

**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN
MATERIALES**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE
BASADA EN MOVIMIENTOS DE MATERIAL Y VALIDADA CON
SIMULACIÓN**

TESIS

PRESENTA

CARLA SUSANA URIBE FLORES

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y
DE MANUFACTURA**

SALTILLO, COAHUILA.

Octubre de 2014

*METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE BASADA EN
MOVIMIENTOS DE MATERIAL Y VALIDADA CON SIMULACIÓN*

Por

Carla Susana Uribe Flores

Tesis

Presentada al Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología

Sede

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S. A. de C. V.

Como requisito parcial para obtener el Grado Académico de

Maestra en Ciencia y Tecnología en Ingeniería Industrial y de Manufactura

Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología COMIMSA / CONACyT

Saltillo, Coahuila. enero de 2015

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A de C.V

Gerencia de Desarrollo Humano

División de Estudios de Posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis “**METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE BASADA EN MOVIMIENTOS DE MATERIAL Y VALIDADA CON SIMULACIÓN**”, realizada por la alumna **CARLA SUSANA URIBE FLORES**, matrícula **1206IM3096** sea aceptada para su defensa como Maestra en Ciencia y Tecnología en **Ingeniería Industrial y de Manufactura**.

El Comité Tutorial

Dr. Elias Gabriel Carrum Siller

Director de Tesis

Dr. David Salvador González González

Asesor Académico

M.C. Diego Serrano Echeverría

Tutor en Planta

Vo. Bo

Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés

Coordinador General de Estudios de Posgrado

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

Gerencia de Desarrollo Humano

División de Estudios de Posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno, **CARLA SUSANA URIBE FLORES** una vez leída y revisada la tesis titulada **“METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE BASADA EN MOVIMIENTOS DE MATERIAL Y VALIDADA CON SIMULACIÓN”**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la alumna para aspirar al grado de **Maestra en Ciencia y Tecnología en Ingeniería Industrial y de Manufactura** durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente al día 31 del mes de Octubre del año 2014.

Dr. Luis Martín Torres Treviño

Presidente

Dra. Indira Gary Escamilla Salazar

Secretario

Dr. Elias Gabriel Carrum Siller

Vocal

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios ya que para mí parecía algo imposible pero él hizo que fuera posible.

A mi familia en especial a mi mamá Dolores y mi papá Juan Carlos porque sacrificaron su tiempo y su casa en Salvatierra por estar aquí conmigo atendiéndome mientras yo me dedicaba a esta etapa de mi vida.

También se la dedico a mis amigos de John Deere, Andrea, Diana, Javier, Luis, Rubén y David, a los de la Facultad, Jessy, Cristian, Marisol, Gaby, Pablo, Nalley y Juan, a los de Comimsa, Cesar y Liz, porque entendieron y me apoyaron cuando no podía salir de fiesta por quedarme a trabajar en las diferentes actividades de la maestría, y aun así siguen siendo mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, me gustaría agradecer a mi tutor académico, el Dr. Elías Carrum por todo el apoyo que me ha brindado y por su tiempo dedicado para lograr mis metas, seguido por mi asesor académico Dr. David González, agradeciendo por todo el apoyo brindado y sus consejos en los seminarios. También a mis líderes en John Deere el Ing. Diego Serrano y el Ing. Carlos Talamantes por permitirme trabajar con la información de la planta para poder desarrollar este trabajo, y por alentarme para ayudar a otros proyectos similares dentro de la fábrica aplicando lo aprendido durante mis estudios de maestría.

AUTOBIOGRAFÍA

Carla Susana Uribe Flores, nació el 25 de septiembre de 1988, en la primera ciudad de Guanajuato la cual es Salvatierra, teniendo la dicha de ser hija de la señora Dolores Flores García y del señor Juan Carlos Uribe Peña.

Estudió en la Facultad de Sistemas de la Universidad Autónoma de Coahuila, la licenciatura de Ingeniería Industrial y de Sistemas, del 2006-2010.

Labora en la empresa Industrias John Deere, como Ingeniero de Manufactura, en el área de ensamble de la línea principal de tractores, administrando e implementado procesos robustos de manufactura para productos actuales y nuevos productos, desde el 2011, iniciando en el área de chasis para después pasar a la línea de ensamble final.

Participó en el 2do Congreso Internacional Anual de la Sociedad de Ingenieros Industriales y de Sistemas, en la ciudad de las Vegas, Nevada en el año de 2013, presentando el proyecto titulado “A comparison of methodologies for redesign a tractor assembly line.”

