúcar. Este sobre apilamiento incrementa los riesgos de accidentes laborales para el personal operativo de bodega y el aumento de los desperdicios, que traen consigo la renta de otros almacenes y el incremento de los costos por concepto de almacenamiento. Se adicionan, la deficiente gestión de los inventarios y que no se manejan indicadores de rendimiento que permitan un adecuado control de los procesos de almacenamiento. Desde el punto de vista estructural, se pudo revisar el proyecto de ampliación que ya se estaba ejecutando sobre el almacén actual, con dimensiones que ya estaban definidas y desarrolladas.

Por lo anterior, el objetivo de trabajo es: mejorar la eficiencia y la eficacia en el almacenamiento del nuevo almacén ampliado con mejores proyecciones en su *layout*, tamaño y dimensionamiento de sus áreas de almacenamiento y pasillos. Por lo cual se analizan los niveles de inventarios históricos y proyectados. Dada la complejidad del sistema, hablese de la cantidad de SKU´s, la demanda estocástica y la aleatoriedad en el reaprovisionamiento de los inventarios, es que se empleó la simulación de eventos discretos para tales fines.

II. MÉTODOS

En este trabajo, se fusionan las tres etapas para el diseño del *layout* de Braker y Canessa y la metodología de gestión de inventario de Acevedo Suárez y autores [2; 8]. Se emplearon, de ellas, todos los pasos necesarios que tributen a la proyección del *layout*, y con este, a la determinación del tamaño y el dimensionamiento de todas las áreas de almacenamiento y pasillos.

Para la descripción del almacén se consideró con especial énfasis las cantidades, tipo y características de los SKU´s a almacenar y las principales actividades que se realizan dentro del

¹ Ingenio Azucarero del Norte. *Procesos de producción. Tababuela, I. (Producer).*, (2015). [Acceso: 5-6-2018]. Disponible en: www.tababuela.com

proceso de almacenamiento. Los análisis de la infraestructura y del flujo material, en especial, de la ubicación de las puertas fueron esenciales para la ubicación de los SKU´s respecto a la clasificación ABC; así como las dimensiones originales y finales posteriores a la ampliación [8; 32; 33]. Se consideraron factores que permitieron seleccionar el método de almacenamiento, estos fueron:

- la relación volumen/surtido
- el área total del almacén
- el peso y las dimensiones de las unidades de carga y de los artículos individuales, el nivel de accesibilidad
- la altura del almacén [1].

El análisis de la demanda se centró en la revisión de los patrones de las series de tiempo para todos los SKU´s por medio de los gráficos de las series de tiempo y sus autocorrelogramas [20], con el empleo del software SPSS, versión 21.0 [24]. Posteriormente, se desarrollaron los pronósticos correspondientes con el empleo del software Forecast Pro, que permitieron determinar los datos de entrada de demanda para el modelo de simulación. Del estudio de la demanda se desprende la definición de la filosofía básica para el manejo de los inventarios: el método de demanda (*pull*), donde se reaprovisiona el inventario con tamaños de pedidos basados en las necesidades y el método de incremento (*push*), que asigna suministros al almacén basados en los pronósticos y que es apropiado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto plazo de los inventarios [3].

Para la selección del modelo de inventario, la demanda puede ser determinística o probabilística, cuya clasificación parte del cálculo del coeficiente de variación (CV), contrastándolo con el valor de 0.20 [13; 38]. Según [33], los casos que se presentan son: si la demanda mensual promedio registrada en el largo plazo es de manera aproximadamente constante y CV es razonablemente pequeño, entonces la demanda puede considerarse determinística y constante; si la demanda mensual promedio varía de manera apreciable entre los diferentes meses, pero CV permanece razonablemente pequeño en todos los meses, entonces la demanda puede considerarse determinística pero variable; si en el primer caso el CV es alto pero aproximadamente constante, entonces la demanda es probabilística y estacionaria; el caso restante es la demanda probabilística no estacionaria, la cual ocurre cuando los promedios y los coeficientes de variación varían considerablemente.

Para el trabajo con el modelo se estableció el nivel de servicio al cliente (NSC), considerando los objetivos estratégicos del área de marketing, los niveles de exactitud de los pronósticos, la clasificación ABC y los resultados obtenidos en el CV [3]. Además, se fijó el sistema de gestión de inventarios acorde al funcionamiento real de la empresa [13].

La evaluación de la propuesta de *layout* comenzó por contrastar la demanda neta contra la capacidad neta, el cual permitió detectar los excesos o déficits de capacidad para el almacenamiento, para lo cual se empleó el procedimiento propuesto por [1]. Además, se evaluaron los coeficientes de utilización de áreas, de altura de almacenamiento, así como, otros relacionados con los costos, como por ejemplo el costo de mercancía manipulada.

2.1 Planteamiento del modelo de simulación

El modelo de simulación abarcó desde que el azúcar a granel se encuentra almacenada en los silos, se envasa en las dos líneas de envase, se almacena y se satisface la demanda en las cantidades acordes a las cantidades determinadas en los pronósticos correspondientes a todos los SKU´s. No se consideraron los procesos de manipulación de materiales y sus transportes correspondientes ni tampoco persiguió un enfoque de visualización del proceso de almacenamiento, sino más bien matemático. Todo ello definió el alcance del modelo. Los insumos principales fueron los pronósticos y los parámetros del modelo de inventario, como fueron: el tamaño de lote óptimo, tamaño de lote decidido, tiempo de suministro, punto de pedido y el stock de seguridad.

