



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SURTIMIENTO
DE MATERIAL A LÍNEAS DE PRODUCCIÓN A
TRAVÉS DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL”**

**TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
ING. JORGE LAZARINI DÍAZ BARRIGA**

**DIRECTOR DE TESIS:
M.C. VICENTE FIGUEROA FERNÁNDEZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ ANTONIO VÁZQUEZ LÓPEZ**

CELAYA, GTO., MÉXICO, FEBRERO, 2019



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
en Celaya

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.

Celaya Gto.,

15 de FEBRERO 2019

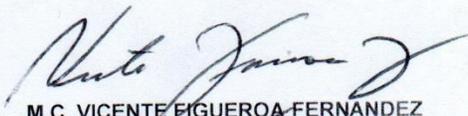
M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.
Presente.

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE SURTIMIENTO DE MATERIAL A LÍNEAS DE PRODUCCIÓN A TRAVÉS DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL"

Presentado por el (a) pasante C. ING. JORGE LAZARINI DIAZ BARRIGA (M1703007) alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto. Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.

ATENTAMENTE

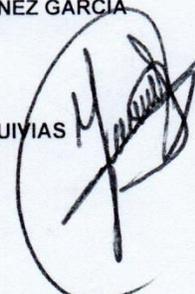

M.C. VICENTE FIGUEROA FERNANDEZ
Presidente




DR. JOSE ALFREDO JIMENEZ GARCIA
Secretario


DR. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ
Vocal

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CELAYA
COORDINACIÓN DE MAESTRÍA
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
Vocal Suplente

Ccp. Escolares
Archivo.
VFF*MTE*DMVP



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada principalmente a mi familia, la cual me ha brindado el apoyo en todos los sentidos.

Todo el esfuerzo y dedicación puesta en este trabajo va dedicado a mis padres, hermanos y a los profesores que formaron parte de él.

Agradezco a mi director de tesis, M.C Vicente Figueroa Fernández y al co-director, Dr. José Antonio Vázquez López los cuales me brindaron el apoyo de su conocimiento para poder enfrentar este gran reto.

Agradezco a mi alma mater, el Instituto Tecnológico de Celaya, el cual me ha brindado la oportunidad de sentar las bases de mi carrera profesional, así como la oportunidad de continuar mis estudios con este master.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo el apoyo brindado para la obtención del grado.

Resumen

El surtimiento en tiempo a líneas de producción es uno de los factores más importantes debido a que impacta directamente en el tiempo requerido para la fabricación de algún producto que requiere un cliente. Aunque el tiempo perdido en la fabricación del producto debido a la falta de material en líneas de producción es indirecto, afecta directamente al Takt Time de una línea de producción. Esto puede causar muchos problemas de logística y coordinación en una empresa.

El propósito de controlar el tiempo de surtimiento a líneas de producción es el de reducirlo hasta el mínimo necesario para estas tareas. Cuando se dice que se controlara el tiempo, se refiere a actuar de manera rápida ante la demanda de materia prima en las líneas de producción mediante las tecnologías computacionales. El método a usar para este problema son las Redes Neuronales Artificiales.

La propuesta consiste en un sistema de surtimiento de material a líneas de producción mediante redes neuronales artificiales que dé señales en tiempo real a todos los departamentos involucrados en el surtimiento del material a la línea. Esto para que estos departamentos estén avisados del estado actual de consumo de material así como el faltante a producir en dicha línea.

El uso de redes neuronales artificiales que permitan adelantarse al agotamiento de material a líneas de producción es un campo nuevo de investigación. Esta obra propone los primeros pasos para crear una red neuronal artificial capaz de dar conocimiento en tiempo real de los faltantes de material, así como los faltantes de fabricación.

Las limitaciones de esta obra igualmente son muchas, debido a que es la primera incursión a este tema. El objetivo es que sirva como guía para el futuro de las investigaciones relacionados a este tema en particular.

Abstract

The time taken by the supply system of a production line is one of the most important factors because it impacts directly on the require time of the fabrication of the final product. This time affects the Takt Time of the production. This may cause a lot of problems in the coordination and logistic of a company.

The purpose of controlling the time of the supply system of a production line is to reduce it to the minimum necessary for these task. We are referring to the quick actions taken to supply the production system as controlling the time. The metod used in these problema is the artificial neural networks.

The approach consists in developing a materials supply system to production lines through artificial neural networks. This network is in charge of giving live signals to all the departments involved in the task of supplying the materials to the production lines.

The use of artificial neural networks that get ahead of the run out of material in the production line is a new field of investigation. This work propose the first steps to create a artificala neural network capable of giving live signals of the missing material in the production lines.

There are many limitations in these work, the cause of this is that is the first incursion in this subject. The goal of the work is to be used as a guide to further investigation related to this subject.

Índice

Dedicatoria	3
Resumen	4
Abstract	5
Índice de ilustraciones.....	8
Índice de tablas	9
1. Planteamiento del problema	10
1.1 Introducción	10
1.2 Descripción del problema	10
1.3 Objetivo general	11
1.4 Objetivos particulares	11
1.5 Preguntas de investigación	12
1.6 Justificación	12
1.7 Hipótesis	13
1.8 Alcance y limitaciones	13
1.9 Resultados esperados.....	13
2. Marco teórico.....	14
2.1 Administración de las operaciones.....	14
2.1.1 Sistemas de producción	15
2.1.2 Manufactura Esbelta	18
2.1.3 Mizusumashi	29
2.2 Redes neuronales artificiales	30
2.2.1 Elementos básicos	33
2.2.2 Topologías.....	40
2.2.3 Entrenamiento	43
2.3 Estado del arte.....	44
2.3.1 Reducción de las pérdidas de producción por falta de material	44
2.3.2 Sistema Kanban para la disminución de paradas en las maquinas por falta de material	45
2.3.3 Análisis de rendimiento transitorio de líneas de producción en serie con máquinas geométricas	45

3. Marco metodológico	46
3.1 Variables que influyen en el agotamiento de material en una línea de producción ...	46
3.2 Elección de Red neuronal artificial, parámetros y características.	47
3.3 Entrenamiento	48
3.3 Arreglos para más de una línea de producción	48
4 Resultados.....	49
4.1 Red neuronal artificial	49
4.2 Funcionalidad de la red neuronal artificial	49
4.3 Revisión del sistema de RNA	51
4.4 Arreglos para más de una red neuronal artificial	52
5. Conclusión	53
Anexo I.....	55
Anexo II.....	60
Bibliografía.....	70

Índice de ilustraciones

Ilustración 2.1 Flujo de material en un sistema de producción genérico.	167
Ilustración 2.2 Flujo de material en una línea de ensamble.	178
Ilustración 2.3 Flujo de material en una producción en lotes.	189
Ilustración 2.4 Mapeo de la corriente de valor.	201
Ilustración 2.5 Filosofía JIT	245
Ilustración 2.6 Sistema Pull.	267
Ilustración 2.7 Esquema de una RNA de tres capas.	345
Ilustración 2.8 Similitudes entre neurona biológica y artificial.	345
Ilustración 2.9 Función escalón.	378
Ilustración 2.10 Función lineal a tramos.	389
Ilustración 2.11 Función sigmoideal logarítmica.	390
Ilustración 2.12 Arquitectura de un Perceptrón mono-capa.	412
Ilustración 4.1 Arreglo de la red neuronal artificial utilizada.	490

Índice de tablas

Tabla 4.1 Entradas para el entrenamiento de la red neuronal artificial.....5 50

Tabla 4.2 Salidas para el entrenamiento de la red neuronal artificial. **Error! Bookmark not defined.**50

Tabla 4.3 Salidas alternas para el entrenamiento de la red neuronal artificial. 51

1. Planteamiento del problema

1.1 Introducción

Un buen surtimiento y monitoreo de materiales en las líneas de producción es un factor muy importante para el éxito dentro de las industrias manufactureras. Evitar problemas relacionados a pérdidas de tiempo es igual a generar más producción y por ende más ganancias.

Dentro de una empresa la importancia de una línea de producción eficaz radica en el cumplimiento de objetivos de producción en el tiempo determinado. Los tiempos de entrega son programados para surtir el producto terminado en el tiempo indicado. Sirven también para generar conocimiento del momento preciso en el que se va a dejar de utilizar las estaciones de trabajo para poder fabricar el siguiente lote programado en esa línea.

Teniendo estos objetivos trazados, es de suma importancia dar un seguimiento cercano a cualquier retraso en la escasez o surtimiento inicial de artículos que pueda surgir en la línea de producción. El proceso actualmente es llevado por personal humano. Se requiere de dar respuestas más prontas a las necesidades, implementando sistemas más rápidos y eficientes a la hora de localizar un posible error en los faltantes de artículos en una línea de producción.

La propuesta consiste en el diseño de un programa en base a redes neuronales artificiales. Este programa tendrá la tarea de procesar ciertos datos importantes relacionados con la producción en proceso y las consecuentes. Con dichos datos se buscara generar alertas de aviso y prevención sobre faltantes de materiales o falta de tiempo para completar un lote antes de que el siguiente lote entre en proceso.

1.2 Descripción del problema

El surtimiento de líneas de producción en la gran mayoría de empresas a nivel mundial es controlado o intervenido por el factor humano. Normalmente el cálculo de los artículos necesarios para un lote de producción es generado por la parte gerencial de la empresa. Estos cálculos no consideran artículos defectuosos o pérdidas de tiempos en la línea por lo que se vuelve una línea de producción muy inflexible.

Una unidad humana, es la encargada de monitorear de manera física y periódica las cantidades existentes y faltantes de ciertas estaciones de trabajo. Este personal no cuenta con el conocimiento en tiempo real de lo que puede suceder en la línea de producción por el hecho de no estar físicamente presentes en ellas y por lo tanto no están totalmente informados para dar una respuesta rápida a un problema de faltantes.

Teniendo una línea de producción inflexible, esto se puede contrarrestar con tiempo de respuesta rápido por parte de los surtidores de inventario a línea. En las empresas con grandes distancias entre estaciones y almacén esto resulta un gran problema.

Con esta investigación se pretende diseñar un sistema en base a modelos de redes neuronales artificiales que apoye la actividad realizada por el encargado de monitorear las cantidades existentes y faltantes de cada estación en la línea de producción. Esto con la finalidad de crear un lazo de información inmediato entre líneas y almacén.

1.3 Objetivo general

Diseñar un sistema de surtimiento de material a líneas de producción a través de una red neuronal artificial para evitar el agotamiento de material en las líneas de producción.

1.4 Objetivos particulares

- Analizar los sistemas de líneas de producción.
- Analizar factores que intervienen en el agotamiento de material en las líneas de producción.
- Desarrollar una red neuronal artificial para el surtimiento de material a líneas de producción.
- Entrenar una red neuronal artificial para el surtimiento de material a líneas de producción.
- Validar el diseño de la red neuronal artificial para el surtimiento de material a líneas de producción.

1.5 Preguntas de investigación

¿Cómo se logran establecer los factores relacionados al surtimiento de material a líneas de producción?

¿De qué manera se puede diseñar un sistema de redes neuronales para el control de surtimiento de material a líneas de producción considerando los factores relacionados al ritmo de producción y consumo de material dentro de esta?

