



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Vicerrectoría de Posgrados

e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias

de Calidad

“Metodología para el diseño de proyectos de flujo de materiales e implementación de Layout aplicado al caso de la empresa thyssenkrupp Presta de México”

Tesis que para obtener el Grado de Maestro  
en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de Calidad

Presenta

ING. RAFAEL VIRGILIO LÓPEZ CUÉTARA

Director

DR. HERTWIN MINOR POPOCATL

Puebla, México

Febrero, 2018



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias  
de Calidad

Se aprueba la Tesis:

“Metodología para el diseño de proyectos de flujo de materiales e implementación  
de Layout aplicado al caso de la empresa thyssenkrupp Presta de México”

Comité de Revisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hertwin Minor Popocatl', is written over a horizontal line.

Dr. HERTWIN MINOR POPOCATL

Director

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Omar Aguila Mejia', is written over a horizontal line.

Dr. OMAR AGUILA MEJIA

Asesor

Puebla, México

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Prudencio Fidel Pacheco García', is written over a horizontal line.

Dr. PRUDENCIO FIDEL  
PACHECO GARCÍA

Asesor

Febrero, 2018

## **Resumen de Tesis.**

La presente tesis explica paso a paso cómo planear y desarrollar un proyecto de flujo de materiales e implementación de *Layout* de una planta de producción y su almacén y establece una metodología aplicada a casos prácticos realizados dentro de la empresa thyssenkrupp Presta de México. Así mismo, hace énfasis en la importancia de establecer un equipo de trabajo con actividades designadas para poder alcanzar el objetivo del proyecto.

Los casos tratados en esta tesis para la aplicación de la metodología propuesta incluyen la planeación de *Layout* para la preparación de una línea de producción completamente nueva y cambios en la distribución de plantas existentes debido a la integración de un producto nuevo, proyectos de expansión, relocalización o fin de vida útil de máquinas.

# ÍNDICE

Resumen de Tesis.....	1
Índice de imágenes .....	4
Índice de Diagramas.....	5
Índice de Tablas .....	5
Capítulo 1. Introducción.....	6
1.1. Descripción de la empresa.....	7
1.2. Situación problemática.....	9
1.3. Objetivo General .....	11
1.4. Objetivos específicos.....	11
1.5. Alcance de la tesis .....	12
Capítulo 2. Marco Teórico .....	13
2.1. Qué es un Layout.....	14
2.2. Planeación y preparación del Layout futuro incluyendo almacenes .....	16
2.2.1. Restricciones y limitaciones del dibujo CAD.....	18
2.2.2. Ayuda y administración Visual (Visual Management) .....	20
2.2.3. Aspectos de seguridad a considerar para el diseño de Layout.....	24
2.3. Qué es distribución de planta .....	28
2.3.1. Tipos de distribución .....	29
2.3.2. Objetivos del diseño y distribución en planta.....	31
2.3.3. Problemas en los proyectos de distribución de planta.....	32
2.4. Planeación de plantas industriales .....	34
2.4.1. Planeación sistemática de Layout y planeación de instalaciones (SLP & facilities planning) .	35
2.5. Flujo de materiales, cálculo y optimización de espacios.....	38
2.5.1. Análisis del flujo de materiales y cálculo de espacios.....	39
2.5.2. Herramientas de planeación y análisis de proyectos de flujo de materiales.....	45
2.5.2.1. Value Stream Mapping (VSM) .....	46
2.5.2.2. Porqué usar VSM en un proyecto de flujo de materiales .....	49
2.5.2.3. Proceso del VSM.....	50
Capítulo 3. Metodología: análisis de Layout, casos de estudio y casos de éxito .....	64

3.1. Características de los proyectos de distribución de planta ..... 65

3.2. Temas a considerar en un proyecto de distribución de planta ..... 66

3.3. Casos de estudio ..... 67

Conclusiones ..... 96

Layout de la planta TKPM ..... 99

Bibliografía..... 100

## Índice de imágenes

Imagen 1. Partes automotrices fabricadas en thyssenkrupp Presta de México.....	8
Imagen 2. Bosquejo de delimitación de áreas de almacén .....	18
Imagen 3. Tablero de indicadores S <sup>2</sup> QDC (Seguridad, Sustentabilidad, Calidad, Entrega y Costo) .....	23
Imagen 4. Identificación de almacenes .....	24
Imagen 5. Diagrama de relación de actividades.....	36
Imagen 6. Información necesaria para cálculo de espacios logísticos .....	45
Imagen 7. Matriz de relación de familia de productos .....	53
Imagen 8. Value Stream Mapping en Lquipur y análisis de flujo de materiales.....	55
Imagen 9. Imágenes para realizar el dibujo del VSM .....	59
Imagen 10. Marca Kaizen para identificar áreas de oportunidad / cuellos de botella.....	61
Imagen 11. Plan de actividades para la ejecución del plan de acción del VSM.....	63
Imagen 12. Incorrecta ubicación de módulos (afectación de la infraestructura).....	74
Imagen 13. Incorrecta ubicación de módulos (invasión de pasillos).....	75
Imagen 14. Layout de planta TKPM .....	99

**Índice de diagramas**

Diagrama 1. Caso de estudio (máquina planeada) ..... 71  
Diagrama 2. Llegada y ubicación de una máquina nueva (no hay espacio disponible) ..... 82  
Diagrama 3. Realizar distribución empezando desde cero..... 95

**Índice de tablas**

Tabla 1. Fórmula y cálculos de áreas de almacenaje..... 44  
Tabla 3. Equipo y funciones de los integrantes ..... 52

# Capítulo 1. Introducción

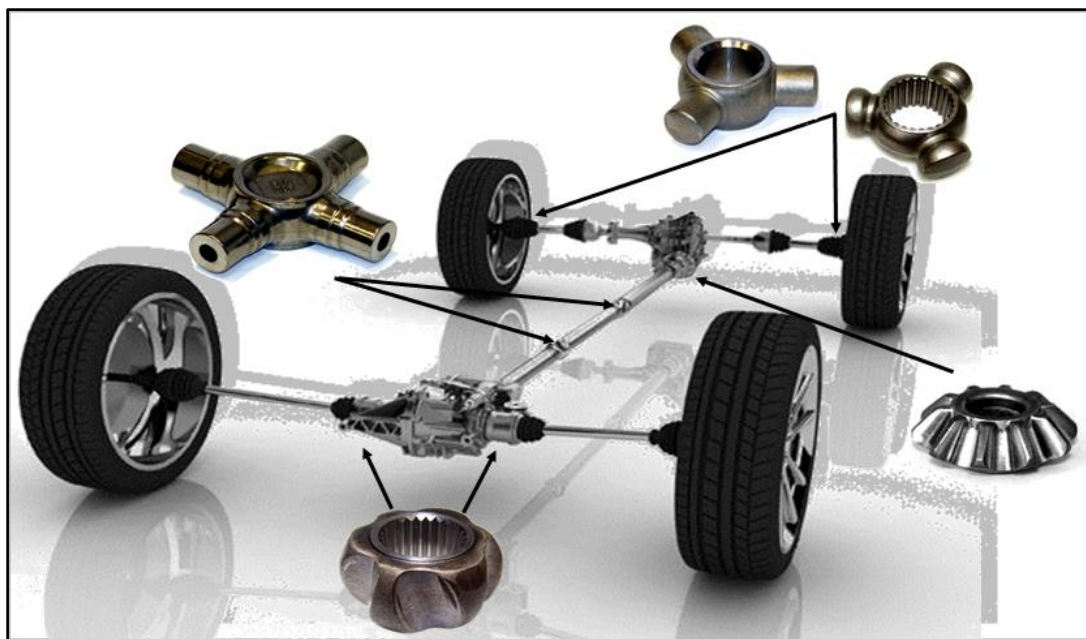
## **1.1. Descripción de la empresa**

thyssenkrupp es un corporativo que nace de la unión de dos empresas que son Thyssen Stahl AG y Krupp Stahl AG. La estructura de thyssenkrupp se divide en Metal Europa y América, Inoxidable global, Servicios Materiales, Elevadores y Tecnología, Planta Tecnología, Componentes y Sistemas Marinos. thyssenkrupp Presta AG, se encuentra dentro de la división de componentes y tecnología del corporativo thyssenkrupp AG.

thyssenkrupp Presta AG cuenta con 22 plantas alrededor del mundo y tiene presencia en países como México, Estados Unidos, Brasil, Francia, China, Japón, Polonia, Hungría, Alemania y Liechtenstein, siendo la planta de Liechtenstein la casa Matriz.

thyssenkrupp llega a México en 1998 con la instalación de la planta en el municipio de Xoxtla en el estado de Puebla como parte de las divisiones de metalúrgica y de tecnología. En el año 2011 thyssenkrupp Presta de México abre en el municipio de Huejotzingo una nueva planta de forja en frío para partes automotrices, planta única en México, para el desarrollo de productos y procesos en forja en frío.

Los servicios de thyssenkrupp Presta de México se dividen en productos fabricados en forja en frío y productos de dirección automotriz. Algunos de los productos fabricados en la planta de Huejotzingo son: columnas de dirección, flechas intermedias y otros por medio de los procesos de maquinado, formado de tubo, ensamble y forja en frío (proceso patentado). En la imagen 1 se muestran algunos productos fabricados en thyssenkrupp Presta de México y su influencia dentro de la estructura del sistema de dirección.



**Imagen 1. Partes automotrices fabricadas en thyssenkrupp Presta de México**

Dentro de sus principales clientes en la división de sistemas de dirección se encuentran BMW, VW, Nissan, Chrysler, Ford, Bentley, Porsche, AUDI entre otras, siendo VW y AUDI algunos de los clientes más importantes debido a la

apertura de la planta de esta última en el estado de Puebla. Algunos de los clientes para los productos de forja en frío son clientes son AAM, DANA, LINAMAR, IFA Rotorion, GKN y otras.

## **1.2. Situación problemática**

A causa del rápido crecimiento de la planta, en los años de 2013 a 2014 se construyeron 3 naves nuevas para expansión de áreas productivas tanto de la división de forja en frío como de columnas de dirección. Igualmente, se construyó una nave de 1000 m<sup>2</sup> para la localización de un almacén de componentes y una nave con 500 m<sup>2</sup> de espacio para almacenar productos como separadores plásticos, empaque vacío o protectores de piezas.

Con la construcción de estas naves se realizó un análisis de flujo de materiales para definir la distribución de la planta e implementación de *Layout* que arrojó como resultado que el área destinada a cada uno de los procesos así como a las actividades del almacén era insuficiente. Igualmente, con este análisis, se utilizaron herramientas definidas en equipo para la optimización de espacios y la definición de áreas de almacén en piso.

En el área de columnas de dirección, los cálculos realizados con los datos de pronóstico de producción y los de pronóstico de ventas no coinciden con lo que existe en piso y hay diferencias que suponen un exceso de inventario en todo tipo de almacenes (producto terminado, materia prima, material en proceso, etc.). El espacio destinado para producto terminado es insuficiente, por lo que se están utilizando las áreas destinadas a expansión de producción para ubicar las cajas lo que puede ocasionar pérdida o mezcla de material.

Durante el comienzo del proyecto existió un crecimiento en la demanda de 1.5 veces en el año 2016 y para el año 2018 está planeado un nuevo proyecto que atraerá más clientes lo que generará igualmente un aumento tanto en inventarios de material como de nuevas máquinas que necesitarán una ubicación dentro de la planta.

Uno de los puntos principales que contempla esta tesis es el análisis del flujo de materiales ya que se verá afectado debido a que el tamaño de las máquinas puede cambiar de acuerdo a las necesidades de los proyectos y es posible que difieran de las dimensiones utilizadas para los cálculos lo que puede ocasionar que sea necesario ocupar más espacio del presupuestado situación que se ha observado en experiencias previas en las que algunas de las máquinas se instalaron sin respetar el

*Layout* oficial lo que causó que se tuvieron que hacer cambios en el concepto de manufactura definido previamente.

### **1.3. Objetivo General**

Realizar una metodología que sirva como base para desarrollar proyectos de flujo de materiales e implementación de *Layout* en plantas industriales por medio del análisis de los procesos de producción de la empresa, así como la utilización de herramientas de *Lean Manufacturing* para el análisis de flujo de materiales para la optimización de espacios. Todo esto tomando como referencia los casos de estudio que se realizaron en la empresa thyssenkrupp Presta de México.

### **1.4. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Realizar una metodología para implementación de proyectos de flujo de materiales, distribución e implementación de *Layout*.

- Explicar de manera teórica herramientas utilizadas para la realización del proyecto de implementación de planta desarrollado dentro de la empresa thyssenkrupp Presta de México.
- Presentar casos de estudio reales dentro de la implementación del proyecto de flujo de materiales en la empresa thyssenkrupp Presta de México.
- Sustentar los casos de estudio utilizados para la realización de la metodología presentada en esta tesis.

### **1.5. Alcance de la tesis**

Realizar una investigación teórica sobre temas relacionados al análisis de procesos y mejora de la cadena de suministro así como la creación de una metodología basada en los casos de estudio realizados en la empresa thyssenkrupp Presta de México y crear una propuesta para la organización de las máquinas de tal forma que se logre una producción en línea en las área de sub-ensambles y ensamble final de columna.

# Capítulo 2. Marco Teórico

## 2.1. Qué es un Layout

Un *Layout* es la manera de representar por medio de un dibujo la distribución de los elementos de una planta así como una herramienta que permite analizar la posible utilización del espacio disponible para la ubicación de materiales, equipos, y todo aquello que requiera una ubicación fija o temporal dentro de una empresa (Tompkins et al., 2003).

Para el dibujo de *Layout*, ya sea por algún *Software* CAD o por cualquier otro medio, se comienza por el diseño del edificio definiendo una ubicación específica a todo aquello que ocupa un espacio dentro de la misma (*facilities*) como pueden ser maquinaria, materiales, equipos, estaciones de trabajo e incluso trabajadores.

De acuerdo a C. Hiregoudar<sup>1</sup>, los principales objetivos de la preparación de *Layout* son:

- Controlar el manejo de los materiales y eficientar la cadena de suministro.

---

<sup>1</sup> Chandrashekar Hiregoudar, B. & Raghavendra Reddy. (2007). Facility Planning And Layout Design. India: Technical Publications.

- Eliminar cuellos de botella y puntos de congestión (por medio del balanceo de la línea) de tal manera que el movimiento de la materia prima y el producto semi-terminado de una estación de trabajo a otra se minimice.
- Diseñar estaciones de trabajo ergonómicas y apropiadas para los operadores.
- Establecer espacios apropiados para centros de producción y/o servicio.
- Minimizar los movimientos hechos por los trabajadores.
- Minimizar el tiempo de espera de los productos semi-terminados.
- Mejorar condiciones de trabajo y hacerlas más seguras.
- Incrementar la flexibilidad al cambio en el diseño de cierto producto y una futura expansión.
- Correcta utilización del espacio cúbico (largo, ancho, alto) de las instalaciones.
- Mejorar métodos de trabajo y reducir tiempo de ciclo.
- Simplificar el mantenimiento de la planta.
- Incrementar la productividad y mejorar la calidad en el producto a un costo bajo.
- Realizar un buen movimiento del material a través de la planta a la velocidad deseada y con el costo más bajo.

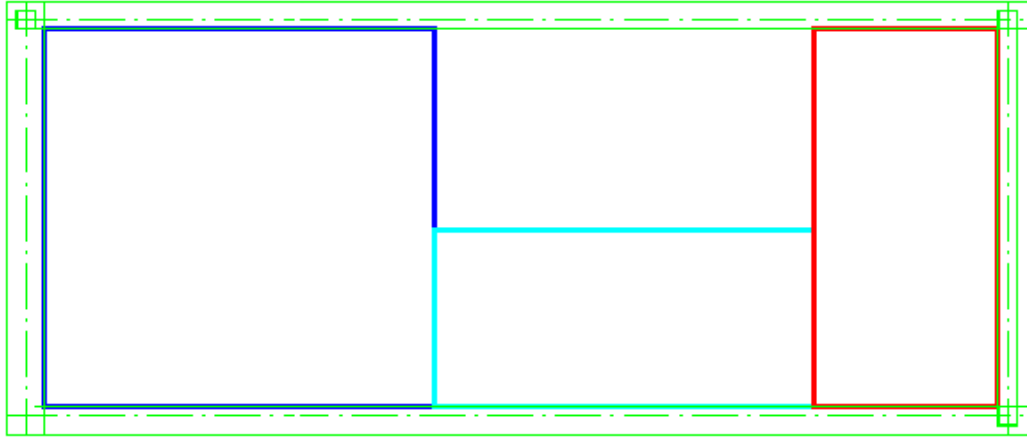
## 2.2. Planeación y preparación del Layout futuro incluyendo almacenes

El objetivo de la planeación de un *Layout* previo, es crear un dibujo de la planta en CAD que permita tener control de la operación de la cadena de suministro así como evitar o disminuir cuellos de botella que puedan existir, visualizando previamente las restricciones y limitaciones que puedan afectar la operación como la llegada de nuevos proyectos (máquinas nuevas, productos, aumento en la producción, etc.) y con esta información optimizar el flujo de los materiales.

