

DOI: 10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.281-304

URL: <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1114>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIAMUC

ISSN: 2588-0748

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 3310 Tecnología Industrial

PAGINAS: 281-304



Aplicación de la teoría de restricciones en un proceso productivo con enfoque a la industria 4.0

Application of the theory of constraints in a production process with a focus on Industry 4.0

Aplicação da teoria das restrições num processo de produção com enfoque na Indústria 4.0

**Margareth Camacho Angulo¹; Saúl Banchón Jiménez²; Klever Fernando Barcia Villacreses³;
María Allauca Amaguaya⁴**

RECIBIDO: 23/02/2023 **ACEPTADO:** 12/03/2023 **PUBLICADO:** 15/05/2023

1. Magíster en Logística y Transporte Mención en Modelos de Optimización; Ingeniera Industrial; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; margareth.camachoa@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-6478-4084>
2. Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; saul.banchonj@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0001-6665-6200>
3. Diploma Superior en Administración Seis Sigma; Doctor en Filosofía; Magíster en Agricultura; Ingeniero Mecánico; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil, Ecuador; kbarcia@espol.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-9947-8287>
4. Magíster en Psicología Laboral con Mención en Desarrollo Humano y de la Organización; Magíster en Seguridad Higiene Industrial y Salud Ocupacional; Ingeniera en Marketing; Universidad de Guayaquil, Ecuador; maria.allaucaam@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-7399-489X>

CORRESPONDENCIA

Margareth Camacho Angulo

margareth.camachoa@ug.edu.ec

Guayaquil, Ecuador

RESUMEN

El presente estudio plantea una propuesta de mejora del proceso productivo de tubos para hornos y grilles aplicando Teoría de Restricciones dentro una empresa ubicada en Ecuador, obteniendo como resultado la reubicación de maquinarias, propuesta de un plan preventivo que reducirá costos y aumentarán su productividad en un 10%. Al realizar el análisis de tiempos del proceso productivo en el área de estudio se identifican actividades y movimientos que no agregan valor, a través de la metodología teoría de restricciones se localiza el cuello de botella del proceso productivo y mediante la industria 4.0 se propone contratar una cinta transportadora con sistema de radio frecuencia para el transporte de las piezas y optimización de los procesos. Además, al realizar el impacto económico se obtiene un total de \$18.388,26 con una inversión de \$8.201,60, la tasa interna de retorno de 18,53%, y el valor actual neto de \$10.412,75.

Palabras clave: Teoría de Restricciones, Hornos y Grilles, Análisis de Tiempos, Industria 4.0.

ABSTRACT

This study presents a proposal to improve the production process of pipes for furnaces and grills by applying the Theory of Constraints in a company located in Ecuador, obtaining as a result the relocation of machinery, proposal of a preventive plan that will reduce costs and increase productivity by 10%. By performing the time analysis of the production process in the study area, activities and movements that do not add value are identified, through the theory of constraints methodology the bottleneck of the production process is located and through industry 4.0 it is proposed to hire a conveyor belt with radio frequency system for the transport of parts and optimization of processes. In addition, when performing the economic impact, a total of \$18,388.26 is obtained with an investment of \$8,201.60, the internal rate of return of 18.53%, and the net present value of \$10,412.75.

Keywords: Theory of Constraints, Furnaces and Grills, Time Analysis, Industry 4.0.

RESUMO

Este artigo procura orientar os utilizadores ou pessoas interessadas em utilizar estas novas tecnologias IoT, para a aplicação de soluções viáveis baseadas na utilização de tecnologia aberta em plataformas amigáveis com o desenho de uma arquitetura de rede que mostra as camadas de captura de informação, processamento, filtragem e entrega de informação numa rede WSN. A metodologia científica baseia-se numa abordagem de investigação aplicada, com a utilização de variáveis quantitativas para o registo e análise da informação. Conclui-se que é possível empregar essas tecnologias aos processos produtivos de pequenas empresas a um baixo custo devido ao uso de tecnologias de código aberto.

Palavras-chave: RSSF, Transformação Digital, PMEs, Indústria 4.0, Automação, IoT.

Introducción

Las tuberías de cocinas se dividen en tubos válvulas, hornos y grilles existen desde hace mucho tiempo, con el pasar de los años su uso ha cambiado continuamente de acuerdo con la actualización de maquinarias y equipos de producción y la industria 4.0, por lo tanto, las industrias metalmecánicas que se dedican a la fabricación de este tipo de tuberías para cocinas están en constante renovación de conocimientos con temas de calidad, productividad, optimización de recursos y buenas prácticas de manufactura.

La empresa donde se realiza la investigación se dedica a la producción y distribución de tuberías, válvulas, hornos y grilles para posteriormente ensamblar cocinas, cabe recalcar que fabrican la parte funcional de la cocina de acuerdo con normas de calidad. El sistema de producción que se maneja en la empresa es de acuerdo con los requerimientos del cliente con un promedio de 60.000 piezas al mes. Este artículo se lo elabora con el propósito de aportar a la mejora del proceso productivo de la empresa mediante un enfoque de la ingeniería industrial e industria 4.0 (Ekleş & Ay Türkmen, 2022).

Inicialmente se detalla a profundidad la problemática que presenta la empresa en estudio, en relación con la mejora de procesos la cual no se aplica de forma eficiente y provoca muchos tiempos muertos, los cuales pueden aprovecharse de mejor forma, en este estudio también se analiza las variables que contribuyen a la realización del marco de referencia, por último, se determinan los aspectos metodológicos y técnicas de investigación.

A continuación, se realiza la presentación de la empresa y su condición actual, mediante un análisis medible de la producción teórica y la producción real.

Finalmente, se presenta la propuesta partiendo del diagnóstico de la investigación desarrollada, con la finalidad de optimizar

la producción y la estandarización en la empresa. Posterior a ello se plantean las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Marco teórico

El marco teórico del presente artículo pretende analizar los fundamentos conceptuales de la teoría de restricciones (TOC), industria 4.0, herramientas tales como: 5 por qué, diagrama de Pareto, con el propósito de facilitar el análisis de la temática y la descripción de los resultados.

Teoría De Restricciones

(“Optimización de Los Procesos Operativos Mediante La Teoría de Restricciones En Una Empresa Metalmecánica.” 2022) dice que la teoría de las restricciones es un método mecanizado utilizado en los procesos productivos a través de la categorización de la producción OPT (Optimized Production Technology), permite mejorar la gestión productiva y corregir sistemas integrados en las diferentes empresas productivas de servicios y/o comerciales. Dentro de un proceso productivo existen puntos críticos o cuellos de botella que se convierten en restricciones, esto perjudica al proceso final, mediante el incremento de costos, niveles bajos de productividad, entre otros, el fin es contrarrestar estos problemas e inducir al logro en el perfeccionamiento en la diligencia integral de la organización (Bombón et al., 2019).

