

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California
según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Modelo de administración de inventarios por consumo estadístico para el cumplimiento del plan de producción de oxisensores.

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

César García Fabre

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México
2019

Modelo de administración de inventarios por consumo estadístico para el cumplimiento del plan de producción de oxisensores.

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

César García Fabre

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martínez Soto

Coordinador del Posgrado en Ingeniería e Innovación

Ing. César García Fabre © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor.

Resumen

Resumen de la tesis que presenta **César García Fabre** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en administración de la cadena de suministro.

Modelo de administración de inventarios por consumo estadístico para el cumplimiento del plan de producción de oxisensores.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

La compañía donde es desarrollada la investigación está clasificada dentro de las tres compañías más grandes del mundo en diseño, fabricación y distribución de dispositivos médicos, para lograr ser una compañía de tal nivel, es primordial el cumplimiento de las metas impuestas por el corporativo, siendo los más importantes ahorros, cantidad de inventario, absorción, entre otras. La planta de manufactura ubicada en Tijuana, B.C., México donde la investigación toma forma, tiene un déficit del cumplimiento del plan de producción de diez puntos porcentuales y el objetivo general es disminuir el incumplimiento del plan. La planta de manufactura en el año fabrica setenta millones de oxisensores, definidos como dispositivos médicos no invasivos y sirven para medir el nivel de oxígeno en la sangre. El proceso de fabricación depende del emparejamiento de la longitud de onda del emisor producido en sitio contra el cable ordenado con la resistencia eléctrica aplicable, este, al tener un tiempo de entrega largo existe la necesidad de encontrar un modelo de ordenamiento de cable para mejorar los resultados financieros de la compañía. El objetivo propuesto en esta tesis es disminuir el incumplimiento del plan de producción a través de la simulación de intervalos de confianza al 95%, calculando la media, la desviación estándar y graficando los datos correspondientes. Aplicando las fórmulas de manera oportuna es posible obtener el límite inferior y límite superior para la simulación del método para ordenar cable. Concluyendo en un inventario calculado con intervalos de confianza al 95% móvil de 28 semanas de la demanda redujo en un 13% los eventos de incumplimiento del plan de producción representando una mejora financiera en absorción de \$748,069.52 USD. La recomendación de investigación es analizar la administración de los inventarios y aplicar intervalos de confianza para ordenar las partes electrónicas del área de oxisensores, asegurando el correcto ordenamiento evitando faltantes y excesos, llevando a la compañía a otros niveles de análisis, aumentando la productividad, reduciendo el gasto, logrando mantenerse como una empresa líder en diseño, manufactura y distribución de dispositivos médicos.

Palabras clave: dispositivos médicos, oxisensor, intervalo de confianza, media, desviación estándar, plan de producción, costo de absorción.

Abstract

Abstract of the thesis presented by **César García Fabre** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Engineering and Innovation Masters with orientation in Supply Chain Management.

Inventory management model by statistical consumption to fulfil the oxisensor production plan.

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

The Company where this investigation is developed is ranked worldwide within the three biggest companies in design, manufacturing and distribution of medical devices, in order to maintain this level of competence, is essential to reach the goals established by the headquarters, being most important, savings, inventory level, absorption, etc. The manufacturing plant is in Tijuana, B.C., México, where this investigation takes place, it has a production plan deficit of ten percentual points, therefore the main objective is to decrease the production plan non-fulfillment. The site produces seventy million oxisensors in a year, per definition they are non-invasive medical devices and are used to read the oxygen levels contained in the human blood. The manufacturing process depends on matching the emitter wavelength made in-site against the cable ordered from the suppliers with the applicable electrical resistance, its important to mention that the cable has a long lead time, therefore there is a need of finding a cable fulfillment model in order to improve the company financial results. The objective of this thesis is to decrease the production plan non-fulfillment through confidence intervals at 95%, obtaining the media, the standard deviation and plotting the applicable data. Using these formulas, we get the inferior limit and superior limit for the fulfillment method simulation. Concluding with a mobile inventory calculated with confidence intervals at 95% of 28 weeks of demand that reduced the non-fulfillment production plan in 13%, resulting in a financial improvement of \$748,069.52 USD in absorption cost. The recommendation of this investigation is to analyze the inventory management of the electronic parts in the oxisensor area, which will assure a correct model of ordering raw material, avoiding material shortages or excesses taking the company to other analysis levels, increasing productivity and reducing the spend, managing to remain as a leading company in the design, manufacturing and distribution of medical devices.

Keywords: medical devices, oxisensor, confidence intervals, media, standard deviation, Production plan, cost of absorption.

Dedicatoria

A Dios, por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A la memoria de mi padre Alejandro, quien siempre buscó maneras de ofrecerme lo mejor, fue y seguirá siendo mi ejemplo para seguir. Va por el Tigre!.

A mi esposa Marla, quien me invitó a disfrutar a su lado este camino de la educación de posgrado, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo.

A mi madre Maria Luisa, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mis hermanos, por su cariño, apoyo y comprensión.

A mis familiares y amigos, que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindado su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) y al Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad) en conjunto con Nellcor Puritan Bennett Mexico SA de CV, agradezco la beca y descuento recibido para estudiar la maestría, gracias por la confianza depositada en mí.

Agradezco a mi tutor y director de tesis al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda, por la acertada orientación, el soporte y la discusión crítica permitiéndome un buen aprovechamiento en el trabajo realizado.

A mi esposa Marla, quien me alentó en todo momento por seguir y prepararme sin importar lo que ocurriera alrededor nuestro, quien con su gran amor logró que sucediera.

Gracias a aquellas grandes personas que hacen posible el conocimiento en las aulas a los excelentes profesores del programa de maestría en el CETYS Universidad. A mis compañeros de la generación, por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos.

A todos los que alguna vez han compartido sus conocimientos para enriquecernos todos.

