OPTIMIZACIÓN DE ALMACENES CON MEDIA PONDERADA Y TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DISCRETA

Calderón Jiménez Antonio [1], Hernández Sánchez Luis A.[1], Méndez Rivera Caín [1], Valdés Álvarez Alejandra C.[1] , González González Eric [1]*
[1]Tecnologico Nacional de México / ITS de Ciudad Serdán, Av. Tecnológico S/N, Col. La Gloria, Cd. Serdán puebla, México, C.P. 75520
**acalderon@cdserdan.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El estudio analiza la gestión de un almacén que abastece dos áreas de surtido de bobinas de hilo. Se identificaron ineficiencias debido a la alta variabilidad de la demanda, lo que ocasionó retrasos y mal uso del espacio. Con datos de demanda anual, se observó un cumplimiento del 60.25%, debido al uso de la media aritmética para calcular el stock. Se propuso emplear la media ponderada, mejorando el cumplimiento al 83.91%. Para lograr esto, se plantearon dos soluciones de distribución del almacén: una con ropaks, que cubre el 85% del material más utilizado y da un 71% de cumplimiento, y otra que combina ropaks y racks, optimizando el espacio y alcanzando el 100% del material y da como resultado el 83.91% del cumplimiento.

Palabras clave: Almacén, Ropaks, racks, Distribución

Abstract

The study analyzes the management of a warehouse that supplies two areas with thread coil stock. Inefficiencies were identified due to the high variability in demand, which caused delays and poor use of space. Using annual demand data, a 60.25% fulfillment rate was observed, attributed to the use of the arithmetic mean for stock estimation. It was proposed to use the weighted average, improving the fulfillment rate to 83.91%. To achieve this, two warehouse distribution solutions were presented: one using ropaks, covering 85% of the most frequently used material and yielding 71% fulfillment, and another combining ropaks and racks, optimizing space, handling 100% of the material, and resulting in 83.91% fulfillment.

Keywords: *Warehouse, Ropaks, racks, distribution.*

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo explorar en profundidad la gestión del almacén dentro de un sistema de producción, un elemento crítico en la optimización de los flujos de materiales y el abastecimiento oportuno de las áreas de Unidad de Servicio y Línea de Servicio. Este estudio parte de la identificación de problemas clave que afectan la eficiencia del sistema, tales como la alta variabilidad en la demanda y la ineficaz estimación de inventarios utilizando la media aritmética, recordando que esta se utiliza comúnmente en situaciones donde los datos son homogéneos y no

requieren un tratamiento especial en términos de ponderación o distribución [1], lo que resultó en un cumplimiento del 60.25% en el suministro de materiales a lo largo del año de estudio. Para abordar estos problemas, se propuso un nuevo enfoque basado en la media ponderada en el cual Según Bluman (2018), "la media ponderada es útil cuando los valores tienen distintas relevancias o frecuencias, y se calcula multiplicando cada valor por su peso correspondiente y dividiendo entre la suma de los pesos" [2], el cual mejoró significativamente el cumplimiento de la demanda, alcanzando un 83.91%. Este enfoque no solo permitió una gestión más precisa del inventario, sino que también optimizó el uso del espacio en el almacén, reduciendo los tiempos de recorrido y los retrasos en la producción. Además, se presentaron dos soluciones de distribución: una centrada en el uso de ropaks para gestionar el 85% del material más utilizado equivalente al 71% del cumplimiento de la demanda, y otra que combina ropaks y racks, permitiendo una gestión más eficiente del 100% del inventario, dando como resultado el 83.91% del cumplimiento. El estudio empleó el caso minimax número 8 de un método cuantitativo de localización de planta para definir las mejores ubicaciones para el material dentro del almacén, este problema tiene como objetivo Localizar múltiples nuevas facilidades a través de un número discreto de posibles localizaciones o sitios, las cuales estarán influenciadas por facilidades fijas con las que tendrán relación entre sí [3], y se utilizó el software POM para resolver los problemas de asignación. Es fundamental el uso de metodologías cuantitativas y herramientas tecnológicas en la mejora de la eficiencia operativa dentro de los sistemas de producción. Estas permiten optimizar procesos como la gestión de inventarios y la distribución de materiales, ofreciendo soluciones escalables aplicables a diversos entornos industriales [4].

Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo del estudio se basa en un enfoque cuantitativo para mejorar la eficiencia del almacén en un sistema de producción caso 8 del método minimax.