Persiguió como objetivo principal el de determinar las existencias medias para todos los SKU´s, a partir del comportamiento de las series de tiempo pronosticadas y considerando el régimen laboral previsto para el año 2018, mediante el empleo del software Flexsim. Los objetivos específicos estuvieron relacionados con la descripción de las variables de respuesta de interés para el estudio, lo cual determinó que el modelo sólo tuviera un carácter descriptivo, que se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Objetivos específicos del modelo

Objetivos específicos de la simulación	Variable dependiente	Denominación
Evaluar el comportamiento de las existencias medias para todo el 2018 (unidades)	Existencia media del producto i	Em_i
Determinar el límite superior de las existencias medias para un 95% de nivel de confianza (unidades)	Límite superior de la existencia media en inventario del producto i	LS_i
Determinar el total de mercancía manipulada, tanto en la recepción como en el despacho (unidades)	Total de mercancía manipulada	$Cm = CmR + CmD$ Donde: CmR : Cantidad manipulada en la recepción CmD : cantidad manipulada en el despacho

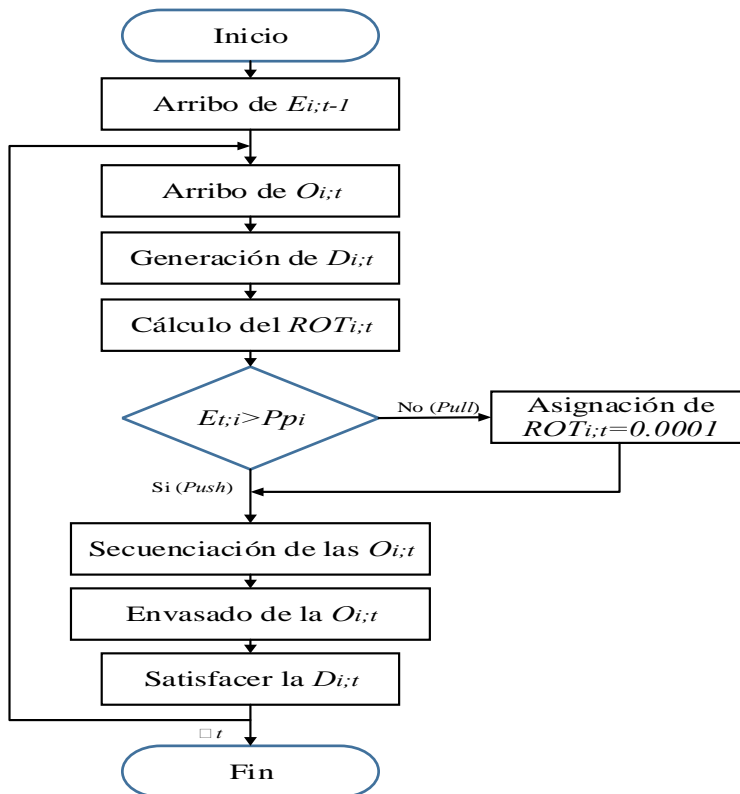


Fig. 1. Lógica del modelo de simulación

El modelo siguió la lógica que se muestra en la figura 1 que comienza con el arribo de las existencias al cierre de 2017 ($E_{i;t-1}$). Posteriormente, se arriban órdenes diarias para cada producto ($O_{i;t}$) a las que se les asocia un valor de demanda diaria ($D_{i;t}$), que se obtuvo a partir de los pronósticos mensuales divididos por la cantidad de días que posee cada mes. Dentro de cada mes y con la finalidad de generar aleatoriedad para la demanda diaria, se empleó el módulo *Task-Time Model* del módulo *Experfit* de *Flexsim*, con la distribución *lognormal* [15]. Como parámetros se definieron el

minimum possible value como el límite inferior de los pronósticos diarios, el *most likely value* como el pronóstico diario y el 95th percentil como el límite superior del pronóstico diario. Se calculó el *Run Out Time* ($ROTi; t$) para todos los productos, dividiendo las existencias ($Ei; t$) entre la demanda ($Di; t$). A la par, se comparó el nivel de existencias ($Ei; t$) con el punto de pedido (Ppi) calculado para cada producto y según el modelo de inventario. Dicha comparación permitió discernir si el aprovisionamiento de los inventarios se realiza bajo una filosofía *Push* o *Pull*. De ser *Push*, las órdenes se secuencian en las líneas de envase de acuerdo al $ROTi; t$ menor. De ser *Pull*, a la orden específica se le asigna un valor de $ROTi; t$ tan pequeño, de forma tal que ninguna otra orden pueda competir con ella al ser secuenciada. Posteriormente, se lanza la orden seleccionada para ser envasada en la línea de envase correspondiente con tiempos generados según una distribución normal. Se satisface la demanda ($Di; t$) asociada a la ($Oi; t$). El modelo alcanza su condición de finalización si todos los días t del año 2018 fueron analizados.

Las variables de respuesta fueron programadas en la opción *Performance Measures* del módulo *Experimenter* de Flexsim y las réplicas fueron ejecutadas en la opción *Experiment Run* del propio módulo [15]. Los análisis se centraron en el comportamiento de sus valores medios, desviaciones estándar y límite superior para un 95% de nivel de confianza².

III. RESULTADOS

Los sacos de azúcar a almacenar provienen de dos líneas de envase diferentes. La Línea de Envase 1 se encarga de las presentaciones AZA001, AZA002, AZA007, AZA008 y AZA009 (*ítem* 1, 2, 6 y 8), la Línea de Envase 2 de AZA004, AZA005 y AZA006 (*ítem* 3, 4 y 5). La secuencia de las actividades que forman parte del proceso de almacenamiento son: la recepción que comienza con la entrada de los sacos de azúcar enviados por las dos líneas de envases mediante dos bandas transportadoras fijas; el transporte y manipulación que se realizan mediante la carga manual, bandas transportadoras móviles o transpallets; el despacho en el que se expiden las cantidades solicitadas por los clientes; y el almacenamiento y conservación de los sacos de azúcar.

El antiguo almacén posee 868.75 m² de construcción, con dimensiones de 31.25, 27.8 y 5.2 metros de largo, ancho y altura, aun cuando su punto más bajo posee 4.15 metros. Cuenta con una oficina para la administración de 3.7 de ancho y 5.4 metros de largo, elevada a 3 metros de altura, dos puertas para el despacho de mercancías de 2.8 y 5.21 metros de ancho. Sin embargo, la ampliación del almacén tiene 660.25 m², con 23.75 y 27.8 metros de largo y ancho, con una altura homogénea de 8.15 metros.

La demanda neta total en el 2017 fue de 2824.13 m³ para las ocho presentaciones, que para una densidad de 15.87 sacos/m³ arrojó una relación volumen surtido de 353.01 m³/surtido, valor para el cual se determinó el método masivo de almacenamiento [1]. A este se añaden la estiba directa por bloques que dificulta el manejo del sistema de almacenamiento FIFO (*First In First Out*) producto del bloqueo de las cargas. Además, se emplean 500 pallets como medios unitarizadores de cargas con dimensiones de 1.20, 1 y 0.15 metros de largo, ancho y altura que separan los sacos del piso, los mismos poseen 4 y 1 toneladas de capacidad de carga estática y dinámica, respectivamente.