La teoría de restricciones consta de 5 pasos los cuales son:

Paso 1. Identificar las restricciones

Paso 2. Aprovechar las restricciones

Paso 3. Subordinar los procesos a la restricción

Paso 4. Elevar las restricciones

Paso 5. Volver al paso uno. (Ekleş & Ay Türkmen, 2022)

(Galvan Quispe, 2018) en el artículo “Incidencia de la Teoría de Restricciones en la

Productividad de una Empresa Embotelladora de Gaseosas” plantea una Hipótesis sobre si la Teoría de Restricciones incrementa la productividad multifactorial de una empresa embotelladora de bebidas gaseosas, hace uso del método científico explicando y describiendo el proceso en mención, además utiliza una población del número de paquetes producidos por la empresa durante 1 año, tomando como muestra 1 mes antes y 1 mes después de la aplicación de teoría de restricciones, donde concluye que la productividad multifactorial si se ha incrementado en un 13% aproximadamente, así también la productividad de cada uno de los elementos fundamentales del proceso como mano de obra, materia prima y energía eléctrica.

En el artículo (Govoni et al., 2021) “Analysis of production resources improvement strategies in make-to-stock environment managed by the simplified drum-buffer-rope system” se simulan mediante la informática varios métodos de identificación del recurso con limitación de la capacidad dentro de un proceso de mejora continua. En este paper toman en cuenta seis configuraciones de líneas de producción gestionadas por el sistema simplificado tambor-reserva y sogá, de los seis métodos de mejora aplicados, tres de ellos basados en Teoría de Restricciones basándose el rendimiento mediante el tiempo de ciclo y la tasa de cumplimiento de pedidos. Los resultados encontrados muestran que en los sistemas equilibrados con las mejoras repartidas en todos los recursos permiten obtener mejores resultados. En los entornos no equilibrados al aplicar los tres métodos de Teoría de Restricciones muestran resultados con rendimiento superior.

En la investigación realizada por (Jing et al., 2021) “An integrated application model and its implementation path of lean six sigma management and theory of constraints” destaca el uso simultáneo de tres metodologías como son: Six Sigma, producción ajustada y Teoría de Restricciones, el modelo utilizado se compone de capas de objetivos,

funciones, procesos y herramientas aplicados a una empresa de baterías de plomo ácido en donde como resultado se mejoró la producción media mensual en un 20% y las devoluciones en un 15% anual, por lo tanto, concluye que el modelo es operable y eficaz (Jing et al., 2021).

En el artículo “A system dynamics based model to implement the Theory of Constraints in a healthcare system” realizado por (Grida & Zeid, 2019) se simula un hospital de tamaño mediano mediante el software AnyLogic para determinar el recurso cuello de botella del sistema en mención, luego siguen los pasos de Teoría de Restricciones tales como explotar y subordinar el sistema del entorno a este recurso, concluye mejorando en un 6% el número de pacientes atendidos, sin aumentar los recursos; además, a través del modelo se determina la capacidad necesaria para mejorar el cuello de botella.

Según lo publicado en el artículo (Romero et al., 2019) “La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de la Producción. Una Aplicación en la Industria de Muebles”, en cuanto a la teoría de restricciones (TOC) cita que, esta es una teoría estratégica que nace en el nivel gerencial, identifican los puntos débiles en la cadena de valor con el propósito de mejorar el desarrollo de los procesos productivos o de servicios, la importancia de esta teoría está en la gestión que aplica en las restricciones para contrarrestar, optimizar y de tal forma obtener una rentabilidad y/o ganar dinero hoy y en el futuro.

Las organizaciones están conformadas por un conjunto de recursos los mismos que es prioritario gestionar a través de una buena planificación y programación de las actividades y tareas para que los procesos paso a paso alcancen la eficiencia y desempeño de los sistemas que involucra las diferentes empresas.

Todo proceso productivo necesita de una programación de operaciones para alcanzar los objetivos propuestos en cuanto a la gestión

de los sistemas productivos con base a las exigencias de los mercados y la satisfacción de las necesidades de los consumidores.

Según lo publicado en el artículo (Cevallos E. & Toro Llor, 2020) "Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) en un proceso de fabricación de chocolates". La aplicación de la TOC en diferentes organizaciones ha sido causa de varios beneficios, tales como la optimización de los tiempos de entrega, minimización de los inventarios, incremento en el volumen de ventas, optimización de los recursos, es normal que también se necesita inversión en equipos, herramientas y mano de obra.

Según lo publicado en el artículo (Lucia Rodríguez, 2021) "La teoría de restricciones como fuente de crecimiento empresarial" para aplicar la herramienta de las TOC es menester identificar las restricciones en los procesos administrativos, operativos, mandos medios y altos, debido a que dentro de las empresas estos son un equipo y trabajan todos de la mano, no es lógico que se enfatice en uno de ellos únicamente, eso causaría varias diferencias a futuro y no al cansaría a optimizar la meta de la organización mediante el proceso de mejoramiento continuo.

Industria 4.0

La cuarta revolución industrial o industria 4.0, trajo consigo la automatización de los procesos, aprendizaje de las máquinas lectura de características con sensores, robots que reemplaza al personal operativo; esto con el objetivo de optimizar los procesos industriales.

En el artículo (Zachciał & Jardzioch, 2022) "Application of simulation research to analyse the production process in terms of sustainable development", se desarrolla una simulación sobre una línea de producción con seis puestos de montaje en la que se busca ahorrar tiempos de desplazamientos debido a que el transporte de productos acabados actual es manual, el artículo en mención concluye que al utilizar cintas transportado-

ras con sensores de parada el consumo de energía es más bajo y por ende permite que la empresa tenga una mejor rentabilidad.

Según lo publicado en el artículo ("Industria 4.0 y Economía Circular: Revisión de La Literatura y Recomendaciones Para Una Industria Sustentable En Ecuador," 2022) La Industrial 4.0 incluye varias tecnologías, las principales y más conocidas son: el internet de las cosas, tecnologías de big data, inteligencia artificial, manufactura aditiva, sistemas robóticos, entre otros, mediante la aplicación de algunos de los recursos tecnológicos citados, los beneficios que se puede obtener son: bajar costos de producción, mejorar la productividad, la flexibilidad y la eficiencia de los recursos (por ejemplo, big data para mantenimiento predictivo y reconfiguración rápida de sistemas de producción); (sistemas de producción de circuito cerrado que conectan máquinas, sistemas de información, productos y personas en una red); oportunidades laborales relacionadas con las competencias de TI; mejora de la calidad del entorno de trabajo reduciendo los trabajos de rutina, crear oportunidades de empleo para empleados vulnerables o discapacitados y ancianos (Guananga Díaz et al., 2020).

Según lo citado en artículo (Salah et al., 2021) "Implementación a escala de laboratorio de industria 4.0..." La I4.0 se enfoca en mejorar, reemplazar y complementar la estructura, los procesos y procedimientos existentes de las empresas por herramientas y equipos digitales actualizados con el fin de intercambiar datos entre sí, conectarse con otros dispositivos para maximizar la velocidad de la comunicación y la inmediatez de los procesamientos de datos evitando la interrupción mínima en determinados procesos, de tal forma alcanzar la eficiencia en todas las actividades de las industrias.