Índice

Resumen	ii
Abstract.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas	viii
Introducción.....	1
Antecedentes	2
Justificación	7
Pregunta de investigación:.....	10
Hipótesis:.....	10
Objetivos	10
Metodología	11
Resultados	12
Discusión de resultados.....	17
Conclusión.....	17
Referencias Bibliográficas	18

Lista de figuras

Figura 1. Modelos de oxisensores fabricados en Tijuana, BC, México	3
Figura 2. Representación del funcionamiento de un oxisensor	4
Figura 3. Gráfica de absorción de luz en función de longitud de onda	4
Figura 4. Gráfica de rangos de longitud de onda de rojo e infrarrojo.....	5
Figura 5. Comparación de disponibilidad de cable contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018.....	13
Figura 6. Simulación de la comparación del cable disponible en el límite inferior del intervalo de confianza al 95% contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018.....	14
Figura 7. Simulación de la comparación del cable disponible en el límite superior del intervalo de confianza al 95% contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018.....	15
Figura 8. Simulación del mínimo y máximo del inventario a ordenar para la media, (\bar{x}), del 1 de junio del 2018 al 31 de diciembre del 2018.....	16

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de emisor por longitud de onda.....	5
Tabla 2. Plan de producción del 2018.....	7
Tabla 3. Datos de producción del emisor clasificado y cables disponibles en almacén..	8
Tabla 4. Falta de cable en almacén.	8
Tabla 5. Disponibilidad de cable clasificado por bin contra los emisores producidos	9
Tabla 6. Resumen de resultados de la producción de los emisores clasificado por bin.	12
Tabla 7. Comparación de cable disponible contra disponibilidad usando el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza al 95%, usando datos de producción del 1 de enero de 2018 al 31 de diciembre del 2018.	13
Tabla 8. Cantidad para ordenar por cable para relleno del inventario al llegar al límite inferior, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre del 2018.	15

Introducción

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo identificar y aplicar un método estadístico para ordenar materiales para el cumplimiento del plan de producción en una planta de manufactura dedicada al diseño, fabricación y distribución de dispositivos médicos a nivel mundial, la planta donde este proyecto es desarrollado está ubicada en Tijuana, B.C. México.

La importancia de usar investigar diferentes métodos de ordenamiento de materiales viene de la necesidad de mejorar los resultados de la planta de manufactura, cada año las metas son mas agresivas y por lo tanto, nuevos modelos deben considerarse.

Los antecedentes explican a detalle la magnitud de la compañía, en que producto es desarrollado este proyecto junto con la explicación funcional, así como el reto actual de la fabricación y ordenamiento de materiales para los oxisensores.

La justificación detalla datos reales del incumplimiento del plan de producción del año 2018 por modelo de oxisensor y por clasificación de bins, esto facilitara al lector el entendimiento de la falta de cable para que la pregunta de investigación y las hipótesis sean fácil de comprender.

La metodología describe de manera puntual el modelo estadístico de intervalos de confianza al 95%, previamente obteniendo la media y la desviación estándar de los datos y describe como serán usadas las fórmulas simulando datos del segundo semestre de 2018.

La sección de resultados muestra las fórmulas propuestas desarrolladas y simulando los datos indicados del segundo semestre del 2018, la hipótesis nula es rechazada para asumir la hipótesis alternativa.

Como consecuencia de lo expuesto, el propósito de la investigación es reducir el incumplimiento del plan de producción de la planta de manufactura en Tijuana BC, además de captar atención de la alta gerencia para continuar con este método de ordenamiento de materiales usando intervalos de confianza al 95% para otras áreas de la organización.

Antecedentes

La compañía donde la investigación es desarrollada está dedicada a la fabricación y comercialización de dispositivos médicos, siendo una empresa líder mundial en tecnología, servicios y soluciones médicas. El corporativo desarrolla, fabrica y distribuye dispositivos para terapias médicas para tratar más de 30 enfermedades crónicas, incluidas insuficiencia cardíaca, enfermedad de Parkinson, incontinencia urinaria, síndrome de Down, obesidad, dolor crónico, trastornos de columna vertebral y diabetes. La mayoría de las ventas y ganancias del sistema de salud son de E.U.A., opera en 140 países y emplea a más de 86,000 personas. La organización está organizada en 4 principales unidades de negocio que son Grupo de Terapias Mínimamente Invasivas, Grupo de Diabetes, Grupo de Terapias Restaurativas y por último el Grupo de Cardiología y Vascular.

La planta de manufactura de la compañía donde es desarrollada la investigación, está localizada en Tijuana, Baja California, México; el producto de mayor volumen que es fabricado son los sensores para medir el oxígeno en la sangre. Existen modelos para pacientes adultos, jóvenes, niños y bebés. Los sensores para medir oxígeno en la sangre también conocidos como “oxisensores” por definición son dispositivos no invasivos para el cuerpo humano y su función principal es medir en tiempo real el nivel de oxígeno en la sangre de los pacientes.

Los oxímetros son fabricados, ensamblados, empacados y son enviados a esterilizar (cuando aplique) para enviarse directo al centro de distribución, donde los productos son vendidos a los clientes.



Figura 1. Modelos de oxisensores fabricados en Tijuana, BC, México. **Fuente:** Página web oficial de Medtronic.

Los oxisensores son dispositivos médicos no invasivos los cuales sirven para medir las pulsaciones del corazón y el nivel de oxígeno en la sangre en pacientes de todas las edades. Para poder obtener las lecturas del cuerpo humano, es definida la relación entre los compuestos de la sangre humana y la luz infrarroja.

Cuando la sangre obtiene oxígeno al pasar por los pulmones, la hemoglobina (Hb) es transformada en oxihemoglobina (HbO₂), para poder transportar el oxígeno. Los dos compuestos, hemoglobina y oxihemoglobina, tienen diferentes niveles de absorción de las diferentes longitudes de onda de la luz. Basándose en el comportamiento frente a las diferentes longitudes de onda, podemos detectar la presencia o ausencia de oxígeno y con ella, lo interesante en este artículo, el pulso. El dispositivo para medir la presencia de sangre oxigenada emite una luz roja y detecta la intensidad que atraviesa y posteriormente procede de la misma forma con luz infrarroja. En función de las diferentes intensidades absorbidas el nivel de oxígeno es establecido. La manera más precisa de medir la oxigenación es observar el comportamiento de la luz, de diferentes longitudes de onda que atraviesan una parte translúcida del cuerpo, ver **Figura 2**.