El nivel de mecanización del almacén es mecánico-manual con 2 bandas transportadoras fijas. Una de ellas con 24 y 0.95 metros de largo y ancho que conecta a la Línea de Envase 1 con el almacén. La segunda con 5 y 0.5 metros conecta a la Línea de Envase 2. A estas se añaden 4 bandas transportadoras móviles y 3 transpallets.

Las series de tiempo fueron trabajadas en kilogramos de azúcar como unidad de medida, con tres años de historia para todos los SKU's, con cubos de tiempo mensuales y se pronosticaron los doce meses correspondientes al 2018. El análisis visual de estas y sus respectivos autocorrelogramas (ver figura 2) resultaron con una primera aproximación a los patrones de datos que se muestran en la tabla 2. Es de destacar que, los patrones identificados no coincidieron en todos los casos con los

² Los análisis relacionados con la recolección de los datos, programación detallada del modelo y su validación pueden ser consultados en [4] Barrezueta Arias, C. E. *Diseño de layout para el almacén de productos terminados en la empresa Ingenio Azucarero Del Norte: (2018)*. Tutor: Crespo, E. O..

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

modelos de pronósticos decididos por la Solución Experta de Forecast Pro, lo anterior se dedujo a partir de las inestabilidades de las series y de los altos coeficientes de variación (CV). A partir de los pronósticos calculados se determinó la clasificación ABC, afectándolos por el precio de venta de los SKU's.

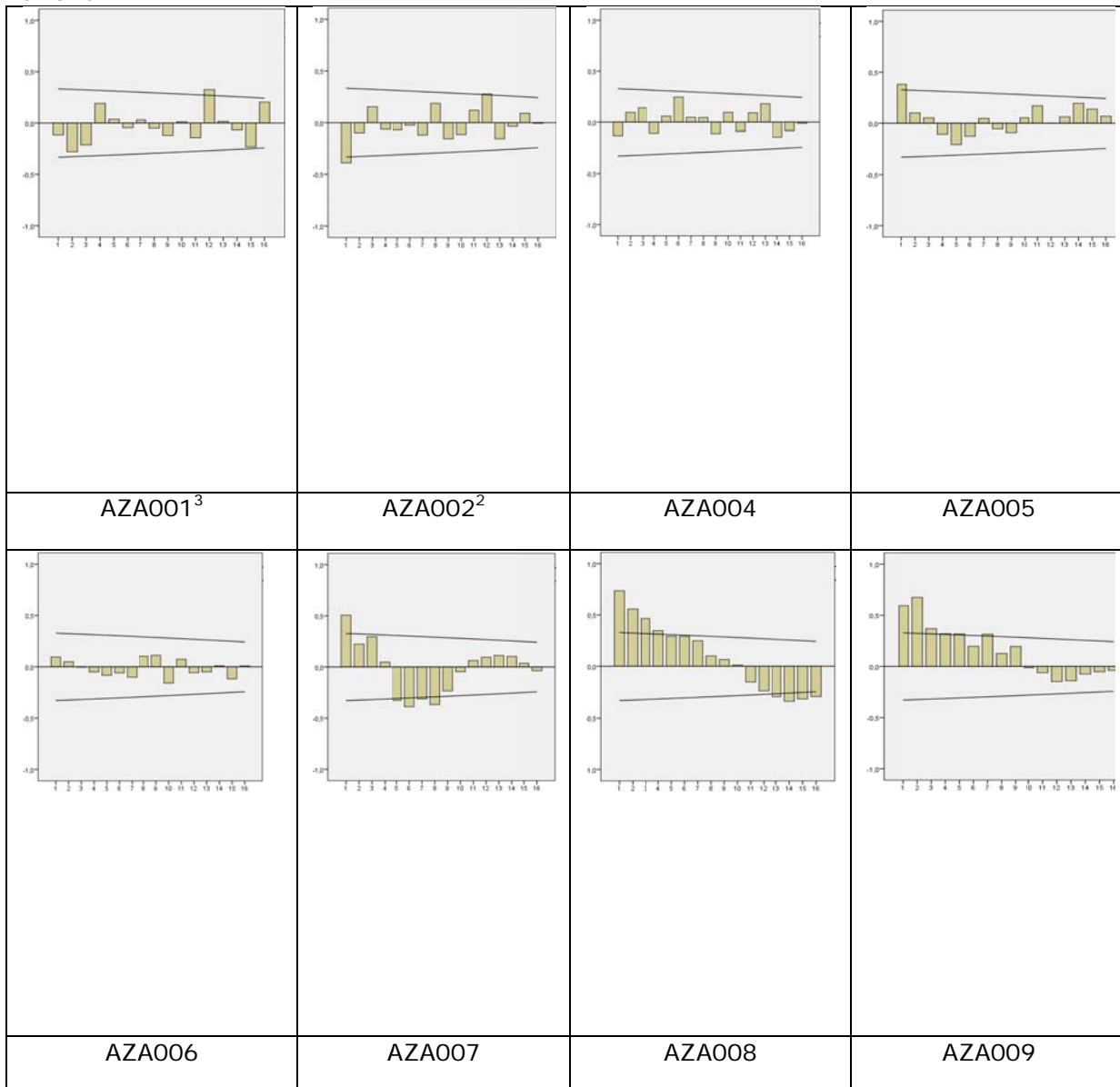


Fig.2. Autocorrelogramas de las series de tiempo con 16 períodos de desfase

³ Autocorrelogramas obtenidos para la primera diferenciación de la serie de tiempo, con el objetivo de eliminar la tendencia y comprobar la estacionalidad anual de las series.

Tabla 2. Modelos de pronóstico y Clasificación ABC

SKU´s	Patrones	Modelo de pronóstico ⁴	CV	Clasificación ABC	Acumulado (%)
1	Tendencia y estacionalidad	Suavización exponencial: sin tendencia y estacionalidad multiplicativa	0.16	A	47
2	Tendencia y estacionalidad	Winters multiplicativo: tendencia lineal, estacionalidad multiplicativa	0.44	C	100
3	Estacionalidad	Suavización exponencial: sin tendencia y estacionalidad aditiva-nivel constante	0.36	C	98
4	Estacionalidad	Suavización exponencial: sin tendencia y estacionalidad aditiva	0.35	B	96
5	Estacionalidad	Suavización exponencial: sin tendencia y estacionalidad aditiva	0.73	C	99
6	Estacionalidad	Suavización exponencial: sin tendencia y estacionalidad aditiva	0.34	A	73
7	Tendencia	Winters multiplicativo: tendencia lineal, estacionalidad multiplicativa	0.61	B	89
8	Tendencia	Suavización exponencial simple, sin tendencia, sin estacionalidad	0.25	B	93

⁴ Los modelos de pronósticos fueron obtenidos a partir de la Solución Experta de Forecast Pro.