Análisis de la demanda:

Se recopilaron datos del almacén durante todo el año 2023 con los cuales se obtuvo: el número de identificación del código del producto (CP) y el comportamiento de la demanda de ese año. Al obtener los datos de la demanda se pudo observar que existe una gran variabilidad, lo cual hace difícil de calcular un stock factible para el almacén. La demanda consta de los siguientes elementos:

1. **12 meses con 317 días analizados (los cuales fueron laborables).**
2. **La cantidad total de códigos de producto (CP) es de 123 elementos.**
3. **47,121 lotes**
4. **549,806 bobinas de hilo.**

Obtención de las demandas

Cada CP tiene una demanda diferente con una alta variabilidad y no se observó ninguna estacionalidad en los datos por lo que hace difícil la obtención de la demanda, desde el año pasado hasta antes del presente estudio, cabe mencionar que para llegar a esta premisa se analizaron un total 123 CP y cada uno sigue una distribución diferente. La estimación que se utilizó para el cálculo de la demanda actual con la cual está la distribución del almacén, fue la media aritmética y durante

este análisis al parecer no se tomó en cuenta la tendencia de los datos, lo cual trajo como consecuencia un incumplimiento en algunas ocasiones de la demanda, además de que en el almacén se encuentra material que no se utiliza actualmente o de lo contrario no se encuentra dentro de él. La Figura 1 muestra el comportamiento de todo el año de un CP.

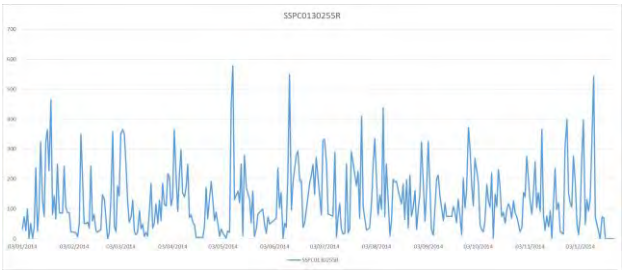


Figura 1. Gráfico del comportamiento de la demanda de un CP

Como se puede observar, la demanda presenta una alta variabilidad, con picos de alta demanda en algunos periodos y ausencia total en otros. Al utilizar únicamente la media aritmética como estimador principal para el cálculo del stock, se registraron varios incumplimientos en el abastecimiento a lo largo del año. En la Figura 2, se muestra el estimador utilizado (línea roja), donde se evidencia claramente que no se alcanzó a satisfacer una parte significativa de la demanda, esto es debido a que la línea roja representa el abastecimiento en el almacén y todo lo que está por debajo de esa línea logró cumplircon la demanda requerida,y lo que está arriba fue incumplimiento.

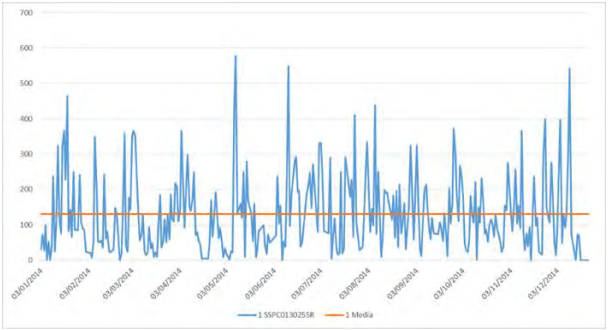


Figura 2 Gráfica de media aritmética del año 2023

Con los datos de 2023, se determinó que no se cumplió con el 60.25% (ver tabla 1) de la demanda, lo que provocó retrasos y un mayor recorrido del personal de almacén. Para solucionar esto, se aplicó la media ponderada, usando como factor el promedio de los datos que superaban la demanda. Esto incrementó el cumplimiento al 83.91% (Ver tabla 2), el cual se valida tomando en cuenta la línea gris de la figura 3 donde todo lo que se encuentre por encima de ella se considera desabasto, según la Figura 3. Aunque los 123 CP presentaron variabilidad, no se observó un patrón estacionario. Los resultados fueron presentados al jefe de almacén, gerente de tintorería y jefe de operaciones, quienes aceptaron la propuesta de utilizar la media ponderada para estimar la demanda de cada CP.

Una vez obtenido la demanda se procedió a realizar propuestas las cuales contaran con las siguientes características:

1. Realizar una distribución del almacén en la cual pueda contener la mayor cantidad de almacén.

2. La distribución debe estar basada en la demanda.

3. Dado que se comparte material la propuesta debe incluir la menor cantidad de distancia recorrida los operarios de ambas facilidades (dos áreas de distribución K).