Metodología

En el presente artículo se aplica la investigación descriptiva para el desarrollo y análisis de cómo influye la baja productividad en la

línea de fabricación de tuberías de hornos y grilles en la mejora de la capacidad de producción evaluando las características de la problemática, es decir; se procederá a describir y medir con la mayor exactitud el problema. Se aplican herramientas de ingeniería e información que no ha sido tomada en consideración en referencia al proceso productivo de la compañía (Pacheco et al., 2021).

Dentro del estudio realizado se encontraron varias fuentes de información en la empresa siendo estas cuantificables (coste, tiempos, capacidad de producción, etc.), las cuales sirven para la toma de decisiones y mejora continua.

La investigación cuantitativa se emplea en este paper para la recolección de datos con el fin de cuantificar y obtener resultados en porcentajes y/o tabulaciones, los cuales sirven como base para interpretar los resultados esperados del artículo.

Las fuentes primarias de información son recolectadas a través de entrevistas con el personal encargado de cada área de la empresa, es decir que analiza el proceso productivo de la empresa basado en las opiniones de los jefes de área, operadores y gerente general.

Las fuentes secundarias de información son datos que ayudan a la ejecución de esta investigación, con el apoyo de los documentos del departamento de producción, bases de datos, páginas web, uso de información tomada de tesis y artículos científicos con temas similares al desarrollado en este paper.

Este estudio inicia con el análisis de la situación actual la misma que se desarrolla utilizando las herramientas tales como: 5 por qué y diagrama de Pareto en la empresa productora de hornos y grilles, en los que se identifican cuellos de botella en el área de producción, generando retrasos en el cumplimiento de la producción, desperdicios de tiempo, recorridos y costos innecesarios dentro del proceso. Para la mejora del proceso se propone el uso de la teoría

de restricciones (TOC), la misma que a través de sus 5 pasos conlleva a detectar el cuello de botella y concentrar todos los recursos para elevar el nivel de utilización de la producción, cabe recalcar que el cuello de botella se da por el exceso de movimiento del personal operativo, por la constante transportación manual de las piezas para armar los grilles y hornos, debido a la inoperancia de la banda transportadora (Chuqui-marca Jiménez et al., 2022). Finalmente se genera las mejoras a través de un plan de mantenimiento contratado para reactivar la banda transportadora, haciendo uso de la industria 4.0 mediante la colocación de una tarjeta de radio frecuencia para el transporte de las piezas y posterior optimización de los recursos dentro del proceso productivo, con el fin de incrementar la rentabilidad de la empresa, haciendo uso de herramientas de tipo económico como el TIR y VAN (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018), (Kuo et al., 2021).

Resultados y discusión

El problema latente en este estudio es la baja capacidad productiva de la línea de tubos de hornos y grilles en la empresa, en donde se generan cuellos de botella, por excesos de traslados entre áreas de cada proceso, máquinas en mal estado debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo.

Para realizar el planteamiento de solución a los problemas analizados en puntos anteriores es considerable reducir tiempos atacando las actividades en las que existan cuellos de botella, se aplicó teoría de restricciones, también conocida como TOC (Theory of Constraints), cuyo esquema está basado en la mejora continua de los procesos, se siguen cinco pasos donde inicia con la identificación de las restricciones, luego busca aprovechar las limitantes, subordinar las mismas, aprovechar y se plantean posibles escenarios; finalmente se verifica el bajo impacto en el recurso cuello de botella (Samá Muñoz & Díaz Acosta, 2020).

PASO 1: Identificar las restricciones.

Una vez identificados los inconvenientes y el impacto monetario que genera se descompondrán en fases y actividades, además de identificar las capacidades de producción de cada una de ellas mediante el estudio de tiempos (ver tabla 1).

Los datos numéricos de las frecuencias y cantidades acumuladas son tomados en base a los registros estadísticos del estudio que se realizó el mismo que muestra la suma de las restricciones obteniendo un valor de 4.800 dólares anual con un 100% de impacto, se muestra un bosquejo de las restricciones con sus porcentajes (ver figura 1).

PASO 2: Aprovechar las restricciones.

Una vez que han sido identificadas las condiciones, se prioriza las que forjen una participación más alta con mayor impacto, en este caso será la condición 1 con un 33%, la 2 con un 27% y la numero 3 con 24% sumando un total de 84%, estas limitaciones hacen que se emplee el estudio para aprovechar al máximo posible las inconformidades que generan estos inconvenientes, es así como de esta manera se puede mejorar los métodos de trabajo (Villegas et al., 2023).

Después, se ordenarán los datos en una lista de mayor a menor y se le asigna prioridad a cada una de las restricciones, ya sea alta, media o baja (ver tabla 2).

Tabla 1. Datos de las restricciones presentadas en la fabricación de tubos de hornos y grilles

Restricciones y Porcentajes Presentados en la Producción de tubos hornos y grilles			
Factor	Restricciones	Cantidad Anual	Porcentaje de Frecuencia Anual
Producción de tubos de hornos y grilles.	Atrasos en la línea de fabricación.	504	11,00%
Capacidad de trabajo en la línea de elaboración	Falta de un plan de mantenimiento o preventivo para evitar cambios cuando se daña la maquinaria.	1.272	27,00%
Método de ejecución de los procesos	Aumento en los costos de operaciones por laborar horas extras.	1.164	24,00%
Distribución de la planta	Exceso movimiento entre operaciones a	1.584	33,00%



Materia prima para la elaboración de tuberías de hornos y grilles	lo largo de la línea de procesos. Materiales no cumplen estándares de calidad	276	6,00%
Total		4.800	100%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

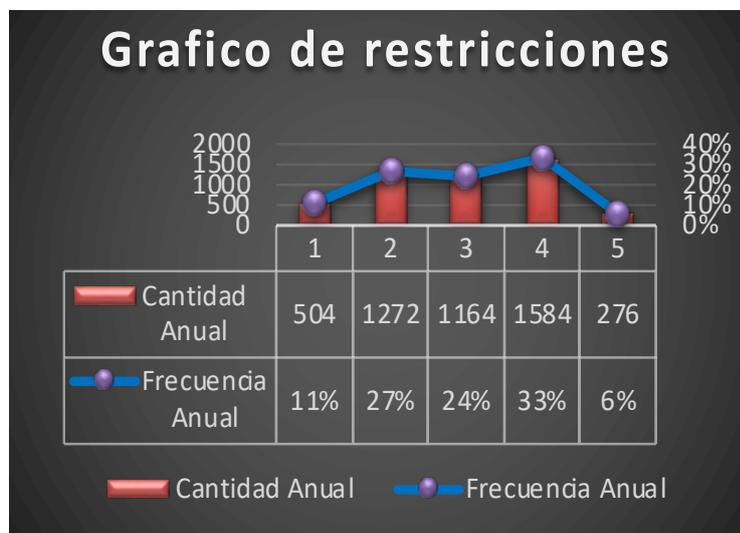


Figura 1. Gráfico de restricciones

Elaboración: Información tomada de la empresa. Elaborado por autor.