Figura 2. Representación del funcionamiento de un oxisensor. **Fuente:** Meza Contreras L., Llamosa R. L. E., Ceballos, S. P., 2007

El proceso de ensamble para fabricar un oxisensor está dividido en dos áreas, “*Front End*” y “*vendaje*”, el enfoque de la investigación en el área de “*Front End*”. En esta área son ordenados a diferentes proveedores componentes electrónicos, como pegamentos epóxicos, diodos, rojos e infrarrojos para los emisores y foto chips para los detectores. Al tener la materia prima, usando máquinas automatizadas de soldadura y moldeo, los emisores y detectores son fabricados y almacenados.

Un emisor producido es capaz de trabajar dentro de la frecuencia del infrarrojo, ósea entre 1 milímetro y 750 nanómetros, **Figura 3 y 4**, el emisor producido tiene una capacidad de lectura de longitud de onda de 649 a 671 nm (nanómetros).

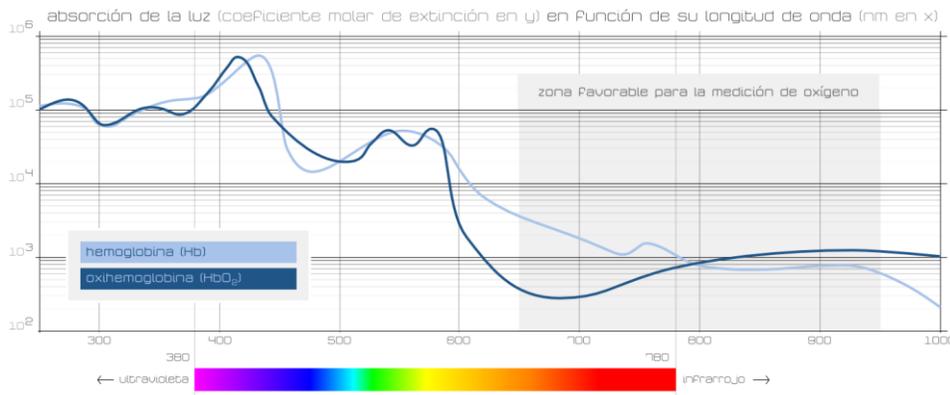


Figura 3. Gráfica de absorción de luz en función de longitud de onda. **Fuente:** Meza Contreras L., Llamosa R. L. E., Ceballos, S. P., 2007

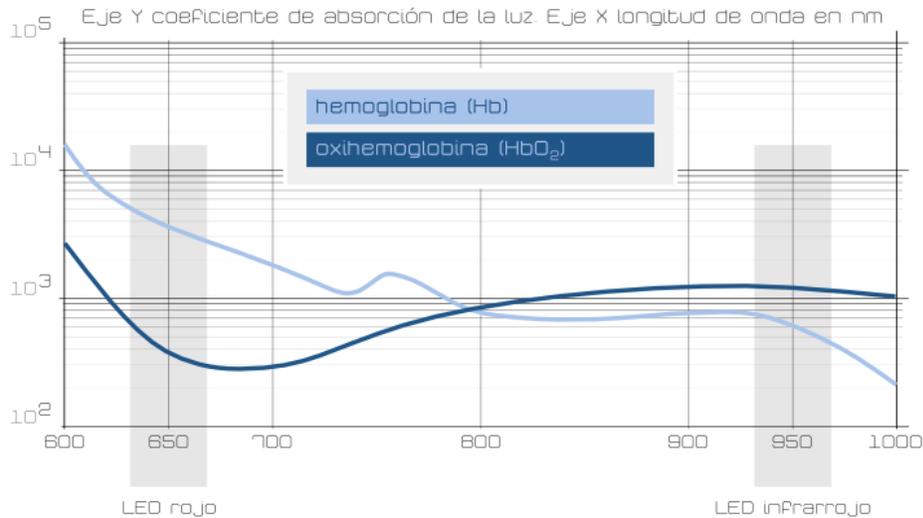


Figura 4. Gráfica de rangos de longitud de onda de rojo e infrarrojo. **Fuente:** Meza Contreras L., Llamosa R. L. E., Ceballos, S. P., 2007

A través de un espectrógrafo, los emisores son sorteados y clasificados dividiendo la longitud de onda en 18 códigos (bines), la longitud de onda es dividida por cuestiones de seguridad en la información y tecnología industrial. En la **Tabla 1** está la clasificación de emisores por valor de longitud de onda.

Tabla 1. Clasificación de emisor por longitud de onda. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Bin	Frecuencia en nm	
	Del:	Al:
1	649	650.5
2	650.51	651.5
3	651.51	652.5
4	652.51	653.5
5	653.51	654.5
6	654.51	655.5
7	655.51	656.5
8	656.51	657.5
9	657.51	658.5
10	658.51	659.5
11	659.51	660.5
12	660.51	661.5
13	661.51	662.5
14	662.51	663.5
15	663.51	664.5
16	664.51	666.5
17	666.51	668.9
18	668.51	671

El procedimiento de lectura usando el espectrógrafo solamente funciona el día de la fabricación de emisores, la lectura de clasificación cambia a través del tiempo además

de no tener control de cuando cambia ni a cuál longitud de onda cambiará. Una vez fabricado y clasificado el emisor en bins, personal de producción solicita la contra parte del producto, un cable eléctrico, este viene previamente ensamblado con una resistencia eléctrica específica para poder emparejarse con el emisor apropiado.

Dentro de los indicadores clave que la compañía mide con el fin de ver las pérdidas y ganancias están, el valor de inventario, cantidad de ahorros, cantidad de tiempo extra pagado, cumplimiento del plan de producción y ganancia absorbida por producir, para propósitos de facilitar su referencia, es llamada “absorción” y por definición es la ganancia neta por haber producido, proveniente de

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Costo de venta}}{\text{Costo de producción}} \quad (1)$$

Durante los últimos años la meta de absorción junto con la meta de inventario ha sido uno de los indicadores mas importantes para la organización.

Justificación

Una vez fabricados los emisores, son clasificados por longitud de onda para después ordenar los cables en cantidades proporcionales con respecto al código, sin embargo, por diferentes factores externos al proceso no serán investigados en este proyecto, la clasificación de los emisores cambia a través del tiempo y ocasiona un desbalanceo en el emparejamiento de los cables ordenados a los proveedores provocando paros en la línea de producción o exceso de inventario de cable.

El objetivo de la investigación es encontrar un método eficiente de ordenamiento a los proveedores de cable para emparejarlo con los emisores del inventario en almacén disminuyendo los paros de producción, así como mejorar los resultados financieros de la compañía.