1.6 Justificación

La administración de operaciones son procesos de suma importancia dentro de una empresa. El tener buena administración de operaciones da como resultado la toma de buenas decisiones dentro de una línea de producción. Con estas decisiones la línea de producción se vuelve estable y se llegan a controlar tiempo de proceso para el surtimiento de la demanda a tiempo además de reducir tiempos de producción y desperdicios.

Los problemas dentro de la industria pueden ser también por falta de comunicación entre personal, esto genera una oportunidad a las redes neuronales para usarse como herramienta de respuesta rápida en líneas de producción. Cuando se generen problemas en el entorno con modelos matemáticos o estadísticos complejos, las redes neuronales artificiales pueden ser una gran herramienta debido a su aproximación a la solución de manera relativamente rápida.

Las respuestas rápidas generadas por las redes neuronales crean la oportunidad de diseñar e implementar un sistema de surtimiento a líneas de producción del tipo inteligencia artificial como lo son las redes neuronales artificiales.

Utilizando conocimiento acerca de las redes neuronales artificiales se busca diseñar un programa para indicar ¿cuánto?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿qué? se va a surtir a la línea de producción para evitar tiempo muerto por falta de material.

La propuesta de esta investigación es la creación de un sistema de surtimiento a líneas de producción utilizando redes neuronales artificiales evitando tiempo muerto en líneas de producción para optimizar la producción y cumplir con tiempos de entrega establecidos.

“Esta tesis se enfoca en estudiar la administración de operación en el área de surtimiento a líneas de producción desde almacén hasta como se puede mejorar este sistema por medio de RNA.”

1.7 Hipótesis

Es compatible el diseño de un sistema de surtimiento a líneas de producción a través de una red neuronal artificial con el surtimiento de líneas de producción y evitar el agotamiento de material temprano.

1.8 Alcance y limitaciones

El alcance de esta investigación abarca desde la estructuración de un sistema de surtimiento a través de una red neuronal hasta el diseño y entrenamiento del mismo. La estructura del sistema se verá limitado por variables establecidas en esta investigación que se relacionen con el surtimiento de las líneas de producción.

1.9 Resultados esperados

El resultado esperado de esta investigación es el probar la viabilidad del diseño de un sistema de surtimiento a líneas de producción a través de una red neuronal artificial. De manera que si es posible, se identifiquen las variables que se deben de considerar para que el sistema funcione de manera rápida y eficaz.

2. Marco teórico

2.1 Administración de las operaciones

La administración de operaciones y suministros ha sido un elemento medular para el incremento de la productividad que han registrado empresas de todo el mundo para crear una ventaja competitiva (Chase & Jacobs, 2008).

La administración de operaciones despierta el interés de quienes quieren participar directamente en la fabricación de productos o la prestación de servicios. El especialista en operaciones al nivel de ingreso es la persona que determina el mejor camino para diseñar, suministrar y manejar los procesos (Heizer & Render, 2004).

Dichos procesos hacen de una empresa convencional una empresa de clase mundial. La empresa mejora siguiendo medidas como la exportación o seguimientos muy detallados de sus procesos en base a tecnologías de operación y control para evitar pérdidas en la producción.

La administración de operaciones es el área de la administración de empresas dedicada tanto a la investigación como a la ejecución de todas aquellas acciones tendientes a generar el mayor valor agregado mediante la planificación, organización, dirección y control en la producción tanto de bienes como de servicios, destinado todo ello a aumentar la calidad, productividad, mejorar la satisfacción de los clientes, y disminuir los costes. A nivel estratégico el objetivo de la Administración de Operaciones es participar en la búsqueda de una ventaja competitiva sustentable para la empresa.

Sus funciones básicas son las siguientes:

- **Procesos:** Es el diseño del sistema de producción material. Donde se toma una decisión del tipo de tecnología que se utilizará, la distribución de las instalaciones, analizan el proceso, equilibrio de las líneas, control de proceso y análisis de transporte.

- **Capacidad:** Es la determinación de niveles óptimos de producción de la organización ni demasiado ni pocos; las decisiones específicas abarcan pronósticos, planificación de instalaciones, planificación acumulada, programación, [planificación] de capacidad y análisis de corridas.
- **Inventario:** Es la administración de niveles de materias primas, trabajo en proceso y productos terminados. Las actividades específicas incluyen ordenar, cuándo ordenar, cuánto ordenar y el manejo de materiales.
- **Fuerza de trabajo:** Es la administración de empleados especializados, semiespecializados, oficinistas y administrativos. Las actividades a desempeñar se pueden resumir en diseñar puestos, medición del trabajo, capacitación a los trabajadores, normas laborales y técnicas de motivación.
- **Calidad:** Es la parte encargada de garantizar la calidad de los productos y servicios que ofrece. Las actividades a desempeñar dentro de estas funciones son controlar la calidad, muestras, pruebas, certificados de calidad y control de costos.

2.1.1 Sistemas de producción

En el sentido más amplio, un sistema de producción es cualquier actividad que produzca algo. Sin embargo, se definirá de manera más formal como aquello que toma un insumo y lo transforma en una salida o producto con valor inherente (Sipper & Bulfin, 1998).

El alma de cualquier sistema de producción es el proceso de manufactura. El proceso de flujo tiene dos componentes importantes: materiales e información. El flujo físico de los materiales se puede ver en la Ilustración 2-1, pero el flujo de información es intangible y más difícil de rastrear. La nueva tecnología de la información ha dado otra forma a los sistemas de producción, de tal manera que el flujo de información es crítico debido a su retroalimentación de información (Sipper & Bulfin, 1998).

Los sistemas de información actual buscan la comunicación y retroalimentación de todos los departamentos de una empresa para poder estar informados, además de tener conocimiento

de cualquier necesidad o problema que tengan dichos departamentos. Con esto se busca el no afectar la producción y las ventas, las cuales son la meta de la empresa.

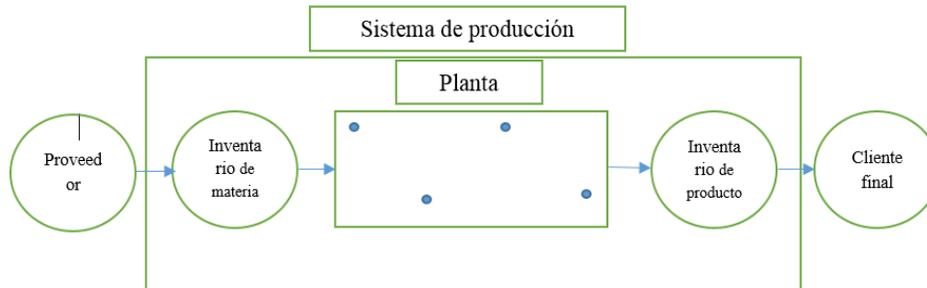


Ilustración 2.1 Flujo de material en un sistema de producción genérico.

Las decisiones de selección de un proceso son de carácter estratégico; requieren una perspectiva a largo plazo y una gran cantidad de coordinación interfuncional ya que los aspectos de mercadotecnia, finanzas, recursos humanos y operaciones son afectados por estas decisiones. Las decisiones de selección de procesos tienden a hacer un uso intensivo del capital y no pueden cambiarse con facilidad; por lo tanto, la empresa está comprometida con la selección de un proceso y quedará vinculada a esas decisiones durante muchos años (Scroeder & Goldstein, 2011).

Existen cuatro tipos de flujos de productos: proceso continuo, línea de ensamble, lote y proyectos. En la manufactura, el flujo del producto es el mismo que el de materiales, pues ambos están procesando el producto. En los servicios, puede no haber un flujo de producto, pero sí un flujo de clientes, materiales o información (Scroeder & Goldstein, 2011).

2.1.1.1 Proceso continuo

El proceso continuo es una serie de depósitos que la materia prima debe recorrer en serie para ser transformada en producto final. Normalmente carece de alto personal humano debido a la automatización de este proceso. Un ejemplo sería una refinería (Chase & Jacobs, 2008).

El proceso continuo es un proceso especialmente para la fabricación de productos no diferenciados como lo es la materia prima. El costo del producto final se convierte en el factor

decisivo de generación de demanda. Debido a esto, los procesos continuos operan casi totalmente automatizados y a su máxima capacidad.

2.1.1.2 Proceso en línea de ensamble

El proceso de línea de ensamble se caracteriza por un proceso consecutivo de operaciones en línea en el que el producto se desplaza desde la primera operación hasta la última. Se crean productos discretos como coches, computadoras, etc. (Scroeder & Goldstein, 2011).

La producción de línea de ensamble es muy eficaz a la hora de trabajar con grandes volúmenes pero su desventaja se ve descubierta en su falta de flexibilidad en el cambio de volumen de trabajo o modificaciones al producto.

En la Ilustración 2.2 se muestra el flujo de material dentro de un proceso en línea de ensamble.

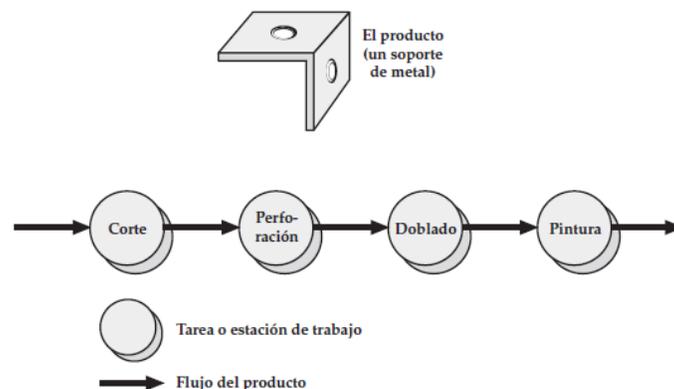


Ilustración 2.2 Flujo de material en una línea de ensamble.

2.1.1.3 Proceso en lotes

Un proceso en lotes es la transformación del producto en lotes o paquetes; cada lote de producto tiene una ruta distinta dentro del sistema de producción, dependiendo de las necesidades de transformación de cada lote (Scroeder & Goldstein, 2011).

En este tipo de flujo discontinuo es muy recomendable tener una logística de flujo de material muy eficaz ya que se pueden crear colas de espera de productos debido a la interferencia que pueden sufrir los diferentes tipos de lote dentro de una producción.

En la Ilustración 2.3 se muestra el flujo de material dentro de un proceso de lotes.

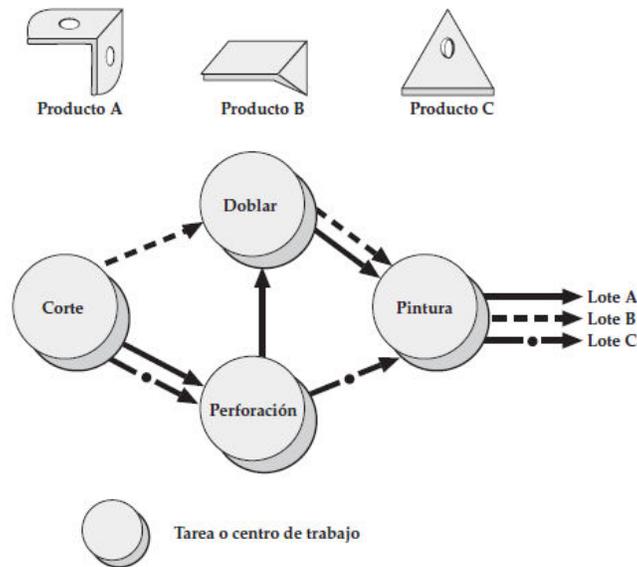


Ilustración 2.3 Flujo de material en una producción en lotes.