RESUMEN

La industria manufacturera es uno de los principales sectores económicos en México, pero en la región sureste de Coahuila, dentro de la industria manufacturera destaca la rama de ensamble de vehículos. Industrias John Deere en México solo ensambla tractores aquí en Saltillo Coahuila, siendo esto un gran reto y logro porque se ha demostrado que también en México se puede ser productivo, hacer productos de calidad y generar ganancias gracias a las altas ventas no solo en el mercado nacional sino también en el extranjero.

Pero no es tan sencillo mantener altos niveles de productividad para generar grandes ganancias, el mercado cada vez es más competitivo y los problemas son cada vez más complejos, donde las soluciones son las más fáciles si se regresa a las bases de la ingeniería industrial haciendo uso de las tecnologías recientes.

Es decir, que la mayoría de las veces los problemas de productividad dentro de una empresa tienen origen en una incorrecta distribución del material dentro de sus líneas de ensamble, lo que provoca largos recorridos de surtido de material, exceso de inventario, cuellos de botella, etc., y es que se le daba poca importancia a la distribución del material y al manejo del mismo, hasta hace poco tiempo cuando los investigadores y los directivos de las empresas se dieron cuenta de que lo que deja más ahorros es la reducción de recorridos, de distancias, porque es como una reacción en cadena todas las variables dentro de la línea de ensamble se mejoran aumentando la productividad y reduciendo costos, aumentando las ganancias y todos dentro de la cadena de producción ganan desde accionistas hasta el cliente.

Es por eso que esta investigación se enfoca en las bases del manejo de material y distribución de planta, usando técnicas básicas pero efectivas y validándolas con tecnología reciente como lo es la simulación.

CONTENIDO

• CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
1.1 Antecedentes generales de la empresa	9
1.2 Descripción del problema.....	10
1.3 Preguntas de investigación.....	11
1.4 Hipótesis.....	11
1.5 Objetivos	11
1.6 Justificación.....	12
1.7 Delimitaciones.....	12
• CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	13
2.1 Marco Teórico.....	13
2.1.1 Líneas de ensamble flexibles.....	13
2.1.2 Distribución de Layout.....	15
2.1.3 Estudio de tiempos.....	18
2.2 Estado del arte.....	21
• CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
• CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1 Validación del modelo actual.....	54
4.2 Modelo matemático.....	60
4.3 Planeación sistemática de la distribución SLP.....	62
4.4 Programación lineal.....	67

4.5	Algoritmo colonia de hormigas.....	70
4.6	Evaluación de resultados.....	74
•	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	80
•	CAPÍTULO VI: TRABAJO FUTURO.....	82
•	BIBLIOGRAFÍA.....	82
•	ANEXOS	88

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La distribución de planta es una de las fases finales en el diseño de línea pero es una de las más importantes ya que de esto depende en gran parte la productividad de la planta, la distribución de planta se define como el orden que se le da al material, máquinas, productos, estaciones del operador dentro de la línea o celda de ensamble para la fabricación de algún producto. (Meyers, 2010).

Varios autores clasifican la distribución de la planta respecto al proceso que tiene cada empresa, por ejemplo De la Fuente en el 2009 mencionó 4 métodos para la distribución de planta, estos son: Método de la producción centrada, el cual estima requerimientos de espacio solamente para máquinas, otro es el método de conversión, este método considera el espacio necesario para expansiones futuras, el tercer método que él propone es el método de bosquejo, esta distribución trata de estimar el espacio necesario de acuerdo a la demanda y por último, el método de los espacios estándar el cual consiste en estimar el espacio necesario de acuerdo a parámetros establecidos por otras empresas similares en productos o procesos.

Las distribuciones de planta más comunes mencionadas por Cuatrecasas en el 2009 son: Distribución por producto cuando se tienen líneas o celdas específicas para cada tipo de producto, distribución por proceso, la cual agrupa todas las operaciones similares en celdas, distribución en célula de manufactura, que consiste en un conjunto de máquinas que fabrican una familia de partes similares y la distribución por punto fijo, en donde el producto es de gran magnitud en volumen o peso en relación con el material y la mano de obra van hacia el producto, es decir, éste no se mueve.