El propósito de buscar un método para administrar el inventario viene de la necesidad de cumplir con el plan de producción al 100%. La meta para el cumplimiento de producción de todas las áreas establecida para el año 2018 es del 97%. Del 1 de enero al 31 de diciembre del mismo año, el resultado del cumplimiento del plan de producción fue 87%, ocasionando pérdidas financieras para la compañía por la pérdida de absorción por \$748,069.52 USD tomando como referencia que cada pieza absorbe \$0.08 USD de gastos fijos y variables. **Tabla 2.**

Tabla 2. Plan de producción del 2018. **Fuente.** Elaboración propia, 2019.

Plan de Produccion del 2018																
Item	UoM	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Total	Plan	Cumplimiento del Plan
MAX-A	EA	959,372	912,904	1,109,873	1,098,634	999,102	912,904	959,372	912,904	1,098,634	912,904	999,102	959,372	11,835,077	13,912,473	85%
MAX-I	EA	1,109,873	943,908	943,654	912,904	1,109,873	943,908	952,723	943,908	912,904	943,908	1,109,873	1,123,981	11,951,417	13,912,473	86%
MAX-N	EA	1,108,673	942,765	963,908	1,098,634	912,904	876,432	1,109,873	987,654	1,098,634	876,432	982,904	1,109,873	12,068,686	13,912,473	87%
MAX-P	EA	943,908	999,102	912,904	1,109,873	999,102	999,102	943,908	999,102	1,109,873	999,102	1,079,102	943,908	12,038,986	13,912,473	87%
DS100	EA	912,904	1,109,873	943,654	1,098,634	999,102	1,109,873	912,904	1,109,873	1,098,634	1,109,873	999,102	912,904	12,317,330	13,912,473	89%
		5,034,730	4,908,552	4,873,993	5,318,679	5,020,083	4,842,219	4,878,780	4,953,441	5,318,679	4,842,219	5,170,083	5,050,038	60,211,496	69,562,365	87%

Desglosando los datos del plan de producción del 2018, es observado el faltante de cable en almacén para emparejar con el emisor. **Tabla 3**

Tabla 3. Datos de producción del emisor clasificado y cables disponibles en almacén. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Bin	Cantidad Emisores	Cantidad Cables
6	1,500	1,200
7	8,000	0
8	37,500	0
9	88,000	0
10	130,500	19,123
11	144,000	122,715
12	119,000	162,498
13	85,000	387,908
14	38,000	581,976
15	20,000	589,253
16	5,500	521,766
17	0	14,670

El incumplimiento de la meta del plan de producción es debido principalmente a la falta de cable disponible para emparejar con el emisor, de los 69,562,365 cables planeados tenemos un déficit de 9,350,869 cables cortos para el plan. Ver **Tabla 4**.

Tabla 4. Falta de cable en almacén. **Fuente.** Elaboración propia, 2019.

Item	UoM	Total de oxisensores producidos	Plan de producción mensual	Faltante de cable en almacén
MAX-A	EA	11,835,077	13,912,473	2,077,396
MAX-I	EA	11,951,417	13,912,473	1,961,056
MAX-N	EA	12,068,686	13,912,473	1,843,787
MAX-P	EA	12,038,986	13,912,473	1,873,487
DS100	EA	12,317,330	13,912,473	1,595,143
		60,211,496	69,562,365	9,350,869

A continuación, puede verse como la falta de cable por bins para cumplir con la programación de producción.

Tabla 5. Disponibilidad de cable clasificado por bin contra los emisores producidos. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Bines	Emisores producidos del 1 - Jun - 18 al 31-Dic-18	Cables disponibles para el emisor	Cable disponible
Bin 4	-	-	
Bin 5	-	-	
Bin 6	3,000	3,000	100%
Bin 7	30,500	30,500	100%
Bin 8	200,000	194,000	97%
Bin 9	759,500	721,525	95%
Bin 10	1,920,000	1,766,400	92%
Bin 11	3,441,000	2,924,850	85%
Bin 12	4,358,000	3,704,300	85%
Bin 13	4,004,500	3,403,825	85%
Bin 14	2,747,000	2,417,360	88%
Bin 15	1,528,500	1,299,225	85%
Bin 16	745,000	625,800	84%
Bin 17	36,000	35,280	98%
Bin 18	-		
TOTALES	19,773,000	17,126,065	87%

Referente al método actual de ordenamiento de cable, tiene un tiempo de entrega de 14 semanas y va directo al almacén en consignación, las órdenes de compra son colocadas cada mes conforme a las necesidades de los datos del emisor conocidos al momento y son ordenados en tarimas completas de 37,800 piezas cada una; el costo del inventario es absorbido por el proveedor hasta el momento que la compañía lo requiere, esto ocasiona que haya en libros un inventario hasta por máximo 7 días equivalentes aproximadamente a \$950,000 USD (Novecientos cincuenta mil dólares americanos cy).

Pregunta de investigación:

¿Qué método de administración de inventarios reduce el incumplimiento del plan de producción de oxisensores?

Hipótesis:

Hipótesis Nula - Una cantidad de nivel de inventario calculada con un intervalo de confianza al 95% móvil de 28 semanas de la demanda no reduce los eventos de incumplimiento del plan de producción.

Hipótesis Alternativa. - Una cantidad de nivel de inventario calculada con un intervalo de confianza al 95% móvil de 28 semanas de la demanda reduce los eventos de incumplimiento del plan de producción.

Objetivos

Incrementar el cumplimiento del plan de producción del 87% al 97%.

Objetivos específicos que facilitarían este logro:

- 1.- Conocer el tipo de distribución del comportamiento de producción de los emisores clasificados por longitud de onda
- 2.- Determinación de un modelo estadístico para estimar las cantidades de compra de cable con un error del 5%.

Metodología

A lo largo de este capítulo es determinado el método más adecuado para la resolución del problema del incumplimiento del plan de producción. La investigación de este proyecto es considerada dentro de la modalidad documental, tomando los datos y las entrevistas en la planta de manufactura de Tijuana, BC, México.