2.1.1.4 Producción por proyecto

En el contexto de las operaciones, la forma de proyectos se aplica para productos únicos o creativos (Chase & Jacobs, 2008). El producto no fluye dentro de un proyecto debido a que este se traslada a él, mientras él es estacionario.

Los grandes problemas que presentan los proyectos son de índole organizacional además la mano de obra debe de ser altamente calificada para el proyecto debido a que este es único, esto genera un costo de producción muy alto. Un proyecto se genera cuando el cliente requiere especificaciones especiales en un producto o servicio.

2.1.2 Manufactura Esbelta

La producción esbelta es un conjunto integrado de actividades diseñado para lograr la producción utilizando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes

terminados. Las piezas llegan a la siguiente estación de trabajo “justo a tiempo” por sus siglas en inglés (JIT), se terminan y se mueven por todo el proceso con rapidez. La producción esbelta se basa también en la lógica de que no se va a producir nada hasta que se necesite. La necesidad de producción se crea con base en la demanda real del producto (Chase & Jacobs, 2008).

La Manufactura Esbelta son varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Reducir desperdicios y mejorar las operaciones. La Manufactura Esbelta nació en Japón y fue concebida por los grandes gurús del Sistema de Producción Toyota

Principios de la Manufactura Esbelta

Según (Scroeder & Goldstein, 2011) existen cinco principios en la Lean Manufacture:

- El primer principio de la filosofía de la manufactura esbelta es especificar precisamente qué es aquello acerca de un producto o servicio que crea valor desde la perspectiva del cliente.
- El segundo principio es identificar, estudiar y mejorar la corriente del valor del proceso para cada producto o servicio. La corriente de valor identifica todos los pasos y tareas de procesamiento que se emprenden para completar un producto o para proporcionar un servicio desde el principio hasta el fin; por lo tanto, una corriente común de valor puede incluir pasos y tareas de procesamiento con o sin un valor añadido.

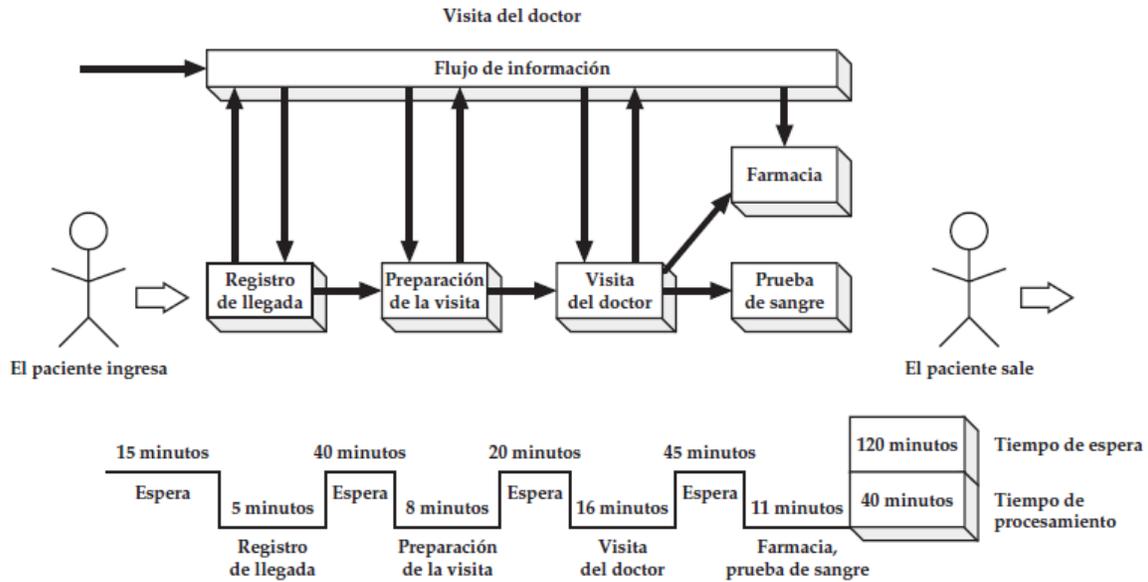


Ilustración 2.4 Mapeo de la corriente de valor.

La representación resultante de la corriente de valor ilustra los puntos iniciales y finales del proceso en la Ilustración 2.4, los pasos y las tareas entre esos puntos y la información de desempeño relevante del proceso. Los mejoramientos al proceso provienen de la observación del mapa de la corriente de valor y, posteriormente, de la formulación y la respuesta de la pregunta: ¿Por qué es necesario este paso o esta tarea en la creación de valor para el cliente? Los pasos y las tareas de procesamiento que no son indispensables o que no agregan valor pueden eliminarse para optimizar el desempeño y, en última instancia, mejorar el valor del producto o servicio otorgado al cliente.

- El tercer principio de la filosofía de la manufactura esbelta consiste en asegurarse de que el flujo de un proceso sea simple, uniforme y libre de errores, evitando con ello el desperdicio.
- El cuarto principio de la filosofía de la manufactura esbelta es producir sólo lo que el cliente requiere (JIT), lo que implica que, para su cumplimiento, se reemplace la mentalidad de productos propuestos por la empresa en la producción tradicional en masa por la de productos demandados por el cliente en la producción esbelta.

- El quinto principio de la filosofía de la manufactura esbelta es esforzarse en la perfección, lo que implica un mejoramiento continuo de todos los procesos, así como un cambio radical cuando ello es necesario.

La implantación de Manufactura Esbelta es importante en diferentes áreas, ya que se emplean diferentes herramientas, por lo que beneficia a la empresa y sus empleados. Algunos de los beneficios que genera son:

- Reducción de 50% en costos de producción
- Reducción de inventarios
- Reducción del tiempo de entrega
- Mejor Calidad
- Menos mano de obra
- Mayor eficiencia de equipo
- Disminución de los desperdicios
- Sobreproducción
- Tiempo de espera (los retrasos)
- Transporte
- El proceso
- Inventarios
- Movimientos

2.1.2.1 JIT (Just in Time)

JIT es una filosofía de solución de problemas que apoya a la Lean Manufacture. Las técnicas de la filosofía JIT propone que los suministros se “jalen” por la producción en el punto exacto en el que son necesarios. Estos beneficios apoyan las estrategias de respuesta rápida y bajo costo.

Muchas veces esta técnica es confundida como instrumento para la eliminación de inventario y pasar la responsabilidad de este a los proveedores. En realidad es una filosofía industrial la cual se enfoca en eliminar el desperdicio dentro de los procesos de producción. Con una implementación adecuada del JIT, las empresas pueden crear de su proceso de fabricación un arma estratégica.

Los beneficios a corto plazo del JIT se enfocan en reducir costos y generar mayores utilidades. Esto es solamente un alcance mínimo que puede tener una implementación adecuada del JIT. El beneficio a largo plazo y el ideal por el cual se debe implementar el JIT es la fabricación fabril ágil, de calidad, eficiente y capaz de responder de forma rápida a las demandas del cliente (Hay, 1989).

El JIT trae muchas ventajas, que incluyen los siguientes:

- Reduce los niveles de inventarios necesarios en todos los pasos de la línea productiva y, como consecuencia, los costos de mantener inventarios más altos, costos de compras, de financiación de las compras y de almacenaje.
- Minimiza pérdidas por causa de suministros obsoletos.
- Permite (exige) el desarrollo de una relación más cercana con los suministradores.
- Esta mejor relación facilita acordar compras aseguradas a lo largo del año, que permitirán a los suministradores planearse mejor y ofrecer mejores precios.
- El sistema es más flexible y permite cambios más rápidos.

Por otra parte, el JIT no es sólo ventajas, también trae sus inconvenientes, que incluyen los siguientes:

- El peligro de problemas, retrasos y de suspensiones por falta de suministros, que pueden causar retrasos y suspensiones de la línea productiva e impactar los gastos negativamente.
- Limita la posibilidad de reducción de precios de compra si las compras son de bajas cantidades aunque, dependiendo de la relación con el suministrador, esta desventaja se puede mitigar.
- Aumenta el coste de cambiar de suministrador.

Eliminación del desperdicio

El desperdicio es cualquier cosa que no sea la mínima cantidad de equipo, material, piezas y obreros absolutamente esencial para la producción. Dichos desperdicios van encareciendo el producto en la cadena de valor (Chase & Jacobs, 2008).

Mencionando el entendimiento sobre el JIT, existen tres tipos básicos de componentes para eliminar el desperdicio:

- Imponer equilibrio, sincronización y flujo en el proceso fabril.
- Generar dentro de la empresa una actitud sobre la calidad como lo es el “hacerlo bien a la primera”.
- Participación de los empleados.

Esta última se refiere a la participación del empleado de mayor jerarquía hasta el de menor, trabajando en conjunto en la función de eliminar desperdicios. En la Ilustración 2-5 se muestra un diagrama de la filosofía JIT y la eliminación de desperdicios gracias a las diferentes acciones tomadas (Hay, 1989).

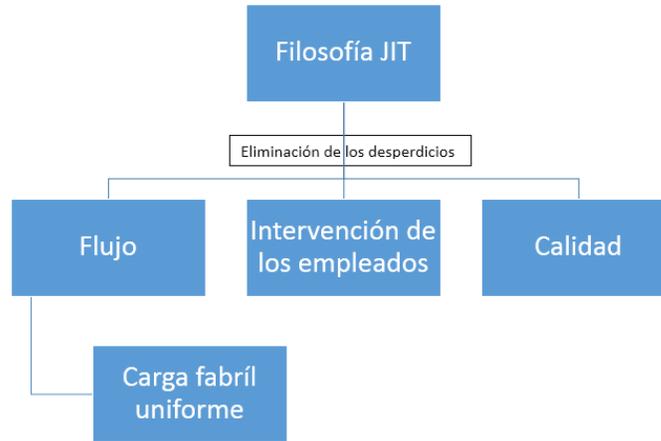


Ilustración 2.5 Filosofía JIT

Tiempos de preparación minimizados

La norma del JIT es fabricar lotes pequeños para facilitar su manejo, es por eso que se debe contar con un equipo de empleados que prepare y adecue velozmente las líneas de producción para el producto a realizar en el momento. Lo que se busca con los tiempos de preparación minimizados, es lograra fabricar lotes pequeños sin el elevado gasto de tiempo de preparación que normalmente tienen las máquinas con elementos de difícil manejo (Chase & Jacobs, 2008).

Consecuente a lo anterior, es indispensable capacitar a los empleados en preparar los elementos necesarios en cada máquina para la fabricación de distintos modelos. Esta capacitación no solo considera el cambio de molde como tal si no la velocidad en la que se realiza dicho cambio.

Sistemas Pull y Push

Unos de los principios (4to) de la Manufactura Esbelta mencionado con anterioridad, plantea que se debe producir solo lo que el cliente requiera (Pull), a comparación de la producción convencional en la que su producción se rige por la capacidad de la maquina (Push).