1.1 Antecedentes generales de la empresa

El trabajo se realizará en la empresa de clase mundial John Deere líder en maquinaria agrícola, específicamente el proyecto se llevará a cabo en la planta de Tractores ubicada en Boulevard Valdés Sánchez 470 zona centro.

John Deere, S.A. de C.V., se constituyó en la ciudad de México, D.F., el 10 de noviembre de 1955, bajo la denominación de " John Deere, S.A. de C.V.". El 17 de diciembre de 1956, cambió su domicilio a la ciudad de Monterrey, N.L., posteriormente el 24 de febrero de 1984, John Deere, S.A. de C.V., adquirió prácticamente la totalidad de las acciones de International Harvester México, S.A., en Saltillo, Coah. , con lo cual se incrementó sustancialmente su capacidad de producción. Un año más tarde, y después de un largo proceso de adecuación de las instalaciones, éstas fueron destinadas a la fabricación de tractores, dedicando la planta Monterrey a la fabricación de implementos; a consecuencia de la adquisición antes mencionada, a partir del 1o. de marzo de 1984 se llevó a cabo una reestructuración corporativa mediante la cual, Industrias John Deere, S.A. de C.V., asumió todas las operaciones de fabricación, venta y distribución que anteriormente llevaba John Deere, S.A. de C.V., para lo cual esta última traspasó a la primera la totalidad de sus activos y pasivos, con excepción de las inversiones en acciones, ciertos inventarios, terrenos, edificios e instalaciones y algunos conceptos no transferibles, pasando así John Deere, S.A. de C.V., de ser una empresa manufacturera a una controladora, inmobiliaria y arrendadora.

John Deere empezó con una producción de 30 tractores en el año 2008 desde ahí emprendió con un incremento acelerado en la producción llegando en el 2011 a una producción diaria de 65 tractores en un solo turno.

En John Deere se producen 1200 partes que se ensamblan al tractor, las 800 restantes que lo forman se compran de proveedores alrededor del mundo. La planta está formada por 5 grandes celdas de manufactura de acuerdo al proceso que sigue el ensamble completo del tractor, estas áreas son: primarios, soldadura, pintura, ensamble y calidad (John Deere, 2013)

1.2 Descripción del problema

El problema dentro de la línea de ensamble es una incorrecta distribución de layout, que no corresponde con la secuencia de ensamble ni con la demanda de tractores lo cual provoca: a) Costos de manejo de materiales elevados, b) Baja productividad y horas extras para poder cumplir con la producción del día, esto por las largas distancias que se tiene que caminar por el material aumentando el tiempo ciclo de operación, c) Espacio sub-utilizado, es decir, estaciones con mas material que otras, d) Cuellos de botella que contribuyen con las horas extras, d) Difícil control visual de la producción, e) Movimientos y transporte de material innecesarios por la secuencia de ensamble del tractor y por que los almacenes están mal distribuidos a lo largo de la línea, y f) Estaciones de trabajo inseguras y anti ergonómicas.

La distribución del material de la línea de ensamble de tractores, si no es el adecuado de acuerdo a la secuencia de ensamble y a la demanda de cada tractor puede provocar: largas caminatas por material en productos cada vez más complejos, material en proceso acumulado, productos con problemas de calidad por un incorrecto manejo de material, baja productividad y pérdidas económicas a la industria.

Dentro de la planta de tractores específicamente en la línea de ensamble de chasis, se tiene una distribución de material que provoca largas caminatas por la ubicación incorrecta de los almacenes de este material, espacio sub-utilizado, es decir, estaciones más cargadas de material que otras, cuellos de botella por estaciones con el material distribuido incorrectamente de acuerdo a la secuencia de ensamble y demanda de tractores, difícil control visual, se ve desorganizada el área, riesgos de seguridad y ergonómicos dentro de las estaciones de trabajo por mal manejo de material.

1.3 Preguntas de investigación

- 1.- ¿Qué metodología se usará para el diseño de una línea de ensamble reduciendo la distancia de recorrido de material?
- 2.- ¿Cuál es la distancia mínima de recorrido de transporte de material a lo largo de la línea de ensamble?
- 3.- ¿Cuál técnica para resolver problemas de distribución de material más efectiva en este caso y por qué?
- 4.- ¿Cuáles son los resultados obtenidos en la validación con la propuesta de la metodología utilizando simulación?

1.4 Hipótesis

Para encontrar la mejor distribución de material dentro de una línea de ensamble, qué técnica es la más apropiada para obtener los resultados esperados y además sea útil en problemas industriales.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Establecer una metodología para el diseño de una línea de ensamble reduciendo la distancia de transporte de material y validada con simulación.