Los datos de la investigación serán tomados del 1 de junio del 2018 al 31 de diciembre del 2018. Con la participación de un equipo multidisciplinario de colaboradores de la planta de manufactura para organizar una presentación con el equipo gerencial. Esta investigación tiene como objetivo determinar la distribución muestral de los emisores obtenidos en producción según su longitud de onda.

Los resultados de producción serán usados relativos a su clasificación y a través de la fórmula para intervalos de confianza en t-student, serán obtenidos el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza al 95%, para determinar un modelo de ordenamiento de componentes, con el fin de evitar la falta de materiales e incrementar el cumplimiento del plan de producción al 97%.

Para llegar a los resultados en la mayoría de los casos será usada una muestra de 28 datos, los cuales corresponden al total de producción de emisores clasificado por bin por semana; calculando los datos con las siguientes fórmulas.

$$\text{Media } (\bar{X}) = \frac{1}{n} \sum \quad (2)$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{N}} \quad (3)$$

$$\text{Intervalo de confianza } (\mu) = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Los resultados arrojados determinarán las cantidades necesarias de inventario para cumplir con el plan de producción, usando la cantidad de emisores producidos en los últimos 6 meses y agrupando por bin, con el fin de simular el ordenamiento de cable a los proveedores de manera puntual y oportuna.

Resultados

Teniendo clara la herramienta de cálculo, después de usar las fórmulas con los datos propuestos, en la **Tabla 4** está expresado que el incumplimiento del plan de producción, es debido a, la falta de cable adecuado en almacén, analizando los datos muestra que los mayores contribuidores están localizados del bin 8 al bin 16.

Tabla 6. Resumen de resultados de la producción de los emisores clasificado por bin. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

	Clasificación de Bin															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Sem 1					3,000	14,500	41,500	104,500	152,500	158,000	133,000	110,500	90,000	6,500		
Sem 2					4,500	28,500	77,000	140,500	166,000	131,000	64,500	32,000	35,500	3,500		
Sem 3				500	7,500	20,000	71,500	149,000	171,500	166,500	106,500	43,000	1,500	1,000		
Sem 4				500	1,000	11,500	48,000	132,000	217,500	221,000	166,000	81,500	21,500	500		
Sem 5					2,500	18,500	63,500	136,500	176,000	170,500	109,500	72,500	39,500	500		
Sem 6					1,000	7,500	44,500	101,000	165,500	184,000	124,500	70,500	37,500	2,000		
Sem 7																
Sem 8				500	2,000	15,000	46,500	95,000	155,500	181,500	135,000	65,500	12,000			
Sem 9					1,000	17,000	51,500	99,500	155,500	164,000	137,500	76,500	23,500			
Sem 10				1,000	9,500	32,000	62,500	107,500	157,500	142,500	97,500	51,000	28,000	1,500		
Sem 11				1,500	15,500	34,500	53,500	62,500	95,000	122,500	83,500	39,500	23,000	500		
Sem 12				500	12,000	43,000	104,500	186,500	206,000	152,000	85,500	45,000	31,500	2,000		
Sem 13			500	500	2,000	8,000	36,500	83,000	137,000	141,000	105,500	63,500	28,000	5,500		
Sem 14					4,000	16,000	38,500	87,000	105,000	103,000	99,000	68,500	30,000	500		
Sem 15				2,000	9,500	37,000	95,500	145,000	176,000	152,000	81,000	44,500	18,500			
Sem 16				1,000	5,500	33,000	97,500	155,000	166,500	138,000	87,000	107,500	24,000	500		
Sem 17					3,000	20,000	53,500	101,000	133,000	104,000	60,500	31,500	14,000	1,000		
Sem 18					1,500	16,000	45,500	81,500	136,500	165,500	148,500	81,000	38,500	1,000		
Sem 19				500	1,000	6,000	23,000	69,000	119,500	142,500	127,000	63,000	22,500			
Sem 20					1,500	16,000	68,500	144,000	187,500	167,000	103,500	42,000	17,000	500		
Sem 21				500	4,500	26,500	84,000	164,500	170,000	164,000	94,500	51,500	17,000	1,000		
Sem 22				1,000	8,500	39,500	99,500	176,500	182,000	129,000	71,000	42,500	47,500	2,500		
Sem 23				2,000	12,000	42,500	101,000	146,000	134,500	83,500	43,000	15,500	16,000	2,500		
Sem 24			500	500	3,500	26,500	63,500	111,000	140,500	140,000	107,000	74,000	66,000	2,000		
Sem 25				500	3,500	23,500	68,500	113,500	142,500	132,000	96,500	42,500	30,500	500		
Sem 26			500	2,000	11,000	33,000	69,500	111,500	135,500	122,500	85,500	54,000	18,500			
Sem 27			1,000	10,500	41,500	92,000	136,500	149,500	123,000	79,500	34,000	13,500	4,500			
Sem 28			500	5,000	22,500	49,000	90,500	140,000	160,000	111,000	63,000	16,000	3,000			
Sem 28		1,500	2,500	11,500	33,500	81,000	87,500	134,000	154,500	102,000	61,500	29,000	8,500			
Media	-	53.57	917	2,211	8,143	28,839	68,696	122,375	154,357	141,786	96,821	54,554	26,696	1,775	-	
Dev. Std	-	-	801	3,284	9,821	20,007	25,985	32,139	27,731	31,975	31,675	24,850	18,703	1,690	-	
Tamaño de la muestra	-	1	6	19	28	28	28	28	28	28	28	28	28	20	-	
Intervalo de Confianza	-	-	800	1,583	3,809	7,758	10,077	12,463	10,754	12,399	12,283	9,637	7,253	791	-	
Límite inferior, al 95%	-	54	116	627	4,334	21,081	58,620	109,912	143,603	129,386	84,538	44,917	19,444	984	-	
Límite superior, al 95%	-	54	1,717	3,794	11,952	36,598	78,773	134,838	165,111	154,185	109,105	64,190	33,949	2,566	-	
t	-	12.760	2.447	2.101	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.093	-	
Confianza	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	

Una vez que los resultados son obtenidos, simulando el ordenamiento de los cables usando el límite inferior y con el límite superior, en la siguiente **Tabla 7** están los resultados previos sugeridos junto con sus gráficas. **Figuras 5, 6 y 7.**

Tabla 7. Comparación de cable disponible contra disponibilidad usando el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza al 95%, usando datos de producción del 1 de enero de 2018 al 31 de diciembre del 2018. **Fuente.** Elaboración propia, 2019.