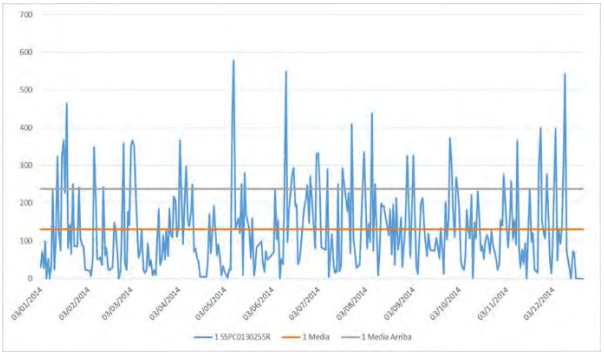
4. El hilo crudo debe estar distribuido de tal manera que satisfaga el punto 3 basándose en los más demandados.

5. En el caso de ocupar un nuevo contenedor, este debe cumplir con el espacio destinado para el almacén.

6. La propuesta debe incluir seguridad tanto para el operador de almacén como para los cargadores de ambas áreas.

Tabla 1 Datos de cumplimiento e incumplimiento (Elaboración: Propia)

Media	129.8958991
Desviación	109.6521769
Cantidad de días no cumplidos	126
Cantidad de días cumplidos	191
% de incumplimiento	39.75%
% de cumplimiento	60.25%



Gráfica 3 Grafico de media ponderada en los datos del año 2023

Tabla 2 Datos del cumplimiento utilizando la media ponderada (Elaboración: propia)

Media nueva	237.8571429
Datos por encima de la media	51
Datos por debajo de la media	266
% de incumplimiento	16.09%
% de cumplimiento	83.91%

Propuesta distribución 1

Para esta primera propuesta se pensó realizar una distribución simple mediante el uso de ropaks y los CP más usados, los ropaks son los contadores que almacenan temporalmente la materia prima, el almacén solo tiene espacio para un total de 36 ropaks.

Para el desarrollo de las propuestas se utilizó el caso número 8 de un método cuantitativo de localización de planta y cumple con las características anteriormente enlistadas, para poder hacer uso de este método fue necesario determinar [3]:

El modelo de asignación se muestra en los siguientes puntos:

1. Suponer que existen ***i*** nuevas facilidades a localizar (departamentos, máquinas) en ***j*** posibles lugares **i ≤ j i >1.**
2. Suponer que existen ***k*** facilidades ya fijas, con las cuales las nuevas facilidades tendrán relación (movimiento de productos, etc.).
3. Se desea asignar las nuevas facilidades ***i*** en los ***j*** posibles lugares, a fin de minimizar la distancia viajada (movimientos).

La función de costos se muestra en la ecuación siguiente:

$$C_{ij=} \sum_{k=1}^{k} W_{ik} D_{kj}$$

Dónde: i=1,……., m (Facilidad a localizar), j= 1,……..,n (Posible lugar)

En donde la nomenclatura es:

$$W_{ik} = \left(\frac{\text{No. de viajes entre la nueva facilidad i y la facilidad existente k}}{\text{Unidad de tiempo}}\right)\frac{\$}{\text{Unidad de distancia}}$$

$$D_{kj} = \text{La distancia viajada entre la facilidad existente k y el posible lugar j}$$

$$C_{ij} = \text{Costo si la nueva facilidad i es localizada en el sitio j}$$

1. Las facilidades "k" (cargadores), representadas con la letra K en la figura 4, corresponden a los puntos de carga y descarga dentro del sistema. Por otro lado, los posibles lugares de ubicación "j"

(ropaks), que están enumerados con números en color amarillo en la misma figura, representan los puntos donde se almacenarán temporalmente los materiales.

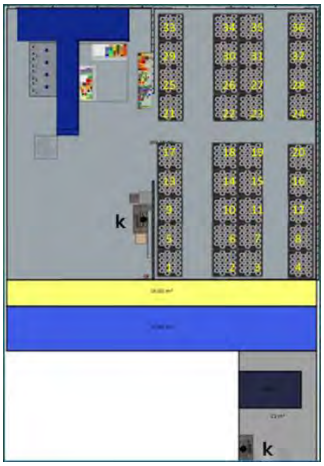


Figura 4 Facilidades y posibles lugares de ubicación (Elaboración: Propia)

2. Para poder determinar la matriz Wik fue necesario primeramente establecer cuáles eran los 36 sustratos (CP) más utilizados, para lo cual se realizó un análisis ABC. Una vez obtenido este listado, se determinó la cantidad de viajes por día de cada facilidad "k" a la facilidad localizar "i", los cuales están basados en la demanda de unidad de servicio y de línea de servicio.