Una mentalidad de productos propuestos (Push) tiene como finalidad producir bienes o asegurar el suministro de servicios con mucha anticipación a la demanda, con frecuencia de

acuerdo con un programa o plan creado a partir de pronósticos inexactos. En este caso, fuertes lotes de materiales de un proceso o de una máquina se transfieren a la siguiente independientemente de que se necesite el inventario o no. Esto permite que las máquinas y los procesos se utilicen a toda su capacidad para reducir los costos y el inventario se considera un activo valioso (Scroeder & Goldstein, 2011).

En contraste, una mentalidad de productos requeridos (Pull) por el cliente espera hasta que el consumidor final señala una necesidad de bienes o servicios antes de producir bienes o servicios para satisfacerla.

El sistema que sustenta al JIT es el de jalar (Pull). En dichos sistemas se usan señales en cada estación para dar conocimiento a la estación anterior de que requiere material proveniente de ella para poder continuar con su producción.

En teoría, cuando un artículo se vende, el mercado jala un reemplazo de la última posición en el sistema; el ensamblado final, en este caso (Chase & Jacobs, 2008).

Este sistema se implementa tanto en la planta productora como en el proveedor. Se toma como cabeza de la pirámide al cliente que jala un producto y con esta acción se empiezan a encender las señales de que se requiere fabricar dicho producto. Este proceso es explicado en la Ilustración 2.6.

Lo ideal para el sistema jalar es la producción de pequeños lotes justo cuando se necesitan, esto para eliminar el excedente de inventario, lo cual a su vez, hace evidentes los problemas dentro de la línea de producción para posteriormente mejorarlos de manera continua.

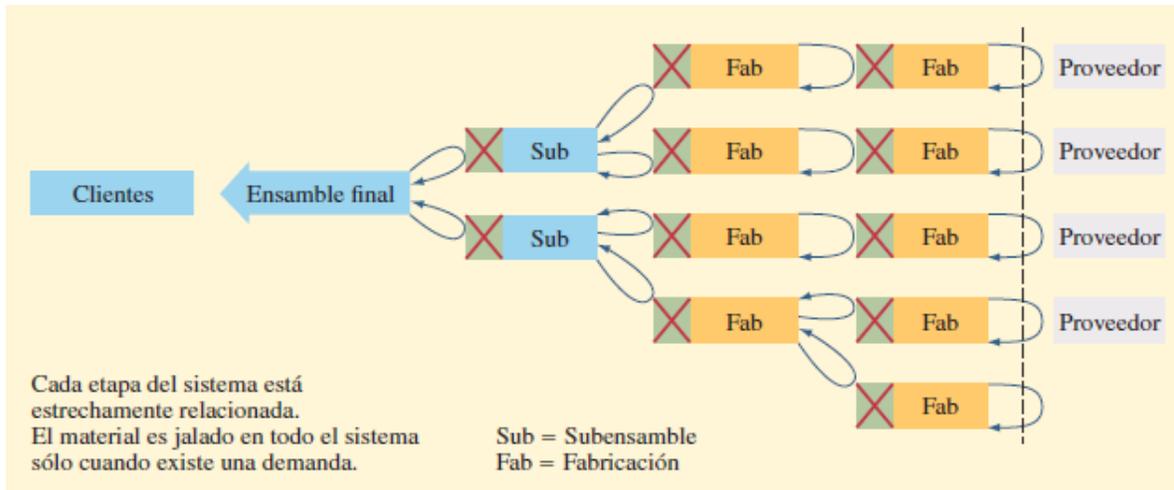


Ilustración 2.6 Sistema Pull.

2.1.2.2 Carga fabril uniforme

Uno de los principales componentes del JIT para eliminar desperdicios es la carga fabril uniforme. Una carga fabril uniforme consta de tres conceptos: equilibrio, sincronización y flujo.

La filosofía JIT requiere de equilibrio para que haya flujo y que, por tanto, el equilibrio es la importancia primordial por encima de del factor rapidez. Con esto surge la siguiente pregunta: ¿Qué se debe equilibrar con respecto a qué?

Según el concepto de carga fabril uniforme como su nombre lo dice, se encarga de nivelar la carga (frecuencia de producción) con respecto al tiempo de ciclo. La definición de tiempo de ciclo dentro de la filosofía JIT se relación con respecto a la demanda, es decir, es un índice de la demanda y no el tiempo que una máquina requiere para cumplir su trabajo como en un sistema Push (Hay, 1989).

El principio del tiempo de ciclo dice que el ritmo de producción debe ser igual al índice de demanda. El tiempo de ciclo no debe de ser equivalente al ritmo de producción de la máquina, si no al ritmo de necesidad del mercado.

Lo que se busca con una carga fabril uniforme es eliminar el crecimiento piramidal que sufre el pedido a lo largo de la cadena de suministro. Por ejemplo: Un cliente demanda una pieza

diariamente, su fabricación y distribución se realizan semanalmente, sus componentes se fabrican mensualmente y el abastecimiento de la materia prima es trimestral.

El componente “carga fabril uniforme” de la filosofía JIT, trata de tomar una demanda de un determinado tiempo (normalmente un mes), dividirlo en demanda diaria (días hábiles de producción) y fabricarlo para que la oferta sea igual a la demanda para cada día hábil de producción.

Determinación del ritmo de producción

El ritmo de producción como su nombre lo dice, es el ritmo en el cual tu línea de producción produce un producto terminado. Esto se genera sumando todas las demandas en un determinado periodo de tiempo (recomendado por mes) de cada uno de los modelos y luego se convierte a producto unitario entre una unidad de tiempo pequeña (minutos o segundos).

El tener una línea que produce 100 unidades al mes cuando la demanda es de 50 en ese mismo mes, se dice que se está trabajando al ritmo de la máquina y no al de la demanda que es lo que se busca con la filosofía del JIT.

Lo que se busca es tener una línea con una fuerza de trabajo (Flexible) necesaria para cubrir una demanda en tiempo y forma, por el contrario evitar una línea de producción con una fuerza de trabajo (Inflexible) necesaria para producir al ritmo de las máquinas.

La variable a generar dentro de la determinación del ritmo de producción es igual al número de operarios necesarios dentro de esta línea de producción para cubrir una demanda establecida.

Nivelación de la carga

La nivelación de la carga en conjunto con la filosofía JIT es un concepto que busca minimizar el tamaño de los lotes de producción (tradicionalmente lotes mensuales o semanales) a lotes preferiblemente de un día. Esto con la finalidad de volver flexible la oferta en función de una

demanda que presenta irregularidades dentro del lapso del tiempo en el que se está fabricando dicha demanda.

Estos lotes deben contar con la producción equivalente a un día de todos los modelos que produce la empresa. La ventaja principal que esta práctica proporciona es la rápida respuesta ante cambios en la demanda de un cierto modelo sin descuidar las demandas de otros modelos o evitar los sobrantes al final de mes de dicho modelo (Hay, 1989).

Otras ventajas que se pueden apreciar al aplicar nivelación de carga son:

- Reducción de inventario.
- Tiempos de producción más cortos.
- Mejoramientos en la calidad.
- Flexibilidad en combinar productos.
- Mejoras en las curvas de aprendizaje.

Takt Time (Ritmo de producción)

El Takt Time es un indicador usado para indicar el ritmo de producción con el que la línea de producción debe de estar produciendo para satisfacer la demanda del cliente. El Takt Time quiere indica que los ritmos de producción y ventas están sincronizados.

El cálculo del Takt Time se indica en la Ecuación. 2.1,

$$Takt\ Time = \frac{T}{c} \quad 2.1$$

Donde:

T: Tiempo de producción disponible.

C: Cantidad total requerida.

El Takt Time es una herramienta que ayudara a fraccionar las unidades y el tiempo requerido para cumplir con una demanda de un tiempo relativamente largo (1 mes) en fracciones de tiempo más pequeñas (1 día) para poder tener tiempos flexibles y evitar problemas de tiempos de entrega cuando se genera algún inconveniente como tiempos caídos o cambios en la demanda.

El Takt Time debe ser ajustado siempre que la demanda o el tiempo de producción disponible cambien.

Pitch (Lote controlado)

Estado ideal de cualquier sistema de jalar consiste en la eliminación de todos los desperdicios y en la creación de un flujo continuo de una pieza desde la obtención de la materia prima hasta que se embarcó (Villaseñor Contreras & Galingo Cota, 2007).

Pitch es una cantidad de piezas por unidad de tiempo basada en el Takt time requerido para que las operaciones realicen paquetes con cantidades predeterminadas de trabajo en proceso. En consecuencia Pitch es el Takt time del producto por la cantidad de unidades en el paquete como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$Pitch = Takt\ time \times D \quad 2.2$$

Donde:

D: Cantidad de unidades en el paquete.

2.1.3 Mizusumashi

Mizusumashi es un tipo de surtimiento a línea que opera con información obtenida de la línea de producción como lo es el trabajo en proceso, inventario y partes a ser surtidas a su línea

de producción específica en el tiempo, lugar y cantidad exacta para que no se generen desperdicios (Noruma & Takakuwa, 2006).

El Mizusumashi como un elemento de la micrologística o logística interna de una misma planta encargada de aprovisionar los puestos de trabajo de materia prima y recoger el producto terminado.

La propuesta Lean para mejorar el rendimiento de los operarios que ensamblan productos (montaje) es poner en marcha un sistema water spider, basado en el principio básico del JIT que actuará de dos maneras:

- En primer lugar, el water spider proporciona las piezas necesarias para cada operario de manera que este último pueda concentrarse en la tarea de valor añadido de ensamblaje.
- En segundo lugar, el water spider asume las tareas no repetitivas del operario de modo que se definen perfectamente los estándares de trabajo del operario. De esta manera, los desperdicios de la línea de ensamblado (montaje) se hacen más visibles por lo que es más fácil descubrir las oportunidades de mejora.

2.2 Redes neuronales artificiales

Las RNA (Redes Neuronales Artificiales) es un tipo de programación no lineal con una función similar a la forma en que funciona el cerebro; sin embargo no se pueden comparar con el cerebro humano ni confundir los principios que fundamentan el funcionamiento de las RNA's, ya que estas solo emulan una parte muy simple del cerebro humano.

La neurona biológica está compuesta por el cuerpo de la célula (soma) y dos tipos de ramificaciones: el axón y las dendritas. La neurona recibe señales (impulsos) de otras neuronas a través de sus dendritas y transmite señales generadas por el cuerpo de la célula a través de axón. Una de las características de las neuronas es su capacidad de comunicarse (sinapsis), de manera concreta las dendritas y el cuerpo celular reciben señales de entrada; el

cuerpo celular las combina e integra y emite señales de salida. El axón transmite dichas señales en las que transmite información.

Las señales que se utilizan son eléctricas y químicas, la señal generada es un impulso eléctrico y la señal que se transmite de una neurona a otra son de origen químico. Para asociar la actividad sináptica con la analogía de las RNA's se considera que las señales que llegan a la sinapsis son las entradas a la neurona; estas son ponderadas a través de un parámetro denominado peso, asociado a la sinapsis correspondiente. Estas señales de entrada pueden excitar a la neurona o inhibirla (con un peso positivo y negativo respectivamente). El efecto es la suma de las entradas ponderadas (Ponce Cruz, 2010).

Las RNA es un sistema que procesa información de manera similar a las neuronas biológicas. Se desarrollan como generalizaciones de modelos matemáticos de la cognición humana o biología neural, basados en las siguientes suposiciones (Fausett, 1994).