Bines	Datos reales de producción			Simulación			
	Cantidad de cable a ordenar para la media.	Cable promedio disponible para el emisor	Cumplimiento de cable disponible	Cable disponible en el límite inferior del 95% de confianza	Cumplimiento de material en el límite inferior al 95%	Cable disponible en el límite superior del 95% de confianza	Cumplimiento de material en el límite superior al 95%
4	-						
5	54		0%	54	101%	54	100%
6	268	107	40%	116	43%	1,717	641%
7	1,500	1,089	73%	627	42%	3,794	253%
8	8,143	6,929	85%	4,334	53%	11,952	147%
9	28,839	25,769	89%	21,081	73%	36,598	127%
10	68,696	63,086	92%	58,620	85%	78,773	115%
11	122,375	104,459	85%	109,912	90%	134,838	110%
12	154,357	132,296	86%	143,603	93%	165,111	107%
13	141,786	121,565	86%	129,386	91%	154,185	109%
14	96,821	86,334	89%	84,538	87%	109,105	113%
15	54,554	46,401	85%	44,917	82%	64,190	118%
16	26,696	22,350	84%	19,444	73%	33,949	127%
17	1,268	1,260	99%	984	78%	2,566	202%
18	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	705,357	611,645	87%	617,617	88%	796,831	113%

Analizando los datos agrupados, sobresale el límite inferior con un punto porcentual mayor a la situación actual, contrario al límite superior mostrando una mejora de veintiséis puntos porcentuales, a continuación, ver gráficas correspondientes a cada uno de los casos. **Figura 5 y 6.**

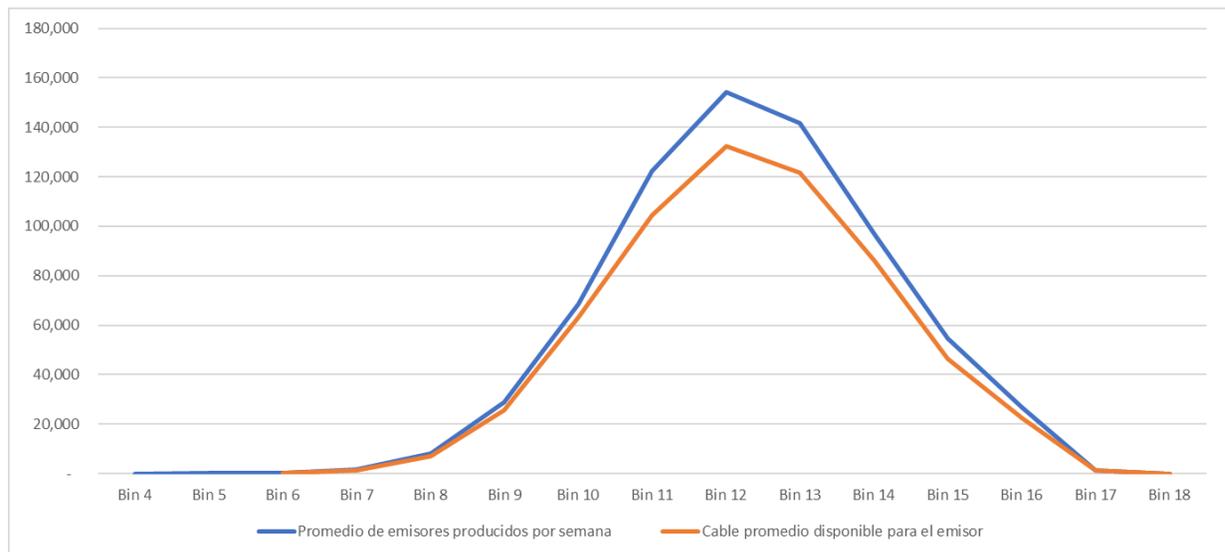


Figura 5. Comparación de disponibilidad de cable contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018. **Fuente.** Elaboración propia, 2019.

La gráfica de simulación, **Figura 6**, aplica el límite inferior del intervalo de confianza, donde puede observarse el resultado con una ligera mejora de un punto porcentual sobre el faltante de materiales con un 88%, sin embargo, esta tesis establece que para cumplir el plan de producción la compañía requiere el 97% de cumplimiento.

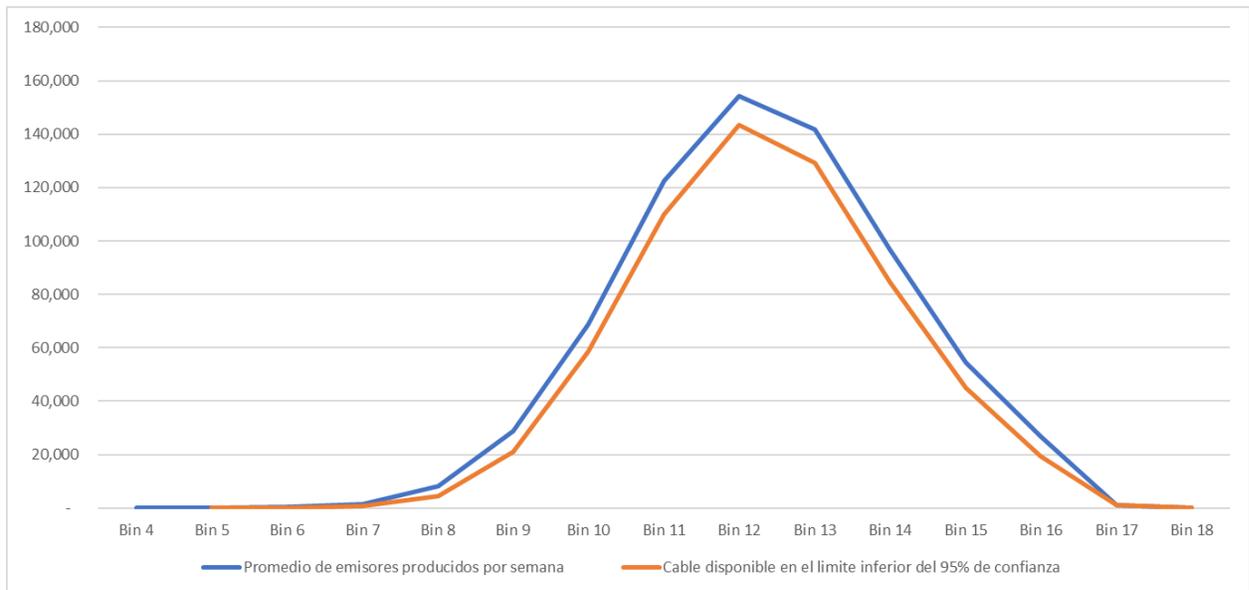


Figura 6. Simulación de la comparación del cable disponible en el límite inferior del intervalo de confianza al 95% contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