Dentro de las acciones principales para la etapa de planeación se encuentra la realización de cálculos para espacios logísticos (materiales y líneas de producción) y la optimización de los procesos de planeación y programación de la producción dando como resultado un plan para la implementación de *Layout* que contiene toda la información, actividades realizadas y el avance del proyecto. Este plan puede ser realizado en un cronograma, *loogbok* o *roadmap* (Anexo B) que nos permita visualizar paso a paso cada una de las actividades y su relación con los demás departamentos.

Para esta etapa un bosquejo realizado en conjunto con todos los departamentos de la empresa en donde se delimiten físicamente las áreas de almacén y los procesos

de producción permite encontrar las posibles restricciones que existan debido a la medida de las máquinas y el tamaño de la planta. La definición del área de las máquinas y materiales depende en gran medida de los planes de producción y para una mayor exactitud en los resultados es recomendable realizar los cálculos con la información del pronóstico de ventas como apoyo complementario ya que esto da una visión más real de los requerimientos de los clientes a futuro. Para la realización de este bosquejo se pueden realizar diagramas básicos como puede ser un dibujo de bloques en herramientas como Excel, Power Point o programas de diseño ya que no todos los participantes tienen que ser necesariamente expertos en el diseño y así pueden tener un mejor entendimiento de la situación en piso cada uno de los integrantes del equipo. En la imagen 2 se observa el ejemplo de un bosquejo sencillo realizado en *Autocad* que tiene la flexibilidad de ser modificado las veces necesarias ya que solo representa los bloques en donde se ubicarán las máquinas y materiales.



**Imagen 2. Bosquejo de delimitación de áreas de almacén**

Esta imagen muestra la preparación de cada uno de los bloques que más adelante serán delimitados en el *Layout* oficial dibujado en un *software* CAD.

### *2.2.1. Restricciones y limitaciones del dibujo CAD*

En caso de no tener un *Layout* correctamente dibujado en el *software* CAD, la realidad en piso así como los cálculos realizados para la definición de *Layout* no coincidirán y ya que en la planeación ideal de la distribución de una planta se busca tener los equipos de producción lo más cercano posible al proceso inmediato que le corresponde dentro de la cadena de valor (Erlach, 2013), podría ocasionar, en caso de que existan diferencias entre las distancia de las máquinas y los almacenes, complicaciones para el correcto flujo de los materiales y tránsito de montacargas. Ya que se recomienda que la ubicación de las máquinas se realice de acuerdo a lo

comentado en el párrafo anterior, el diseño del *Layout* se definirá de acuerdo a los procesos de producción y para una producción más eficiente, los materiales se deben encontrar lo más cercano posible a la línea que los consumirá. Esto nos ayudará a llevar un mejor control de inventarios y dará la posibilidad de crear una producción más cercana al concepto de *one piece flow*, que servirá para optimizar el proceso de planeación de producción reduciendo tamaños de lote que disminuirán los tiempos de alimentación de las máquinas así como el lead time de entrega al cliente concepto que se tratará más a detalle en capítulos posteriores.

Como se mencionó en el párrafo anterior, el dibujo previo del *Layout* es una de las principales herramientas en la cual se basará la instalación de las máquinas y áreas de almacén y definirá el recorrido de los materiales a través de la cadena de suministro y se planearán las áreas logísticas de acuerdo a las dimensiones obtenidas del mismo por lo que es muy importante la precisión considerando todos los puntos de referencia que pueden ocasionar restricciones como pueden ser paredes, columnas, instalaciones eléctricas, etc. Para evitar cambios representativos en el *Layout* en un futuro cercano estas instalaciones deben estar ubicadas realmente en las posiciones establecidas ya que estos puntos de referencia delimitan la ubicación de las instalaciones y por medio de apoyo visual (*Visual Management*) se identifican las zonas plasmadas en *Layout* y se define cómo y dónde se pintará el

piso que delimitará el espacio a ocupar por cada una de las máquinas y estaciones de trabajo.

El objetivo de realizar el dibujo en equipo es evitar errores que a simple vista no se puedan notar como la incorrecta instalación de una máquina ya que una vez que una máquina está instalada es muy difícil realizar un movimiento de la misma debido a la alta inversión que representa por lo que la instalación de las mismas debe ser supervisada tanto por el departamento de manufactura e ingeniería (instalación) y el departamento de infraestructura (*Layout*) para evitar los problemas anteriormente mencionados.

De acuerdo a experiencias previas, se ha demostrado que algunos problemas ocasionados por este tipo de errores son la afectación del flujo de materiales, tiempos de entrega al cliente y en términos menores se debe considerar corregir la ayuda visual en piso lo que ocasiona problemas al momento de la operación.

### *2.2.2. Ayuda y administración Visual (Visual Management)*

El término *Visual Management* se puede entender como las herramientas utilizadas para señalar una planta de tal manera que cualquier persona pueda

identificar cada una de las áreas de almacenaje, líneas de producción y estaciones de trabajo sin tener conocimiento previo de la empresa. En el caso de las líneas de producción facilita la organización e implementación de herramientas para establecer una estandarización y orden que se ha demostrado ayuda a disminuir desperdicios como tiempo innecesario o defectos en las piezas. En el caso específico del proceso de ensamble de columnas de dirección se ha demostrado que los resultados de utilizar algunos modelos de ayuda visual que ayudan a indicar el procedimiento para la realización del trabajo reduce los problemas o errores dentro de las máquinas que se pueden presentar debido a personal menos capacitado. Es una herramienta para la implementación de la filosofía 5S's que ayuda a que los involucrados en las operaciones puedan administrar de forma correcta su propio trabajo en un ambiente limpio, seguro y organizado. Dentro de las líneas de producción puede servir para identificar en que parte del proceso se encuentran los materiales y/o las personas, así como visualizar el desempeño de las máquinas, el historial de productividad y seguridad, las instrucciones de trabajo y la ubicación física de las personas y las herramientas entre otros y se utiliza para la estandarización del lugar de trabajo que es básico para la implementación de filosofía 5S's o proyectos de TPM, SMED, entre otros proyectos de *Lean Manufacturing*. También se puede considerar como ayuda visual para el correcto seguimiento de los indicadores que miden el desempeño de cada área y puede ser

considerado una herramienta de *Kanban* y para la realización de un proyecto de implementación de *Layout* (Tompkins et al., 2003).

De acuerdo a James A. Tompkins<sup>2</sup> a continuación se nombran algunas ventajas del uso de *Visual Management* en una planta:

- Identificación y organización de lugares de trabajo.
- Documentación visual de KPI's, resultados e instrucciones de trabajo.
- Bitácoras de mantenimiento e identificación de equipos.
- Inventarios y control de calidad.
- Gráficas de control estadístico.
- Identificación de zonas de almacenaje.
- Otras.

Algunas de las identificaciones mencionadas se pueden encontrar en tableros como el que se muestra en la imagen 3.

---

<sup>2</sup> Tompkins, J. A. (2007). Planeación de instalaciones. Lugar: S.A. Ediciones Parainfo.



**Imagen 3. Tablero de indicadores S<sup>2</sup>QDC (Seguridad, Sustentabilidad, Calidad, Entrega y Costo)**

Estos tableros mostrados en la imagen número 3 son llamados S<sup>2</sup>QDC (Seguridad, Sustentabilidad, Calidad, Entrega y Costo) en donde se definen los KPI's de las distintas áreas y se actualizan constantemente para dar seguimiento a los diferentes procesos. Demuestran la situación actual del proceso y sirven para encontrar áreas de oportunidad que se pueden utilizar en un proyecto de optimización.

Las herramientas de *Visual Management* son utilizadas frecuentemente para identificar y delimitar las áreas de almacenaje y la ubicación de las máquinas que se instalarán en un futuro (imagen 4) lo que es una clara definición en piso de las propiedades del *Layout* definidas en fases anteriores. Al delimitar las diferentes zonas se trata de asegurar que el material acomodado no se mezcle con otros ya que no está permitido ocupar espacio que no le pertenece al área. Un ejemplo de esta

mezcla de materiales puede ser producto terminado + materia prima en un mismo lugar lo que causaría riesgos para el material que le llegará al cliente. Igualmente, esta señalización ayuda a identificar claramente las zonas en las que se encuentra el material disminuyendo así los desperdicios de tiempo que se pueden dar por no encontrar el material que se tiene que surtir a la línea.



**Imagen 4. Identificación de almacenes**

### *2.2.3. Aspectos de seguridad a considerar para el diseño de Layout*

Las normas de seguridad industrial indican los requisitos para el manejo de montacargas en los pasillos y las zonas de producción, las delimitaciones físicas para pasillos peatonales y de montacargas, escaleras de emergencia, señalización,

ayuda visual (*Visual Management*), entre otras. Las indicaciones específicas en cuestión de gestión de almacenes se pueden encontrar en las normas oficiales mexicanas NOM-006 (Anexo A)<sup>3</sup>, mientras que la que se toma como referencia para el uso de los colores en la NOM-026 (Anexo E)<sup>4</sup>.

Para que la infraestructura de la nave sea cuidada y no exista riesgo de golpes las columnas o estructuras deben ser protegidas con guardas especiales, dependiendo de las dimensiones del área. Siguiendo las normas mexicanas mencionadas, se reducen muchos riesgos de accidentes.

El coordinador de seguridad de la planta es una pieza fundamental para todas las decisiones tomadas al momento de realizar el *Layout* ya que es quien conoce o establece las medidas para evitar accidentes así como la ubicación de salidas de emergencia, extintores, hidrantes entre otros elementos que tienen una ubicación en planta y pueden causar peligro o son necesarios para evitar o contener accidentes. Al seguir estas indicaciones por parte de seguridad se ahorra en gran manera la modificación al *Layout* establecido y se evita afectar de manera significativa la

---

<sup>3</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-006-STPS-2014, Manejo y almacenamiento de materiales-Condiciónes de seguridad y salud en el trabajo.

<sup>4</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

distribución. Cualquier cambio o actualización del mismo ocasiona costos y desperdicios de tiempo, dinero y re trabajo.

Las políticas de seguridad y consejos que se dan a continuación están basadas en; las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), Normas ISO 14001 y Normas para la administración de la seguridad en el trabajo y la salud (OHSAS 18001:2007).

Estas normas que se siguen en la empresa thyssenkrupp Presta de México en cuestión de *Layout* y flujo de materiales que afectan directamente el dibujo fueron estandarizadas a nivel corporativo de acuerdo a la realidad en las diferentes empresas alrededor del mundo y son:

Pasillos y delimitaciones de áreas de almacén:

- Pintado de pasillos peatonales: tamaño de 80 cm de ancho para el paso del personal, línea continua de 10 cm de espesor color amarillo tráfico, línea puntada en caso de que exista movimiento de materiales. Pasos delimitados con líneas contrastantes (amarillo y negro) para indicar cruce de pasillo peatonal y de montacargas.
- Pasillos y maniobras de montacargas: tamaño mínimo de 4 m de ancho para realizar maniobras. En caso de pasillos angostos instalar guardas en las

columnas o usar equipos de pasillo angosto, para maniobras dentro de las líneas productivas debe existir espacio suficiente tomando como referencia la caja más grande y una tolerancia de 40 cm de cada lado del montacargas y el movimiento se debe realizar lo más alejado posible de las máquinas y las personas.

Salidas de emergencia y extintores:

- Prohibido manipular materiales en zonas donde se encuentren hidrantes o extintores. Igualmente se prohíbe el paso de montacargas en zonas donde existan salidas de emergencia.
- Respetar normas de estiba generadas de acuerdo a las especificaciones de las cajas las normas cuales deben ser entregadas por el proveedor e indicar que cantidad de cajas se pueden apilar así como el peso y altura máxima permitida para la creación de las instrucciones de empaque. Individualmente la empresa puede definir otro valor de acuerdo a condiciones de seguridad o características de la infraestructura del edificio.
- Protección y dispositivos de seguridad: Las máquinas y columnas deberán estar protegidas por guardas correctamente visualizadas y con colores reflejantes (amarillo tráfico y negro).

- Ubicación de estaciones de trabajo y herramientas debidamente visualizadas y fuera de áreas de almacenaje y/o pasillos.

En este caso práctico se indican las políticas de seguridad establecidas por la misma empresa tomando como referencia las indicaciones de las normas previamente mencionadas así como las experiencias y mejores prácticas de otras plantas alrededor del mundo y establecen criterios para evitar condiciones inseguras que ponga en riesgo la seguridad de la persona o el equipo y no sea contemplado en las normas oficiales buscando ser lo más cuidadoso posible con la seguridad de los trabajadores ya que cualquier accidente es motivo de sanciones y puede ocasionar que se tengan que realizar modificaciones a *Layout*.

### **2.3. Qué es distribución de planta**

La distribución de planta es el orden físico que se le da a los elementos que participan en el proceso productivo de una empresa y la ubicación de distintos departamentos (Tompkins et al., 2003). El principal objetivo es facilitar las labores de la cadena de suministro para la reducción en los costos del producto y la optimización de la producción por medio de la mejora del *takt time*. Eso se puede

analizar por medio de la herramienta de *Value Stream Mapping* (Erlach, 2013) que se explicará más a detalle en capítulos posteriores.

Los proyectos de distribución de planta y flujo de materiales se centran en la ubicación de los espacios físicos de diferentes elementos así como las instrucciones de la operación, control de inventarios y flujo del producto para la correcta localización de las máquinas y los almacenes. Para el correcto desarrollo de este tipo de proyectos debe existir compromiso entre todos los integrantes de la organización para lograr la optimización de las líneas productivas así como de la cadena de suministro (Vallhonrat Bou, 1991).

### *2.3.1. Tipos de distribución*

No existe un tipo de distribución que sea mejor que otra ya que para ser óptima se recomienda realizarse de acuerdo a las condiciones y necesidades de la misma empresa pero no es necesariamente aplicable para todos los procesos. Todas las optimizaciones a la distribución de una planta buscan mejorar el tiempo de producción, entrega de materiales y optimización de almacenaje y de esta manera lograr ahorros considerables en costos en toda la planta ya que se evitan las *mudas*

término que se explicará más adelante. Los tipos de distribución pueden ser distribución fija, por proceso o por producto (Niebel. B. & Freivalds, 2008).

La distribución de la planta puede centrarse en el recorrido del material (distribución por producto) de manera que la localización de las máquinas pueda realizarse de forma que el flujo del producto entre las líneas se minimice reduciendo el tiempo de transporte de los materiales así como los costos ocasionados por paros de línea debido a falta de material. La distribución por proceso se basa en la ubicación de las líneas de producción con operaciones similares en la misma área o muy cerca entre ellas lo que ayuda a la aplicación de la filosofía 5's ya que se puede mantener con mayor facilidad el orden y la limpieza e igualmente facilita la capacitación del operario ya que pueden trabajar en máquinas similares generando así una curva de aprendizaje menor que en otros casos. Ambos tipos de distribución tienen aspectos positivos y negativos por lo que se recomienda realizar una distribución que reúna características de cada uno de los procesos mencionados (Niebel. B. & Freivalds, 2008).

La distribución de planta fija se propone cuando un proceso de manufactura está dirigido a un sitio específico para darle al producto el acabado final. Esta configuración es propia de grandes proyectos de producción por lo que en el caso

de proyectos de flujo de materiales e implementación de *Layout* en una empresa es importante tenerla presente.