1.5.2 Específicos

- 1.- Reducir la distancia de transporte de material.
- 2.- Comparar diferentes técnicas para resolver el problema de distribución de layout.
- 3.- Validar los resultados usando simulación.

1.6 Justificación

La distribución de materiales a lo largo de una línea de ensamble es uno de los últimos pasos que se implementan en el diseño de línea convencional, pero el transporte de material es uno de los desperdicios más comunes dentro de las líneas de ensamble y que afecta directamente a la productividad, por lo que se le tiene que dar más importancia a esta etapa del diseño de línea.

Una incorrecta distribución de material dentro de una línea de ensamble que no corresponda con la secuencia de fabricación provoca inventario en proceso, tiempos de entrega largos, cuellos de botella, mala calidad en el producto por el incorrecto manejo de material todo esto se ve reflejado en un indicador muy importante para una empresa la productividad.

Por lo que se propone una metodología basada en la reducción de distancias de transporte de material para partir de ahí el diseño de línea, e ir de atrás hacia adelante y antes de implementarla, hacer uso de la simulación como herramienta para evaluar diferentes escenarios, ver el comportamiento del sistema de manufactura y así tomar la mejor decisión para la implementación de la mejor distribución.

1.7 Delimitaciones

El proyecto sólo se llevará a cabo en la línea de ensamble de chasis que consta de 7 estaciones de ensamble la cual se muestra en la figura 1.7.1

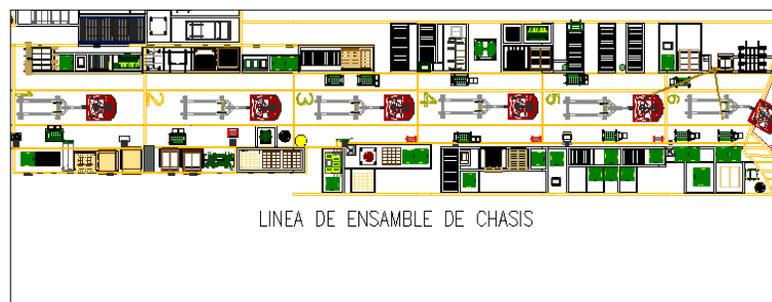


Figura 1.7.1 Línea de ensamble de chasis (Cortesía John Deere)

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

2.1.1 Líneas de ensamble flexibles

La actividad productiva desarrollada por una empresa debe estar organizada de manera que se logren los objetivos previstos para la producción de forma óptima, técnica y económicamente, utilizando los sistemas de gestión más adecuados y avanzados.

A principios del siglo XX surgieron muchas teorías como por ejemplo la metodología científica de la organización de Taylor, o la psicología industrial por Elton Mayo que trataba de determinar las razones del comportamiento humano al aumentar la productividad, otra teoría fue la X, Y de Mc Gregor la cual confrontaba las actitudes obtenidas en las teorías de Taylor y Mayo respectivamente. De estos modelos que surgieron después de la revolución industrial se agrupan en modelos productivos dentro de 2 categorías: a) Aquellos que se basan en obtener grandes cantidades de producto específicamente producción en masa implementada por Ford y b) la segunda categoría de sistema de producción se refiere al sistema de producción Toyota y el justo a tiempo conocido por sus siglas en inglés como Just in time, los cuales proponen un sistema productivo basado en la metodología “pull” jalar y en la flexibilidad (Cuatrecasas, 2009).

Pero Cuatrecasas no es el único que menciona los modelos generales de producción, Krajewski en el año 2000 también lo hace, solo que él en lugar de dividirlos en 2, menciona 3 que son básicamente lo mismo y estos son: a) Fabricación por inventario. Básicamente se trata de productos que son muy demandantes por lo que las empresas deciden tener grandes cantidades de estos para reducir los tiempos de entrega. b) Es cuando las empresas tienen una demanda estable y predecible que pueden producir grandes cantidades de productos con costos bajos y calidad consistente. c) Ensamble por pedido, se refiere a que las líneas de producción solo fabrican lo que el cliente está

pidiendo, no se basan en la demanda histórica si no actual teniendo flujo dentro de las líneas de manera flexible para adaptarse a la cantidad de pedidos, mantiene los inventarios controlados y se personaliza el producto al gusto del cliente, esto es lo que le da flexibilidad al producto.