Tabla 2. Priorización de las restricciones en la producción de tubos de hornos y grilles

Restricciones	Frecuencia Anual	Porcentaje	Prioridad
Exceso movimiento entre operaciones a lo largo de la línea de procesos.	1.584	33,00%	Alta
Falta de un plan de mantenimiento preventivos para evitar cambios cuando se daña la maquinaria.	1.272	27,00%	Alta
Aumento en los costos de operaciones por laborar horas extras.	1.164	24,00%	Alta

Atrasos en la línea de fabricación.	504	11,00%	Media
Materiales no cumplen estándares de calidad	276	6,00%	Baja
Total	4.800	100,00%	

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Una vez priorizadas y descritas las restricciones, se propone tres posibles mejoras para llegar a la solución de los inconvenientes con mayor prioridad, como primera opción está la de elaborar dispositivos móviles que tengan capacidades altas en las que se pueda almacenar tuberías para evitar exceso de movimientos entre operaciones, la segunda iniciativa plantea habilitar una banda transportadora además de cambiar de lugar el torno de corte para que el proceso fluya sin muchos traslados, como tercer punto sería plantear programas de mantenimiento preventivo en las máquinas por que en ocasiones es una de las causas del incumplimiento de la capacidad de fabricación.

PASO 3: Subordinar los procesos a la restricción.

Este paso está basado en las complicaciones, además de reconocer las raíces de los problemas que generan las condiciones, las cuales se las establece desde la causa más externa a la más interna, este punto radica en identificar los recursos en base a la limitación.

Se toman datos de los requerimientos basado en información de la empresa, para el cálculo de la capacidad real producida, la producción mensual es de 26.560 unidades de hornos, existen meses en que la compañía debe laborar horas adicionales para cumplir la exigencia del cliente.

Tabla 3. Cantidades reales en producción de horno

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	Σ del Porcentaje Total
Enero	Hornos	18.386	100,00%	0,00%	100,00%
Febrero	Hornos	10.817	100,00%	0,00%	100,00%
Marzo	Hornos	29.624	100,00%	0,00%	100,00%
Abril	Hornos	36.772	100,00%	0,00%	100,00%
Mayo	Hornos	41.209	64,45%	35,55%	100,00%
Junio	Hornos	32.901	80,73%	19,27%	100,00%
Julio	Hornos	32.756	81,09%	18,91%	100,00%
Agosto	Hornos	35.627	74,55%	25,45%	100,00%
Septiembre	Hornos	30.586	86,84%	13,16%	100,00%
Octubre	Hornos	38.186	69,55%	30,45%	100,00%



Noviembre	Hornos	37.703	70,45%	29,55%	100,00%
Diciembre	Hornos	41.383	64,18%	35,82%	100,00%
Total, anual		385.9548			
Promedio		32.162	82,65%	17,35%	100,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Una vez elaborada la relación entre las proporciones de la capacidad real producida en tubos hornos da un promedio anual del 82,65% versus la capacidad extra producida por restricciones con un 17,35%, esto da una pérdida del margen de utilidad de \$5,362.56 por la causa de que la compañía labora horas adicionales.

En el próximo cuadro se muestra la relación de proporciones para los productos de grilles basada en información preliminar donde están los pedidos realizados mensuales, para sacar el porcentaje de la capacidad real de grilles, partiendo de tablas planteadas con anterioridad y realizar la operación de proporción de la capacidad a la que labora la empresa, cabe recalcar que hay meses en los cuales se labora horas adicionales después de la jornada normal de 8 horas diarias.

Tabla 4. Cantidades reales en producción de grilles

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	Σ del Porcentaje Total
Enero	Grilles	348	100,00 %	0,00%	100,00 %
Febrero	Grilles	1.508	100,00 %	0,00%	100,00 %
Marzo	Grilles	6.569	100,00 %	0,00%	100,00 %
Abril	Grilles	4.959	100,00 %	0,00%	100,00 %
Mayo	Grilles	12.499	100,00 %	0,00%	100,00 %
Junio	Grilles	7.410	73,42%	26,58%	100,00 %
Julio	Grilles	11.267	48,28%	51,72%	100,00 %
Agosto	Grilles	7.250	75,03%	24,97%	100,00 %
Septiembre	Grilles	5.728	94,98%	5,02%	100,00 %
Octubre	Grilles	7.504	72,50%	27,50%	100,00 %
Noviembre	Grilles	8.700	62,53%	37,47%	100,00 %
Diciembre	Grilles	6.612	82,27%	17,73%	100,00 %

Total, anual	80.352			
Promedio	6.696	84,08%	15,92%	100,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

En grilles según producción anual con la capacidad real producida da un porcentaje del 84.08%, y en horas extras empleadas un 15.92% esto da como resultado una pérdida económica de \$1.276,86 al proceso productivo de la empresa.

Estas dos demostraciones nos dan un valor total de \$6.603,36 el valor por el cual la compañía se verá afectada.

Considerando este valor, procederán a subordinar la totalidad de las restricciones y laborar con los factores principales que en el último año transcurrido causas inconvenientes.

En el año 2022 la elaboración de tuberías para hornos y grilles ha tenido una variación porcentual considerable, esto es debido a problemas identificados en el área de producción que es el movimiento excesivo entre operaciones debido a su capacidad instalada y distribución entre lugares de trabajo, además esta contrariedad conlleva a más dificultades a lo largo de la línea de fabricación, en la compañía están laborando a una eficiencia del 67% acorde al análisis.

PASO 4: Elevar las restricciones.

De acuerdo con las tres restricciones con prioridades altas mostradas con anterioridad en el paso 2, para implementar progresos deben realizar un análisis porcentual de factibilidad en las tres posibilidades de mejoras, una es la creación de dispositivos móviles, otra iniciativa es activar una banda transportadora y cambiar de lugar el turno de corte, como última opción está la de aplicar mantenimientos preventivos.

En la posible solución 1 se laborará con estándares implementando nuevas técnicas para reducir los excesivos movimientos me-

diante la creación de dispositivos móviles o coches para el almacenado de tubos de hornos y grilles, se trabajará un solo turno de 8 horas de manera paralela para así desarrollar la producción y eficiencia consiguiendo reducir sobretiempos.

Deben trabajar en el área de producción con personal capacitado y que tengan práctica en las operaciones de cortado de tubería, perforado ya que este es el punto más crítico en los transportes.