La gráfica de simulación, **Figura 7**, aplicando el límite superior denota un cumplimiento por arriba del 100%, es decir, existe material suficiente para la demanda establecida por la compañía y para cualquier requerimiento adicional de los clientes, si bien, el inventario es un métrico delicado y no es posible exceder la meta, es factible trabajar en mínimos y máximos, con la ventaja del inventario en consignación, asegurando la disponibilidad de cable conforme al emisor producido.

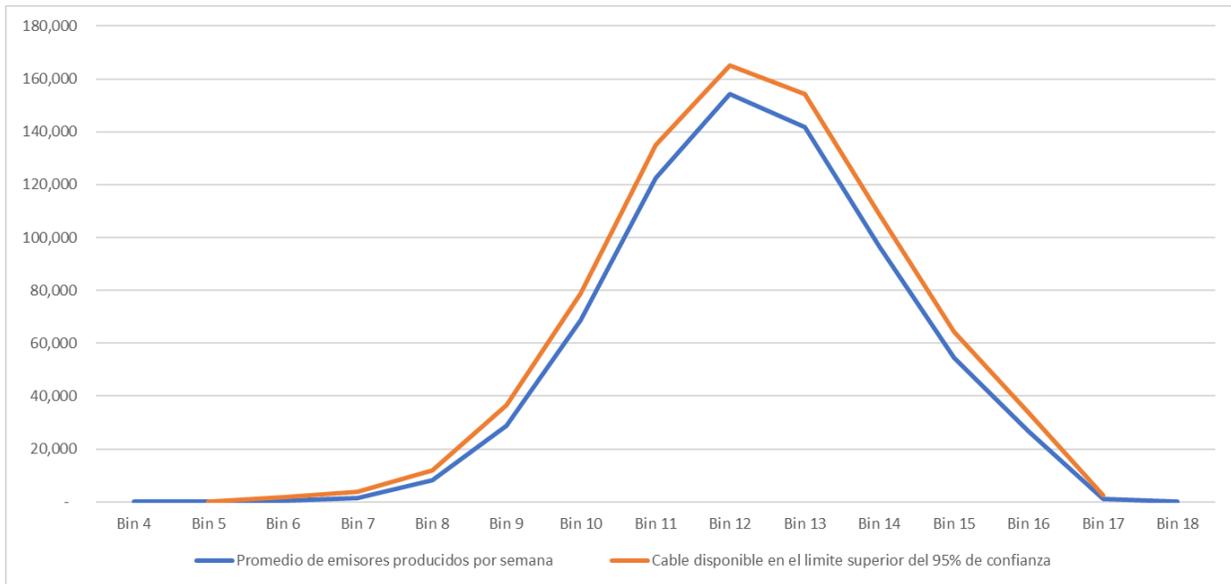


Figura 7. Simulación de la comparación del cable disponible en el límite superior del intervalo de confianza al 95% contra el emisor producido, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre de 2018. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Gracias a esta información, es posible calcular los lotes a ordenar para el control de llenado del almacén en consignación, a continuación, en la **Tabla 8**, y **Figura 7**, está demostrado con el nuevo método de ordenamiento que cantidad de inventario oscilará entre el mínimo y el máximo requerido.

Tabla 8. Cantidad para ordenar por cable para relleno del inventario al llegar al límite inferior, del 1 de junio de 2018 al 31 de diciembre del 2018. **Fuente.** Elaboración propia, 2019.

Bines	Datos reales de producción			Simulación				Cantidad a ordenar
	Cantidad de cable a ordenar para la media.	Cable promedio disponible para el emisor	Cumplimiento de cable disponible	Cable disponible en el límite inferior del 95% de confianza	Cumplimiento de material en el límite inferior al 95%	Cable disponible en el límite superior del 95% de confianza	Cumplimiento de material en el límite superior al 95%	
4	-							
5	54		0%	54	101%	54	100%	54
6	268	107	40%	116	43%	1,717	641%	1,600
7	1,500	1,089	73%	627	42%	3,794	253%	3,166
8	8,143	6,929	85%	4,334	53%	11,952	147%	7,617
9	28,839	25,769	89%	21,081	73%	36,598	127%	15,517
10	68,696	63,086	92%	58,620	85%	78,773	115%	20,154
11	122,375	104,459	85%	109,912	90%	134,838	110%	24,927
12	154,357	132,296	86%	143,603	93%	165,111	107%	21,508
13	141,786	121,565	86%	129,386	91%	154,185	109%	24,799
14	96,821	86,334	89%	84,538	87%	109,105	113%	24,567
15	54,554	46,401	85%	44,917	82%	64,190	118%	19,274
16	26,696	22,350	84%	19,444	73%	33,949	127%	14,505
17	1,268	1,260	99%	984	78%	2,566	202%	1,581
18	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	705,357	611,645	87%	617,617	88%	796,831	113%	179,269