Como se puede ver los 2 autores mencionan en general la producción en masa y el sistema de producción por pedido.

Aunado a estos 2 modelos Eliyahu Goldratt en 1992 propone la gestión basada en las limitaciones o cuellos de botellas, que desarrolló a partir de lo que denominó Técnica de Producción Optimizada (OPT Optimized Production Technique por sus siglas en inglés), basada en un software centrado en buscar las restricciones o limitaciones de los sistemas productivos y tratar de mejorar su eficiencia, este sistema lo dio a conocer en su libro “La Meta” (1984).

En la actualidad la mayoría de las empresas esta migrando de la producción en masa a lo que es el sistema de producción Toyota que se ha extendido a lo que se llama Manufactura Esbelta, lo cual ha demostrado que la producción industrial masiva e incluso la automatización, no son, en efecto la solución actual para optimizar la productividad y menos aun la flexibilidad que necesitan los sistemas productivos.

De acuerdo a esto, en la práctica se adoptará en cada caso el tipo de producción que más se ajuste a las diversas condicionantes existentes tales como: el tipo de producto, las características del mercado al que va dirigido, la variedad y los volúmenes de combinación, la clase y características de las operaciones, los tiempos de entrega, etc....

De los grandes modelos de producción se derivan diversos tipos de procesos de acuerdo al tipo de producto y sobre todo la demanda de los mismos, estos son: (Cuatrecasas, 2009).

a) Proceso a la medida o job shop que es como su nombre lo indica, hacer el producto a la medida de lo que el cliente pide, básicamente este tipo de proceso se lleva a cabo en celdas de manufactura especializadas para cada tipo de producto, lo que a la larga puede ocasionar cuellos de botella porque unos centros de trabajo pueden estar más cargados que otros.

b) Proceso en lotes, las operaciones están estandarizadas es un solo producto pero con gran variedad de opciones a elegir, como la producción va ser variable que puede ser por pedido o inventario.

c) Proceso ajustado, que se deriva de la manufactura esbelta que busca hacer más con menos, es decir, más producto con menos recursos y producir lotes pequeños y de una gran variedad de productos.

Otra división de los modelos de producción clasificada por otro autor es. (Norman,1999)

a) Proceso enfocado al producto, se refiere a las líneas de ensamble de un solo producto estandarizado completamente sin variaciones, de esta manera si se tienen diferentes productos, se agrupan los departamentos por tipo de producto.

b) Proceso enfocado a la manufactura, aquí las operaciones se agrupan de acuerdo a los pasos que se sigue para la formación de un producto final.

c) Manufactura celular, que es un concepto general de la tecnología de grupos, en la que se desarrolla un sistema de codificación para los componentes que se fabrican en una planta.

2.1.2 Distribución de layout

Conociendo los sistemas de producción y los procesos que se usan en las diferentes empresas se pueden clasificar las distribuciones de layout.

- a) Distribución orientada al proceso, en la que los puestos de trabajo están agrupados funcionalmente, es decir, por el tipo de actividad que desarrollan pero sin relación alguna con el producto, que se mueve en cada operación hacia el puesto de trabajo adecuado, allí donde se halle.
- b) Distribución en flujo (en línea para los procesos de ensamble), este tipo de distribución es típica en las líneas de ensamble y se lo conoce también como distribución en cadena. En este tipo de arreglo las máquinas o estaciones de trabajo están situadas unas junto a otras dependiendo de la secuencia de operaciones del producto. (Cuatrecasas, 2009)
- c) Método de la producción centrada, que consiste en estimar los requerimientos de espacio solamente para máquinas.
- d) Método de conversión, consiste en extrapolar, en cierta forma, los requisitos actuales de espacio para futuras expansiones.
- e) Método de bosquejo de distribución, se trata de obtener una estimación aproximada de los requisitos de espacio, basándose en valores que pueden adoptar ciertas magnitudes por ejemplo la demanda.
- f) Método de los espacios estándar, se trata de obtener la estimación del espacio necesario, mediante la aplicación de los estándares utilizados en el sector o en la empresa, cuando los parámetros o espacios ya están preestablecidos. (De la Fuente, 2009)
- g) Distribución orientada al proceso, que tiende a agrupar los elementos productivos por afinidad.
- h) Distribución orientada al producto o en cadena.
- i) La producción celular, que es un caso situado entre la distribución orientada al producto y al proceso, y la define como aquella que agrupa máquinas y estaciones de

trabajo en una secuencia, que genera un flujo continuo de materiales y componentes a través del proceso con transportes y esperas mínimas. (Suñe, 2004)

Se tiene que tener en cuenta que una deficiente distribución supondrá una fuente constante de pérdidas para la empresa. Por el contrario una ordenada y eficiente distribución de los elementos que componen una línea de producción (equipos, máquinas, estaciones de trabajo, material, etc....) incidirá positivamente en la eficacia del proceso, en la eficiencia del sistema productivo y por supuesto en el resultado económico de la empresa.