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

Los pronósticos permitieron determinar el promedio de la demanda diaria de sacos para cada SKU (ver tabla 3), que al ser contrastada con la productividad diaria de las líneas de envase demostró excesos de capacidad de producción. Esta característica permitió deducir que las líneas, en la mayor parte del tiempo, tengan que **empujar** los sacos envasados hacia el almacenamiento. Si a lo anterior se le adiciona la alta irregularidad de las series de tiempo y considerando que el mes de abril es destinado a las actividades de mantenimiento, puede esperarse que este sistema de **empuje** no se mantenga durante todo el año; originando la posibilidad que al alcanzarse determinados niveles de inventarios se tengan que generar órdenes de producción para la operación de envasado, en cuyo caso la demanda estaría "halando" el envasado de sacos. Lo anterior justifica que el sistema deba abordarse desde dos perspectivas: sistema *push* para la mayor parte del año y como sistema *pull* para algunos periodos.

Tabla 3. Demanda Vs. Productividad

Línea de Envase	Línea de Envase 1					Línea de Envase 2		
SKU	1	2	6	7	8	3	4	5
Demanda promedio (saco/día)	585	13	344	223	63	24	27	13
Total (saco/día)	1228					64		
Productividad (saco/día)	1958					139		
Exceso de capacidad (saco/día)	730					75		

Los altos valores obtenidos en los CV, superiores a 0.20 con excepción de AZA001, unidos a los tiempos conocidos para el reaprovisionamiento de los inventarios y asociados a los tiempos de corridas de los lotes de producción, permitieron seleccionar el modelo probabilístico con demanda aleatoria y tiempo de reaprovisionamiento cierto. Según este modelo, se obtuvieron el tamaño de lote óptimo, el stock de seguridad y el punto de pedido para cada *ítem*, fijando un 95% de nivel de servicio al cliente⁵. Las productividades diarias de las líneas determinaron la decisión del tamaño de lote, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros calculados para el modelo de demanda probabilística con tiempo de suministro cierto

SKU		1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de emisión	\$/día	24.3 2	24.3 2	3.42	3.42	3.42	24.3 2	24.3 2	24.3 2
Costo de almacenamiento	\$/día-saco	0.00 4	0.00 3	0.00 3	0.00 3	0.00 3	0.00 3	0.00 3	0.00 3
Demanda promedio diaria	saco/día	585	13	24	27	13	344	223	63
Demanda diaria	saco/día	647	26	30	40	20	511	386	68
Tamaño óptimo de lote	saco	2627	432	223	238	164	2256	1817	968
Productividad	saco/día	1958	1958	139	139	139	1958	1958	1958
Tamaño de lote decidido	saco	1958	1958	139	139	139	1958	1958	1958
Tiempo de suministro	día	1	1	1	1	1	1	1	1

⁵ Las expresiones de cálculo para estos parámetros pueden consultarse en [13] Domínguez Machuca, J. A.; Álvarez Gil, M., et al. Dirección de operaciones. ed. (1995). p. Aspectos tácticos y operativos. ISBN: .

Stock de seguridad	saco	62	13	6	13	7	167	163	5
Punto de pedido	saco	647	26	30	40	20	511	386	68

Se consideraron como costos principales los de emisión y los costos de almacenamiento. El costo de emisión o de lanzamiento se relacionó con el tiempo de ajuste de las líneas de envasado, el cual fue de aproximadamente 5 minutos, lo cual implicó el salario del personal de envasado durante ese tiempo, más el costo de oportunidad que se origina producto de la cantidad de unidades dejadas de producir en él. El costo de almacenamiento se calculó mediante los costos siguientes: el salario del personal de bodega, las depreciaciones, las pérdidas de sacos de azúcar por defectuosidad y la inmovilización de los recursos al 12%; todo esto afectado por las existencias medias históricas.

Por ejemplo, para AZA001 (*item* 1) el lote óptimo es de 2627 sacos, el decidido de 1958 sacos debido a la capacidad de envasado de la Línea de Envase 1, con un stock de 62 sacos y 647 sacos de punto de pedido.

3.1 Resultados del modelo de simulación

El modelo resultó en la imagen de la figura 3, en la que se observan las conexiones y tipos de objetos empleados.