En el diagrama de flujo de proceso o cursograma de hornos en las operaciones de traslado de dispositivo de tubos vacíos, llenado y nuevamente un transporte se evidencia un tiempo de 49,8 minutos a lo largo de una jornada laboral, si se realiza la implementación de las unidades móviles de almacenamiento reducirá el lapso a 5 minutos, es decir se aprovechará 48,8 minutos para procesar más unidades de tubos. Como consecuencia aumentará el margen de producción un 6% (ver tabla 5).

Con el análisis de la tabla mostrada se observa que el porcentaje de producción real aumenta al 91,65% y el porcentaje de horas extras laboradas en el año disminuye a 7,68%, si se aplica la mejora de crear dispositivos móviles, reducirá la pérdida de \$5.326,26 a un valor de \$2.808,96 para la restricción de tubos de hornos. Se evidencia para productos de grilles con la posible causa de mejora 1 (ver tabla 36).

Según la capacidad de elaboración real aumenta al 89.38% y disminuye al 10.31% las horas extras producidas, decreciendo el valor de gastos por horas extra de \$1.276,86 a un número de \$893,76.



Cabe recalcar que con esta posible causa la empresa mejora su eficiencia 6% más de la producción actual, es decir al momento la compañía está fabricando 1600 unidades en un día laboral versus la cantidad propuesta con su aumento porcentual sería de 1750 tubos diario en una jornada de 8 horas.

Una vez realizada la relación entre las proporciones de la capacidad propuesta producida da un promedio anual del 90.52% versus

la capacidad extra-propuesta producida por restricciones con un 8.99%, Es decir el costo por lapsos adicionales de tuberías para hornos y grilles como inconveniente inicial es de \$6.603,36. Reduciéndolo a una pérdida del margen de utilidad \$3.411,06.

Las ventajas son que se reducirían las labores en horas extras a la mitad de la problemática inicial.

Tabla 5. Cantidades producidas de hornos, propuesta de mejora 1

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	∑ del Porcentaje Total
Enero	Hornos	18.386	100,00%	0,00%	100,00%
Febrero	Hornos	10.817	100,00%	0,00%	100,00%
Marzo	Hornos	29.624	100,00%	0,00%	100,00%
Abril	Hornos	36.772	100,00%	0,00%	100,00%
Mayo	Hornos	41.209	100,00%	0,00%	100,00%
Junio	Hornos	32.901	100,00%	0,00%	100,00%
Julio	Hornos	32.756	100,00%	0,00%	100,00%
Agosto	Hornos	35.627	81,54%	15,98%	100,00%
Septiembre	Hornos	30.586	94,98%	5,02%	100,00%
Octubre	Hornos	38.186	76,08%	22,08%	100,00%
Noviembre	Hornos	37.703	77,05%	22,95%	100,00%
Diciembre	Hornos	41.383	70,20%	26,16%	100,00%
Total, anual		385.948			
Promedio		32.162	91,65%	7,68%	100,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Tabla 6. Cantidades producidas de grilles, propuesta de mejora 1

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	∑ del Porcentaje Total
Enero	Grilles	348	100,00%	0,00%	100,00%
Febrero	Grilles	1.508	100,00%	0,00%	100,00%
Marzo	Grilles	6.569	100,00%	0,00%	100,00%
Abril	Grilles	4.959	100,00%	0,00%	100,00%
Mayo	Grilles	12.499	100,00%	0,00%	100,00%
Junio	Grilles	7.410	100,00%	0,00%	100,00%
Julio	Grilles	11.267	52,81%	43,42%	100,00%
Agosto	Grilles	7.250	82,07%	17,93%	100,00%
Septiembre	Grilles	5.728	100,00%	0,00%	100,00%
Octubre	Grilles	7.504	79,29%	20,71%	100,00%
Noviembre	Grilles	8.700	68,39%	31,61%	100,00%
Diciembre	Grilles	6.612	89,99%	10,01%	100,00%
Total, anual		80.352			100,00%
Promedio		6.696	89,38%	10,31%	

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

En el segundo ítem se evaluará la mejora de solución en la activación de una banda transportadora y el cambio de diseño en la máquina de corte que es el torno revolver, esto evitará que existan traslados a lo largo de la línea con una reducción de tiempo de 68,8 minutos lo cual hará que aumente en un 10%, es decir su eficiencia aumentará a un 77%.

El valor argumentado de 10 puntos porcentuales se ve referenciado en el cursograma analítico de tuberías de horno en las actividades de traslados de dispositivo móviles y llenado de los mismos, el cual se realiza alrededor de 8 veces al día con un tiempo de 68,8 minutos, si se implementa la opción 2 referida a la reubicación del torno revolver

y activación de banda transportadora este tiempo será aprovechado para producir más unidades de hornos y grilles (ver tabla 7).

Como conclusión para la efectividad en la capacidad real producida con la propuesta de mejora, esta aumentaría a un 93.16% y la extra producida en 6.84% generando una pérdida de \$1.707,72 en la elaboración de tubos hornos a lo largo de un periodo.

Tabla 7. Cantidades producidas de hornos propuestas de producción 2

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	∑ del Porcentaje Total
Enero	Hornos	18.386	100,00%	0,00%	100,00%
Febrero	Hornos	10.817	100,00%	0,00%	100,00%
Marzo	Hornos	29.624	100,00%	0,00%	100,00%
Abril	Hornos	36.772	100,00%	0,00%	100,00%
Mayo	Hornos	41.209	100,00%	0,00%	100,00%
Junio	Hornos	32.901	100,00%	0,00%	100,00%
Julio	Hornos	32.756	100,00%	0,00%	100,00%
Agosto	Hornos	35.627	85,24%	14,76%	100,00%
Septiembre	Hornos	30.586	99,28%	0,72%	100,00%
Octubre	Hornos	38.186	79,52%	20,48%	100,00%
Noviembre	Hornos	37.703	80,54%	19,46%	100,00%
Diciembre	Hornos	41.383	73,38%	26,62%	100,00%
Total, anual		385.948			
Promedio		32.162	93,16%	6,84%	100,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Se muestra el esquema el cual hace referencia a la propuesta número dos planteada.

La descripción en la capacidad de cantidades producidas según propuesta de mejora 2 aumenta la fracción en margen porcentual a 90.79%, disminuye a un 9.21% la capacidad extra laborada con una rebaja de dinero a \$462,84 (ver tabla 8).

En el análisis de las tablas anteriores que corresponde la factibilidad de la mejora de propuesta número dos, se analiza que la capacidad propuesta para producir aumenta al 91.98% con la capacidad extra-propuesta que será del 8.02%, su eficiencia de producción por hora según opción de mejora 2 es de 229 unidades entre tuberías para

hornos y grilles, reduciendo las horas extras a una cantidad de 136, esto definido en dólares sería minimizado a \$2.170,56.

Como opción número 3 a la resolución de las restricciones esta elaborar un plan de mantenimiento preventivo para minimizar el costo anual de revisiones, se plantea un gasto promedio de \$150 mensual, en el lapso de 12 meses sería un valor de \$1800 sin gravar impuesto, Para prevenir daños en máquinas ya que el valor del año 2022 es considerable.