- El proceso de la información ocurre en unos elementos simples llamados neuronas.
- Las señales son transportadas a través de conexiones.
- Cada conexión cuenta con pesos asociados a ellas, los cuales multiplican la señal de entrada.
- Cada neurona debe contar con una función de activación (normalmente no lineal) aplicada a la señal de entrada para determinar la señal de salida.

Una RNA consiste en un número finito de elementos procesadores de información llamados neuronas o nodos. Cada neurona está conectada con otras neuronas junto con sus respectivos pesos por cada conexión. Este peso es usado por las neuronas como herramienta para resolver problemas.

Cada neurona cuenta con una función de activación la cual se aplica a la señal de entrada para generar una señal de salida. Las neuronas solo pueden mandar una señal a la vez. Esta señal puede ser mandada a varias neuronas a la vez.

Una RNA es un procesador masivo de información distribuida en paralelo hecho a base de simples unidades de procesamiento llamada neuronas. Estas neuronas tienen la capacidad de almacenar experiencia sobre la información recibida y usarla para posteriores procesamientos (Haykin, 1999).

La señal de salida es representada en la Ecuación 2.3.

$$H_i(t) = \sum_{j=1}^N (X_j * W_j) + b_t \quad 2.3$$

Donde:

$H_i(t)$: Señal de salida de la neurona t.

X_j : Señal de entrada procedente de j.

W_j : Peso asociado a la entrada j.

b_t : Bias-Valor umbral de la neurona t.

El bias es un umbral externo aplicado a la señal de entrada para relacionar la señal de entrada con la de salida.

Ventajas y Desventajas

A continuación se nombraran las ventajas y desventajas que presentan las RNA frente a otros tipos de procesamientos de información (Ponce Cruz, 2010).

Ventajas:

- Las RNA pueden sintetizar algoritmos a través de un proceso de aprendizaje.

- Para utilizar la tecnología neural, no es necesario conocer detalles matemáticos. Solo se requiere estar familiarizado con los datos del trabajo.
- La solución de problemas no lineales es la parte fuerte de las RNA.
- Las RNA son robustas, pueden fallar algunos elementos de procesamiento pero la red continuara funcionando; esto contrario a lo que sucede en la programación tradicional.

Desventajas:

- Las RNA requieren de entrenamiento enfocado a cada problema en específico. El entrenamiento es largo para poder determinar la arquitectura adecuada de la red neuronal.
- Debido a su entrenamiento, estas requieren una gran cantidad de datos.
- Las RNA representan un aspecto complejo para un observador externo que desee realizar cambios. Para añadir nuevo conocimiento, se requiere cambiar las iteraciones entre las unidades creadas. Esto se vuelve un problema mayor cuando la red neuronal es de gran tamaño.

El procesamiento realizado por las redes neuronales se basa en información extraída de datos experimentales, tablas o bases de datos, los cuales son determinados por una persona física.

2.2.1 Elementos básicos

En la Ilustración 2.7 se muestra un esquema de los elementos que conforman una RNA:

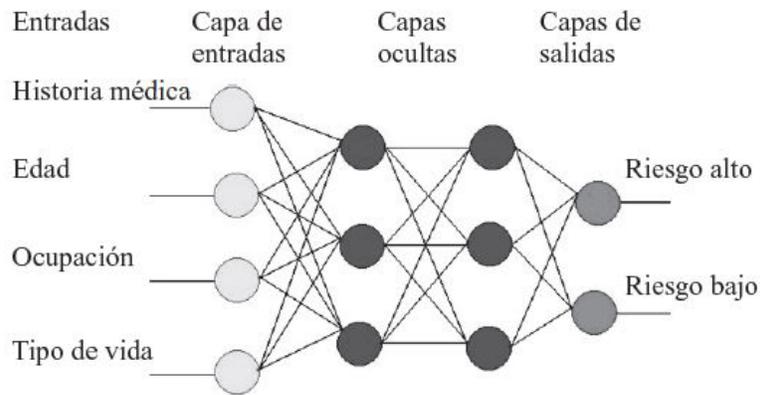


Ilustración 2.7 Esquema de una RNA de tres capas.

Los datos de entrada son ingresados en la “capa de entradas”, pasando por las “capas ocultas” para finalmente salir en la “capa de salida”. El número de capas ocultas no está limitado en número.

En la Ilustración 2.8 se compara una neurona biológica con una neurona artificial. En la misma se puede observar las similitudes entre ambas.

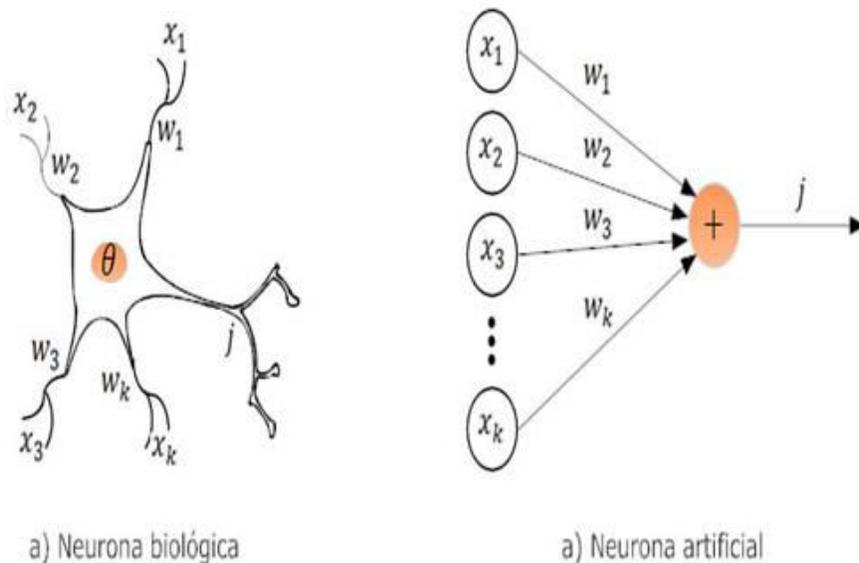


Ilustración 2.8 Similitudes entre neurona biológica y artificial.

Mientras una neurona es un elemento de procesamiento muy pequeño, cuando se llegan a combinar cientos, miles o millones pueden llegar a tener un poder de procesamiento muy grande con lo que se pueden resolver problemas complejos.

Función de entrada

La función de entrada es la encargada de relacionar todas las entradas a una neurona i con un operador apropiado (máximo, sumatoria, productora, etc.). Los valores de entrada se multiplican por sus pesos correspondientes W_j para posteriormente aplicar el operador de conveniencia a dichas entradas.

Algunas de las funciones de entradas más comúnmente usadas son:

- **Sumatoria de las entradas por el peso:** Es la suma de todos los valores de entrada a la neurona, multiplicados por sus correspondientes pesos.

$$\sum_{j=1}^N (X_j * W_j) \quad 2.4$$

Donde:

X_j : Señal de entrada procedente de j .

W_j : Peso asociado a la entrada j .

- **Producto de las entradas por el peso:** Es el producto de todos los valores de entrada a la neurona, multiplicados por sus correspondientes pesos.

$$\prod_{j=1}^N (X_j * W_j) \quad 2.5$$

Donde:

X_j : Señal de entrada procedente de j .

W_j : Peso asociado a la entrada j.

- **Máximo de las entradas pesadas:** Se toma en consideración el valor de entrada más fuerte, previamente multiplicado por su peso correspondiente.

$$MAX_{j=1}^N (X_j * W_j) \quad 2.6$$

Donde:

X_j : Señal de entrada procedente de j.

W_j : Peso asociado a la entrada j.

Función de activación

La función de activación es la encargada de activar, inactivar o activar parcialmente una neurona artificial. A comparación de una neurona biológica que se representa como activada o inactivada, una neurona artificial es capaz de tomar valores dentro de un conjunto determinado (Ruiz, 2001).

Dicha función es la encargada de calcular el estado de actividad de una neurona artificial. Esto se realiza mediante la transformación de una entrada global (más la aplicación del umbral b_t) en un valor (estado) de activación, cuyo rango va de (0,1) o de (-1,1). Esto representando la activación (1) o la inactividad (-1 o 0).

Existen distintos tipos de funciones de activación y a continuación se mencionaran las más usadas:

- **Función de escalón:** La función escalón se utiliza cuando la neurona tiene salidas binarias: (0, 1). La neurona se activa cuando el valor de la función de entrada es mayor o igual a cierto valor umbral. Expresada en la Ilustración 2-9.

Sea: $f(x) = 1$ cuando $H_i(t) \geq 0$

$f(x) = 0$ cuando $H_i(t) < 0$

Umbral=0

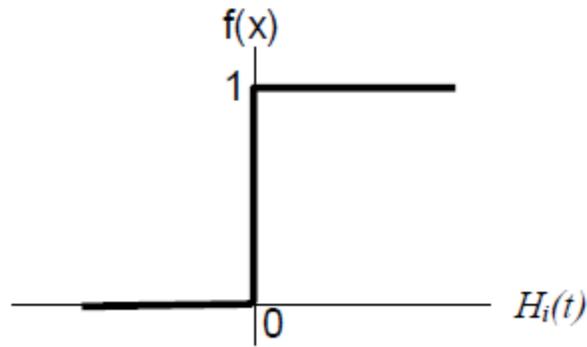


Ilustración 2.9 Función escalón.

- **Función lineal:** La función lineal o identidad responde a la expresión $f(x) = H_i(t)$. Una variación de la función lineal sería la función lineal a tramos, donde la salida de la neurona será la función identidad, siempre y cuando el valor de la función de entrada estuviese dentro de un rango de valores. Al estar fuera del rango la función se torna constante, ya sea 1 o -1. Expresada en la Ilustración 2-10.

Sea: $f(x) = 1$ cuando $H_i(t) > 1$

$f(x) = H_i(t)$ cuando $-1 \leq H_i(t) \leq 1$

$f(x) = -1$ cuando $H_i(t) < -1$

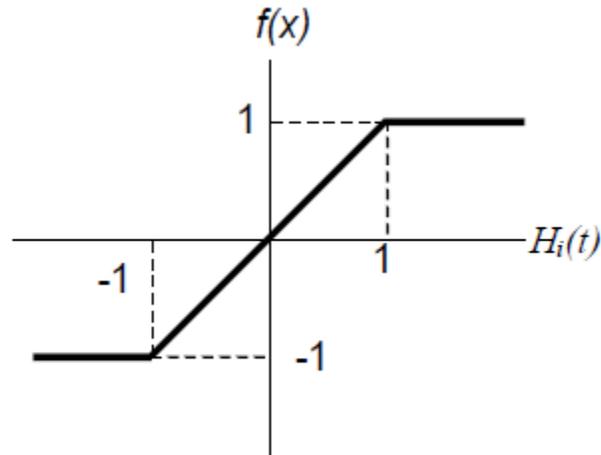


Ilustración 2.10 Función lineal a tramos.