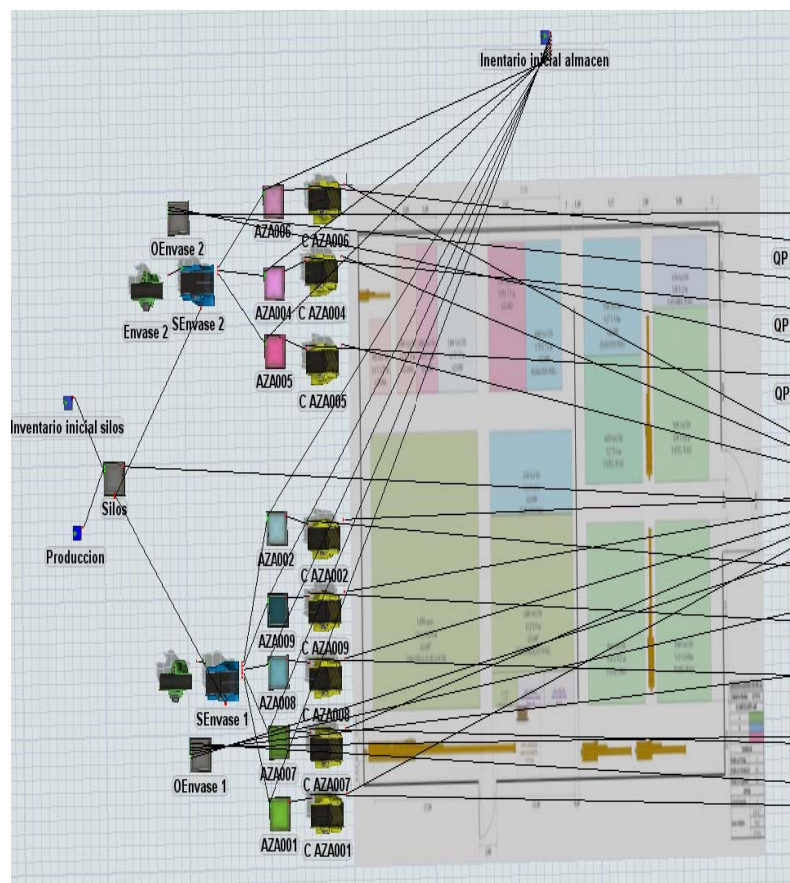


Fig. 3. Vista superior del modelo

Los *dashboards* correspondientes a una corrida y para los productos envasados por las líneas de envase 1 y 2 se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente. En ambos gráficos los niveles de inventario decaen para todos los *ítems* en el mes de abril, lo cual se corresponde con la realidad de la empresa dado que en ese mes se detiene el proceso de producción de azúcar y de envasado, para la realización de actividades de mantenimiento. No ocurriendo lo mismo con la demanda de los clientes, la cual se continúa satisfaciendo desde los inventarios. Durante este mes se observó que los ítems con mayor demanda muestran tendencias negativas superiores. Posterior a este mes, se constató como los reabastecimientos de los inventarios se realizan en ese mismo orden de prioridad, es decir, por el *ROT* y con mayor frecuencia. La Línea de Envase 1 reabastece con más frecuencia los

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

inventarios en el orden AZA001, AZA007, AZA008, AZA009 y AZA002, mientras que la Línea de Envase 2 los reabastece en el orden AZA005, AZA004 y AZA006.

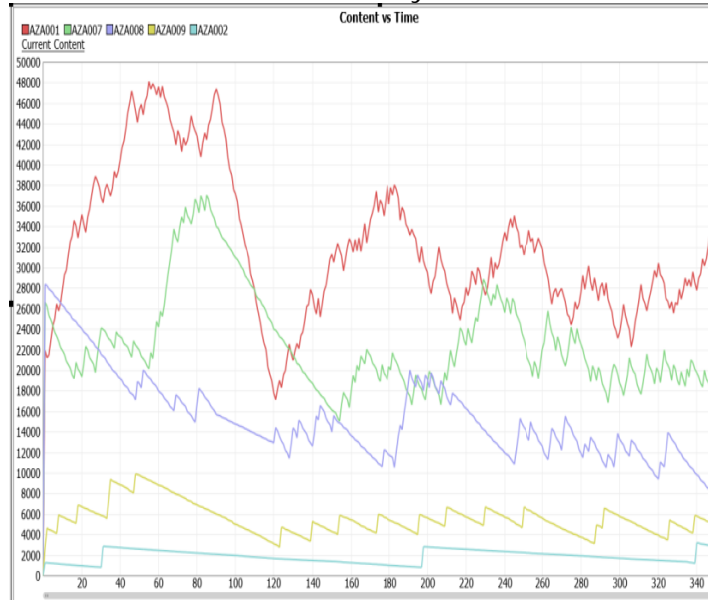


Fig. 4. Comportamiento de las existencias para los productos envasados por la Línea de Envase 1

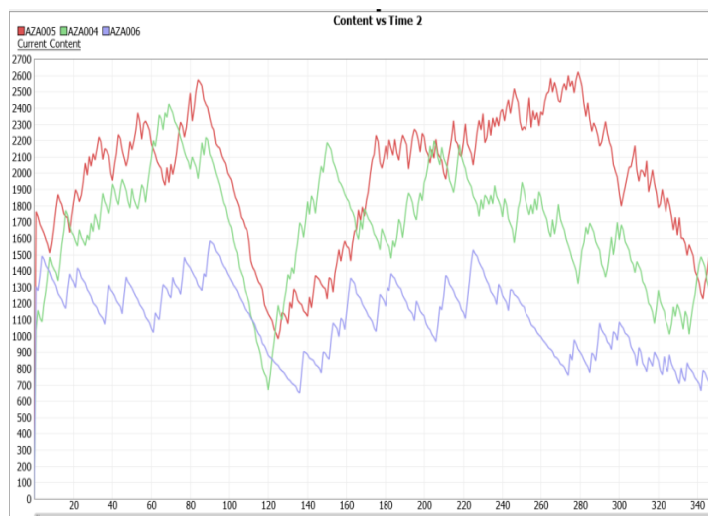


Fig. 5. Comportamiento de las existencias para los productos envasados por la Línea de Envase 2

Se ejecutaron 100 réplicas, se asumió normalidad en las variables respuesta y el error de estimación (e) se definió de acuerdo a la clasificación ABC (ver tabla 5). Al calcular la cantidad de réplicas necesarias (n) se dedujo que las 100 réplicas ejecutadas fueron suficientes para estimar los límites superiores de las variables de respuesta, que permitieron afirmar que los niveles de inventario promedio se encontrarán por debajo de estos valores con un 95% de confianza. A partir de los límites superiores calculados se determinaron los porcentajes del área total de almacenamiento que fueron destinadas para cada producto, aproximadamente. Se destacó como los productos A (AZA001 y AZA007) son los que mayor área de almacenamiento requirieron, resultado este que fue congruente con la clasificación ABC realizada.

Tabla 5. Resultados de las variables de respuesta

E_i	Em_i	S_i^6	LS_i	Área (%)	e	n
E_1	30839	1186	31036	38,53	200	97
E_6	21426	908	21577	26,79	200	57
E_7	15366	644	15473	19,21	250	19
E_8	5574	304	5625	6,98	250	5
E_4	2028	130	2050	2,55	250	1
E_2	1943	357	2003	2,49	300	4
E_3	1678	108	1696	2,11	300	1
E_5	1073	72	1085	1,35	300	1

También se obtuvieron las cantidades de mercancías manipuladas para todo el 2018, con un valor promedio de 1 418 718 sacos/año.

3.2 Diseño del layout, asignación y dimensionamiento de áreas

Para el desarrollo del layout se comenzó por el diseño de los pasillos de trabajo, de circulación y de seguridad acordes a lo establecido en el Decreto Ejecutivo 2393 del Ministerio de Trabajo [36]. El ancho para los pasillos de trabajo fue determinado por las bandas transportadoras móviles, las cuales poseen un ancho de 0.95 metros, para un ancho de pasillo de 2 metros. Los pasillos de circulación y los de seguridad e inspección quedaron con un ancho de 1.6 y 0.6 metros, acordes a lo establecido en el decreto. Además, se fijó un metro de pasillo a cada lado de las bandas transportadoras fijas. Los cálculos anteriores arrojaron un total de 564.73 m² de área de pasillos, cuya distribución puede observarse en la figura 6.