3. Para poder determinar la matriz Dkj primeramente se realizó un plano cartesiano en donde se ubicaron las facilidades a localizar y las facilidades existentes, en donde su ubicación se basó mediante los ejes "x" y "y" y se calculó usando distancias rectilíneas. Ejemplo: para poder determinar la distancia que se recorre desde línea de servicio hacia la posible facilidad a localizar 1 se cuentan cuantas posiciones avanza en los ejes de las X y los ejes de las Y, dando en este caso un total de 22 posiciones. Cabe aclarar que para unidad y servicio existe una ruta permanente la cual se muestra con una línea amarilla en la figura 5, esta línea es debido a que, por procedimiento, el operador parte del centro del Almacén de unidad de servicio y por lo tanto dicha distancia es fija. Dicha figura también muestra una posible ruta de línea de servicio a la posible ubicación del sustrato, la cual está marcada con el color verde. Puede existir una variedad diferente de rutas. Sin embargo, siempre darán misma longitud de distancia.

4. La determinación de la matriz de costo es la multiplicación de las matrices Wik y Dkj dando como resultado para este caso una matriz de 36 x 36. En la tabla 3 se muestra el producto generado de estas matrices. Una vez completada esta matriz se puede resolver mediante un problema de asignación, sin embargo, para una matriz con esas dimensiones es recomendable apoyarse en un software que pueda realizar esos cálculos, ya que de no ser así desarrollarlo manualmente puede tomar un tiempo bástate prolongado por la cantidad de cálculos que este puede generar.

Este procedimiento fue utilizado para cada una de las diferentes asignaciones realizadas durante este trabajo. Tomando en cuenta al análisis ABC se dice que el Almacén contendrá hasta un 85% aproximadamente del material [5].

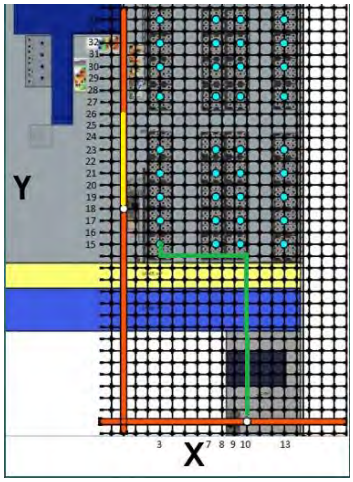


Figura 5 Localización de facilidades existentes propuesta 1 (Elaboración: propia)

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SSPC0130255R	388	369	360	412	397	377	369	421	405	386	377	429	414	395	386	438	422	403	395	446	469	450
SSPA01902HAR	334	318	311	355	341	325	318	362	348	332	325	370	355	339	332	377	362	346	339	384	402	386
SSPA01302HAR	357	323	308	353	373	338	323	368	388	354	338	384	403	369	354	399	419	384	369	414	471	436
PCCA03252HAR	227	217	213	244	231	221	217	248	235	226	221	252	239	230	226	256	243	234	230	260	269	260
TRPA01332IBR	430	383	362	417	450	404	383	437	471	424	404	458	492	445	424	478	512	466	445	499	578	531
PPCA02052HAR	230	214	207	237	237	221	214	244	244	228	221	251	251	235	228	258	258	242	235	265	288	272
TXPA01671JBR	221	234	240	273	215	228	234	267	209	222	228	261	203	216	222	255	197	211	216	249	211	224
CFPA02263IBR	165	170	172	195	163	167	170	193	160	165	167	191	158	163	165	189	156	161	163	187	169	174
PPCA01522HAR	203	186	178	204	210	193	186	212	218	201	193	219	226	208	201	227	233	216	208	235	261	244
TXPA01672JBR	316	304	298	341	322	309	304	346	327	315	309	352	333	320	315	358	338	326	320	363	375	362
PPCA04003HAR	179	173	170	194	182	175	173	197	185	178	175	200	187	181	178	202	190	184	181	205	210	204
IBNA02353QBR	157	163	165	188	155	160	163	186	153	158	160	183	150	156	158	181	148	153	156	178	160	165
PCCA04902HAR	165	156	151	173	169	160	156	177	173	164	160	182	178	168	164	186	182	172	168	190	202	193
PPCA01252HAR	248	213	197	228	263	228	213	243	279	244	228	259	295	260	244	274	310	275	260	290	352	317
TRPA0133295R	270	231	214	247	287	248	231	264	304	266	248	281	322	283	266	298	339	300	283	316	385	346
CFPA04553IBR	101	108	110	125	98	105	108	122	95	102	105	120	92	99	102	117	89	96	98.8	114	95	102
PCCA02002HAR	115	107	103	118	118	110	107	122	122	114	110	125	125	117	114	129	129	121	117	132	144	136