El diseño de una distribución de planta se puede ver afectado por los siguientes factores:

- Distancia óptima de los recorridos de materiales, equipos y personas.
- Espacio necesario para ubicar todos los elementos.
- Cantidad de personas a laborar.
- Tiempos perdidos en desplazamientos y esperas dentro de la planta.

La distribución en planta puede realizarse a 3 niveles: layout general, layout de cada proceso y layout de cada operación. Se determinarán las posiciones de las estaciones de trabajo, la posición de los operarios y el recorrido de materiales, personas y productos.

Uno de los aspectos clave en la distribución del layout, es la necesidad de reducir drásticamente las actividades sin valor agregado por desplazamientos en la planta, por ello será conveniente tener en cuenta:

- Identificación de material (para no perder tiempo en buscarlo).
- Entrega de material definida (definir rutas y cantidad a entregar).
- Organización del área de trabajo.
- Diseño del área de trabajo.

Los aspectos importantes a considerar cuando se está diseñando el layout de la línea son:

→ Los puestos de trabajo: Producción que se espera de los mismos, espacio necesario, equipamiento y herramientas.

→ Los almacenes: Cantidades de materiales y productos que deben contener, así como sus características físicas, peso y volumen.

→ Las vías de comunicación (pasillos, transportadores, etc.), volumen de materiales y productos a desplazar por unidad de tiempo, frecuencia del transporte, características físicas de los mismos, peso y volumen.

→ Tipo de distribución de los procesos: Celdas, en cadena, producto continuo, etc... y el tipo de operaciones y el movimiento del material.

Por cada posible distribución se deberán determinar la cantidad de superficie necesaria y no sola la correspondiente a máquinas o estaciones de trabajo sino también el espacio necesario para alimentación y evacuación de los materiales, mantenimientos y circulación del personal. (Cuatrecasas, 2009)

2.1.3 Estudio de tiempos

El séptimo paso en el proceso sistemático para desarrollar el centro de trabajo eficiente, es el establecimiento de estándares de tiempo, estos pueden determinarse mediante el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo.

Cualquiera de las técnicas de medición de trabajo: estudio de tiempos con cronómetro, sistemas de tiempo predeterminado, datos estándar, fórmulas de tiempos o estudios de muestreo del trabajo, representan una mejor forma de establecer estándares de tiempo permitido para realizar una tarea dada, con los suplementos u holguras por fatiga, retrasos personales e inevitables.

Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo, mientras que los estándares mal establecidos, aunque es mejor tenerlos que no tener estándares, conducen a costos altos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa.

Los requerimientos del estudio de tiempos, es que antes de tomar tiempos y querer establecer un método de tiempo estándar, se debe asegurar que el método de trabajo para realizar esa operación sea dominado por el operario. Las responsabilidades de cada miembro del equipo se describen a continuación: el analista de tiempos debe avisar al sindicato, al supervisor y al operario que se estudiará el trabajo. El operario debe asegurarse que está utilizando el método de trabajo correcto y que está familiarizado con la operación. El supervisor debe verificar el método de trabajo para asegurar que se cumple con las prácticas establecidas por el departamento de procesos, así como asegurarse de que se cuente con el suficiente material para no ocasionar faltantes, y el sindicato se asegura que sólo se elijan operarios calificados para esa operación, además que debe explicar porqué se realiza el estudio y responder cualquier pregunta que pueda surgir. (Niegel, 2009)

Existen 2 formas de hacer el estudio de tiempos el continuo y de regreso a ceros: El continuo como su nombre lo indica, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio, en este método el analista lee el reloj en el punto de quiebre de cada elemento y se deja que el tiempo siga corriendo. En la técnica con regreso a cero después de leer el cronómetro en el punto de quiebre de cada elemento, el tiempo del reloj se regresa a cero; cuando ocurre el siguiente elemento el tiempo se incrementa a partir de cero. (Niegel, 2009)