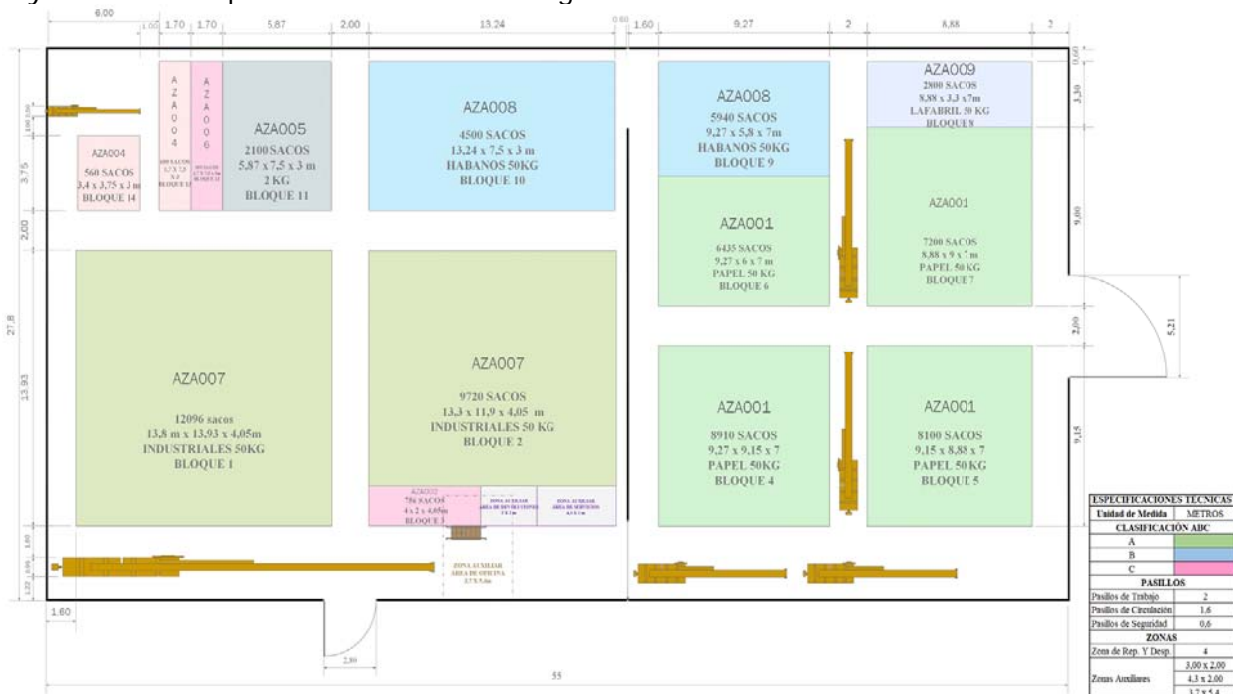


Fig. 6. Diseño de layout.

⁶ Desviación estándar de las Em_i para las 100 réplicas.

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

En la recepción y en el despacho los sacos no permanecen estáticos y se transportan por medio de las bandas transportadoras, por lo que se diseñaron áreas de 4.08 m² para cada una de estas actividades. Se definieron tres áreas auxiliares para la producción defectuosa, para servicios y para oficina, con 6, 8.6 y 19.98 m², respectivamente. El área de oficina se ubica a 3 metros de altura, por lo que no entra en la sumatoria del área total del almacén. El resto del área del almacén se conformó por 14 bloques destinados al almacenamiento de los sacos de azúcar con 941.51 m². La composición de todas las áreas del almacén quedó tal y como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Composición de las áreas del almacén

Área útil	941.51 m ²
Área de pasillos	564.73 m ²
Área de Almacenamiento	1506.24 m²
Área de recepción	4.08 m ²
Área de despacho	4.08 m ²
Área Básica	1514.40 m²
Áreas auxiliares	14.60 m ²
Área total	1529 m²

Para la asignación y el dimensionamiento de los bloques pertenecientes al área útil se utilizaron los límites superiores para las existencias medias al 95% de confianza y determinados por el modelo de simulación, así como, la clasificación ABC. Se aplicó el método de prueba y error considerando los elementos que siguen:

- Las presentaciones AZA001 y AZA007 de clasificación A, que a su vez son los de mayor rotación, se ubicaron más cercanos a las puertas de despacho.
- Las presentaciones AZA004, AZA005 y AZA006 se ubicaron cerca de la Línea de Envase 2, con la finalidad de minimizar recorridos y al ser productos de clasificación B y C se situaron alejados de las puertas de despacho.
- Las presentaciones AZA009, AZA008 y AZA002 de clasificación B y C se ubicaron en los bloques restantes, dando prioridad a los de mayor rotación y situándolos lo más cercano posible a las puertas para su despacho.

IV. DISCUSIÓN

La propuesta originó un aprovechamiento promedio de la capacidad neta (Kp) del 118%, disminuyendo así este indicador en un 58.53% respecto a la situación existente en la actualidad, logrando disminuir el sobreaprovechamiento actual de 285% que conlleva al incremento de costos por concepto de renta de almacenes, como se observa en la tabla 7. Es de destacar como en la mayor parte de los *items* dicho aprovechamiento se comportó cercano al 100%, con excepción de AZA009 y AZA006 que mostraron sobreaprovechamientos significativos. El caso extremo fue para AZA002 al cual le fue asignado el menor espacio de almacenamiento. El *layout* propuesto tuvo un déficit de almacenamiento de 9610 sacos respecto a lo pronosticado para el 2018, aun así, de este balance se dedujeron mejoras sustanciales en cuanto al aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento.