Como anteriormente se mencionó, el desarrollar algún método de asignación manualmente puede tomar un tiempo bastante largo, es por ello que para la solución de esta matriz se utilizó el Software de distribución libre POM el cual dio como resultado la asignación mostrada en la tabla 4.

La lectura de la tabla es relativamente simple, la primera columna son los sustratos a los cuales se les debe asignar un lugar, la primera fila son los posibles lugares de asignación, el cero indica que no existe asignación alguna entre las intercesiones y el número uno indica que en esa intersección existe una asignación, por ejemplo: para el SSPC0130255R está diciendo que este debe estar colocado en el lugar número 11 de las posibles localizaciones.

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	2
SSPC0130255R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01302HAR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA03252HAR	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA01332IBR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA02052HAR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01671JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CFPA02263IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01522HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01672JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PPCA04003HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IBNA02353QBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA04902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01252HAR	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA0133295R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFPA04553IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PCCA02002HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con esta propuesta se logra cumplir el 71% de cumplimiento colocando el 85% del material.

Propuesta distribución 2

Para la segunda propuesta nuevamente se aplica el caso 8 del método minimax en donde primeramente se hace la asignación de ropaks y posteriormente en el espacio sobrante los racks, por lo que, se coloca todo el material mediante el uso de racks y ropaks, se estableció, mediante el equipo operativo y el jefe de almacén, que se asignarían sólo 10 ropaks, cabe aclarar que se volvió a seguir los pasos anteriores para la aplicación del método y acontinuación se muestra sólo los resultados. Estos ropaks encabezan la lista de los más demandados según el análisis ABC. El motivo de colocar sólo 10 ropaks fue basándose en que la capacidad para el resto de material excedía la demanda por lo cual se considera un exceso de espacio.

Asignación 10 ropaks: Primeramente, se asignaron los 10 ropaks mediante el mismo método descrito en el punto anterior. Para este caso primeramente se observó en donde se encontraban ubicados los sustratos en la primera propuesta, estos se muestran resaltados de color rojo en la figura 3, y como se puede observar ocupan una mitad del espacio del Almacén, por lo que se partió de esta observación y se determinó que se deberían distribuir en esa mitad. Se llevó a cabo 5 asignaciones posibles en estos 20 espacios disponibles, en la primera de ellas no se consideró ningún criterio por lo que solo se realizó la asignación de manera natural, en la figura 3 B se puede observar la nueva distribución. De ello se puede concluir de manera intuitiva que si se realiza una asignación en la parte del centro esta será la mejor opción, sin embargo, para poder comprobar esta conjetura se realizaron 5 distribuciones más.

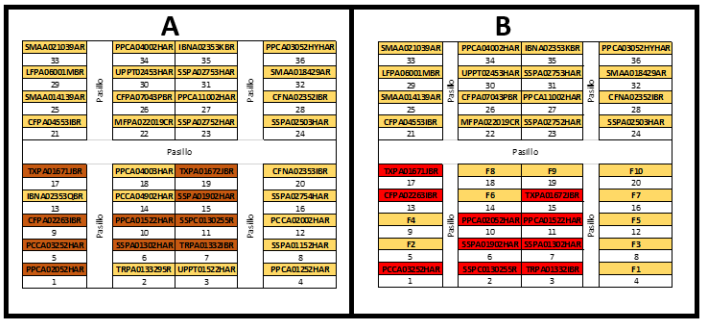


Figura 6 Distribución 10 ropaks en 20 lugares (Elaboración: propia).

Tabla 4 se muestra los resultados en donde indica la distancia total de recorrido en cada una de ellas, por lo que al comparar y elegir se concluyó que la mejor alternativa es la que se le dio una asignación en la parte central de los 20 lugares disponibles mostrada de color verde, ya que esta tiene el recorrido más corto de 2718.76 metros. También se puede observar que la peor de las alternativas es la de los laterales la cual se muestra de color rojo.