- Función sigmoideal logarítmica:** Con la función sigmoideal el valor dado por la función es cercano a uno de los dos valores asintóticos. Esto hace que la mayoría de los casos, el valor de salida esté comprendido en la zona alta o baja del sigmoide. Cuando la pendiente es elevada, esta función tiende a la función escalón. Además toma su valor máximo cuando $x=0$. Esto hace que se puedan utilizar reglas de aprendizaje definidas para las funciones escalón, con la ventaja, respecto a esta función, de que la derivada está definida en todo el intervalo. En la Ilustración 2-11 se observa la gráfica de la función sigmoideal.

Sea: $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Siendo $x = H_1(t)$

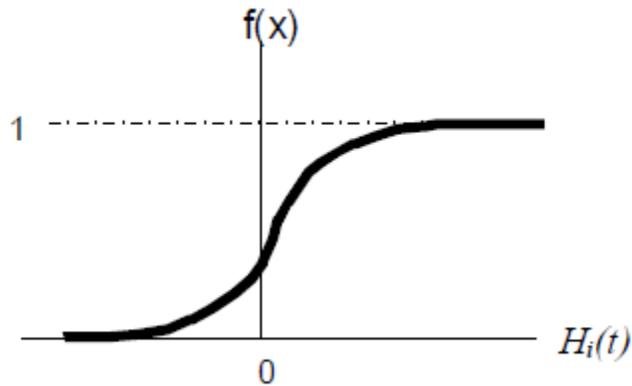


Ilustración 2.11 Función sigmoide logarítmica.

Función de salida

Según (Ruiz, 2001), la función de salida es el último elemento que conforma el camino que toma la información dentro de la neurona. Como su nombre lo indica, es el valor de salida que será transferido a la siguiente capa de neuronas o en dado caso, equivaldrá al valor de salida de toda la red.

La transferencia de este valor depende de que la función de activación supere el umbral de dicha neurona. No cualquier valor es permitido como valor de entrada a una neurona de la capa oculta. Normalmente estos valores pueden oscilar entre $[-1,0]$. También pueden ser binarias $\{-1,1\}$ o $\{0,-1\}$.

Dos de las funciones de salida más comunes son:

- Función identidad: Este es el tipo de función más sencillo, tal que la salida es la misma que la entrada.
- Binaria: 1 si la función de entrada supera el umbral o 0 en caso de que no lo haga.

2.2.2 Topologías

Las dos topologías más usadas, de acuerdo con las diferencias en la manera de realizar las conexiones son:

- **Redes de propagación hacia adelante:** El flujo de información que va de las entradas a las salidas es exclusivamente hacia adelante sin ningún tipo de retroalimentación.
- **Redes recurrentes:** El flujo de información no es exclusivamente hacia adelante, existe una retroalimentación entre la salida y las neuronas.

2.2.2.1 Red mono-capa

Las redes mono-capa fueron las primeras redes neuronales artificiales en ser creadas. Son redes que constan de una sola capa y una sola neurona. Esta neurona es la única encargada de validar los valores de entrada y dar una salida. Existen varios tipos de redes neuronales mono-capa (Ponce Cruz, 2010).

Perceptrón

El Perceptrón es una unidad procesadora que cuenta con una arquitectura llamada mapeo de patrones, aprende a clasificar modelos mediante un aprendizaje supervisado. El Perceptrón cuenta con una sola neurona la cual arroja un solo resultado en base a las entradas que se le proporcionen. En la Ilustración 2.12 se muestra la arquitectura de un Perceptrón (Fausett, 1994)

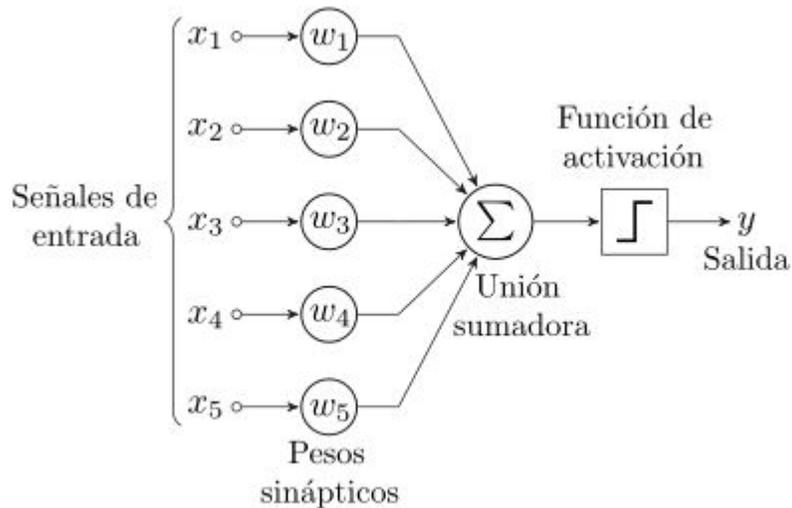


Ilustración 2.12 Arquitectura de un Perceptrón mono-capa.

La unidad procesadora del Perceptrón realiza la sumatoria del producto de las entradas por sus respectivos pesos según la Ecuación 2.5.

$$f(x) = \sum X_i * W_i \quad 2.7$$

Donde:

F(x): Valor de salida del Perceptrón.

X_i: Entrada i.

W_i: Peso de la entrada i.

Existe una entrada extra a la neurona, se le conoce como umbral. Este umbral es un valor fijo que no se modifica. La aportación de este valor a la red consta de darle un límite de activación a la neurona. Si el valor de f(x) supera el umbral, la neurona se activa, si no lo supera, no se activa.

2.2.2.2 Red multicapa

Las limitaciones de las redes de una sola capa hicieron que se plantease la necesidad de implementar redes en las que se aumentase el número de capas, es decir, introducir capas intermediarias o capas ocultas entre la capa de entrada y la capa de salida de manera que se

podiese implementar cualquier función con el grado de precisión deseado, es decir, que las redes multicapa fuesen aproximadores universales.

Las redes multicapa como su nombre lo indican, son redes que contienen más de una capa de neuronas antes de la función de salidas de la red. Las capas que se encuentran entre la capa de entrada y la capa de salida se les conocen como capas ocultas. El arreglo de estas capas se puede verificar en la Ilustración 2.7.

Normalmente todas las neuronas de una capa, reciben su señal de una capa de neuronas de superior, a esto se le conoce como conexión hacia adelante. Sin embargo existe el caso en el que las salidas de una capa de neuronas oculta pueden mandar señal a la entrada de la capa anterior a ellas. A esto se le conoce como conexiones hacia atrás.

Al tener estas redes una topología más complicada, también se complica la forma para encontrar los pesos correctos, ya que el proceso de aprendizaje es el que decide qué características de los patrones de entrada son representadas por la capa oculta de neuronas.

Perceptrón multicapa

El Perceptrón multicapa (MLP) es la red neuronal de aprendizaje supervisado más utilizada. Esta red (normalmente de 3 capas) utiliza funciones sigmoideas como funciones de activación en las capas ocultas. Las funciones de la capa de salida pueden ser lineales o sigmoideas, dependiendo de lo que se necesite a la salida (García Estévez, 2002).

La característica más importante del MLP es su regla de aprendizaje, esta regla es la Retropropagación hacia atrás o BP. Esta característica acumula las variaciones de cada peso y los actualiza al final del ciclo.

El Perceptrón multicapa es una red de alimentación hacia adelante compuesta por una capa de unidades de entrada, otra capa de unidades de salida y un número determinado de capas intermedias de unidades de proceso, también llamadas capas ocultas porque no se ven las salidas de dichas neuronas y no tienen conexiones con el exterior. Cada entrada está conectada con las unidades de la segunda capa, y cada unidad de proceso de la segunda capa

está conectada con las unidades de la primera capa y con las unidades de la tercera capa, así sucesivamente como se puede ver en la Ilustración 2.7.

Redes de retro propagación

Las redes de retro propagación usan un tipo de entrenamiento supervisado en el cual como su nombre lo dice se retro propaga el error para ajustar los pesos en base a ese error. Es una red muy empleada ya que permite tener un método de optimización que se encuentra al definir el gradiente del error y minimizarlo con respecto a los parámetros de la red neuronal (Hernández Aguilar, 2015).

2.2.3 Entrenamiento

Se le denomina entrenamiento al proceso de configuración de una red para que en base a entradas, den una salida deseada. La forma de llevar esto a cabo es a partir del fortalecimiento de las conexiones. Estas conexiones son conocidas como pesos. Se utilizan técnicas de retroalimentación y patrones de aprendizaje que cambian estos pesos hasta encontrar los adecuados para el problema. Existen varias técnicas de entrenamiento en las redes neuronales. A continuación se mencionaran las de tipo supervisado y no supervisado (Ruiz, 2001).

- **Entrenamiento supervisado:** Se proporcionan un conjunto de entradas correspondientes a una salida deseada.
- **Entrenamiento no supervisado:** No se le proporcionan datos de inicio con sus respectivas salidas esperadas. Estas redes deben encontrar por si solas la relación de los datos de entrada. No requieren influencia externa para ajustar datos.

En esta obra se hará uso del entrenamiento supervisado. Debido a esto, se tiene que hacer una recolección de datos junto a sus respuestas deseadas. Este conjunto de datos con respuestas deseadas se usara para alimentar la red neuronal artificial.

Esta alimentación ajusta los pesos de cada conexión de las neuronas para poder dar respuestas deseadas a las siguientes entradas. Este tipo de entrenamiento solo es útil si los problemas a resolver están dentro del rango del entrenamiento.

2.3 Estado del arte

La presente investigación se enfoca en generar una propuesta de un sistema inteligente capaz de predecir y evitar el agotamiento de material en una línea de producción. Esto se logra enfocándose en las líneas de producción y sus programas de producción. Esta información se relaciona dentro del sistema inteligente para obtener una respuesta pronta al agotamiento del material en las líneas de producción.

En el estado del arte se exponen algunas investigaciones enfocadas en la mismo objetivo que esta investigación. La diferencia es el método por el cual estas difieren del estudio que se realizó en esta obra.

En la siguiente sección se mencionaran dichas investigaciones relacionadas con el evitar el agotamiento en las líneas de producción mediante diferentes métodos. Las investigaciones están seccionadas de acuerdo a la metodología que se sigue para cumplir con el objetivo de esta investigación.

2.3.1 Reducción de las pérdidas de producción por falta de material

En la búsqueda de ser una empresa altamente competitiva, se basa la investigación en la mejora de la calidad, precio y tiempo de entrega de los productos. Aplicando el uso de un software de simulación discreta para escenarios enfocados en líneas de producción, logran reducir el desperdicio de material a causa de la falta de surtimiento.

De acuerdo a sus conclusiones, el uso de la simulación crea la posibilidad de estudiar muchos escenarios sin la necesidad de implementarlos, lo cual sería muy costoso. Esto crea la ventaja de poder simular todos los escenarios que se deseen para poder tener un gran abanico de posibilidades de mejora (Hector, 2014).

2.3.2 Sistema Kanban para la disminución de paradas en las maquinas por falta de material

Normalmente, dentro de una fábrica se encuentra la necesidad de implementar un sistema de surtimiento que coordine las llegadas de material a cierta línea de producción. En base de un sistema Kanban logra implementar dicho sistema de surtimiento. Con esto logra acabar con algunos problemas ergonómicos causados por el exceso de material, aumento la seguridad de los operarios y lo más importante, se logró disminuir las paradas de la línea de producción a causa de la falta de material.