Tabla 8. Cantidades producidas de grilles propuestas de producción 2

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad extra producida	Σ del Porcentaje Total
Enero	Grilles	348	100,00%	0,00%	100,00%
Febrero	Grilles	1.508	100,00%	0,00%	100,00%
Marzo	Grilles	6.569	100,00%	0,00%	100,00%
Abril	Grilles	4.959	100,00%	0,00%	100,00%
Mayo	Grilles	12.499	100,00%	0,00%	100,00%
Junio	Grilles	7.410	100,00%	0,00%	100,00%
Julio	Grilles	11.267	55,21%	44,79%	100,00%
Agosto	Grilles	7.250	85,79%	14,21%	100,00%
Septiembre	Grilles	5.728	100,00%	0,00%	100,00%
Octubre	Grilles	7.504	82,89%	17,11%	100,00%
Noviembre	Grilles	8.700	71,49%	28,51%	100,00%
Diciembre	Grilles	6.612	94,07%	5,93%	100,00%
Total, anual		80.352			
Promedio		6.696	90,79%	9,21%	100,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

PASO 5: Volver al paso uno.

Como paso final si se evidencia que se resuelve la restricción que genera el problema, se debe retornar a la primera fase siendo esto un proceso cíclico para la mejora continua.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de mejora después de realizar la elaboración de dispositivos móviles para reducir el transporte, se evidencia que aumenta el

porcentaje de producción según la capacidad real, reduciendo las horas extras considerablemente en el año 2022:



Tabla 9. Cantidades de tubos hornos producidas reales vs propuestas 1

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad propuesta producida	Incremento en porcentaje
Enero	Hornos	18.386	100,00%	10000%	0,00%
Febrero	Hornos	10.817	100,00%	100,00%	0,00%
Marzo	Hornos	29.624	100,00%	100,00%	0,00%
Abril	Hornos	36.772	100,00%	100,00%	0,00%
Mayo	Hornos	41.209	64,45%	100,00%	35,55%
Junio	Hornos	32.901	80,73%	100,00%	19,27%
Julio	Hornos	32.756	81,09%	100,00%	18,91%
Agosto	Hornos	35.627	74,55%	81,54%	6,99%
Septiembre	Hornos	30.586	86,84%	94,98%	8,14%
Octubre	Hornos	38.186	69,55%	76,08%	6,53%
Noviembre	Hornos	37.703	70,45%	77,05%	6,60%
Diciembre	Hornos	41.383	64,18%	70,20%	6,02%
Total, anual		385.948			
Promedio		32.162	82,65%	91,65%	9,00%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Como conclusión de la tabla anterior se observa que la capacidad inicial producida está en un 82.65% versus la propuesta uno que aumenta al 91.65% dando un aumento del margen porcentual en un 9%.

Se presenta la comparativa de porcentajes según propuesta de mejora para grilles (ver tabla 10).

Para el análisis del cuadro comparativo de productos de grilles en la capacidad real producida inicia con un 84.08% y según propuesta de mejora aumenta al 89.38%, sumando 5.30% en esta línea de tuberías.

En las tablas 39 y 40 mostradas se plantea los porcentajes según su capacidad real producida con su requerimiento, inicialmente es de un promedio de 83% aumentando a la propuesta de mejora 1 sube en un 7.72% aumentando su eficiencia reduciendo las horas extras que se labora en la empresa en el año 2022.

Tabla 10. Cantidades de tubos grilles producidas reales vs propuestas 1

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad propuesta producida	Incremento en porcentaje
Enero	Grilles	348	100,00%	100,00%	0,00%
Febrero	Grilles	1.508	100,00%	100,00%	0,00%
Marzo	Grilles	6.569	100,00%	100,00%	0,00%
Abril	Grilles	4.959	100,00%	100,00%	0,00%
Mayo	Grilles	12.499	100,00%	100,00%	0,00%
Junio	Grilles	7.41	73,42%	100,00%	26,58%
Julio	Grilles	11.267	48,28%	52,81%	4,53%
Agosto	Grilles	7.25	75,03%	82,07%	7,04%
Septiembre	Grilles	5.728	94,98%	100,00%	5,02%
Octubre	Grilles	7.504	72,50%	79,29%	6,79%
Noviembre	Grilles	8.7	62,53%	68,39%	5,86%
Diciembre	Grilles	6.612	82,27%	89,99%	7,72%
Total, anual		80.352	1.009,01%		
Promedio		6.696	84,04%	89,38%	5,30%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

La propuesta de factibilidad número 2 se analiza mediante un incremento de porcentaje en un 10% disminuyendo los gastos de horas extras laborados a lo largo del periodo 2022.

En las cantidades reales producidas de hornos (ver tabla 11) están en un 82.65% inicialmente y con la propuesta de mejora sube al 93.16% acrecentando en 10.51% el margen porcentual de cantidades producidas reduciendo el trabajo de horas extras.

Se muestra el cuadro de las cantidades producidas de grilles porcentualmente versus las propuestas con la mejora de la opción número dos (ver tabla 12).

El análisis muestra en la capacidad real producida una fracción del 84.08% versus un aumento al 90.79% si se aplican las mejoras de la opción dos.

Aplicando las mejoras del punto dos que son cambiar la ubicación de la maquinaria más la activación de una banda transportadora subiría al 9% es decir aumentaría a un 92% el mejoramiento de la restricción inicial, agrandando la producción anual de tubos hornos y grilles a un valor de 439.040 componentes de tubos a diferencia de la capacidad original que es de 384.000 unidades (Mora et al., 2018).

La tercera opción se la implementara junto con la dos para evitar cualquier tipo de inconvenientes en las averías de maquinarias ya que estas son muy antiguas. Se observa que para disminuir el impacto de la tercera causa problema que son los gastos por mantenimientos se plantea un plan preventivo en lugar de correctivos que se dan actualmente en la compañía.