Tabla 4 Resultados de alternativas de distribución (metros)

Con orden	
Tipo de asignacion	**Total**
Asignación centro	2718.76
Asignación izquierda	2802.55
Asignación derecha	2846.3
Asignación laterales	2934.59

Determinación del espacio de los racks: El espacio por lote que ocupará cada división fue determinado en base al volumen que representa cada sustrato (tamaño de la bobina). Para este punto, el jefe de almacén proporcionó los datos necesarios en donde indicaba el diámetro de las bobinas y sus límites inferior como superior, para lo cual se tomó como referencia el límite superior.

Para poder realizar esta estandarización de tamaños primeramente se agregó un ID para poder clasificarlos el cual cuenta con las siguientes partes:

1. La Cantidad total de bobinas que entran en los ropaks.
2. El diámetro de la bobina.
3. El radio de la bobina.

Distribución final

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procedió a realizar la distribución en cada uno de los niveles de los racks, considerando que la primera asignación corresponde a la parte central del rack dado que son los CP más demando, seguido de la distribución en el nivel de abajo y para terminar con la distribución de arriba. Cada uno de estas distribuciones fueron realizadas con el procedimiento anterior expuesto, cabe recordar que cada modelación matemática se realiza de la misma manera de cómo se realizó la primera.

Resultados y discusión

Se realizaron dos propuestas, en la primera solo incluye ropaks, en donde mediante un análisis ABC se determinaron los primeros 36 espacios disponibles cumpliendo de esta manera con el 85% del material más usado dando como resultado el 71% del cumplimiento. La segunda propuesta incluye la asignación de 10 ropaks y el resto del material en racks, donde para poder realizar la distribución se utilizó el mismo caso que la primera propuesta. En total se realizaron 17 problemas de localización discreta con sus respectivas restricciones por volumen, donde se logro introducir el 100% del material cumpliendo con el 83.91%, Es importante aclarar que no se puede realizar un concentrado de las operaciones o un resumen de la misma debido a la cantidad de información, que es bastante amplia, ya que como lo indica la ecuación de costo antes mencionados son operaciones matriciales.

Trabajo a futuro

Se propone la implementación de un sistema automatizado para el control y monitoreo en tiempo real del buffer, lo cual permitirá una mayor precisión en la gestión de inventarios y una reducción significativa en los tiempos de respuesta ante fluctuaciones en la demanda. Además, es necesario profundizar en la optimización del espacio utilizando técnicas avanzadas de simulación y modelos predictivos que consideren escenarios más complejos de variabilidad en la demanda. Otro aspecto pendiente es la evaluación del impacto de las propuestas en la eficiencia general de la producción, mediante un estudio a largo plazo que permita ajustar los parámetros del sistema.

Conclusiones

La disponibilidad de la materia prima es muy importante es por ello que para este punto se realizaron dos propuestas de distribución de los diferentes sustratos, buscando colocar la mayor cantidad de hilo crudo dentro del Almacén, para lo cual inicialmente se calculó la demanda mediante la analogía de la media ponderada y en base a esto se utilizó el caso ocho del método minimax de localización de planta. En la primera propuesta se planteó solo usar los espacios disponibles con ropaks, en donde se determinó que el 85% del material sería colocado en el Almacén. La segunda propuesta consistió en utilizar solo 10 ropaks y 14 racks para la distribución del material donde se colocó el 100% del material.

Referencias

[1] W. Mendenhall, R. J. Beaver y B. M. & Beaver, Introduction to Probability and Statistics, Cengage Learning, 2019.

[2] A. G. Bluman, Mathematics for Business and Economics, McGraw-Hill Education, 2018.

[3] F. Ortiz Flores, “Material no publicado, Apuntes de la clase. -Sistemas de manufactura”, Orizaba: Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, 2013.

[4] J. González y L. & Ramírez, Herramientas tecnológicas para la optimización en sistemas de producción, Revista de Ingeniería Industrial, 2020.

[5] E. A. Silver, D. F. Pyke y R. Thomas, Inventory Management and Production Planning and Scheduling, Nueva Jersey: Wiley, 2017.

[6] M. González y L. Ramírez, Metodologías cuantitativas aplicadas a la optimización de sistemas de producción, México: Técnica Industrial, 2020.

[7] J. Heizer, B. Render y Munson, Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management, Boston, Massachusetts: Pearson Education, 2017.

[8] J. García y P. & Martínez, Estadística aplicada para la toma de decisiones., México: Académica, 2019.

[9] A. Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES, México: RIL, 2009.