Tabla 7. Balance de Demanda Neta Vs Capacidad Neta para el *layout* actual y para la propuesta⁷

Presentación	Actual				Propuesta			
	LS_i (sacos)	Demanda neta (m ³)	Capacidad neta (m ³)	Kp_i (%)	LS_i (sacos)	Demanda neta (m ³)	Capacidad neta (m ³) ⁸	Kp_i (%)
AZA001	30302	1931.77	621.77	311	31036	1978.55	1942.38	102
AZA007	1634	104.16	62.18	168	21577	1375.53	1305.97	105
AZA008	1625	103.57	62.18	167	15473	986.40	620.32	159
AZA009	1566	99.83	207.26	048	5625	358.59	188.71	190
AZA005	790	50.35	62.18	81	2050	130.69	121.09	108
AZA004	23189	1478.31	621.77	238	1696	130.69	105.57	124
AZA006	30461	1941.86	207.26	937	1085	69.17	35.19	197
AZA002	2223	141.70	207.26	68	2003	127.69	44.71	286
TOTAL	91790	5851.55	2051.86	285	80545	5157.31	4363.94	118

El costo por mercancía manipulada (Kc) se obtuvo dividiendo los costos totales de almacenamiento entre el total de mercancías manipuladas y se contrastó el 2017 contra lo proyectado para el 2018. Para el costo total de almacenamiento se consideraron los rubros de salario del personal, depreciación, pérdidas, inmovilización de recursos y renta de almacenes externos. Se obtuvieron los valores de 0.37 y 0.29 \$/saco, logrando disminuir el indicador en un 19.44%, lo que equivale a un ahorro de 99310.26 \$/año, el cual se concentró principalmente en la eliminación casi total de los gastos por concepto de arriendo de almacenes.

Se calcularon los coeficientes de utilización del área total, del área básica y del área de almacenamiento, dividiendo el área útil entre las áreas anteriores y para los que se obtuvieron los valores de 61.57%, 62.17% y 62.50%, respectivamente. Además, se calculó el coeficiente de utilización de la altura (Kh_i) dividiendo la altura alcanzada por los bloques entre la altura del puntal libre para un promedio en este indicador del 79.31%, como se refleja en la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo del coeficiente de utilización de la altura

Presentación	Bloque	Altura útil (m)	Altura Puntal (m)	Kh_i
AZA007	Bloque 1	4.05	5.21	0.79
	Bloque 2	4.05	5.21	0.79
AZA002	Bloque 3	4.05	5.21	0.79
AZA001	Bloque 4	7.0	8.15	0.86
	Bloque 5	7.0	8.15	0.86
	Bloque 6	7.0	8.15	0.86
	Bloque 7	7.0	8.15	0.86
AZA009	Bloque 8	7.0	8.15	0.86
AZA008	Bloque 9	7.0	8.15	0.86
	Bloque 10	3.0	4.15	0.72
AZA005	Bloque 11	3.0	4.15	0.72
AZA006	Bloque 12	3.0	4.15	0.72
AZA004	Bloque 13	3.0	4.15	0.72
	Bloque 14	3	4,15	0.72
Promedio				0.7931

⁷ Se empleó un volumen de 0.06375 m³/saco.

⁸ Se determinó multiplicando las dimensiones de largo, ancho y altura de los bloques de la figura 6.

DISEÑO DE LAYOUT EN UN ALMACÉN DEL INGENIO AZUCARERO DE IMBABURA, ECUADOR

Los resultados obtenidos, tanto para los coeficientes de utilización del área como para los de utilización de la altura se consideraron adecuados.

V. CONCLUSIONES

1. La evaluación de la situación actual destaca las principales falencias en el *layout* y en el dimensionamiento del almacén, al denotar un sobreaprovechamiento de la capacidad neta y un elevado costo de manipulación de mercancías a un valor de 0.37 dólares/saco. Dicho valor está en gran medida compuesto por los gastos concernientes a la renta de almacenes.
2. Los pronósticos desarrollados en Forecast Pro constituyen la base del nuevo diseño y el dato de entrada principal para el modelo de simulación. Por medio de este se proyectan las existencias medias de los SKU´s para el 2018 mediante un enfoque *push* y *pull*, cuyos límites superiores de confianza de conjunto con la clasificación ABC, son la base fundamental para el dimensionamiento de las áreas de almacenamiento en el nuevo *layout*.
3. La propuesta disminuye casi en su totalidad el problema del sobreaprovechamiento constatado en el almacén actual, específicamente en un 58.53%, alcanzando el 118.2% de utilización de la capacidad neta y reduciendo el costo por mercancía manipulada hasta los 0,29 \$/saco. Esto último equivale a una reducción del indicador en un 19.44% para un ahorro de 99 310.26 \$/año. Además, conlleva a un aprovechamiento del área de almacenamiento y de la altura a un 62.50% y un 79.31%, respectivamente. 🏠

VI. REFERENCIAS

1. De Koster, R. B.; Johnson, A. L., *et al.* *Warehouse design and management*, Taylor & Francis (2017). ISBN 0071376003.
2. Braker, P. y Canessa, M. "Warehouse design: A structured approach" *European Journal of Operational Research* (2009); 193(2): pp.425-436 ISSN: 0377-2217
3. Golari, M.; Fan, N., *et al.* "Multistage Stochastic Optimization for Production-Inventory Planning with Intermittent Renewable Energy" *Production and Operations Management* (2017); 26(3): pp.409-425. ISSN 1937-5956
4. Hernández Maden, R. *Modelo para el mejoramiento del almacenamiento y la manipulación en almacenes de medios de producción de empresas del Ministerio del Azúcar.* [tesis de maestría] Ingeniería Industrial: La Habana, ISPJAE (1999). Tutor: Gemeil, M. T.
5. Heskett, J.; Glaskowsky, N., *et al.* *Business Logistics, Physical Distribution and Materials Handling.* Ronald Press, New York, NY (1973), Vol., ISSN: 0960-0035
6. Rafie-Majd, Z.; Pasandideh, S. H. R., *et al.* "Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm" *Computers and Chemical Engineering* (2018); (109): pp.9-22 ISSN: 00981354
7. Tavana, M.; Abtahi, A. R., *et al.* "An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations" *Socio-Economic Planning Sciences* (2018); (1). ISSN: 00380121
8. Acevedo Suárez, J.; Gómez Acosta, M. I., *et al.* *La Logística Moderna en la Empresa.* ed. La Habana. Cuba, Editorial Félix Varela (2015). p. ISBN: 978-959-07-1135-0
9. Borfill, A.; Sablón Cossio, N., *et al.* Propuesta de un sistema de gestión de inventarios el almacén central de una cadena comercial. *Universidad y sociedad.* 2017; 8(3). ISSN 2218-3620 .
10. Brenes Muñoz, P. *Técnicas de almacén.* España: Editex (2017), ISBN 978-8490785126.
11. Golari, M.; Fan, N., *et al.* Multistage Stochastic Optimization for Production-Inventory Planning with Intermittent Renewable Energy. *Production and Operations Management* (2017); 26(3): pp.409-425 ISSN 1937-5956.
12. Torres Gemeil, M.; Daduna, J. R., *et al.* *Fundamentos Generales de la Logística.* ed. Cuba, LOGICUBA (2008). p. ISBN: 978-959-16-0531-3
13. Bozarth, C. C.; Warsing, D. P., *et al.* The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance. *Journal of Operations Management* (2009); 27(1): pp.78-93. ISSN: 0272-6963