Tabla 11. Cantidades de tubos hornos producidos reales vs propuestas 2

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad propuesta producida	Incremento en porcentaje
Enero	Hornos	18.386	100,00%	100,00%	0,00%
Febrero	Hornos	10.817	100,00%	100,00%	0,00%
Marzo	Hornos	29.624	100,00%	100,00%	0,00%
Abril	Hornos	36.772	100,00%	100,00%	0,00%
Mayo	Hornos	41.209	64,45%	100,00%	35,55%
Junio	Hornos	32.901	80,73%	100,00%	19,27%
Julio	Hornos	32.756	81,09%	100,00%	18,91%
Agosto	Hornos	35.627	74,55%	85,24%	10,69%
Septiembre	Hornos	30.586	86,84%	99,28%	12,44%
Octubre	Hornos	38.186	69,55%	79,52%	9,97%
Noviembre	Hornos	37.703	70,45%	80,54%	10,09%
Diciembre	Hornos	41.383	64,18%	73,38%	9,20%
Total, anual		385.948			
Promedio		32.162	82,65%	93.16%	10,51%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Tabla 12. Cantidades de tubos grilles producidos reales vs propuesta 2

Meses	Producto	Requerimiento cliente	Capacidad real producida	Capacidad propuesta producida	Incremento en porcentaje
Enero	Grilles	348	100,00%	100,00%	0,00%
Febrero	Grilles	1.508	100,00%	100,00%	0,00%
Marzo	Grilles	6.569	100,00%	100,00%	0,00%
Abril	Grilles	4.959	100,00%	100,00%	0,00%
Mayo	Grilles	12.499	100,00%	100,00%	0,00%
Junio	Grilles	741	73,42%	100,00%	26,58%
Julio	Grilles	11.267	48,28%	55,21%	6,93%
Agosto	Grilles	725	75,03%	85,79%	10,76%
Septiembre	Grilles	5.728	94,98%	100,00%	5,02%
Octubre	Grilles	7.504	72,50%	82,89%	10,39%
Noviembre	Grilles	87	62,53%	71,49%	8,96%
Diciembre	Grilles	6.612	82,27%	94,07%	11,80%
Total, anual		80.352			
Promedio		6.696	84,08%	90,79%	6,70%

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Costo de Implementar la Solución.

El costo para la propuesta de mejora corresponde a la reubicación del torno revolver junto con la activación de la banda transportadora la cual resulta más factible, ya que aumenta considerablemente la cantidad anual en la fabricación de tuberías de hornos y grilles.

Costo de Reubicación de Torno Revolver.

Para implementar la redistribución de alguna maquinaria se debe tener en cuenta el lugar del proceso, además de que no vaya a causar afectaciones a las otras líneas de fabricación.

En la realización de este cambio se debe contratar los servicios de una compañía dedicada a los rediseños de plantas.

Como primer punto se reubicará el torno revolver con el lugar de almacenaje de tuberías aluminizada, en el lugar donde se colocará existen 4 máquinas pequeñas que serán trasladadas a otro punto para continuidad del proceso (Escalante, 2021).

A continuación, se muestran los valores cotizados.

Tabla 13. Costo de implementar la reubicación de torno

Costo de la reubicación de torno		
Descripción	Cantidad	Valor total
Cambio de ubicación del torno.	1	\$2.330,00
Cambio de otras maquinarias pequeñas para cumplir con la secuencia de producción.	4	\$1.200,00
Costo de ayudante	1	\$425,00
	Subtotal	\$3.955,00
	IVA 12,00%	\$474,60
	Total	\$4.429,60

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Como resumen final el costo de la implementación de la redistribución de las maquinarias sería de \$4.429,60.

Costo por Reactivación de Banda Transportadora

En la reactivación de la banda transportadora se procede a revisarla por parte de una empresa de servicios eléctricos. Se

realizará un chequeo general para verificar el estado de la maquinaria, luego se procederá a realizar un mantenimiento con una respectiva limpieza, se le dará arranque y verificación de que no existan fallas.

Tabla 14. Costo para la reactivación de banda transportadora

Costo de reactivación de banda transportadora		
Descripción	Cantidad	Valor total
Chequeo general	1	\$300,00
Mantenimiento	1	\$600,00
Limpieza	1	\$400,00
	Subtotal	\$1.300,00
	IVA 12,00%	\$156,00
	Total	\$1.456,00

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

En la tabla mostrada se aprecia que el costo por reactivación de banda transportadora asciende a \$1.456,00.

Costo por Capacitación al Personal

Una vez obtenida la reubicación de la maquinaria y activación de la banda transportadora se realizará una capacitación al personal, contratando los servicios de una empresa dedicada a impartir capacitaciones para cumplir un mejor proceso de fabricación en la empresa (Macavilca Escalante, 2019).

La capacitación será dirigida a la correcta ejecución de cada operación, el costo por hora de capacitación es de \$5,00 con un total de 10 horas impartidas a 6 personas, estas horas de capacitación se realizará 2 horas diarias en una semana después de la jornada laboral.

Con los datos descritos se procede a calcular el costo de la capacitación por los operarios.

$$\begin{aligned} & \text{Costo de capacitación} \\ & = \text{Costo por hora} \times \text{Número de horas} \times \text{Número de personas} \\ & \text{Costo de capacitación} = \$5,00 \times 10\text{H} \times 6 \text{ personas} \\ & \text{Costo de capacitación} = \$300,00 \end{aligned}$$

La empresa debe costear la cantidad de \$300,00 por concepto de capacitación en el uso correcto de equipos, maquinarias y métodos.

Costo de Implementar Plan Preventivo

El mantenimiento anticipado se planificará de la siguiente manera, una vez por mes definido en la quincena para realizar con el personal externo de mantenimiento, un chequeo general, más lo que conlleve un sostenimiento para prevenir daños. De acuerdo con los cálculos realizados se observa un valor total de \$1800 sin gravar impuestos, la tabla mostrada a continuación es un resumen del anexo incluido IVA.

Tabla 15. Costo de mantenimiento preventivo

Costo de mantenimientos preventivos		
Descripción	Cantidad	Valor total
Chequeo general	12	\$600,00
Mantenimiento	12	\$1200,00
	Subtotal	\$1.800,00
	IVA 12,00%	\$216,00
	Total	\$2.016,00

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Una vez terminado el análisis de los diferentes costos que implica aplicar la mejora en el proceso de fabricación de tubos de hornos y grilles se identifica que es viable reducir al máximo los transportes entre áreas debido a que se activara la banda transportadora y se cambiara la ubicación de la má-

quina de corte, además de que se planeara un mejor programa de producción por parte del encargado.

Acto seguido, en la tabla mostrada se describen los costos totales para la implementación de esta mejora.

Tabla 16. Costo para implementar mejora de solución

Costos para la mejora dentro de la línea de Producción		
Descripción	Cantidad	Valor total
Costo de reubicación de torno	1	\$4.429,60
Costo de reactivación de banda	1	\$1.456,00
Costo por capacitación al personal	1	\$300,00
Costo por mantenimiento preventivo	1	\$2.016,00
Σ		
Total		\$8.201,60

Fuente: Información adaptada de investigación directa, Elaborado por el autor.

Al realizar la sumatoria del costeo que implica aplicar la mejora dentro del proceso de producción en la empresa se obtiene como resultado un valor de \$8.201,60.

Conclusión

Una vez terminado el trabajo de mejora en la línea de fabricación de tuberías para hornos y grilles en la empresa se llegó a las siguientes conclusiones:

Se logro cuantificar las actividades y tiempos en los diagramas de operaciones, de recorrido, cursograma analítico en los cuales se analizan los movimientos y la distribución de planta que causan afectaciones en el proceso de elaboración de tubos hornos y grilles.