Las gráficas de recorrido son herramientas que se utilizan antes de diseñar o corregir distribuciones anteriores. Estas gráficas pueden ayudar al diagnóstico de los problemas relacionados con los departamentos y las áreas de servicio así como la localización de los equipos en sectores establecidos de la planta (Niegel. B. & Freivalds, 2008) y se pueden desarrollar previamente en los dibujos de *Layout* realizados en pasos previos.

### *2.3.2. Objetivos del diseño y distribución en planta*

El objetivo principal en los proyectos de distribución de planta es el correcto funcionamiento de la empresa de tal manera que la cadena de suministro funcione efectivamente para aumentar la productividad de los procesos de producción (Niegel. B. & Freivalds, 2008). El trabajo del diseñador o líder de un proyecto de flujo de materiales se enfoca en encontrar el mejor orden de las áreas de trabajo y del equipo para reducir costos como pueden ser tiempos de entrega dando mayor seguridad y comodidad a los trabajadores a. Algunos objetivos en la distribución de planta son:

- Integración de todos los factores que afecten la distribución.
- Análisis y optimización de movimientos de material mejorando los recorridos dentro de la planta.
- Correcto flujo de materiales e información a través de la planta.
- Utilización “efectiva” de todo el espacio disponible.
- Reducción de esfuerzos y mejora en las condiciones de seguridad de los trabajadores.
- Flexibilidad en el orden para facilitar reajustes o ampliaciones.
- Optimización del tiempo de entrega.
- Ordenamiento de almacenes y control de inventarios.

### *2.3.3. Problemas en los proyectos de distribución de planta*

Dentro de los proyectos de distribución de planta, se encuentran problemas antes, durante y después de comenzar como pueden ser:

Antes del proyecto: las medidas pueden haber sido afectadas por limitaciones de espacios, límites de la propiedad, afectaciones climáticas, etc. En este caso es posible que el dibujo en CAD no sea tan preciso como se piensa.

Durante el proyecto: la incorrecta instalación de las máquinas. Cuando una planta está en construcción o no ha llenado su capacidad es imperceptible pero una vez que empiezan a trabajar las líneas productivas se encuentran errores en las dimensiones lo que origina problemas en el flujo de los materiales por no haber considerado los puntos de referencia que se usaron para el dibujo en CAD o no tener espacio suficiente para almacenar el material.

Después del proyecto: Una mala distribución de planta origina altos costos a la empresa debido a cambios en la organización y aumento en los tiempos del flujo del producto lo que genera que tanto la productividad como el tiempo de entrega al cliente disminuya. Igualmente otra repercusión que puede existir debido a esta mala distribución es la generación de costos ocultos que no se encuentran hasta la realización de un análisis del proyecto. El incremento del tiempo de entrega al cliente se refleja en reclamaciones que representan un costo importante e innecesario para la empresa.

Si no se hace una planeación a futuro mayor a 3 años es probable que se tengan problemas en proyectos más adelante ya que no siempre es posible mover máquinas o reducir inventarios.

## 2.4. Planeación de plantas industriales

Durante un proyecto de este tipo es posible que existan ligeros cambios con respecto al *Layout* original debido a que algunas actividades se traslapen por lo que es importante tener flexibilidad al cambio para cada una de las fases. Adicional a eso, no es siempre posible seguir un modelo específico ya que, dependiendo de los resultados y la actualidad de la operación, puede ser necesario re-acomodar instalaciones o áreas determinadas previamente debido a cuestiones estructurales o técnicas como sucede con cualquier decisión por lo que, a pesar que no existe el modelo perfecto, es conveniente seguir ordenadamente una serie de pasos para el desarrollo del proyecto. Esta lista de pasos se menciona a continuación:

- Recopilación de información.
- Análisis de las necesidades de la empresa.
- Definición de respuestas que se pretenden dar.
- Simulación de escenarios posibles.
- Implementación del proyecto.

Es preciso tener presente que una vez implementado el proyecto no es sencillo y resulta costoso realizar cambios a corto plazo. Este tipo de proyectos no

contemplan un paro parcial o total de la empresa para la solución de errores en la implementación del mismo, por lo que dependerá en gran medida de la complejidad de los procesos y procedimientos desarrollados en la empresa.

En estos casos y para evitar errores al momento de implementar las acciones definidas, la planeación suele iniciarse por medio de la planeación sistemática de *Layout* (SLP por sus siglas en inglés) en donde se analiza la información para el estudio del flujo de materiales, compara el espacio disponible y el espacio requerido y se realiza el diagrama de relación de espacios y actividades.

#### *2.4.1. Planeación sistemática de Layout y planeación de instalaciones (SLP & facilities planning)*

Este método de planeación se desarrolló por Richard Muther en 1973 y su objetivo es analizar las áreas que pueden interrelacionarse entre ellas con frecuencia y la afectación de esta relación dentro de los procesos de planeación.

A continuación se explica de manera breve el procedimiento del SLP en pasos sencillos:

- Requerimientos de espacio: Se establece el espacio necesario en un lapso de tiempo determinado en unidades de medida (metros, pies, pulgadas, etc.)

- Relaciones de las gráficas: establece interacción entre las áreas y se realiza un *diagrama de relaciones*.
- Diagrama de relación de actividades: Representación visual de las distintas actividades, su relación e importancia de cercanía entre ellas. (imagen 5)

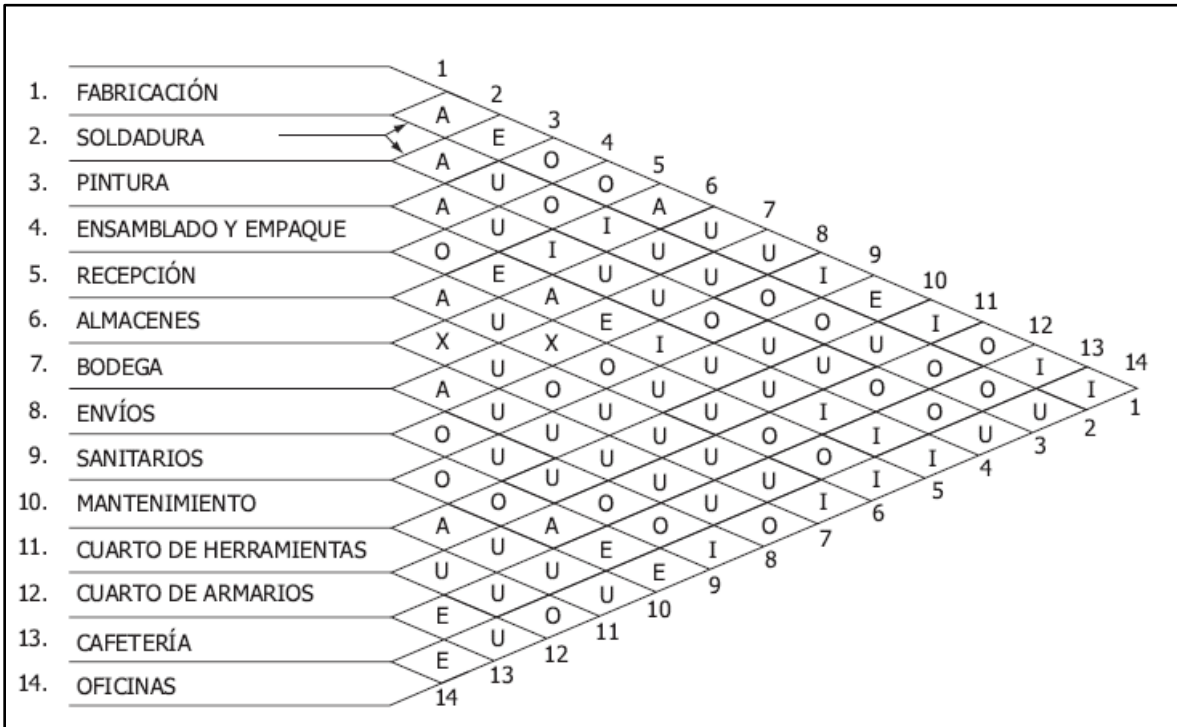


Imagen 5. Diagrama de relación de actividades<sup>5</sup>

- Distribución según espacio: se representan espacios y se dibujan las áreas a escala en términos de tamaño relativo<sup>5</sup>. En esta fase se puede comenzar a utilizar herramientas de dibujo más especializadas como *software* de dibujo y diseño CAD.

<sup>5</sup> Meyers, F. & Stephens, M. (2006). Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales, México: Pearson Educación.

- Evaluación de riesgos alternativos: evaluar todas las distribuciones posibles identificando los factores que se consideren importantes como la planeación y flexibilidad de expansiones de la planta, así como establecer la importancia relativa entre estos factores por medio de ponderaciones definidas para las mismas.
- Implementación del nuevo método.

Los niveles de planeación macro, micro, y sub-micro así como las actividades establecidas en cada uno de estos niveles de planeación se concentran en optimizar el flujo de materiales así como el *Layout*. Las decisiones tomadas en otros niveles de la planeación influyen en el *Layout* pero no en el planeador (Quarterman, 1997).

Algunos de los elementos principales que le dan fundamento al proceso de SLP son:

- **Space Planning Units (SPU's)**: Son unidades que se acomodan en la planeación de *Layout* para simbolizar el requerimiento de un espacio para almacenaje, áreas de trabajo, máquinas específicas entre otros.
- **Afinities**: factores que demandan cercanía entre las líneas y los SPU's.
- **Space**: Cantidad de espacio requerido por cierta SPU.

- **Constraints:** limitaciones que complican la planeación de un *Layout* óptimo como puede ser las dimensiones de la nave.

Este tema no tiene como objetivo la explicación de las herramientas anteriormente mencionadas pero se puede encontrar una explicación más a detalle en teoría del proceso de SLP.

## **2.5. Flujo de materiales, cálculo y optimización de espacios**

La relación del movimiento de los materiales dentro de la cadena de suministro necesita un análisis detallado para encontrar las áreas de oportunidad y determinar la mejor ubicación de las áreas de almacenaje así como la instalación de las mismas máquinas.

Para optimizar los espacios de almacén existen diversas estrategias, como pueden ser racks dinámicos, racks selectivos, o una mezcla de ambas. Para definir qué estrategia usar se requiere cierta información que puede ser otorgada por el equipo logístico como cuestiones de demanda, producción, tamaño de almacenes y ubicación de las máquinas. De no tener la información anterior se complica la preparación de soluciones para posibles escenarios que se pueden encontrar como

cambios en la demanda, lotes de producción, materiales obsoletos, entre otras que de no conocerlos se pueden pasar por alto y no considerarse para el cálculo de los mismos ocasionando que los datos entregados no sean confiables.

En el siguiente apartado se tratan temas relacionados al cálculo de espacios y se mencionan ejemplos sencillos de los mismos para visualizar la información que se busca.

#### *2.5.1. Análisis del flujo de materiales y cálculo de espacios*

Un problema común en la práctica diaria dentro de una empresa de manufactura es la incorrecta planeación de la producción y la afectación de la misma al flujo que se ha observado que se ve reflejado en insuficiencia de espacio para los almacenes y es uno de los problemas más comunes.

Para efectos del presente tema el concepto de almacén incluye todas las áreas en las que se almacena material y pueden ser: materia prima, trabajo en proceso (*WIP* por sus siglas en inglés) y los almacenes de producto terminado, material de empaque, y material que se envía a procesos que se realizan por medio de empresas de subcontratación. En caso de que exista alguna otra etapa en donde el material deba

ser resguardado se incluiría dentro de las áreas especificadas en el *Layout* sin tener unidad de almacenaje (*Haming unit*), término utilizado para identificar el material y tener una rastreabilidad del mismo siguiendo las reglas de FIFO dándole seguimiento a los materiales por número de lote, cliente, fecha de producción, etc. Dentro del término de HU se pueden considerar cajas, *pallets* o componentes pequeños siempre y cuando no se encuentren dentro del material en línea productiva.

Debido a la variedad de diferentes tipos de empaque es complicado establecer una medida universal para el tamaño de las cajas por lo que para una mayor exactitud en los cálculos se aconseja considerar las dimensiones de todo tipo de empaques, aunque es posible utilizar la caja más grande como base para obtener un estimado de la cantidad de cajas que se pueden almacenar en el peor escenario, pero no en todas las zonas se utiliza el mismo tipo por lo que los datos no serían exactos. Dependiendo de las solicitudes del cliente cada material tiene usualmente una instrucción de empaque que especifica las características tanto del producto como de los materiales utilizados y la información básica de cada uno de los productos para poder entregarlo en las mejores condiciones al cliente. Esta información y la mencionada a continuación son utilizadas para la realización de los cálculos aunque dependiendo del ramo de la industria en la que se esté llevando

a cabo el proyecto la información puede ser relevante o no. Hablando del caso específico de una empresa de manufactura del ramo automotriz encontramos que la información básica necesaria para la correcta realización de los cálculos se muestra en la siguiente lista y se especifica cada una de ellas más adelante.

- Volumen diario de la demanda.
- Days in Hand (DOH) o días de inventario.
- Normas de estiba y almacenaje.
- Instrucciones de empaque.

*Volumen diario de la demanda:* es la información obtenida en base a la programación de la producción diaria y las políticas de ventas que se tengan con cada cliente. Igualmente se puede estimar de acuerdo al pronóstico de ventas de la empresa y pueden representar la clasificación en la que se encuentra el producto específico. Los materiales pueden ser de alto movimiento (*high runners*) o de lento movimiento (*low runners*) y se clasifican de acuerdo a su relación con la producción y/o demanda total. De acuerdo a lo que se considere como crítico para el análisis de los materiales, los productos *High runner* pueden representar la mayoría de la producción total, cuales se consumen con más frecuencia o cuales representan un mayor costo mientras que los materiales de lento movimiento (*low*

*runners*) representan una parte no tan significativa de los mismos parámetros. Esta información se utiliza principalmente para identificar los materiales que pueden ser representativos para el cálculo del movimiento de materiales y para definir los productos que se utilizarán de referencia para el análisis de cada familia y la categorización de los mismos dentro del análisis ABC. Este análisis está orientado principalmente a la demanda del cliente y a la producción total y permite clasificar las diferentes familias de acuerdo a su relevancia (Erlach, 2013).

*DOH*: se refiere a la medida del número de días que una empresa tarda en consumir su inventario promedio y se estima a partir del punto de re-orden óptimo para balancear el inventario establecido conforme a la demanda del cliente de acuerdo a una política establecida en base al costo de almacenaje, frecuencia de producción y costo de material vendido.

*Las normas de estiba y almacenaje*: dependen del material que contenga el empaque así como del peso del mismo. En la norma oficial mexicana NOM-006-STPS-2014<sup>6</sup> (Anexo A), apartado 9.4 inciso b se menciona que “la altura máxima de estiba debe ser determinada en función de la resistencia mecánica, forma y dimensiones de los materiales y, en su caso, de los envases o empaques, así como

---

<sup>6</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-006-STPS-2014, Manejo y almacenamiento de materiales-Condición de seguridad y salud en el trabajo.

la forma de colocarlos, con la finalidad de asegurar su estabilidad”. Esta información es mostrada en las instrucciones de empaque con la información recibida por parte del proveedor quien debe demostrar que se respetan las condiciones de estiba máxima y condiciones de las cajas de acuerdo a las especificaciones de material que se almacenará dentro de ellas.

Siempre se debe buscar tener la menor cantidad de material dentro de la planta ya que esto genera costos de almacenaje y demuestra problemas en planeación, producción, ventas y calidad. A continuación se mencionarán algunas herramientas para el cálculo de espacios y cómo afecta en cuestiones de almacenaje. En la tabla 2 se muestra un ejemplo de cálculos realizados en base a los datos básicos mencionados anteriormente con una estiba máxima de 4 cajas para ambos materiales. El resultado mostrado en esta tabla representa (en el caso de la máquina 8181) el espacio necesario para almacenar 26,000 piezas de un producto en cajas de cartón de  $1 \text{ m}^2$  de área estibadas a una altura de 4 cajas teniendo un máximo de material dentro de la planta de 5 DOH para cumplir las demandas del cliente.