Para determinar la cantidad de ciclos que se van a estudiar se puede utilizar tablas como la proporcionada por General Electric u otras empresas con estándares de tiempos establecidos, o se puede establecer un número más exacto mediante el uso de métodos estadísticos. Como el estudio de tiempos es un procedimiento de muestreo, se puede suponer que las observaciones se distribuyen normalmente, respecto a una media de

población desconocida con una varianza desconocida, si se usa la media muestral y la desviación estándar muestral, la distribución normal para una muestra grande lleva el siguiente intervalo de confianza: $\bar{x} \pm \frac{zS}{\sqrt{n}}$

Donde $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ sin embargo los estudios de tiempos suelen involucrar solo muestras pequeñas $n < 30$, por lo tanto debe utilizarse una distribución t. entonces la ecuación del intervalo de confianza es $\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$ despejando n se obtiene: $n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}}\right)^2$ donde $k\bar{x} = \frac{ts}{\sqrt{n}}$

Como el tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende en un alto grado de la habilidad y el esfuerzo del operario, es necesario ajustar el TIEMPO NORMAL hacia arriba del operario bueno y hacia abajo del operario deficiente:

El principio básico al calificar el desempeño es ajustar el tiempo medio observado (TO), para cada elemento ejecutado durante el estudio al tiempo normal (TN), que requeriría un operario calificado para realizar el mismo trabajo $TN = \frac{TOXC}{100}$ donde C es la calificación del desempeño. Pueden ocurrir 3 clases de interrupciones: las personales como ir al baño o tomar agua, la segunda es la fatiga y la 3era retrasos inevitables por algún problema de calidad, porque no se surtió el material a tiempo, interrupciones del supervisor, etc. El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado trabajando a un paso estándar, y realizando un esfuerzo promedio para realizar la operación se llama TIEMPO ESTANDAR (TE) de esa operación. Es por eso que al tiempo normal debe añadirse una holgura para estas interrupciones, al fin de llegar a un estándar justo que un trabajador pueda mantener de manera razonable. (Niebel, 2009)

El tiempo de holgura muchas veces depende del tiempo de producción total y establecida por las empresas: $TE = TN + (TN \times Holgura) = TN \times (1 + Holgura)$

El tiempo observado o elemental es el tiempo que se cronometra al hacer el estudio.

El tiempo normal se saca multiplicando el tiempo observado por el factor de desempeño.

El tiempo estándar es multiplicar el tiempo normal por el factor de holgura.

La holgura por el general para trabajo manual es del 15% y para máquinas es del 10%.

El porcentaje de eficiencia del operario se expresa como: $E = 100x \frac{H_e}{H_c} = 100x \frac{O_c}{O_e}$

(Niebel, 2009)

Donde

E=porcentaje de eficiencia

He=Horas estándar trabajadas.

Hc= Horas de reloj en el trabajo.

Oe= Producción esperada

2.2 Estado del arte

Una de las principales metas de los sistemas de manufactura es maximizar la productividad, la cual depende de varios factores, uno de ellos es el arreglo de las estaciones de trabajo para el proceso lo que conocemos como “facility layout problem” su nombre mas común en inglés. El transporte de los materiales es uno de los factores esenciales en un problema de distribución de planta. Existen 4 tipos de layout: Posición fija, layout por proceso, celdas de manufactura y línea. El autor en su investigación utiliza el método de Systematic Layout Planning y también el Value Stream Mapping. El SLP es uno de los métodos mas utilizados para la distribución o la re-distribución de un layout dentro de la industria y consta de 3 fases: La recolección de datos y su análisis, la búsqueda de las mejores soluciones y evaluar las alternativas y escoger la mejor. Se obtienen 3 propuestas de solución al layout por 3 diferentes técnicas, SLP, VSM y Lean Manufacturing los cuales se simularon resultando que el que era mejor, era en el que se había aplicado Lean Manufacturing (Carlo, 2013).