Utilizando las metodologías del diagrama de Pareto, Ishikawa, los 5 porque se logra identificar las causas con mayor incidencia en la problemática las cuales son los excesos de transportes en la línea de fabricación, la distribución de planta, los mantenimientos correctivos ya que no existe un plan preventivo esto genera gastos por laborar horas extras para cumplir la capacidad de producción.

En los análisis de costos se evidencio un gasto o impacto económico negativo por \$18.388,26, es decir, este valor reduce el margen de utilidad por los productos que se entregan a los clientes.

Mediante una planificación de la implementación de las mejoras propuestas este proyecto se desarrolla en cuatros años, cuya mejora tendrá un beneficio de \$ 1,24 por cada dólar invertido mediante la implementación del proyecto, el proyecto es factible y la inversión se recuperará en 4 años.

Luego de revisar la situación actual de la problemática planteada que es la baja capacidad de producción en la línea de elaboración de tubos de hornos y grilles en la industria abarcando situaciones como excesos de movimientos entre operaciones debido a su distribución de planta, inexistencia de un plan de mantenimientos preventivos, solo se realizan mantenimientos correctivos

estos causan atrasos por ende se tiene que recurrir a usar máquinas de otra línea de fabricación para no parar el proceso, el no cumplimiento de la producción planificada conlleva a laborar horas adicionales generando reducción del margen de utilidad para la empresa. Para minimizar estos inconvenientes se emplea el método de teoría de restricciones para atacar los cuellos de botella y plantear tres posibles soluciones de mejoras las cuales son la elaboración de dispositivos móviles de almacenamiento, la reubicación de maquinarias y la implementación de un plan de mantenimientos preventivos obteniendo mejoras significativas en la elaboración de productos.

Bibliografía

- Bombón, M., Jordán, A., & Jordán, J. (2019). Teoría de restricciones como herramienta de desarrollo estratégico productivo del sector textil. *593 Digital Publisher CEIT*, 5(4). <https://doi.org/10.33386/593dp.2019.5.116>
- Cevallos E., R., & Toro Loo, R. (2020). Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) en un proceso de fabricación de chocolates. *Journal Business Science*, 1.
- Chuquimarca Jiménez, L. E., Cruz, J. C., Delgado Vergara, G., & Solano, E. J. (2022). Diseño y simulación de un sistema de cintas transportadoras para la clasificación de cajas. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2). <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.629>
- Ekleş, E., & Ay Türkmen, M. (2022). Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma: Process Improvement Implementation. *Istanbul Business Research*, 0(0). <https://doi.org/10.26650/ibr.2022.51.938481>
- Escalante, O. (2021). Modelo de balance de línea para mejorar la productividad en una empresa de procesamiento de vidrio templado. *Industrial Data*, 24(1).
- Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. *IEEE Access*, 6. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501>
- Galvan Quispe, A. E. (2018). Incidencia de la Teoría de Restricciones en la Productividad de una Empresa Embotelladora de Gaseosas. In *Facultad de Ingeniería*.

- Govoni, H., de Souza, F. B., Castro, R. F., de Souza Rodrigues, J., & Pires, S. R. I. (2021). Analysis of production resources improvement strategies in make-to-stock environments managed by the simplified drum-buffer-rope system. *Gestao e Producao*, 28(4). <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e55>
- Grida, M., & Zeid, M. (2019). A system dynamics-based model to implement the Theory of Constraints in a healthcare system. *Simulation*, 95(7). <https://doi.org/10.1177/0037549718788953>
- Guananga Díaz, F. R., Muyulema Allaica, J. C., Rodríguez Sevilla, D. I., & Guananga Rodríguez, B. G. (2020). La teoría de restricciones (TOC) y su incidencia en los costos de producción. Caso empresa MIVIRN de Riobamba-Ecuador. *Conciencia Digital*, 3(3.1). <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1.1395>
- Industria 4.0 y economía circular: revisión de la literatura y recomendaciones para una industria sustentable en Ecuador. (2022). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1422
- Jing, N. N., Miao, Y. J., & Zhang, D. H. (2021). An integrated application model and its implementation path of lean six sigma management and theory of constraints. *Journal of Quality*, 28(2). [https://doi.org/10.6220/joq.202104_28\(2\).0004](https://doi.org/10.6220/joq.202104_28(2).0004)
- Jurdziak, L., Blazej, R., & Bajda, M. (2019). Conveyor belt 4.0. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 835. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_61
- Kuo, T. C., Hsu, N. Y., Li, T. Y., & Chao, C. J. (2021). Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.009>
- Lucia Rodríguez, O. (2021). La teoría de restricciones, como fuentes de crecimiento empresarial. *Dictamen Libre*, 29. <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.29.7863>
- Macavilca Escalante, O. V. (2019). Análisis, diagnóstico y propuestas de mejora en el sistema de producción de una empresa metalmeccánica. In Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mora, N., Pupo, J., Novillo, E., & Espinosa, M. (2018). Aplicación de la Teoría de Restricciones en la actividad camaronera de ANDAMAR S.A. (Ecuador): Estrategias para el mejoramiento continuo. 39, 39.
- Optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en una empresa metalmeccánica. (2022). *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 5(2). <https://doi.org/10.37135/ns.01.10.03>
- Pacheco, D. A. de J., Antunes Junior, J. A. V., & de Matos, C. A. (2021). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy? *International Journal of Production Economics*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107955>
- Romero, R. J. D., Ortiz, T. V. K., & Caicedo, R. A. J. (2019). La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de la Producción. Una Aplicación en la Industria de Muebles. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 27(1(2019)).
- Salah, B., Khan, R., Ramadan, M., Ahmad, R., & Saleem, W. (2021). Lab scale implementation of industry 4.0 for an automatic yogurt filling production system—experimentation, modeling and process optimization. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app11219821>
- Samá Muñoz, D., & Díaz Acosta, Y. (2020). La teoría de las restricciones en Unidad Empresarial de Base “El Caito.” *Ciencias Holguín*, 26(2).
- Sukwadi, R., Felicia, Y., & Muafi. (2021). TOC, lean, and six sigma: An integrated model to increase the productivity of the textile industry. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44(1).
- Villegas, J. T. G., Ríos, M. L. S., Villegas, E. O. G., & Saucedo, C. L. C. (2023). Teoría de restricciones en el mejoramiento de procesos productivos. *STUDIES IN MULTIDISCIPLINARY REVIEW*, 4(1). <https://doi.org/10.55034/smr4n1-001>
- Zachciał, A., & Jardzioch, A. (2022). APPLICATION OF SIMULATION RESEARCH TO ANALYSE THE PRODUCTION PROCESS IN TERMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Applied Computer Science*, 18(3). <https://doi.org/10.35784/acs-2022-21>



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.

CITAR ESTE ARTICULO:

Camacho Angulo, M., Banchón Jiménez, S., Barcia Villacreses, K. F., & Allauca Amaguaya, M. (2023). Aplicación de la teoría de restricciones en un proceso productivo con enfoque a la industria 4.0. RECIAMUC, 7(2), 281-304. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.281-304](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.281-304)