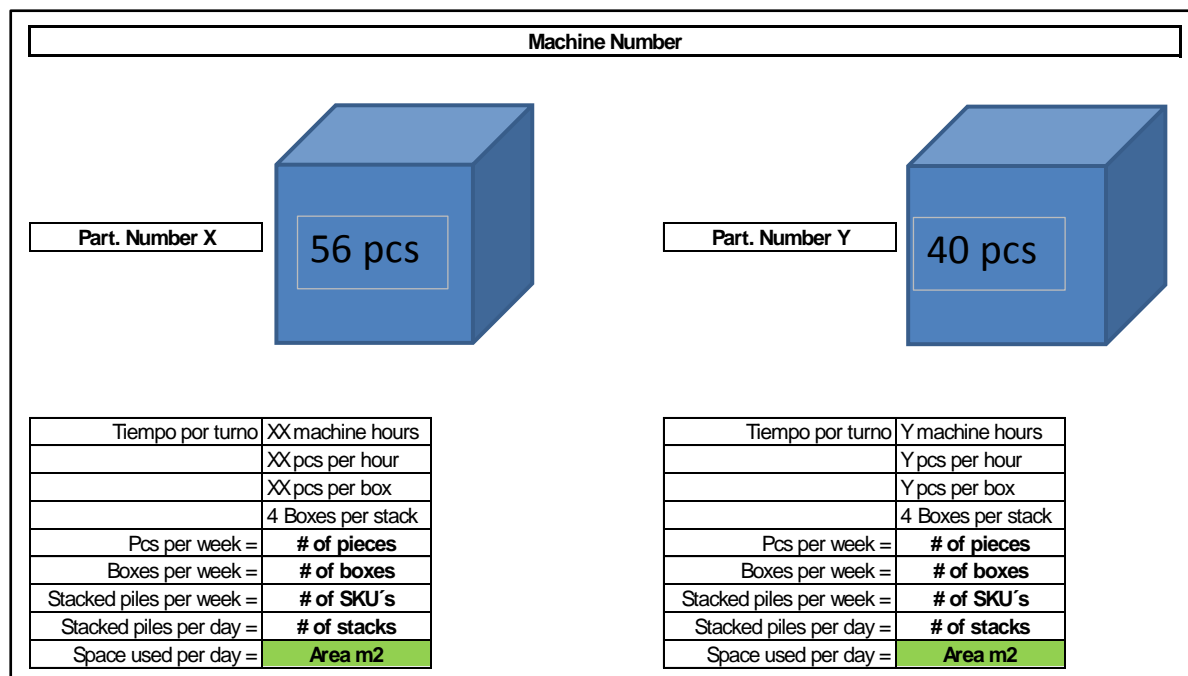
MACHINE	DAILY VOLUME (pieces/day)	DOH (days)	PIECES/BOX (average #pieces)	BOX DIMENSIONS (m <sup>2</sup> )	STACK (# boxes)	TOTAL PRODUCTION (pieces per year)	CALCULATED AREA (m <sup>2</sup> )	EMPAQUE	COMENTARIES
	A	B	C	D	E				
8181	26000.00	5	50	1.00	4	2663280.0	650.00	Big card box	Production
8182	2600.00	6	50	1.00	4	595785.0	78.00	Small card box	WIP

$$\frac{(\text{Volumen diario}) * (\text{Days on hand}) * (\text{Dimensiones de empaque})}{(\text{Piezas por caja}) * (\text{Cajas a estibar})} = \frac{(A) * (B) * (D)}{(C) * (E)}$$

**Tabla 1. Fórmula y cálculos de áreas de almacenaje**

Como se ha mencionado en repetidas ocasiones, algunas veces los datos utilizados deben ser estimados ya que no se tiene información disponible. En la tabla 2 se estimó el volumen de producción diario de acuerdo a la producción total del año anterior entre la capacidad de la caja en la que se empaca, obteniendo el número de cajas necesarias. El espacio calculado se compara contra el espacio real disponible en planta y en caso de ser insuficiente se busca tomar medidas como la reducción del nivel de inventario. Como se mencionó anteriormente por medio del concepto de *one piece flow* se puede reducir tamaños de lote e inventarios por eso la importancia de la cercanía entre las máquinas mencionada en capítulos anteriores.

En la imagen 6 se puede observar un bosquejo de la información básica que se debe solicitar para el cálculo las áreas de almacenaje.



**Imagen 6. Información necesaria para cálculo de espacios logísticos**

Cabe señalar que debido a cuestiones de confidencialidad los datos que se encuentran tanto en las tablas como en las imágenes solo son representativos y no contienen información real del proceso ni de las dimensiones de los empaques pero la información es precisa para poder realizar la explicación.

### *2.5.2. Herramientas de planeación y análisis de proyectos de flujo de materiales*

La planeación sirve para identificar previamente todos los posibles escenarios y el movimiento de los materiales durante el proceso teniendo como objetivo realizar un archivo con toda la información de las máquinas, alimentación

y frecuencias de entrega, requerimientos especiales de la materia prima (p. e. protección electrostática) así como la información de los clientes y proveedores para planear todas las áreas de almacén como la zona de carga y descarga (*inbound* y *outbound*) e identificar el movimiento óptimo de los materiales dentro de la cadena de suministro al igual que se compara el flujo actual contra los proyectos que existirán en un futuro. Se recomienda realizarla con datos de la situación futura de la empresa al menos 3 años a partir del año en curso.

Dentro de este análisis se toma la relación entre nuevos proyectos que vendrán y la llegada de nuevas máquinas así como de proyectos de clientes nuevos. Siempre se busca que la producción se haga lo más lineal posible por lo que este análisis nos permitirá definir los distintos cambios que se tendrán que realizar dentro de la empresa ya sean cambios en la distribución o almacenamiento de materiales.

#### *2.5.2.1. Value Stream Mapping (VSM)*

Este tema está enfocado a mostrar el método de VSM así como su procedimiento y a pesar de que se mencionará el método de *Value Stream Design* el objetivo no se enfoca en desarrollar esta fase del proyecto.

El flujo de los materiales de una planta puede ser analizado por medio de distintas herramientas de *Lean Manufacturing*. Algunas de ellas son diagramas de *Sankey*, diagramas de spaghetti o el mapeo de la cadena de valor por medio de *Value Stream Mapping* para la optimización del flujo durante el proceso. En este sub-capítulo nos centraremos en el análisis *Value Stream Mapping* (VSM por sus siglas en inglés) que ayuda a representar mejor la relación entre las máquinas, flujo de materiales, almacenes, clientes y da un análisis completo de la productividad de las máquinas y del proceso a través de la cadena de suministro. Complementando esta herramienta con la estrategia *Value Stream Analysis* se facilita la comunicación interna con respecto a los procedimientos de producción y sus debilidades así como sobre los enfoques para el diseño del estado futuro de la cadena de valor y de producción que se utilizarán para el diseño de la situación perfecta (Rother & Shook, 2003).

El VSM es una herramienta de *Lean Manufacturing* que se define como una representación gráfica de todas las actividades (que otorgan valor agregado o no) que se realizan para fabricar un producto. Nos dice principalmente el flujo de material desde la materia prima hasta el producto final y el flujo de la información desde el requerimiento del cliente hasta la entrega del producto terminado. Se realiza un dibujo que indica cómo el producto pasa a través de los procesos así

como el flujo de la información y nos ayuda a definir cuellos de botella que puedan existir (Rother & Shook, 2003).

La principal información analizada es aquella que impacta al cliente en cuestiones de entrega. Esto se calcula con respecto al tiempo en el proceso y el análisis nos indica los desperdicios que afectan directamente la entrega al cliente como puede ser el bajo tiempo ciclo de las máquinas, cambio de modelo alto o políticas de días de inventario en planta. Igualmente es necesario conocer el tamaño de lote, planeación de producción y los inventarios actuales en planta.

Una de las principales características del análisis VSM es que, como otras herramientas *Lean*, debe realizarse en papel y lápiz lo que facilita hacer correcciones en el momento.

Para la realización de un proyecto de VSM es importante elegir un producto o proceso representativo en cuestiones de valor comercial, problemas originados por el producto o máquinas críticas dentro del proceso. Una vez definido el producto o proceso a analizar hay que cerciorarse que represente a una familia de productos grande para abarcar un mayor volumen de la producción total.

### 2.5.2.2. *Porqué usar VSM en un proyecto de flujo de materiales*

Esta herramienta es utilizada para analizar el flujo aparente del producto y tomar decisiones precisas y correctas, por este medio se puede visualizar el flujo de la producción y no solo un simple nivel del proceso y suele ser un plano para la implementación de *Lean Manufacturing* dentro de una empresa (Rother & Shook, 2003). Al utilizar esta herramienta se pueden encontrar las fuentes de desperdicio en la cadena de valor, muestra los vínculos entre el flujo de información y el flujo del material y da un panorama grande de la situación actual, ayuda a conocer mejor el proceso de producción y encontrar los cuellos de botella. Es común que muchos detalles y decisiones que se toman en el piso pasen desapercibidos en caso de utilizar otro tipo de herramientas. Igualmente, como se menciona en el capítulo anterior, la herramienta VSM indica cómo se debe operar y el diseño de flujo completo desde la llegada del material hasta el final de la cadena de valor para reducir tiempos de entrega a cliente, inventarios y desechos.

La metodología VSM es una herramienta cualitativa que muestra visualmente lo qué se está haciendo bien o mal y analiza los desperdicios que están generando costos extra y es tan útil como las herramientas cuantitativas y diagramas de

*Layout*, pero crea un filtro para los pasos que no representan valor agregado, *lead time*, distancia recorrida, cantidad de inventario, entre otros.

Esta metodología se divide en *Value Stream Mapping* utilizado para el análisis y *Value Stream Design* utilizado para realizar el estado futuro (Erlach, 2013) y el VSM consiste en el mapeo de la situación actual de la cadena así como en el análisis de la información obtenida para determinar cuellos de botella dentro del proceso de producción. Este proceso también es conocido como *Value Stream Analysis* aunque en realidad son conceptos complementarios del *Value Stream Design* que contempla la etapa del diseño en donde se define la situación ideal a la que se quiere llegar a la que se le llama estado futuro. En esta etapa se analizan las posibles herramientas a implementar para mejorar la situación del proceso como pueden ser tarjetas *Kanban* para identificación de necesidades de material, *Conwip* para control de inventarios, implementación de concepto de supermercado dentro de la planta, entre otros (Erlach, 2013).

#### 2.5.2.3. *Proceso del VSM*

El proceso de VSM consta del análisis actual y futuro del recorrido de un producto a través de la cadena de valor. Los pasos a seguir son:

- Creación del equipo.
- Selección del producto a analizar (familia de productos).
- Dibujo del estado actual de la cadena de valor.
- Dibujo del estado futuro de la cadena de valor.
- Plan de trabajo y ejecución.

La creación de un equipo correcto es crucial para el éxito del proyecto por lo que es necesario crear un equipo multidisciplinario con integrantes de diferentes áreas. Las actividades y funciones de cada uno de los integrantes se pueden apreciar en la tabla 3 mostrada a continuación:

<b>Integrante / Función</b>	<b>Aportación al equipo</b>
Gerente de producción / responsable de turno	Información de la estructura del proceso de producción.
Supervisor / Líder de la máquina	Detalles del proceso.
Ingeniero de manufactura	Estructura e información de las máquinas.
Programador de la producción	Información de demanda del cliente y estructura de la programación.
Logística	Flujo de información, materiales e

	inventarios.
Director general	Requerimientos futuros de los clientes y proyectos nuevos.

**Tabla 2. Equipo y funciones de los integrantes**

*Selección de la familia:* Antes de comenzar con el VSM es necesario definir el producto o familia de productos que se va a analizar. Una familia de productos son aquellos productos que pasan a través de los mismos pasos y equipos a lo largo del proceso (Rother & Shook, 2003).

Para la definición de las familias de productos es esencial tener la información de demanda y estructura del producto. Para la creación del producto se debe realizar una matriz de interrelaciones de productos (Anexo F) y partes del proceso como la que se muestra a continuación:

Matriz de relación de familia de productos															
					Producto										
					Proceso										
Material	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5	MÁQUINA 6	MÁQUINA 7	MÁQUINA 8	MÁQUINA 9	MÁQUINA 10	MÁQUINA 11	MÁQUINA 12	MÁQUINA 13	MÁQUINA 14	MÁQUINA 15
Product 1															
Product 2															
Product 3															
Product 4															
Product 5															
Product 6															
Product 7															
Product 8															
Product 9															
Product 10															
Product 11															
Product 12															
Product 13															
Product 14															
Product 15															
Product 16															
Product 17															
Product 18															
Product 19															

**Imagen 7. Matriz de relación de familia de productos**

En esta matriz se muestra la similitud de los procesos de cada uno de los productos y se puede definir qué productos tienen procesos familiares o parecidos y sirve para agrupar dichos productos en grupos llamados “familias” de esta forma se realiza un análisis específico de los productos que afectan a un cliente en especial y no se realiza un análisis individual de cada producto ya que el cliente no necesita la información de todos los productos de la empresa. Los productos que recorra la mayor cantidad de procesos/máquinas similares así como los productos de un cliente en específico pueden ser considerados parte de la misma familia y esto nos ayuda para facilitar el análisis del producto y de esta manera evitar realizar 1 análisis de *Value Stream Mapping* por producto (Rother & Shook, 2003).

En matrices más completas es necesario incluir otro tipo de datos como la demanda anual de cada producto, el número de turnos definidos por semana por producto y otros datos que serían utilizados para la etapa de análisis del VSM pero la matriz propuesta solo es destinada para la identificación de las familias de productos (Rother & Shook, 2003).

*Dibujo del estado actual de la cadena de valor.* Realizar el VSM significa caminar y dibujar los pasos del proceso (material e información) de puerta a puerta y se debe realizar empezando desde el final de la cadena (área de embarques) hasta el principio (almacén de materia prima). Es indispensable seguir exacto el recorrido del flujo de material e información para obtener la información necesaria para realizar el dibujo del estado actual. De acuerdo a las políticas de la empresa se tiene definido que se debe evitar dibujar más de 25 procesos ya que, a pesar de que la planta sea muy pequeña, es muy complicado el recorrido y no tiene sentido ya que los datos se vuelven poco confiables. Como se ha mencionado anteriormente, la regla principal es que siempre debe dibujarse usando lápiz y papel y es indispensable comenzar desde el último proceso hasta la llegada de la materia prima. Un ejemplo del dibujo de un mapa de la cadena de valor se muestra a continuación en la imagen 8 y aunque la metodología dice que se debe empezar a realizar el mapeo en piso del paso final del proceso al inicio del mismo, en el

dibujo del VSM se debe comenzar desde el inicio con los proveedores hasta el final que es el cliente.