En conclusión, las paradas por falta de material son causadas por tres factores: Ausencia de material en el almacén, planta y país. La redistribución del área y sus vías de surtimiento, son la clave para evitar la falta de material a las líneas de producción (Mora, 2011).

2.3.3 Análisis de rendimiento transitorio de líneas de producción en serie con máquinas geométricas

Un sistema de producción se caracteriza por su estado estable y sus propiedades transitorias. Si bien se han realizado grandes esfuerzos de investigación en el análisis del estado estable de los sistemas de producción, se han informado muy pocos resultados, especialmente analíticos, con respecto a su comportamiento transitorio.

En el marco de las líneas de producción en serie con máquinas geométricas y amortiguadores finitos, este documento desarrolla modelos matemáticos para el análisis de transitorios y deriva expresiones de forma cerrada para evaluar la tasa de producción, la tasa de consumo, el trabajo en proceso y las probabilidades de inanición y bloqueo de la máquina. , durante los transitorios.

Los experimentos numéricos muestran que los métodos desarrollados pueden aplicarse también a sistemas con parámetros de máquina variables en el tiempo (Guorong & Chuanfeng, 2015).

3. Marco metodológico

El objetivo de la tesis demanda una propuesta formal de un sistema inteligente capaz de evitar el agotamiento de insumos y tiempos muertos en las líneas de producción. Dicha capacidad de anticipar será dada por señales de surtimiento hacia las líneas de producción. Estas señales se basan en ciertas variables relacionadas al estado en el que se encuentra el material, ya sea como inventario en línea, trabajo en proceso o material terminado.

Para definir las variables que sirvieron como alimentación del sistema inteligente, se propuso en base a la teoría, estados de la materia prima que intervienen en el agotamiento de material en una línea de producción.

Teniendo las variables definidas, se prosiguió a fijar parámetros dentro del sistema inteligente, específicamente redes neuronales artificiales, que tuvieran un mejor desempeño con el objetivo.

Al obtener los parámetros con el desempeño deseado en la red neuronal artificial, se continuó con la generación de propuestas de arreglos de redes neuronales para poder satisfacer el objetivo de la demanda. Cabe mencionar que no es lo mismo tener una línea de producción que fabrica un producto a tener dos o más líneas con sus respectivos productos. Dichas propuestas son explicadas en los apartados de adelante.

3.1 Variables que influyen en el agotamiento de material en una línea de producción

Se propusieron cuatro variables capaces de trabajar en conjunto con el sistema inteligente para poder satisfacer el objetivo de la tesis. Dichas variables fueron:

1. Plan maestro de producción correspondiente a una línea de producción.
2. Tamaño deseado de lote Pitch de dicha línea.
3. Piezas en trabajo en proceso dentro de la línea.
4. Piezas terminadas de dicha línea.

Estas variables servirán como alimentación de nuestra red neuronal artificial como entrenamiento para poder obtener una red capaz de anticipar los agotamientos de material en la línea de producción. Las cuatro variables son medidas en piezas.

Cabe mencionar que estos parámetros tendrán que ser medidos en cada línea o grupos de líneas en los que se deseé aplicar una red neuronal artificial de este tipo. Esto debido a las características que presentan los entrenamientos de las redes neuronales y sus resultados.

3.2 Elección de Red neuronal artificial, parámetros y características.

Se eligió como red neuronal artificial de trabajo, una red de retro propagación debido a que sus características y parámetros fueron las que mejor se adaptaron al problema. La red neuronal se creó con cinco neuronas en la capa oculta.

Al igual que la elección de la red neuronal a usar, después se definió los parámetros y características de dicha red. A continuación, se da a conocer los parámetros mejor desempeñados a usar dentro del ToolBox de MatLab:

1. Network Type: Feed-Forward backprop
2. Training Function: TRAINLM
3. Adaption learning function: LEARNGD
4. Performance function: MSE
5. Number of layer: 2
6. Properties for layer 1: 5 neurons y PURELIN en Transfer Function.
7. Properties for layer 2: LOGSIG en Transfer Function.

Todas estas características deben ser ingresadas al ToolBox de MatLab para obtener los resultados esperados.

3.3 Entrenamiento

El entrenamiento es supervisado a causa del tipo de red neuronal que se eligió. Dicho entrenamiento se realizó por entradas en tiempo real de las cantidades de material dentro de cada variable. Estas etapas constan desde que la línea tiene que fabricar una cantidad determinada por el plan maestro de producción mientras las otras variables inician en cero, hasta que la cuarta variable toma el valor de las piezas a producir en el plan maestro y la primera variable llega al valor cero.

En la etapa del entrenamiento, se ingresaron los lotes de información de las variables que describen el comportamiento deseado de la red por medio de la hoja de cálculo que provee el software MatLab. Esta información se adjuntó a la ya creada red neuronal artificial para poder empezar a entrenarla con dicha información.

Los resultados del entrenamiento se pueden observar directamente en el software pero por comodidad, fueron extraídos a hojas de cálculo para su mejor comprensión. Estas hojas de cálculo posteriormente fueron anexadas a esta obra.

3.3 Arreglos para más de una línea de producción

Aunque la tesis está enfocada a una sola línea de producción con un producto, se da a conocer la opción de un arreglo de redes neuronales artificiales de tal forma que sea posible el tener manipuladas varias líneas de producción de forma simultánea.

Cuando se tienen un caso con más de una línea de producción, se propone diseñar una red neuronal artificial independiente a cada una de las líneas y colocarlas en paralelo de forma que sus resultados sean arrojados al mismo nivel de prioridad. Estos resultados pueden ir a la misma interface o en todo caso, pueden servir de alimentación para una red neuronal posterior.

4 Resultados

4.1 Red neuronal artificial

Como resultado del ejercicio realizado con el ToolBox de redes neuronales de MatLab, se logró obtener una red neuronal artificial. Esta red neuronal artificial tiene estabilidad y congruencia en sus salidas. Se logró obtener una red neuronal artificial con salidas esperadas.

Se creó una red neuronal artificial de retro propagación hacia atrás con una capa oculta, cinco neuronas de entrada y dos neuronas de salidas. Se utilizó la función de transferencia PURELIN en la capa de entrada y una Sigmoidal en la capa oculta.

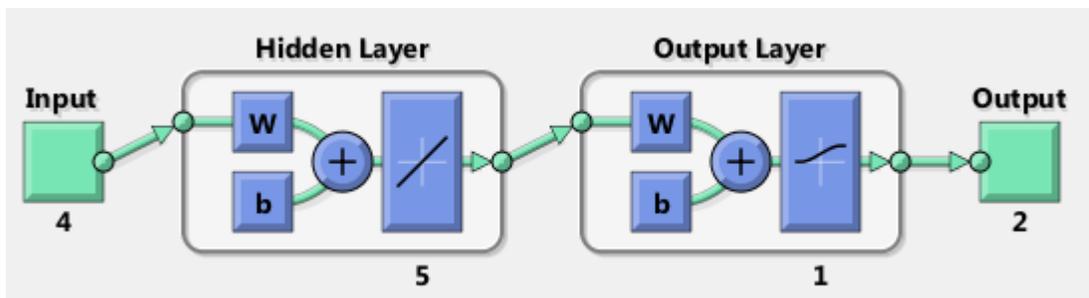


Ilustración 4.1 Arreglo de la red neuronal artificial utilizada.

4.2 Funcionalidad de la red neuronal artificial

Como resultado de la funcionalidad de la red neuronal artificial se obtuvieron resultados esperados los cuales se adaptaron totalmente a lo expuesto en la metodología. Se obtuvieron redes neuronales artificiales capaces de anticiparse a una necesidad de surtimiento de una línea de producción específica. Estas anticipaciones pueden ser parcialmente controladas con la metodología expuesta en el capítulo 3.

En la Tabla 4.1 se puede observar un ejemplo de cómo va evolucionando las entradas en tiempo real a la red neuronal hasta terminar el ejercicio. Tomando en cuenta que la línea de producción solo puede tener una pieza en trabajo por vez. Una nueva pieza solamente puede entrar a la línea cuando haya cero piezas en trabajo. Otra consideración será que se está trabajando con un solo tipo de materia prima y una sola línea. Todas estas consideraciones varían dependiendo al problema en cuestión.

Tabla 4.1 Entradas para el entrenamiento de la red neuronal artificial.

Numero de casilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Plan maestro de producción	6	6	6	5	4	4	4	3	2	2	2	1	0
Tamaño deseado de lote Pitch	0	2	1	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0
Piezas en trabajo en proceso	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Piezas terminadas	0	0	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6

Todas las entradas deben tener su respectiva salida esperada para su entrenamiento. En la Tabla 4.2 se muestra un ejemplo de la evolución de las salidas complementarias al ejercicio realizado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.2 Entradas para el entrenamiento de la red neuronal artificial.

Numero de casilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tamaño de lote a surtir	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0
Línea a la cual surtir	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Lo lógico sería indicar el surtimiento en el entrenamiento como se hizo en la Tabla 4.2, sin embargo, las variables de entrada pueden tener prácticamente cualquier valor para cada caso en particular. Al fin de proteger el funcionamiento de este sistema, se recomienda que en el entrenamiento se surta un rango de entre el 15% y 35% de las casillas en cada sección. Esta sección mencionada, es considerada cada vez que se manda la nueva señal de surtimiento del lote a la línea de producción, hasta que ese mismo lote está totalmente fabricado (De casilla 1 a la 5 se considera una sección, igual de la casilla 6 a la 9 y consecuentemente).

El rango recomendado a surtir se mide del final de cada sección hacia el inicio de esta misma, esto sin contar la casilla que indica la surtida inicial de la sección. En la Tabla 4.2 se podría

decir que se está contando con un 20% de surtimiento. En la Tabla 4.3 se da otro ejemplo del mismo ejercicio, pero ahora con un 40% de surtimiento.

Tabla 4.2. Salidas alternas para el entrenamiento de la red neuronal artificial.

Numero de casilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tamaño de lote a surtir	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	0	0
Línea a la cual surtir	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dentro del entrenamiento se detectó un fenómeno. Este fenómeno permite disminuir o aumentar la capacidad de anticipación de surtimiento de la red neuronal artificial. Esta capacidad es permitida si se aumenta o disminuye las casillas de surtimiento en cada sección dentro de las salidas de entrenamiento.

Este fenómeno puede ser usado en favor del diseñador. Esto para poder programar su red neuronal artificial con cierta sensibilidad deseada hacia el surtir o no surtir y obtener anticipadamente este surtimiento en la línea de producción.

Otra característica que se encontró fue que en base al porcentaje de casillas de surtimiento, la red neuronal artificial puede anticiparse o retrasarse en dar la señal de surtimiento. Igualmente, esta característica afecta al mínimo funcionamiento requerido de la red neuronal debido a que, teniendo un mínimo de casillas de surtimiento, puede acabar en una red neuronal artificial incapaz de responder correctamente al surtimiento de material en todos los niveles del plan maestro de producción.

4.3 Revisión del sistema de RNA

En el Anexo I y Anexo II se pueden observar ejemplos de configuraciones de líneas de producción (las configuraciones van enfocadas a las cantidades dadas de cada variable involucrada en el ejercicio) en las que se puede analizar el fenómeno que se mencionó en el capítulo 4.2.