14. Faber, N.; De Koster, R. B., *et al.* "Survival of the fittest: the impact of fit between warehouse management structure and warehouse context on warehouse performance" *International Journal of Production Research* (2018); 56(1-2): pp.120-139 ISSN: 0020-7543
15. Gu, J.; Goetschalckx, M., *et al.* "Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review" *European Journal of Operational Research* (2010); 203(3): pp.539-549 ISSN: 0377-2217
16. Cormier, G. y Gunn, E. A. "On coordinating warehouse sizing, leasing and inventory policy" *IIE transactions* (1996); 28(2): pp.149-154 ISSN: 0740-817X
17. Golari, M.; Fan, N., *et al.* Multistage Stochastic Optimization for Production-Inventory Planning with Intermittent Renewable Energy. *Production and Operations Management* (2017); 26(3): pp.409-425. ISSN 1937-5956.
18. Hung, M. y Fisk, J. C. "Economic sizing of warehouses: A linear programming approach" *Computers & Operations Research* (1984); 11(1): pp.13-18 ISSN: 0305-0548
19. Levy, J. "The optimal size of a storage facility" *Naval Research Logistics Quarterly* (1974); 21(2): pp.319-326 ISSN 0028-1441
20. Rao, A. y Rao, M. "Solution procedures for sizing of warehouses" *European journal of operational research* (1998); 108(1): pp.16-25. ISSN: 0377-2217.
21. Bassan, Y.; Roll, Y., *et al.* "Internal layout design of a warehouse" *AIIE Transactions* (1980); 12(4): pp.317-322. ISSN 0569-5554.
22. Pliskin, J. S. y Dori, D. "Ranking alternative warehouse area assignments: A multiattribute approach" *IIE Transactions* (1982); 14(1): pp.19-26 ISSN 0569-5554.
23. Gray, A. E.; Karmarkar, U. S., *et al.* "Design and operation of an order" *European Journal of Operational Research* (1992); (58): pp.14-36 ISSN 0377-2217
24. Rosenblatt, M. J. y Roll, Y. Warehouse design with storage policy considerations. *The International Journal of Production Research* (1984); 22(5): pp.809-821 ISSN 0020-7543.
25. Zeng, A. Z.; Mahan, M., *et al.* Designing an efficient warehouse layout to facilitate the order-filling process: An industrial distributor's experience. *Production and Inventory Management Journal* (2002); 43(3/4): pp.83 ISSN 0897-8336.
26. Van Oudheusden, D. L.; Tzen, Y.-J. J., *et al.* Improving storage and order picking in a person-on-board AS/R system: A case study. *Engineering Costs and Production Economics* (1988); 13 (4): pp.273-283 ISSN 0167-188X.
27. Dekker, R.; De Koster, M., *et al.* "Improving order-picking response time at Ankor's warehouse" *Interfaces* (2004), Vol.34, No.4: pp.303-313 ISSN: 0092-2102
28. MIPRO. *Política Industrial del Ecuador 2016-2025*. Ministerio de Industrias y Productividad, (2017). [Acceso: 7 de enero del 2019]. Disponible en: <https://www.industrias.gob.ec/politica-industrial-del-ecuador/>
29. SENPLADES. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, (2017). [Acceso: 7 de enero del 2019]. Disponible en: <http://www.planificacion.gob.ec/biblioteca/>
30. Camino Mogro, S.; Bermudez Barrezueta, N., *et al.* *Estudios sectoriales: Panorama de la industria manufacturera en el Ecuador 2013-2017*. Quito, Ecuador, Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. Dirección Nacional de Investigación y Estudios. (2018) [Acceso: 7 de enero del 2019]. Disponible en: <https://investigacionyestudios.supercias.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/Estudio-Sectorial-Inversi%C3%B3n-Empresarial-2013-2017.pdf>
31. Barrezueta Arias, C. E. *Diseño de layout para el almacén de productos terminados en la empresa Ingenio Azucarero Del Norte*: (2018). [Acceso: 7 de enero del 2019]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8442/1/04%20IND%20129%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
32. Ballou, R. H. *Logística: Administración de la cadena de suministro*. ed., Pearson Educación (2004). p. ISBN: 9702605407
33. Taha, H. A. *Investigación de operaciones*. ed., Pearson Educación (2004). p. ISBN: 9702604982

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses de ningún tipo

Contribución de los autores

Erik Orozco Crespo: Desarrollo del modelo de simulación de eventos discretos en FlexSim, el procesamiento estadístico de la información en el software ya sea para los datos de entrada del modelo como el análisis de los resultados del mismo. Además, supervisó el desarrollo de los pronósticos en el Forecast Pro.

Neyfe Sablón Cossío: Contribuyó con la gestión de almacenes y de la gestión de los inventarios, aportando los modelos y procedimientos pertinentes para el análisis de la situación actual y de la proyectada con el nuevo *layout*. Lo anterior abarcó desde el análisis del sistema de almacenamiento, tecnología de almacenamiento y manipulación de materiales, la distribución interior del *layout*, hasta la evaluación de la gestión de almacenes; así como, el trabajo con los modelos de planificación de los inventarios.

Karla Estefanía Barrezueta Arias: Aportó en la recopilación y resumen de la información en el Ingenio Azucarero objeto de estudio, es decir, el trabajo de campo. Fue mediadora en la implementación parcial de los principales resultados, los cuales fueron alcanzados con la ayuda del Ing. Erik Orozco Crespo y la Ing. Neyfe Sablón Cossío.

Fabiola Sánchez Galván: Aportó desde la perspectiva de la gestión de almacenes y de la gestión de los inventarios, revisando los modelos y procedimientos empleados y que estos tuvieran la pertinencia y actualidad requeridas. Además, contribuyó con la redacción y revisión finales del documento