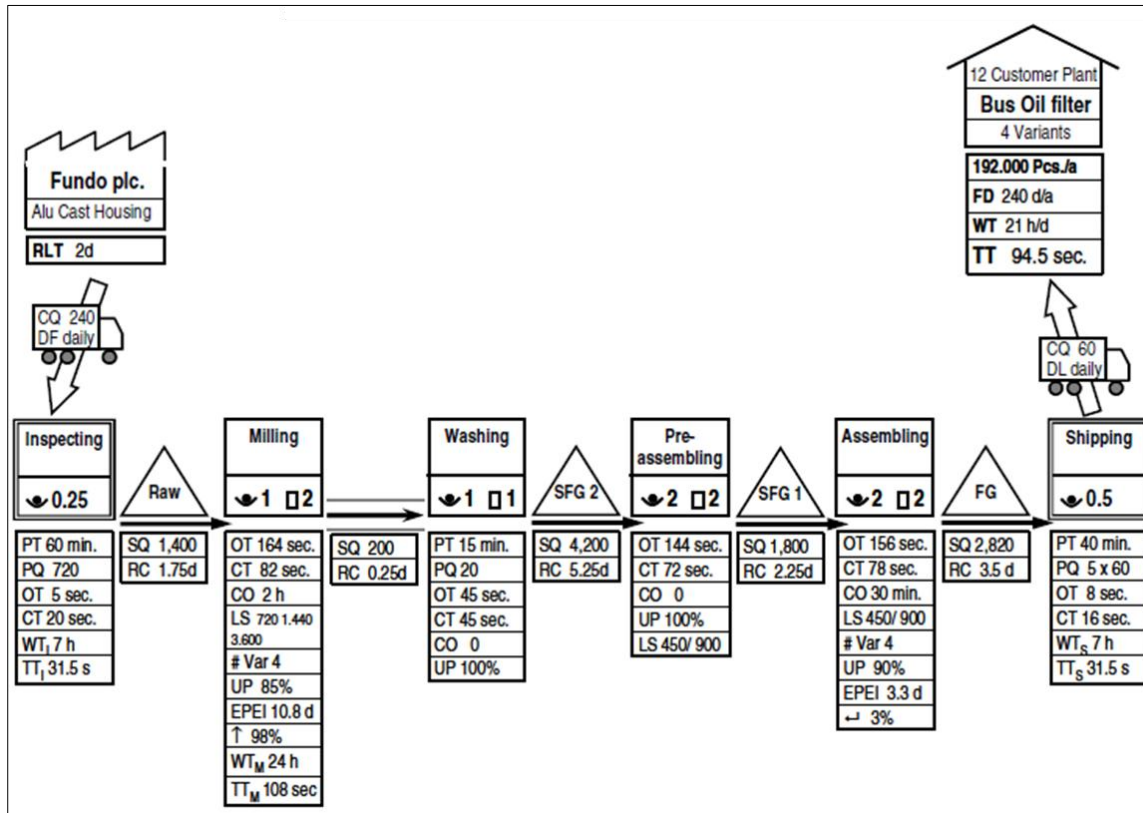


Imagen 8. Value Stream Mapping en Liquipur y análisis de flujo de materiales<sup>7</sup>

A continuación se menciona la información básica que se necesita conocer de las máquinas así como una breve descripción de cada dato para la realización de un análisis por VSM<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Erlach, Klaus (2013): Value Stream Design: The way towards a lean factory. Stuttgart, Alemania. Springer

<sup>8</sup> Erlach, Klaus (2013): Value Stream Design: The way towards a lean factory. Stuttgart, Alemania. Springer

- Tiempo tacto del cliente: tiempo en el que el cliente necesita consumir una pieza.
- Número de operadores: número de personas involucradas en el mismo proceso.
- Número de cajas (inventarios): número de productos que se procesan al mismo tiempo, en áreas de WIP y materia prima.
- Tiempo tacto de la máquina (*Takt time*): tiempo que tiene producción para producir una pieza y satisfacer la demanda del cliente.
- Tiempo de proceso (*Process time*): tiempo requerido para producir el material necesario para llenar una caja.
- Tiempo ciclo (*Cycle time*): relación (porcentaje) entre el tiempo de proceso y la cantidad de HU's.
- Tiempo de cambio de modelo: tiempo requerido para realizar ajustes a la máquina para comenzar a producir un modelo diferente.
- Porcentaje de cambios de modelo por turno.
- Tamaño de lote: número de productos diferentes producidos entre cada cambio de modelo.
- OEE (Overall Equipment Efficiency); porcentaje de eficiencia productiva de cada máquina.
- Turnos por semana que trabaja la máquina.

- Capacidad de producción en piezas por hora.

Información de almacenaje requerida:

- Producto o familia de productos a almacenar
- Inventario en piezas.
- Alcance (inventario por tiempo tacto del cliente)
- Normas de empaque; piezas por caja.

Los pasos que se recomiendan utilizar para seguir un producto de manera secuenciada y obtener la información necesaria para realizar el VSM, se mencionan a continuación.

- Caminar a través del proceso desde la zona de embarque hasta el área de materia prima con los “ojos abiertos”.
- Registrar cada paso del proceso.
- No confiar en la información del sistema (ERP): inventario, tiempo ciclo, *Scrap* y otros desperdicios lo recomendable es preguntar a los operadores ya que ellos saben la situación real de la máquina.
- Medir la información por cuenta propia.

- Tomar su tiempo, no correr a través del proceso.
- Realizar el dibujo a mano alzada y regresar al lugar donde se esté realizando el ejercicio.
- No dividir las máquinas: si las estaciones de trabajo o las máquinas están conectadas directamente, tomarlo como una sola caja de proceso.
- Tratar de no mapear más de 25 procesos diferentes en un mismo ejercicio.
- No perderse mucho en los detalles.
- Marcar con imagen de inventario donde se hayan visto inventarios.
- Señalar todas las observaciones adicionales con marcas Kaizen que identifiquen los posibles problemas o cuellos de botella.

Para realizar el dibujo se utiliza nomenclatura identificada por medio de dibujos como una manera más fácil para la lectura de la información y el movimiento de los materiales a través de la cadena de valor. Estos dibujos se muestran en la imagen número 10 que se encuentra en la siguiente página.

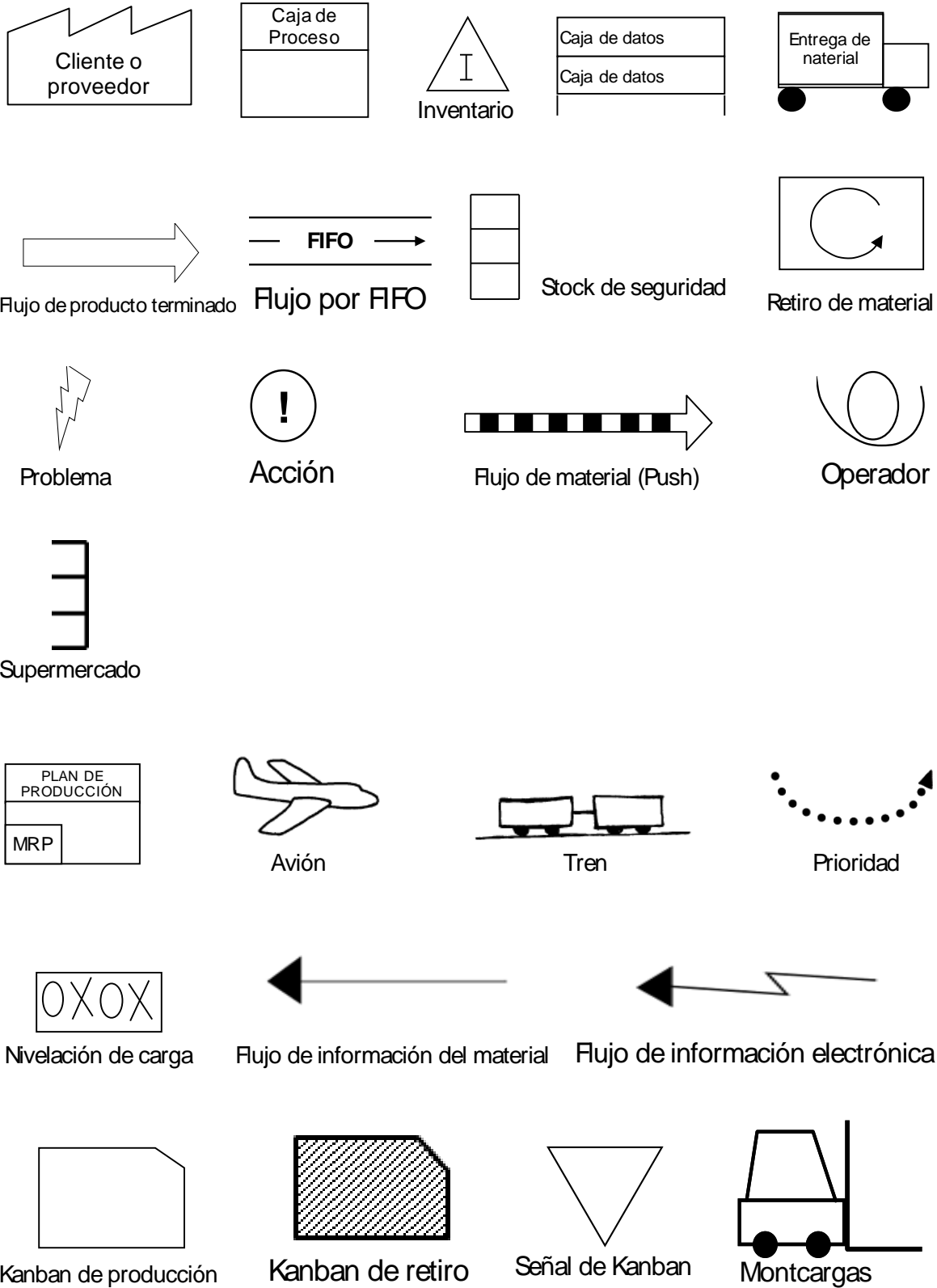


Imagen 9. Imágenes para realizar el dibujo del VSM

*Dibujo del estado futuro de la cadena de valor.* El objetivo principal del dibujo del estado futuro es crear una cadena de producción en la que los procesos estén encadenados a uno o varios procesos (máquinas) mediante un flujo continuo o con un sistema de “supermercado” u otras aplicaciones de *Kanban*. Igualmente se busca optimizar el proceso para producir lo que los clientes necesitan cuando lo necesitan sin crear muda y resolver cuellos de botella en piso. Para hacer el diagrama del proceso, es necesario realizar 8 preguntas clave. Estas preguntas se mencionan a continuación.

- ¿Cuál es el *takt time*? (basado en el tiempo disponible de trabajo del proceso más cercano al cliente)
- Que herramientas se tienen para realizar mejoras.
- ¿Es posible construir un supermercado de producto terminado del cual el cliente jale, o embarque directamente?, ¿En dónde se construiría?
- ¿En dónde se puede usar un flujo continuo de proceso?
- ¿En qué punto específico de la cadena se controlaría la producción con las herramientas usadas?
- ¿Cómo nivelaría la mezcla de producción en el proceso que sea cuello de botella?

- ¿Qué tamaño de Lote debería usar para que se considere que el proceso trabaja de acuerdo a los requerimientos del cliente?
- ¿Qué mejoras en el proceso son necesarias para que el flujo funcione como el dibujo del estado futuro?

*Plan de Trabajo y Ejecución.* Este plan de trabajo debe estar enfocado a priorizar tareas y tener una secuencia de trabajo. No se debe considerar como la implementación de una serie de técnicas sino como la construcción de una serie de flujos conectados entre sí por familia de productos.

Una vez creado el mapa del estado actual y del estado futuro de la cadena de valor se debe crear una serie de directrices a seguir de acuerdo con los hallazgos que se hayan visto durante el ejercicio. Los hallazgos o áreas de oportunidad se marcan con marcas tipo Kaizen que indican el lugar en el que existe un desperdicio u oportunidad.



**Imagen 10.** Marca Kaizen para identificar áreas de oportunidad / cuellos de botella

Algunas observaciones pueden ser que existe sobre inventarios, paros de línea o cuellos de botella que nos servirán para definir el plan de acción y resolver u optimizar los procesos. En este plan de acción se debe incluir la siguiente información:

- Estado actual y futuro del VSM.
- Indicadores y objetivos para medir la efectividad.
- Actividades e iniciativas ordenadas en orden de prioridad.
- Responsables de cada actividad.
- Establecer tiempo de entrega de cada actividad.
- Llenar la tabla de acciones.
- Implementar el plan de acción.

En la imagen 11 se muestra un ejemplo de los formatos utilizados para capturar la información en la que se definirá del plan de acción que se llevará a cabo para realizar las acciones de mejora, de acuerdo a las áreas de oportunidad encontradas por medio del análisis que se realizó por los medios anteriormente descritos. Para que el plan de acción generado tenga mejores resultados se recomienda que incluya no solo las actividades a seguir si no los responsables, fechas compromiso, entregables del proyecto y en caso de requerirlo personal de apoyo de acuerdo a las

funciones de cada departamento ya que dependiendo del proyecto las actividades encontradas en el análisis e indicadores pueden cambiar o requerir información manejada por parte de otros departamentos.

Date	Nº	Project	Topic	Type	Description	Responsible	Involved	Due Date	Status
lun, 17/02/2014	0	Logbook	Getting started	do	Do not delete this last row unless you have inserted other rows above!!!	You		lun, 17/02/2014	
mar, 18/02/2014	1								
mié, 19/02/2014	2								
jue, 20/02/2014	3								
vie, 21/02/2014	4								
sáb, 22/02/2014	5								
#####	6								
lun, 24/02/2014	7								
mar, 25/02/2014	8								
mié, 26/02/2014	9								
jue, 27/02/2014	10								
vie, 28/02/2014	11								
sáb, 01/03/2014	12								
#####	13								
lun, 03/03/2014	14								
mar, 04/03/2014	15								
mié, 05/03/2014	16								
jue, 06/03/2014	17								
vie, 07/03/2014	18								
sáb, 08/03/2014	19								
#####	20								

**Imagen 11. Plan de actividades para la ejecución del plan de acción del VSM**

Una vez realizados todos los pasos para la creación de la cadena de valor lo único que queda pendiente es la aplicación del plan de acción. Para que un análisis por VSM funcione y tenga sentido hay que diseñar un plan de acción y darle seguimiento al mismo ya que como líder de VSM nuevo o con experiencia debemos hacer que las cosas pasen.

Es necesario dar seguimiento continuo a los resultados del VSM y las acciones definidas ya que, el objetivo no es solucionar un problema actual si no mejorar el proceso y mantenerlo de esta manera.

## **Capítulo 3. Metodología: análisis de Layout, casos de estudio y casos de éxito**

### 3.1. Características de los proyectos de distribución de planta

Para la realización de los proyectos de distribución de planta se consideran diferentes escenarios como pueden ser expansión de la planta, cambio en el proceso de producción, arribo de máquinas nuevas o la distribución de almacenes.

Algunos objetivos de los proyectos de distribución de planta son:

- Mejora en el flujo de materiales.
- Optimización en la utilización del espacio disponible.
- Mejora en temas de seguridad y limpieza en la planta.
- Facilitar y optimizar el trabajo.

Algo primordial dentro de un proyecto de distribución de planta es la existencia de un *Layout* actual y futuro que debe ser conocido por los responsables de las distintos departamentos y actualizado constantemente ya que en un proyecto de este tipo participan todas las áreas de la empresa y se deben considerar las necesidades tanto de las líneas productivas como de las actividades administrativas. En temas posteriores se tratarán situaciones específicas en un proyecto de expansión y distribución de planta.

### **3.2. Temas a considerar en un proyecto de distribución de planta**

Una de las áreas más importantes de la empresa y de un proyecto de distribución de planta es el almacén ya que de este dependen todos los movimientos realizados desde materia prima hasta producto terminado (cadena de suministro), así como de las líneas de producción. Es indispensable el conocimiento del proceso de producción, el flujo de materiales y la capacidad de almacenamiento para una correcta distribución debido a la fuerte interrelación entre el almacén y toda la cadena de suministro ya que cualquier fallo o error en la administración del mismo puede ocasionar problemas en todas las áreas de la empresa tanto logística como planeación, producción, etc.

La ubicación de las líneas productivas así como el almacenamiento del material determinan el espacio disponible dentro de la planta lo que afecta al *Layout* por lo que para la distribución de planta hay que considerar el flujo de materiales, la planeación de la producción y de las áreas de almacén.

Igualmente y como se ha mencionado en capítulos anteriores otros aspectos a considerar son el respeto y aplicación de las normas de seguridad industrial que indican los requisitos para movimientos logísticos (manejo de montacargas) en los

pasillos y las zonas de producción, las delimitaciones físicas para pasillos peatonales y de montacargas, escaleras de emergencia, señalización y ayuda o administración visual (*Visual Management*), entre otras. La infraestructura de la nave debe cuidarse de igual manera y se deben evitar riesgos de golpes y, en caso de que existieran daños, las columnas deben ser protegidas con guardas especiales dependiendo de las dimensiones del área.

### **3.3. Casos de estudio**

En algunos casos es necesario tomar la decisión de instalar máquinas, reubicar o incluso realizar ampliaciones a los edificios debido a situaciones no previstas con anticipación por eso es indispensable realizar un análisis de *Layout*. En este capítulo se tratarán casos específicos que influyeron directamente en el desarrollo del proyecto de expansión, distribución de planta e implementación de *Layout* de la planta de thyssenkrupp Presta de México ubicada en Huejotzingo, Puebla. Los casos analizados y para los cuales se creó la presente metodología se clasificaron de la siguiente manera:

- Ubicación de una maquina planeada.

- Instalación de una máquina nueva que no estaba planeada y no hay espacio disponible.
- Realizar un proyecto iniciando desde cero.

### *Caso de estudio 1: Ubicación de una máquina planeada*

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la realidad y lo planeado en *Layout* no siempre coinciden entre si debido a diferencias que no son consideradas en la etapa de diseño o en caso de no realizar un análisis en un equipo multidisciplinario que incluya a todos los departamentos afectados. A continuación se desarrolla la metodología propuesta para ubicar una máquina que ha llegado y que ha sido establecido previamente su lugar en *Layout*.