En el Anexo A se muestra una línea de producción con las siguientes características:

- Plan maestro de producción: 100 piezas.
- Tamaño de Lote Pitch: 10 piezas.
- Capacidad de la línea de producción: 3 piezas.

En el Anexo B se muestra una línea de producción con las siguientes características:

- Plan maestro de producción: 100 piezas.
- Tamaño de Lote Pitch: 20 piezas.
- Capacidad de la línea de producción: 5 piezas.

En dichos Anexos se da a conocer con en color amarillo la primera columna (estado en el que se encuentra la línea de producción) en la cual la red neuronal artificial indica el inicio de la sensibilidad que está teniendo la red neuronal artificial en función de las variables. El color rojo en las columnas inicia una casilla después de la primera casilla sensible de la red neuronal artificial hasta que la señal de surtimiento de material a las líneas de producción es activada.

En cada Anexo también se puede apreciar que se hicieron varios experimentos con las mismas variables y con la diferencia de la modificación de las entradas del entrenamiento. Estas entradas como lo dice en el capítulo 4.2, se van modificando para proporcionar diferentes tiempos de anticipación al surtimiento de material para el mismo ejercicio. Lo que se modifica en el entrenamiento de cada experimento es el porcentaje de casillas de surtimiento en cada sección (Capítulo 4.2).

4.4 Arreglos para más de una red neuronal artificial

Debido a que el arreglo propuesto involucra la asignación de una red neuronal artificial a cada línea de producción, no existen relaciones con los resultados obtenidos por cada red.

Los resultados obtenidos de cada red independiente, es la misma que la expuesta en el apartado anterior “Funcionalidad de la red neuronal artificial” con la posibilidad de proponer un uso adecuando a estas salidas para continuar esta rama de investigación.

5. Conclusión

Por medio de la red neuronal artificial se logró relacionar las variables de entrada con las salidas esperadas de la red. Se puede decir que esta investigación es el cimiento para todo un campo de investigación relacionado al tema. Estas investigaciones en conjunto podrán ser usadas en campo y con ellas se podrá reducir el desperdicio de material, tiempo y esfuerzo dentro de las líneas de producción.

Con lo mencionado, se logra cumplir con el objetivo de la tesis, el cual es proponer un sistema inteligente el cual evite el agotamiento en las líneas de producción. En cuanto a la hipótesis, se concluye que es compatible el diseño de un sistema de surtimiento a líneas de producción a través de una red neuronal artificial con el objetivo de surtir las líneas de producción y evitar el agotamiento de material temprano.

Actualmente no se han reportado después de una tarea exhaustiva de investigación, trabajos relacionados entre las redes neuronales artificiales y el mandar señales de agotamiento de material. Debido a esto, es un tema el cual se puede explotar para incluirlo como parte fundamental de la teoría que se está desarrollando en estos tiempos como lo es la empresa 4.0.

Los resultados son prometedores debido a que se demuestra que la herramienta puede ser utilizada para este fin de manera efectiva. La tesis se limita solamente a la interacción de la red neuronal artificial con un ejemplo de línea de producción de un solo material como requerimiento de materia prima. Como tema independiente, es una investigación muy limitada y de poco sentido. No tiene uso en campo pero, el complementar este estudio con propuestas que sigan esta misma rama de investigación puede generar resultados interesantes.

Con la hipótesis comprobada, se puede dar profundidad a la investigación. Una idea para continuar con esta investigación es implementar un sistema de entrenamiento en tiempo real en la cual las entradas estén relacionadas a tiempos de surtimiento de otras líneas para crear una sinergia en los métodos de surtimiento. El objetivo de esto es optimizar los tiempos de recorrido de los sistemas de surtimiento y posiblemente reducir el número requerido de estos surtidores.

Anexo I

	100,0,0,0	100,10,0,0	100,9,1,0	100,8,2,0	100,7,3,0	99,6,3,1	98,5,3,2	97,4,3,3	96,3,3,4	95,2,3,5	94,1,3,6	93,0,3,7	92,0,2,8	91,0,1,9	90,0,0,10
Dos surtidas=14.28%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0007,1	9.8091,1	10,1	10,1
Tres surtidas= 21.42%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Cuatro surtidas=28.57%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0001,1	5.051,1	9.1883,1	9.9981,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Cinco surtidas=35.71%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0001,1	5.0818,1	9.5394,1	9.9991,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	70,0,0,30	70,10,0,30	70,9,1,30	70,8,2,30	70,7,3,30	69,6,3,31	68,5,3,32	67,4,3,33	66,3,3,34	65,2,3,35	64,1,3,36	63,0,3,37	62,0,2,38	61,0,1,39	60,0,0,40
Dos surtidas=14.28%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0011,1	9.876,1	10,1	10,1
Tres surtidas= 21.42%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Cuatro surtidas=28.57%	9.9993,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0004,1	5.186,1	9.7544,1	9.9995,1	9.9999,1	9.9981,1	9.9963,1
Cinco surtidas=35.71%	9.9994,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0005,1	5.2629,1	9.8524,1	9.9997,1	9.9994,1	9.986,1	9.9966,1

	50,0,0,50	50,10,0,50	50,9,1,50	50,8,2,50	50,7,3,50	49,6,3,51	48,5,3,52	47,4,3,53	46,3,3,54	45,2,3,55	44,1,3,56	43,0,3,57	42,0,2,58	41,0,1,59	40,0,0,60
Dos surtidas=14.28%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0014,1	9.9072,1	10,1	10,1
Tres surtidas= 21.42%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Cuatro surtidas=28.57%	9.9813,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.00074,1	7.1279,1	9.9866,1	9.9742,1	9.9506,1	9.9471,1
Cinco surtidas=35.71%	9.981,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0088,1	7.5502,1	9.9919,1	9.9809,1	9.9551,1	9.9804,1

	30,0,0,70	30,10,0,70	30,9,1,70	30,8,2,70	30,7,3,70	29,6,3,71	28,5,3,72	27,4,3,73	26,3,3,74	25,2,3,75	24,1,3,76	23,0,3,77	22,0,2,78	21,0,1,79	20,0,0,80
Dos surtidas=14.28%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,0019,1	9.9307,1	10,1	10,1
Tres surtidas= 21.42%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Cuatro surtidas=28.57%	9.553,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0003,1	5.1379,1	9.6712,1	9.4034,1	8.9659,1	8.3293,1
Cinco surtidas=35.71%	9.4635,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0003,1	5.1595,1	9.7563,1	9.4602,1	8.8881,1	7.984,1

	10,0,0,90	10,10,0,90	10,9,1,90	10,8,2,90	10,7,3,90	9,6,3,91	8,5,3,92	7,4,3,93	6,3,3,94	5,2,3,95	4,1,3,96	3,0,3,97	2,0,2,98	1,0,1,99	0,0,0,100
Dos surtidas=14.28%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0026,1	9.9483,1	10,1	10,1
Tres surtidas= 21.42%	10,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
Cuatro surtidas=28.57%	6.4026,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0054,1	6.7612,1	6.1015,1	5.6401,1	5.3544,1
Cinco surtidas=35.71%	6.0422,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5.0052,1	6.9097,1	6.0366,1	5.4983,1	5.2238,1

Anexo II

	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	96	95	94
	0	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6
15%= 3.9 surte /4	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
30%= 7.8 surte /8	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
15%= 3.9 surte /4	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
20%= 5.2 surte /6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
25%=6.5 surte /7	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
30%= 7.8 surte /8	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
35%= 9.1 surte /9	10,1	10,1	10,1	10.0055,1	19.9996,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1

	80	80	80	80	80	80	80	79	78	77	76	75	74
	0	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	20	20	20	20	20	20	20	21	22	23	24	25	26
15%= 3.9 surte /4	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
30%= 7.8 surte /8	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
15%= 3.9 surte /4	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,0031,1	19.9979,1	20,1	20,1	20,1
20%= 5.2 surte /6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
25%=6.5 surte /7	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10.0367,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
30%= 7.8 surte /8	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
35%= 9.1 surte /9	10,1	10,1	10,1	10,1	10.0005,1	19.9533,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1

	60	60	60	60	60	60	60	59	58	57	56	55	54
	0	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	40	40	40	40	40	40	40	41	42	43	44	45	46
15%= 3.9 surte /4	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
30%= 7.8 surte /8	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1
	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
15%= 3.9 surte /4	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,03,1	19,9998,1	20,1
20%= 5.2 surte /6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	19,9799,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
25%=6.5 surte /7	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	19,9576,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
30%= 7.8 surte /8	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	19,999,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
35%= 9.1 surte /9	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	19,4706,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1

	40	40	40	40	40	40	40	39	38	37	36	35	34
	0	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	60	60	60	60	60	60	60	61	62	63	64	65	66
15%= 3.9 surte /4	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
30%= 7.8 surte /8	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1	
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	
15%= 3.9 surte /4	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10.2823,1
20%= 5.2 surte /6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
25%=6.5 surte /7	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
30%= 7.8 surte /8	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10.0502,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
35%= 9.1 surte /9	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	16.0008,1	20,1	20,1	19.9996,1	19.9921,1	19.9862,1

	20	20	20	20	20	20	20	19	18	17	16	15	14
	0	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
	80	80	80	80	80	80	80	81	82	83	84	85	86
15%= 3.9 surte /4	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	20,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
30%= 7.8 surte /8	19.9999,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	18.0348,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1

	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	2	1	0
	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
15%= 3.9 surte /4	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20%= 5.2 surte /6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
25%=6.5 surte /7	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10	10
30%= 7.8 surte /8	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
35%= 9.1 surte /9	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	11.1179,1	10.0709,1	10.004,1	10.0002,1	10,1	10,1

Bibliografía

- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2008). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. México, DF: Mc Graw Hill.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks*. New Jersey: Prentice Hall.
- García Estévez, P. (2002). *Aplicación de las redes neuronales a las finanzas*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Guorong, C., & Chuanfeng, W. (2015). Transient Performance Analysis of Serial Production Lines with Geometric Machines.
- Hay, E. J. (1989). *Justo a tiempo*. México, DF: Norma.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks and Learning Machines*. México: Pearson.
- Hector, R. H. (2014). Reducción de las pérdidas de producción por falta de surtimiento de materiales a las líneas de ensamble utilizando modelos de simulación discreta. *Academia Journals*.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principio de administración de operaciones*. México, DF: Pearson.
- Hernández Aguilar, S. G. (2015). *Mapeo inteligente de planeación y control de la producción con énfasis en estimación de la demanda*. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- Mora, N. (2011). Propuesta para la implementación de flujo sincronizado de materiales para surtir las partes a la prensa P-473, en la empresa Ford Motor de Venezuela.
- Noruma, J., & Takakuwa, S. (2006). Optimization of a number of containers for assembly lines: The fixed-course pick-up system. 155-166.
- Ponce Cruz, P. (2010). *Inteligencia Artificial*. México: Alfaomega.
- Ruiz, C. A. (2001). *Redes neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Rosario: Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Región Rosario.
- Scroeder, R. G., & Goldstein, S. M. (2011). *Administración de operaciones*. México, DF: Mc Graw Hill.
- Sipper, D., & Bulfin, R. L. (1998). *Planeación y control de la producción*. México, DF: Mc Graw Hill.
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo Cota, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. México, DF: Limusa.