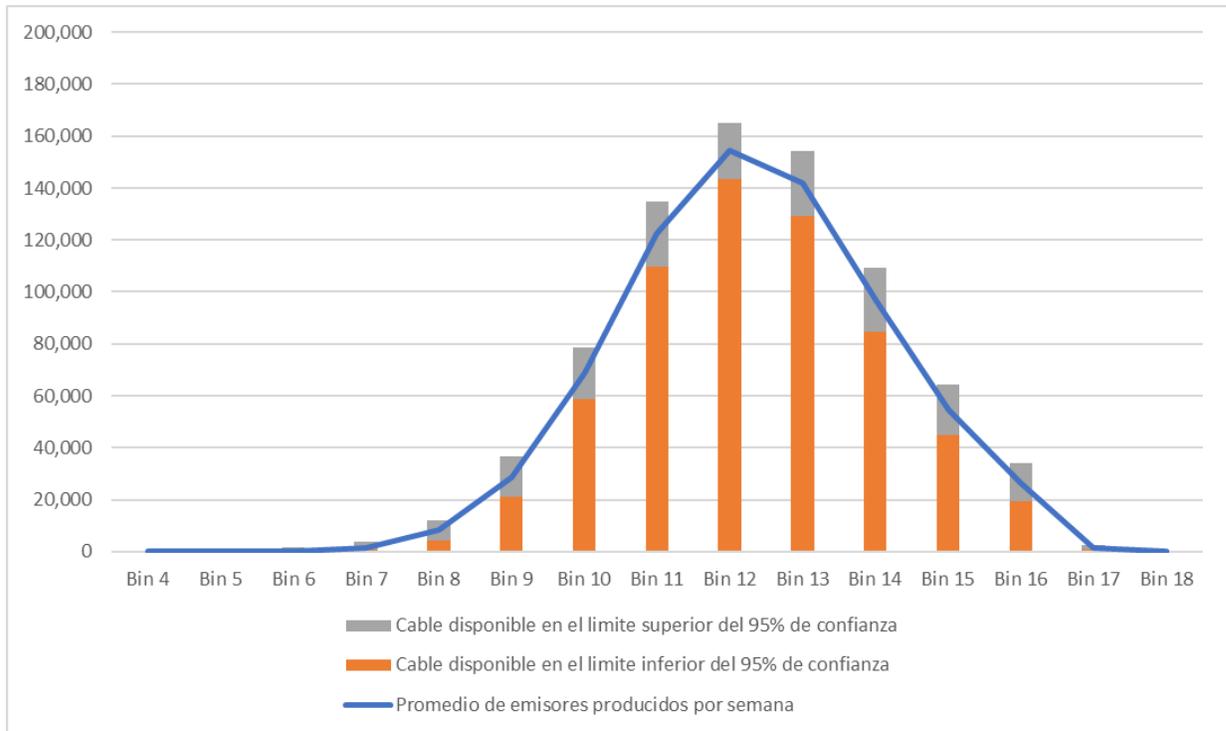


Figura 8. Simulación del mínimo y máximo del inventario a ordenar para la media, (□), del 1 de junio del 2018 al 31 de diciembre del 2018. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Después de establecer la herramienta usada para este caso, a través de una simulación y con los datos presentados previamente, y al no poder comprobar la hipótesis nula es descartada para asumir la hipótesis alternativa dándola correcta, por lo tanto, una cantidad de nivel de inventario calculada con un intervalo de confianza al 95% móvil de 28 semanas de la demanda reduce los eventos de incumplimiento del plan de producción y aumenta el cumplimiento al 100%, además de llevar a la compañía a absorber \$748,069.52 USD.

Discusión de resultados.

El propósito de esta investigación fue identificar un modelo estadístico para el método de ordenamiento de cable y asegurar el cumplimiento del plan de producción por arriba del 87%, simplificando el proceso de la cadena de suministro asegurando material disponible requerido para absorber el máximo posible de gastos fijos y variables, utilizando el máximo de horas de producción. Los procesos encontrados durante la investigación fueron analizados utilizando datos de producción y tiempos de entrega reales con el objetivo de contrastar la hipótesis de trabajo presentada, teniendo como meta un aumento de cumplimiento al 97% logrando el 100% del plan, colocando las órdenes dentro de la media del intervalo de confianza al 95%, es lograda una mejora del 13% reflejando una ganancia neta de casi \$750 mil dólares americanos.

Conclusión

El objetivo fundamental de esta tesis fue abordar el problema del incumplimiento del plan de producción, considerando los objetivos, la hipótesis y la pregunta de investigación planteada, puede concluirse lo siguiente:

Un inventario calculado con inventario de confianza al 95% móvil de 28 semanas de la demanda redujo en un 13% los eventos de incumplimiento del plan de producción representando una mejora financiera en absorción de \$748,069.52 USD.

La recomendación de esta investigación es el uso de intervalos de confianza al 95% para el ordenamiento y administración de inventario de los componentes electrónicos clasificados como materia prima del área de oximetría de la planta de manufactura en Tijuana, B.C., México, asegurando el correcto ordenamiento, evitando faltantes y excesos llevando a la compañía a otros niveles de análisis, aumentando la productividad, reduciendo el gasto y aumentando la absorción para lograr mantenerse como una empresa líder en diseño, manufactura y distribución de dispositivos médicos.

Referencias Bibliográficas

- Medtronic. 2019. Pulse Oximetry, Product Portofolio, Consultado el 1 de septiembre de 2019, de <https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/pulse-oximetry.html>
- Primera ecuación, Absorción, Garcia Colin. 1996. Contabilidad de costos. McGraw Hill Interamericana de México, México.
- Segunda ecuación, Media (\bar{x}), William Navidi. 2006. Estadística para Ingenieros y científicos. McGraw Hill. México, D.F., México.
- Tercera ecuación, Desviación estándar (σ), William Navidi. 2006. Estadística para Ingenieros y científicos. McGraw Hill. México, D.F., México.
- Cuarta ecuación, Intervalo de confianza (μ), William Navidi. 2006. Estadística para Ingenieros y científicos. McGraw Hill. México, D.F., México.
- Meza Contreras L., Llamosa R. L. E., Ceballos, S. P., 2007, Diseño de procedimientos para la calibración de pulsioxímetros, volumen XIII, número 37, pp. 491-496.
- Hecht, E., Zajac, A., & Zajac, A. 1987. Optics (20^a ed.). Reading, Massachusetts: Addison Wesley.
- Cassidy, Holton, Rutherford & Harvard Project Physics. 2002. Understanding Physics (2ed.). New York, Estados Unidos de America: Springer.
- Avison, J. 1989. The world of physics. UK: Thomas Nelson and Sons.
- Webster. 1997. Design of Pulse Oximeter. Taylor & Francis Club. New York, N.Y., U.S.A.
- Catón V, Escudero JM, Aguiar P., Ochoa Gómez. 1999. Utilidad del Pulsioxímetro en un Centro de Salud. Spain.
- Bonnie Fahy RN, MN, Suzanne Lareau RN, MS. Marianna Sockrider, MD, DrPH. 2013. Oximetría de pulso. American Thoracic Society, 1(1).