Para la correcta instalación de una máquina es indispensable tener la información del proyecto al cual corresponde. De acuerdo a la información de la etapa en la que se encuentra el proyecto se puede conocer la relación directa con las demás partes del proceso y se tendrán las herramientas para realizar el análisis del flujo de materiales, los cálculos de áreas logísticas y definición de las familias de productos que se utilizarán de referencia dentro del análisis. En el caso de que sea una máquina final, lo recomendable es que se encuentre lo más cercano al almacén

de producto terminado. La maquinaria, el movimiento de la misma y el flujo de materiales nos limitan el área que podemos utilizar para la ubicación tanto de las máquinas como de las áreas administrativas o almacenes.

La información técnica de las máquinas ofrece los parámetros en base a los cuales se realizarán los cálculos del espacio necesario para su instalación. Dentro de los proyectos de flujo de materiales e implementación de *Layout* debe existir siempre cierta flexibilidad para realizar cambios pero para la ubicación de las máquinas no hay muchas opciones ya que las dimensiones regularmente son fijas y no hay margen de maniobra. Estos cambios dependen de las especificaciones de la máquina y de acuerdo a esto se buscan alternativas para la optimización del espacio.

El análisis del *Layout* no debe ser una actividad aislada y debe realizarse con regularidad durante el proyecto para tener monitoreado el espacio físico y sus diferencias entre lo real y el dibujo en CAD. Los análisis frecuentes son requeridos para saber si existe espacio suficiente de acuerdo a *Layout* y en caso de no ser así, analizar la razón por la cual han existido cambios. Ya sea error de dibujo o de instalación, es necesario identificar el problema para realizar las modificaciones

pertinentes al *Layout* planeado para la localización de la siguiente máquina, área de inspección, etc.

En el caso de que el espacio sea suficiente se define en *Layout* las áreas más convenientes para la instalación dependiendo de la situación y la fase del proceso a la que pertenece la máquina en conjunto con los departamentos de manufactura, desarrollo, procesos y logística y se continúa con la definición de las zonas de WIP y almacenes que deben de estar cerca para la optimización del flujo. Antes de comenzar con la instalación, se deben discutir las normas de seguridad a seguir para la ubicación y manejo de los materiales<sup>9</sup>. En el caso de que no se cumpla con las normas de seguridad, se tiene que reprogramar la instalación ya que el cumplimiento de las normas de seguridad es lo que nos permite establecer una fecha para la misma.

Es importante establecer que el área destinada para la instalación de la máquina debe ser delimitada para evitar que coloquen material o herramientas que no correspondan. Por último se confirma nuevamente el espacio disponible en piso, se libera el área y se establece la fecha de instalación.

---

<sup>9</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-154-SCFI-2005, Equipos contra incendio-extintores-servicio de mantenimiento y recarga.

Caso de estudio 1: Llegada y ubicación en Layout de una máquina nueva

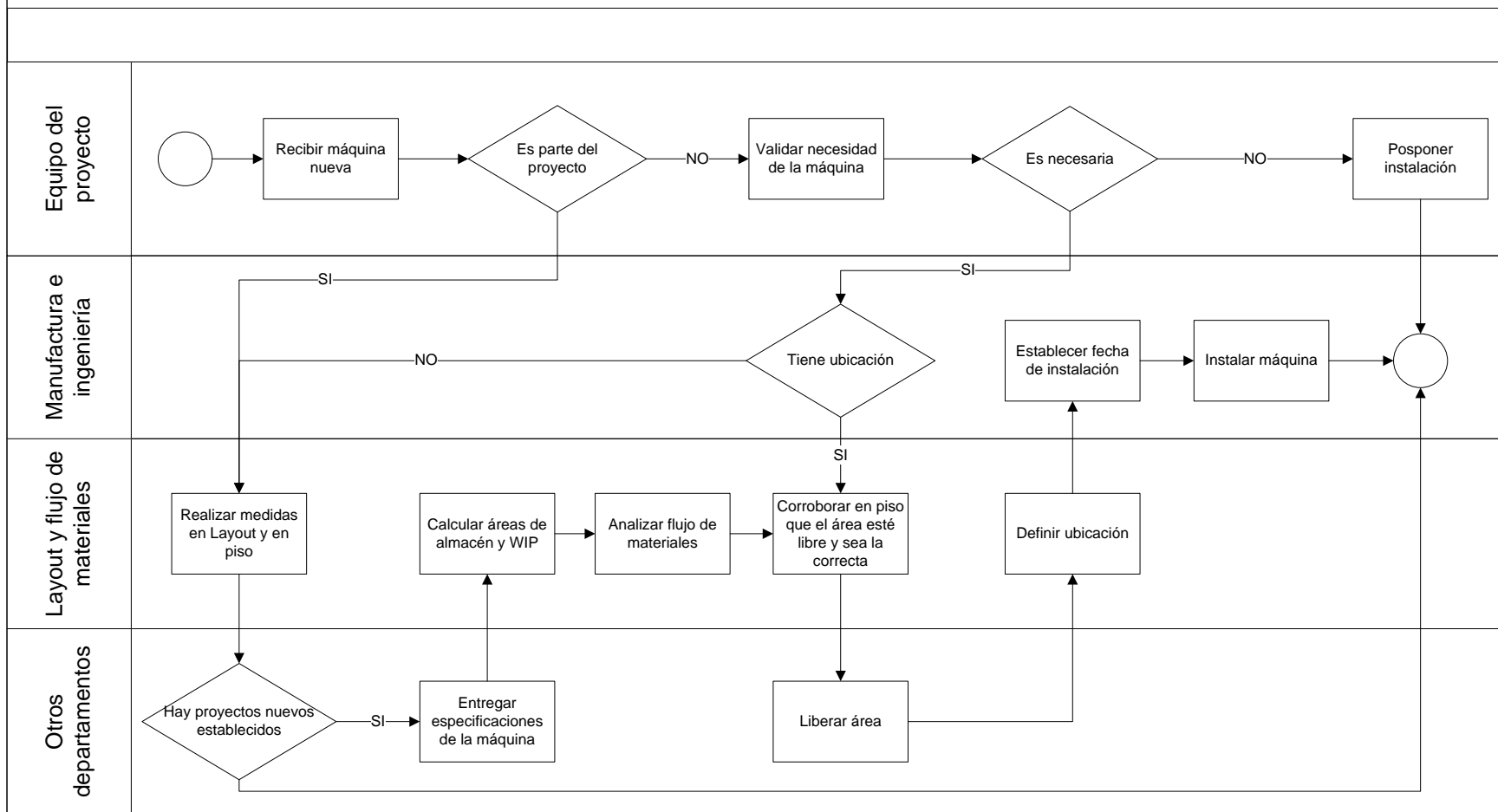


Diagrama 1. Caso de estudio (máquina planeada)

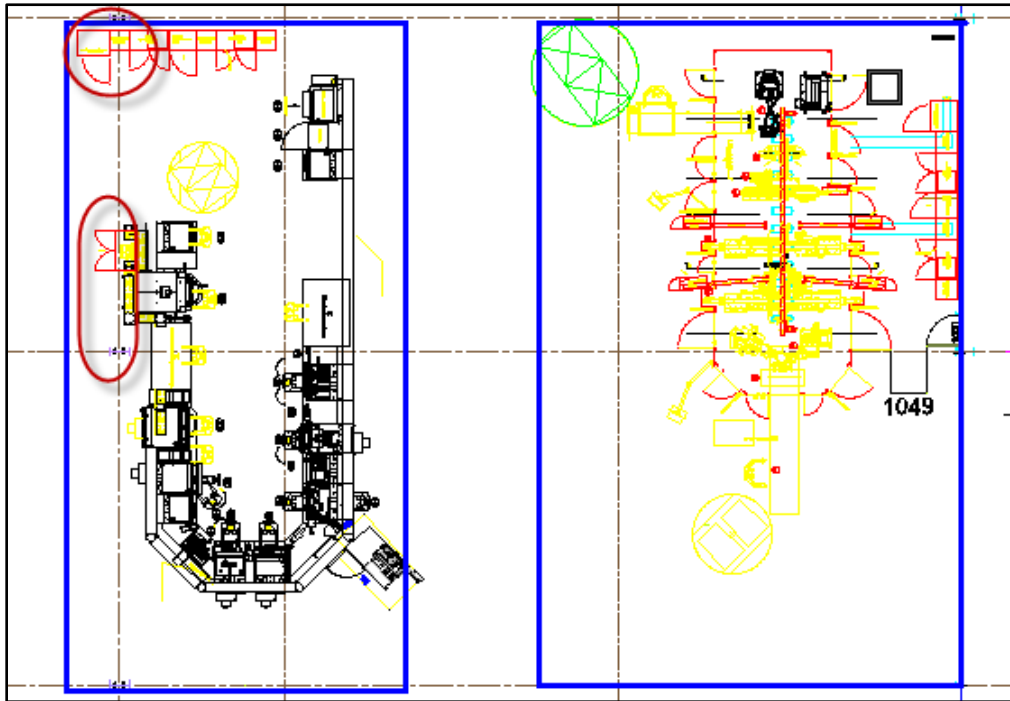
El proyecto de implementación de *Layout* y distribución de planta realizado en la empresa thyssenkrupp Presta de México incluía la instalación de 3 máquinas nuevas para la línea de columnas de dirección. La planeación de estas máquinas consistía en la relocalización de una de ellas dentro de la planta, el movimiento de otra desde la planta de Xoxtla y la tercera considerada como proyecto nuevo.

En este caso específico encontramos que el dibujo en *Layout* y la instalación de las máquinas eran diferentes. Debido a que el dibujo fue creado por gente fuera de la planta de México la situación real en piso y el dibujo no coincidían. Al comienzo del proyecto, la primera línea de producción ya había sido instalada por lo que el acomodo de las siguientes líneas debía realizarse con respecto a ella ya que no se tenía un punto de referencia que estuviera relacionado con la infraestructura de la nave. Esta máquina tenía un desviación de aproximadamente 1.5 m con respecto al *Layout* original ya que no se instaló conforme al dibujo. Al tener que tomar este punto de referencia se perdió la flexibilidad que se tenía para la asignación de espacio para otras máquinas.

Como se mencionó anteriormente, las normas de seguridad industrial especifican las medidas para el manejo de materiales e instalación de máquinas. Las delimitaciones en piso como pasillos de montacargas pasillos peatonales, áreas

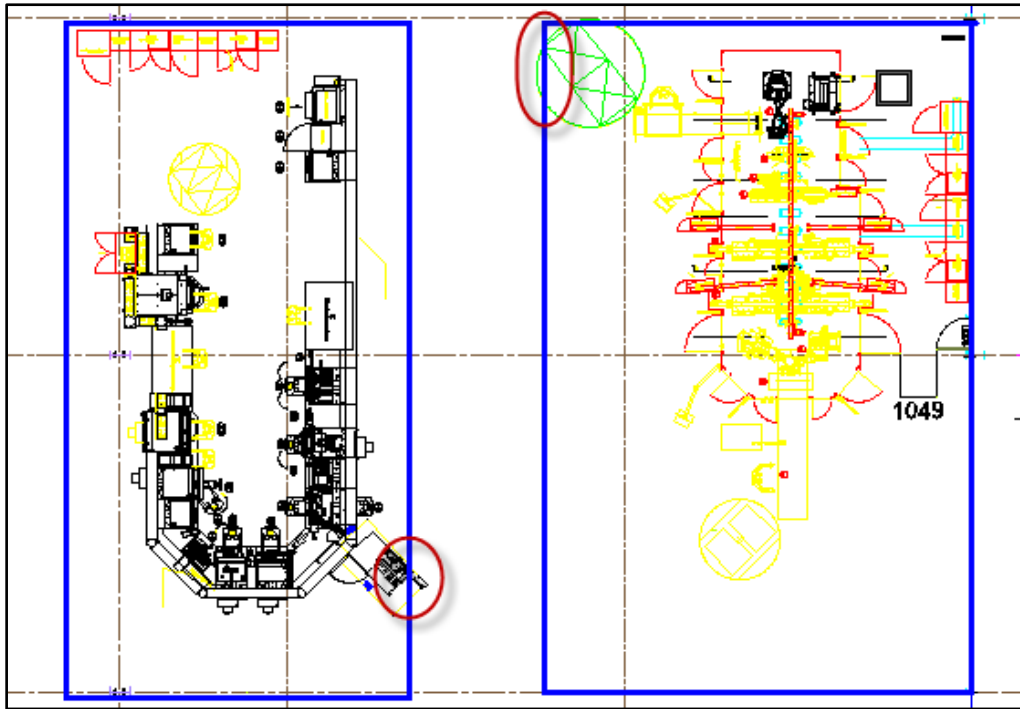
de producción y almacén. La delimitación impide el manejo de montacargas en áreas de producción e indica las medidas para la instalación de cualquier objeto. Como indicación por parte de seguridad durante el desarrollo de este proyecto los pasillos de montacargas debían tener dimensiones mínimas de 4 m ancho para la manipulación del material. No se permitió realizar ninguna instalación fuera de las líneas delimitadas ni invadir pasillos peatonales. Uno de los errores del proyecto fue que en esta etapa de la planeación no se consideraron los aspectos de seguridad de la infraestructura de la nave.

Hay que tener presente que no es posible instalar cualquier tipo de estructura,, máquinas, u objetos que vayan a tener una ubicación física ni asignar zonas para almacenaje en lugares que puedan golpear paredes, columnas, puertas, etc. En este caso específico, el lugar asignado para la instalación de la máquina en *Layout* causó problemas ya que no fueron considerados estos puntos y al momento de comenzar la delimitación de otras áreas se encontró que había módulos, herramienta y estantería que en el dibujo original se encontraban ubicados sobre columnas de la nave (imagen 12).



**Imagen 12. Incorrecta ubicación de módulos (afectación de la infraestructura)**

La instalación no debe realizarse hasta analizar a detalle estos puntos ya que de no considerar los aspectos de seguridad y/o de la infraestructura se puede incurrir en costos no planeados dentro del proyecto como pueden ser la desinstalación de la máquina, el equipo, horas extra, entre otras que representan dinero y esto generaría un incremento en el costo del proyecto. Si se comienza la instalación de la máquina y la distribución no era la indicada se tendría que desinstalar y realizar movimientos innecesarios que originarían costos adicionales. Otro error en el dibujo de *Layout* fue que la máquina planeada y los módulos de la misma no respetaban los límites de las áreas destinadas (imagen 13).



**Imagen 13. Incorrecta ubicación de módulos (invasión de pasillos)**

Al realizar el dibujo no se consideró que debían existir pasillos peatonales lo que le dio mayor flexibilidad al dibujo y el operador que manipula los materiales se encontraba fuera de la línea que delimitaba el área de la máquina. Igualmente, en el dibujo de una de las máquinas se consideraba una mesa rotatoria de 1.5 m de radio para la alimentación de la misma (imagen 13), modelo que se utiliza en otras plantas de thyssenkrupp Presta alrededor del mundo.

Este tipo de problemas se descubrieron hasta que el departamento de mantenimiento comenzaba con la recepción de la nueva máquina por lo que se realizaron las entrevistas con los responsables de seguridad, manufactura,

producción y logística para tomar medidas correctivas y realizar la distribución nuevamente de esta parte del *Layout*.

Las medidas tomadas en este caso para solucionar el problema fueron:

- Hacer del conocimiento del problema a los afectados y se fijaron las normas de seguridad a seguir para el caso de instalación de la máquina.
- Tomar medidas físicamente en piso y compararlas con las de *Layout* para confirmar que fueran las mismas a las adecuaciones que se proponían.
- Tomar como referencia el límite de la máquina previamente instalada para realizar las modificaciones al dibujo y tomar un segundo punto de referencia para la instalación de la tercera máquina.
- Validar con el departamento de manufactura la posibilidad de instalar la máquina en la misma ubicación pero en otra posición.
- Analizar el flujo de materiales de la zona, la alimentación y el producto final de cada una de las máquinas para establecer el nuevo concepto de alimentación de las máquinas.
- Rediseñar el modelo de las máquinas planeadas. En este caso en particular se tomó como referencia el sistema que se utiliza en la planta de Terre Haute.

- Delimitar las áreas y supervisar la instalación en conjunto con el departamento de Manufactura.

Gracias a que las máquinas no habían sido desempacadas ni armadas y que aún existía flexibilidad en la instalación de las mismas, se pudieron realizar propuestas en los movimientos e instalación de las mismas. El resultado fue una modificación tanto en la línea de producción como en *Layout* afectando mínimamente las áreas de almacén destinadas para WIP y producto final.

*Caso de estudio 2: Instalación de una máquina nueva que no estaba planeada y no hay espacio disponible*

Este caso de estudio se enfoca a la localización de una máquina que originalmente no fue planeada dentro del proyecto original y no existe espacio suficiente en piso para su ubicación. En el momento que llega una máquina nueva o la indicación de relocalizar un área de almacén, se comienza con el proceso de validación de la necesidad de la misma como ocurrió con la metodología del caso anterior. En el caso de que este movimiento no esté dentro del alcance del proyecto es necesario validar y justificar la necesidad de la máquina en cuestión de fechas de entrega para la ubicación, instalación o movimiento del área.

Como en todos los casos, el tamaño de la nave es la principal limitante y es necesario que las áreas estén libres para el correcto acomodo de los materiales así como considerar la fecha de llegada de la máquina para programar la instalación en conjunto con el ingeniero de flujo de materiales ya que una vez en piso no es posible cambiarla de ubicación y en el caso de que el espacio sea ocupado por algún otro tipo de material, la operación se verá afectada.

Cuando se libera un área física es común que los espacios asignados se ocupen con material que se almacena temporalmente. Esto ocasiona que, a pesar que la máquina esté planeada, no exista espacio suficiente, lo que genera la necesidad de relocalizar áreas y realizar movimientos innecesarios que se consideran desperdicio que no le da valor a los procesos. Debido a lo anterior esta metodología se ha creado para ser aplicada no solo a la instalación de una máquina nueva si no para la ubicación de cualquier área administrativa, de inspección o modificaciones a líneas existentes.

Las dimensiones de la máquina limitan los movimientos que se pueden realizar ya sea para la instalación de la máquina o ubicación de materiales. En el caso de un área de resguardo de material que no esté dentro de la administración del almacén logístico la información a solicitar debe enfocarse a la cantidad de

material, tiempo de almacenaje, tipo de empaque utilizado y frecuencia de llegada del material. Con esta información se realiza el cálculo del espacio necesario para áreas de WIP pero este proyecto no se concentra en los departamentos que almacenan material bloqueado como pueden ser los de cuarentena o ingeniería.

Como se ha comentado previamente, existen movimientos no planeados y realizados sin la supervisión del líder de proyecto por lo que se recomienda que se realice el análisis de *Layout* y recorridos periódicos en planta para ver si la realidad y la teoría coinciden ya que es posible que para el flujo del proceso, la ubicación del material no sea la óptima. En caso de que el dibujo *Layout* no coincida se debe actualizar el dibujo para tener la realidad de la planta y de esta manera encontrar la posibilidad de liberar el área mencionada. Si no se encuentra área disponible, se reprograma la instalación de la máquina hasta que existan los recursos para poder relocalizarla.

El espacio delimitado en *Layout* es establecido y acordado desde el comienzo del proyecto por lo que debe ser respetado lo máximo posible. En caso de que haya espacio suficiente para la correcta operación del proceso de acuerdo a *Layout* se valida, se delimita y se continúa con el proyecto. En el caso de que no exista

espacio suficiente debido a una incorrecta instalación pero el flujo de materiales nos lo permita, se realizan movimientos para liberar el área previamente definida.

El flujo de materiales es lo que determina la flexibilidad para realizar movimientos en piso y poder reubicar algunos almacenes o materiales. Al tener la posibilidad de reubicar material, se optimiza tanto el flujo del proceso como el área en piso. En estos casos se puede realizar un reacomodo de las áreas que se habían fijado pero, como se mencionó anteriormente, una vez instaladas las máquinas es imposible moverlas por lo que la única opción que se tiene es el movimiento de almacenes logísticos (WIP, materia prima o producto terminado). Al igual que el caso anterior es indispensable bajar y validar la información del *Layout* en piso siempre personalmente.

Los problemas que se tuvieron por la instalación de la máquina en el capítulo anterior, tuvieron impacto en muchas partes del proyecto. Estos errores de instalación y dibujo ocasionaron que se tuviera que retrasar el movimiento del área de ingeniería así como de empaque vacío. En el caso del departamento de ingeniería fue necesario aplazar el movimiento al lugar acordado. El espacio que ocupaban no era el correcto. La nave 3, estaba destinada para la división de *Cold Forging* por lo que el almacén de ingeniería proyectos debía relocalizarse para

delimitar las áreas de WIP y calidad que iban a comenzar a ocupar el espacio que les correspondía. En este caso se hicieron los cálculos necesarios y se tomó la decisión que, debido a la cantidad de proyectos, el espacio requerido para ingeniería se podía disminuir. Se hizo la propuesta de almacenar el material bloqueado y se destinó una zona diferente.

A continuación se muestra el diagrama con los pasos que se llevaron a cabo para la realización de este caso de estudio.

Caso de estudio 2: Llegada y ubicación en Layout de una máquina nueva (no hay espacio disponible)

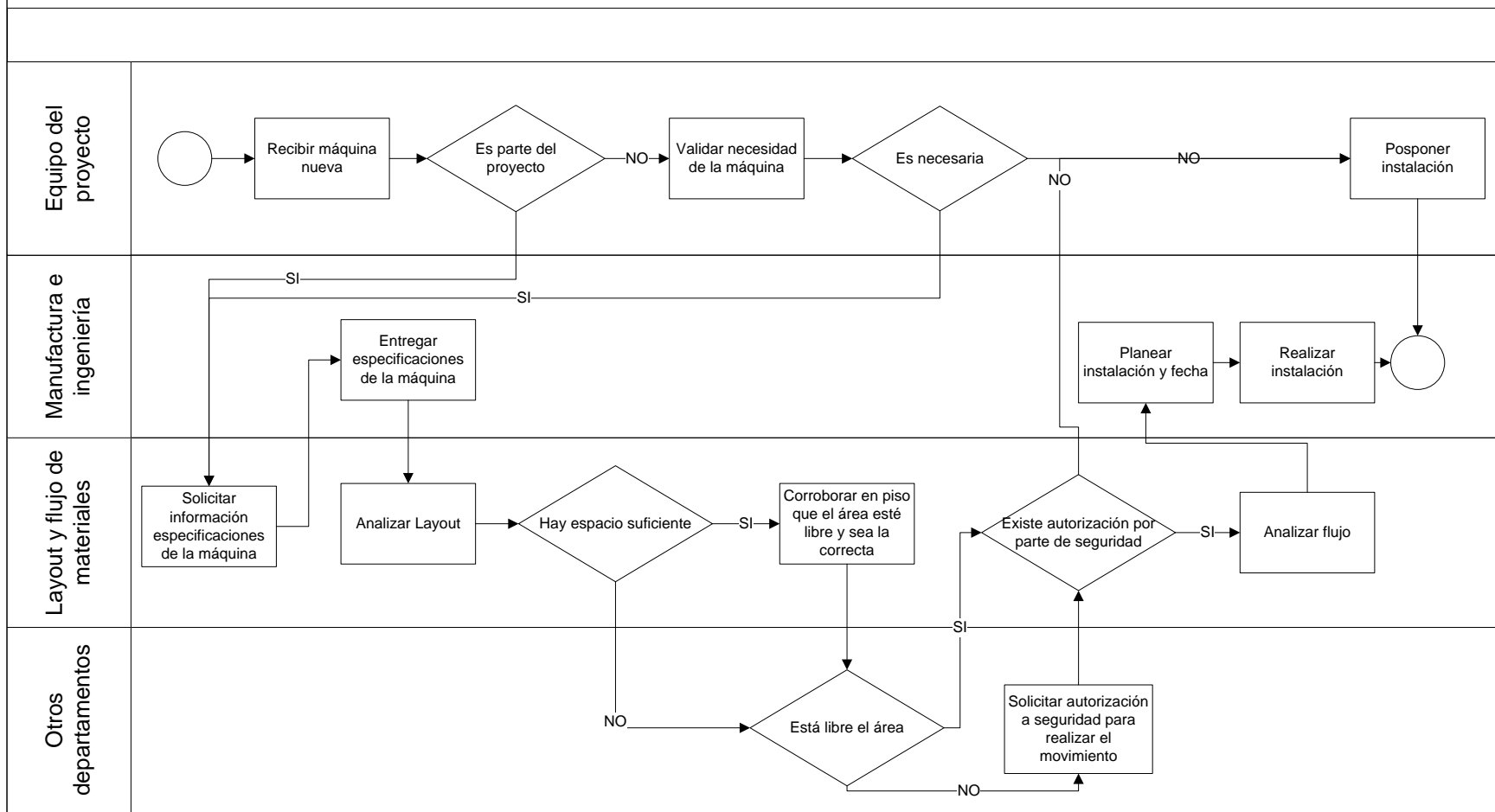


Diagrama 2. Llegada y ubicación de una máquina nueva (no hay espacio disponible)

### *Caso de estudio 3: Distribución de planta, empezando desde cero*

En este caso de estudio se explica cómo puede ser diseñado el *Layout* de una planta de producción y su almacén y cómo establecer el flujo de materiales dentro de la planta. Esta metodología se puede aplicar en la planeación de una línea de producción completamente nueva, la reorganización de planta o un proyecto de expansión de planta.

En caso de que sea un cambio en la distribución de las instalaciones (*facilities*) lo primero que hay que saber es si la distribución se debe a algún cambio dentro de las líneas (máquinas o almacenes) o si es un proyecto para el diseño de una nave nueva o modificación en la distribución de las máquinas debido a cambios en el proceso de producción o fin de vida útil de las máquinas. En el caso de la apertura de una planta es necesario definir el flujo de materiales de acuerdo a la demanda planeada y los volúmenes de producción que se tendrán para considerar todos los escenarios que se puedan presentar y evitar situaciones que afecten la operación como los problemas mencionados en estos capítulos.

Con el análisis previo, se revisa el flujo óptimo de los materiales para la localización de las máquinas. En este punto se pueden utilizar algunas herramientas

vistas en capítulos previos como lo son diagramas “*Sankey*”, *software* de simulación, análisis por VSM, etc. Que ayudan a analizar de forma visual y simple los recorridos y de acuerdo volúmenes de los proyectos futuros definir el flujo óptimo. En el caso de que sea movimiento de máquinas hay que asegurarse que la capacidad de los almacenes sea suficiente para la operación del equipo logístico de acuerdo a los pronósticos de ventas y producción como se mencionó en capítulos anteriores.

Para cualquier cambio dentro de la empresa que afecte al producto final como orden de los almacenes, flujo de material, información o proceso debe consultarse con los clientes para que den la aprobación de la ubicación de las máquinas o el cambio de las mismas en caso de ser necesario. Se recomienda tener siempre un *Layout* impreso (actual y futuro) en caso de ser parte de alguna auditoría interna o externa. Incluso algunos clientes solicitan estar presentes en el área en la que se va a realizar el cambio para ver de qué manera podrá afectar al tiempo de entrega de su producto.

A continuación se mencionan los pasos fundamentales para el desarrollo de un proyecto de distribución de planta empezando desde cero.

## *Formar el equipo de trabajo*

En esta fase es esencial definir y clarificar los aspectos organizativos del equipo, se comienza con la planeación logística del proyecto y se analizan las necesidades de producción y toda la cadena de suministro. El departamento de *Supply Chain* es el responsable del flujo de materiales desde la llegada de la materia prima hasta la salida del producto final al cliente así como de todos los movimientos logísticos que afectan directamente a la producción. El departamento de producción depende de la información otorgada por los planeadores logísticos y el análisis realizado por el ingeniero de flujo de materiales con planeación de acuerdo al pronóstico de ventas (*forecast*). Los aspectos organizativos incluyen la definición del objetivo específico del proyecto y las actividades a realizar por los participantes, se elabora un plan de proyecto de trabajo y se definen sus entregables y fechas límite. Igualmente se define el flujo de información y el intercambio de datos entre los integrantes asignando tareas para crear el *Project Charter* o *logbook*, en donde se mencionarán actividades, responsables y fechas de entrega.

El equipo de trabajo debe ser multidisciplinario e involucrar a todas las áreas de la empresa. Los participantes esenciales son: *Project Manager* o líder del proyecto quien dará seguimiento a las actividades establecidas en el *Project charter*,

especialista en *Layout* y flujo de materiales quien dará seguimiento en piso del comportamiento de la cadena entre las máquinas y los almacenes, así como realizará el análisis de los procesos de producción, coordinador de almacén como responsable de movimientos logísticos y los representantes de los departamentos de ingeniería, manufactura, producción y logística.

No se debe omitir ningún paso para facilitar el seguimiento del proyecto. Para esto se puede utilizar *software* especializado como Microsoft Project o realizar uno propio en Excel o algún otro *software*. En el Anexo B se encuentra ejemplo básico de una plantilla realizada en Excel de un *roadmap* para el seguimiento y control de un Proyecto.

### *Recolección de datos*

Las actividades de la etapa de recolección de datos consumen demasiado tiempo pero son esenciales para el éxito del proyecto. En esta fase se pueden utilizar diferentes herramientas de mejora continua para los cálculos logísticos o pueden ser creadas por el mismo equipo. En caso de ser realizadas por uno mismo siendo un líder con poca experiencia en este tipo de proyectos, se recomienda el uso de Excel ya que es un *software* conocido por la mayoría de la gente y ayuda a

generar plantillas que puedan ser usadas por todos los integrantes del equipo y facilita la visualización y entendimiento para la mayoría de la gente. Este *software* permite realizar el cálculo de los espacios de una manera sencilla para producción, almacén y embarques. La realización de los cálculos se debe hacer con información planeada a largo plazo. La recomendación mínima para un resultado óptimo obtener los datos del pronóstico de producción con un alcance a 3 años de acuerdo a la demanda anual y el pronóstico de ventas.

Algunos puntos relevantes a considerar para realizar estos cálculos son:

- Información de producción con números de material y volúmenes de producción planeados (máximos y mínimos).
- Explosión de materiales (BOM por sus siglas en inglés) de “*high runners*” así como regiones geográficas de proveedores y clientes.
- Instrucciones de empaque de materiales otorgadas por los proveedores de cada tipo de empaque.
- Frecuencia de embarques (deseado), información entregada por parte del departamento de planeación logística.
- Información técnica de las máquinas como tamaño, *takt* time, tiempo de cambio de modelo entre otros.

En capítulos anteriores ya se han tocado los temas de cálculo de espacios y análisis de la información.

### *Análisis de flujo de materiales e información*

En esta fase se analiza y documenta el flujo de materiales e información obtenida en la fase previa utilizando herramientas como el *Value Stream Mapping* para identificar posibles áreas de mejora de producción, almacén logístico, etc. Otras herramientas para analizar el flujo pueden ser programas de simulación como simio o arena, con los cuales podremos ver la representación gráfica del movimiento del material. La simulación y diagramas *Sankey* se realizan por medio de *software* especializado y las herramientas como el VSM y los diagramas de espagueti que deben ser hechos a papel y lápiz como lo indica la metodología.

Los diagramas *Sankey* y los diagramas de espagueti son muy similares con la particularidad de que en los diagramas *Sankey* se puede visualizar la demanda y el recorrido de cada uno de los productos en un mismo diagrama e identificar cual es el producto de mayor movimiento o volumen de acuerdo al grosor de la línea que sigue el recorrido. El diagrama de espagueti indica el recorrido del producto a través del proceso.

En los Anexos C y D se pueden observar representaciones de diagramas de espagueti y diagramas *Sankey* en donde se puede apreciar la diferencia antes mencionada.

### *Señalética y estandarización*

En los capítulos anteriores se ha hablado de la importancia de señalar cada área que se asigne tanto a materiales como equipo para la línea productiva o áreas de almacén. Igualmente se deben designar y señalar áreas para sistema de supermercado en caso de contar con estantería con este propósito, pasos peatonales y de montacargas, y contenedores aislados.

Una vez establecidas las áreas en el *Layout*, el primer paso es delimitar en piso cada una de ellas. Todos los trabajos de *Visual Management* que se realicen en piso deben tener flexibilidad para el cambio ya que el *Layout* sufre modificaciones constantemente. Para señalar y delimitar cada una de las áreas establecidas lo recomendable es marcar con cinta de color los perímetros de los bloques que se tienen en los bosquejos o *Layout* en CAD antes de solicitar el pintado de las áreas. Usualmente los colores utilizados son amarillo tráfico para perímetros, rojo para zonas prohibidas como áreas de seguridad, puertas de emergencia, extintores,

hidrantes, entre otros. Es muy importante utilizar colores llamativos para los aspectos de seguridad y marcar todas las salidas de emergencia y extintores considerando los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana que indica los códigos para la señalización en plantas industriales<sup>10</sup> (Anexo E). A pesar de que las áreas de cada máquina o almacén hayan sido designadas no se recomienda que se comience a realizar trabajos de pintado en el piso hasta que todo se encuentre en sus respectivos lugares. Esto se hace ya que se recomienda que inicialmente se delimite con cinta de color en piso para que en caso de tener que realizar algún cambio sea posible realizar con solamente despegar la cinta y colocarla nuevamente delimitando el área nueva. Suele suceder que los diferentes departamentos marcan libremente las zonas sin consultar al responsable del proyecto lo que ocasiona que la zona sea marcada incorrectamente y se vean afectadas normas de seguridad o flujo de materiales debido a cambios en el tamaño de las áreas definidas para almacenar material o líneas productivas. El líder del proyecto debe monitorear constantemente este tipo de trabajos y las delimitaciones deben ser realizadas de acuerdo a sus indicaciones. Es necesario realizar auditorías periódicas a cada una de las zonas para comprobar que las dimensiones sean las correctas y en caso de que no sea así hacer los cambios necesarios. Una vez marcado el piso con cinta amarilla se continúa con la delimitación y marcado por medio de tarjetas de

---

<sup>10</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

*Kanban* la estantería y contenedores. En el caso de la estantería se debe considerar la identificación de cada material por medio de tarjetas o etiquetas en donde se indique el número de parte, el nombre del producto, cantidad de piezas y su ubicación en sistema. Las tarjetas *Kanban* deben ser fáciles de leer para poder identificar inmediatamente el material que estamos buscando. Igualmente la estantería debe estar marcada en el piso con cinta amarilla. Esto es muy importante ya que en el caso de usar un sistema como para control de almacenes como lo es *Warehouse Management*, la ubicación del material debe ser realizada de acuerdo a la posición que indica el sistema ERP de lo contrario se puede perder el material y afectar notablemente a los inventarios y tiempo de alimentación a las líneas.

El *Warehouse Management* es un sistema utilizado para la administración de almacenes en dónde se tiene control total del mismo ya que se almacenan los materiales en ubicaciones específicas por lo que el valor de inventario se puede controlar de acuerdo al número de cajas, cantidad de productos y tiempo de antigüedad en el almacén y se tiene una completa trazabilidad del producto. A pesar que esta tesis no ahondará más en el tema es muy importante señalar que es una herramienta muy eficiente para el control de inventarios.

En este proyecto particular el *Project Manager* fue asignado desde la casa matriz de la empresa y se estableció un líder de proyecto en la planta de México para darle seguimiento localmente.

El departamento de ingeniería de casa matriz fue el encargado de realizar la distribución de la Nave nueva y la distribución de las máquinas en el *Layout* estaba realizado conforme a las dimensiones de las máquinas que llegarían a las diferentes unidades operativas y las que se reubicaban debido al movimiento de la empresa desde Xoxtla hasta la planta de Huejotzingo. Igualmente la organización del almacén se realizó de tal forma que el flujo del material recorriera la cadena de suministro en el menor tiempo posible y de la forma más eficiente para cumplir con las demandas del cliente en tiempo y forma. Los almacenes de trabajo en proceso (WIP) fueron localizados en las áreas cercanas a la línea que procesaba el producto. En el caso del área de *Steering Column* los cálculos de WIP se realizaron de acuerdo a la demanda de materiales, cantidad de producto semi-terminado, el flujo del producto a través de la cadena de suministro y se establecieron políticas de inventario reduciendo el DOH a 3 días dentro de planta para disminuir inventarios. Dentro de la organización de los almacenes, es necesario tener claros los productos que se están fabricando así como los que se van a producir ya que, para facilitar el

suministro de las líneas, el flujo del proceso es quien define la organización de las líneas.

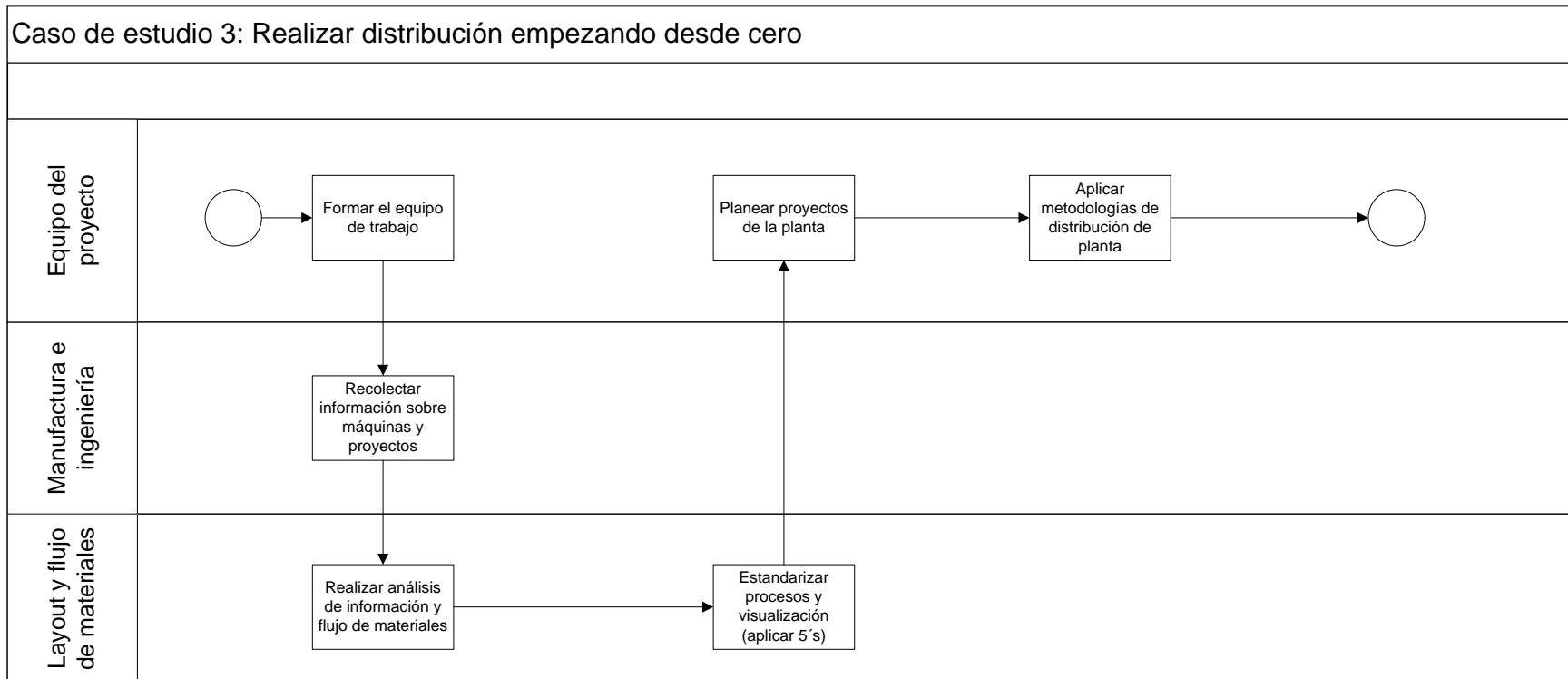
Para un proyecto de distribución de planta empezando desde cero, es importante considerar los siguientes datos:

- Área del terreno para construir.
- *Layout* de la planta.
- Aseguramiento de coincidencia entre *Layout* e instalaciones.
- Proyectos actualmente en producción.
- Llegada de productos y máquinas así como sus fechas de llegada.
- Volúmenes de producción (al menos 3 años a futuro).
- Ubicación de las plataformas de entrada y salida de material.
- Posibles áreas de extensión.

En este caso particular se decidió optimizar la distancia y tiempo de entrega entre las áreas de almacén y las líneas productivas. Reduciendo la cantidad de movimientos y distancia recorrida para la alimentación de las máquinas.

El conocimiento del área y del *Layout* de la planta es información básica ya que se necesita un panorama completo de la situación real sobre espacio disponible y distancias entre material y máquinas. Una vez confirmado que el espacio es suficiente en piso se puede comenzar con la actualización del *Layout* y el análisis de los proyectos que vendrán (máquinas nuevas).

En este momento se puede comenzar con los cálculos para ubicar las máquinas en *Layout*, destinar espacios de almacenaje y estaciones de trabajo, tomando como puntos de referencia columnas, paredes, etc.



**Diagrama 3. Realizar distribución empezando desde cero.**

Para la realización de distribución de planta empezando desde cero siendo líder de proyecto inexperimentado se aconseja seguir las metodologías y herramientas mencionadas en este trabajo.

## Conclusiones

El objetivo fundamental de esta tesis es, por medio de casos prácticos, realizar una metodología que ayude a líderes de proyecto poco experimentados a sobrellevar los diferentes problemas y escenarios que se pueden encontrar al momento de desarrollar un proyecto de implementación de *Layout* y flujo de materiales en una empresa de producción. Se mencionan algunos escenarios que se encontraron en casos prácticos dentro de la empresa thyssenkrupp Presta de México en el proyecto de la implementación del *Layout* de las naves nuevas en la planta de Huejotzingo. Los casos tratados en esta tesis fueron los siguientes:

1. La ubicación de una máquina planeada en el proyecto.
2. La llegada de una nueva máquina sin existir espacio suficiente en piso.
3. La distribución de una planta empezando de cero.

De esta manera la aportación principal de este trabajo consiste en ofrecer herramientas que se pueden utilizar para la implementación de proyectos de flujo de materiales por medio de una metodología para el análisis de la cadena de suministro.

Durante el desarrollo del proyecto se encontró que en los proyectos de implementación de *Layout*, no siempre se toma en cuenta que existen diferencias considerables entre el dibujo de *Layout* en CAD y la realidad en piso que es uno de los principales problemas con los que se encuentra alguien que comienza un proyecto de este tipo. En los casos tratados en esta tesis se encontró que las distancias entre las paredes y/o columnas y las máquinas recientemente llegadas tenían variaciones de acuerdo al *Layout*.

En el caso específico del análisis del flujo de materiales, una de las herramientas de *Lean Manufacturing* usadas fue la de *Value Stream Mapping* (VSM) que se menciona en el capítulo 2.5.2. Con esta herramienta se realizó el análisis del flujo de una cruceta producida para el cliente BMW. Por este medio se encontró que los cuellos de botella que existían generaban un exceso de inventario en las distintas etapas del proceso lo cual reducía el valor del producto al ser una muda (exceso de inventario). Igualmente, esto genera un costo extra debido al almacenaje y los retrasos en la entrega al cliente. La herramienta de VSM se utilizó para encontrar los puntos críticos del proceso e indicar a la gente responsable las áreas de oportunidad en las que se tenía que trabajar para aumentar el valor del producto. Se encontró al final que el *lead time* con el que se estaba trabajando era de 24 días cuando el objetivo de acuerdo a la demanda del cliente era de 19 días lo

que estaba reduciendo el valor del producto. Dentro de las medidas a seguir se definió que el planeador de producción debía adaptar el plan para reducir el tamaño de lote y de esta manera disminuir los inventarios. Al departamento de producción se le indicó que se hiciera revisión de las maquinas que estaban produciendo mucho *Scrap*, y a otros departamentos dar seguimiento al proceso para evitar caer en desperdicios.

Las herramientas de simulación son muy efectivas para visualizar de manera gráfica el flujo de información y de materiales. Estas herramientas permiten mejorar el diseño del flujo dando la posibilidad de observar el recorrido actual de los materiales. Igualmente ayuda a visualizar con detalle los posibles escenarios futuros de la empresa en caso de realizar movimientos o cambios en la organización. Aunque en este trabajo no se utilizaron herramientas de simulación es importante mencionarlas. Paquetes de *Software* como *Arena*, *Simio*, *e-Sankey* y *Simecore* entre otros, ayudan a ver de manera gráfica el flujo de información, materiales y recursos a lo largo de la cadena de suministro así como para calcular el tiempo de entrega del material a las líneas productivas y el tiempo total de recorrido de los materiales.



## Bibliografía

- de la Fuente García, D., & Fernández Quesada, I. (2005). *Distribución en planta*, Universidad de Oviedo, España.
- de la Fuente García, D. (2008). *Ingeniería de organización en la empresa: Dirección de Operaciones*, Universidad de Oviedo, España
- Vallhonrat Bou, J. M., & Corominas Subias, A. (1991). *Localización, distribución en planta y mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo
- Anaya Tejero, J. J. (2015). *Logística Integral, La gestión operativa de la empresa*, (4ta ed.), Madrid, España: Editorial Alfa Omega
- Meyers, F. & Stephens, M. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*, México: **Pearson** Educación.
- Tompkins, J. A. (2007). *Planeación de instalaciones*. **Lugar**: S.A. Ediciones Parainfo.
- Chandrashekar Hiregoudar, B. & Raghavendra Reddy. (2007). *Facility Planning And Layout Design*. India: Technical Publications.
- Niebel. B. & Freivalds, A. (2008). *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfa omega grupo editor

- NORMA Oficial Mexicana NOM-006-STPS-2014, Manejo y almacenamiento de materiales-Condicion de seguridad y salud en el trabajo.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-154-SCFI-2005, Equipos contra incendio-extintores-servicio de mantenimiento y recarga.
- Quarterman, Lee (1997): *Facilities and Workplace Planning. An Illustrated Guide*. Georgia, Estados Unidos: Engineering & Management Press
- Erlach, Klaus (2013): *Value Stream Design: The way towards a lean factory*. Stuttgart, Alemania. Springer
- Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., Tanchoco, J.M.A. (2003): *Facilities Planning*. Hoboken, Estados Unidos, John Wiley & Sons.
- Rother, M., Shook, John. (2003): *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Cambridge, MA, Estados Unidos, Lean Enterprise Institute.

H. Puebla de Z. a 14 de Diciembre de 2017.

**Dr. Prudencio Fidel Pacheco García**  
**Director del Posgrado**

Por medio de la presente damos constancia de que el Ing. RAFAEL VIRGILIO LÓPEZ CUÉTARA, alumno de la Maestría en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de Calidad del Centro Interdisciplinario de Posgrados e Investigación de la UPAEP, como parte de su Proyecto Profesional estuvo a cargo del desarrollo del proyecto de "Análisis de flujo de materiales e implementación de Layout" aplicado al caso de la empresa thyssenkrupp Presta de México S. A. de C. V., como parte de la planeación de la expansión de la planta del parque industrial Ciudad Textil Puebla en el municipio de Huejotzingo Estado de Puebla.

Las actividades realizadas por el Ing. Rafael Virgilio López Cuétara consistieron, como se mencionó anteriormente, en el desarrollo un proyecto de análisis de flujo de materiales el cual incluía la planeación del Layout futuro de la planta y el análisis de procesos incluyendo actividades de cálculo de áreas logísticas así como la aplicación de los estándares de Visual Management en toda la planta para estandarizar la empresa y poder desarrollar proyectos de mejora a nuestros procesos.

Los proyectos de mejora aplicados dentro de los procesos fueron realizados en colaboración con el departamento de sistemas de producción de la empresa y se desarrollaron proyectos subsecuentes de SMED, tiempos y movimientos y 5s TPM. Este proyecto tuvo mejoras dentro de nuestro proceso y desarrollo un plan a 3 años para la optimización de procesos productivos y administrativos.

Agradecemos el invaluable apoyo del equipo de trabajo del Ing. Rafael Virgilio López Cuétara, y su contribución en la introducción de mejoras en nuestros proceso de producción y optimización de las áreas logísticas de la empresa.

Agradeciendo de antemano su atención se extiende la presenta para los fines que convengan al interesado.

ATENTAMENTE



**Lic. Ana Lilia Villa Cabañas**  
Central Supply Chain Manager