Mediante la técnica de simulación, usando el software de simulación ProModel, se elaboró un modelo que representa al sistema actual de la empresa “El Piloncillo”, y a partir de éste se creó otro modelo del sistema mejorado, con el cual se proponen acciones para solucionar el problema de baja productividad que se tiene. Los modelos de simulación se diseñan para que el analista observe las características del sistema que se representan en el modelo simulado, y subsecuentemente recolecte información pertinente. Los pasos que se siguieron para la simulación fueron: Recolección de los datos del sistema de producción, los datos fueron tiempos de cada uno de los procesos, posteriormente se hizo el análisis estadístico de esos datos, para aplicar pruebas de bondad de ajuste y ver la distribución de los datos, se determinaron las medidas de desempeño en este caso costos afectados por la productividad, se construye el modelo de simulación, se valida el modelo de simulación aplicando una prueba t-apareada con un nivel de significación de 0.05 a dos medidas de desempeño: El tiempo de procesamiento y el tiempo de utilización de la máquina, se aplica un diseño de experimentos para determinar el número óptimo de réplicas, posteriormente se analizan y comparan los resultados de los diferentes métricos y se realiza el análisis económico. Y concluye que gracias a la simulación es posible saber el comportamiento de los métricos claves antes de implementarlo en la producción real (Ferrer, 2013).

La simulación es usada como una herramienta de evaluación de alternativas para la minimización de los costos del almacén. Los modelos matemáticos a evaluar son: modelo heurístico de la empresa, lote económico de pedido, lote económico de pedido para la demanda normal, modelo matemático de una empresa externa de consultoría y un modelo optimizador. La metodología comprende los siguientes pasos: Formulación del problema, prueba de solvencia de la simulación, formulación de objetivos, recolección y análisis de los datos, modelación, ejecutar las corridas de la simulación, análisis e interpretación de los resultados, documentación (Olivos, 2013).

El método SLP (Systematic Layout Planning por sus siglas en inglés), es el método cualitativo más usado para resolver problemas de distribución de plantas en la industria. Este método fue propuesto por Muther (1968) y se compone de 3 etapas básicamente: 1)

Análisis, 2) Búsqueda y 3) Solución. En el análisis se realizan estudios de flujos productivos (flujo de material e información), para con esta información desarrollar la matriz de relaciones. En la etapa de la búsqueda se elabora el diagrama de relaciones espaciales con la geometría de las áreas. Y en la tercera etapa la solución, se evalúan todas las posibles soluciones (Martínez, 2012).

El método SLP, es usado para incrementar la productividad de una compañía por medio del mejoramiento de su distribución de planta o layout. Las fases que utiliza para llegar a la distribución mejorada son las siguientes: Análisis del flujo de material, utilización del espacio en relación al proceso para identificar cuellos de botella, el equipo de manejo de material (para determinar si es el adecuado de acuerdo a las características de los materiales), y el análisis de los almacenes de materia prima, dentro del proceso y al final en producto terminado. Las herramientas que aplica son las del método, es decir, utiliza el diagrama de relaciones para de ahí posteriormente proponer los layout mejorados, compararlo con el layout actual y determinar cuál es el que reduce la distancia, de esta manera aumentando la productividad de la compañía (Shewale, 2012).

El desarrollo sistemático de una herramienta de ayuda a la decisión y la acción a tomar consiste, en utilizar un modelo de fabricación simple representado por un simulador que a su vez pueda reproducir los fenómenos intrínsecos del sistema. Se utilizan las redes neuronales y la simulación para plantear el modelo óptimo de toma de decisiones con respecto a la planeación de producción. Los pasos de la metodología son: 1.-Crear una base de datos y con ella se genera un modelo de simulación el cual debe representar el proceso de fabricación. 2.-La información de la base de datos también es utilizada para crear métodos de aprendizaje usando redes neuronales. 3.- Se comparan los resultados del simulador con los arrojados por las diferentes redes neurales. Y 4.- Se optimizan los resultados utilizando un algoritmo genético multicriterio. Los resultados obtenidos sirven de ayuda a la decisión que tomará el planeador de la producción. Una metodología híbrida entre simulación, redes neuronales y algoritmos genéticos se usa como una herramienta de ayuda a la decisión para la fabricación de componentes electrónicos (Senties, 2012).

El método NC (Normal Constraint por sus siglas en inglés), este método lo que busca es encontrar una superficie de Pareto que contenga una solución óptima. Lo que se pretende con el NC es mejorar el NBI reduciendo el número de puntos no-Pareto generados. El NC trabaja muy similar al NBI, la diferencia es que el NC muestra una línea utópica que es un plano similar al CHIM utilizado en el NBI, esta línea es la que une a los 2 puntos de anclaje (los puntos finales de la frontera del Pareto). Estos puntos de anclaje son obtenidos cuando el i -ésimo objetivo es minimizado independientemente. Para obtener los puntos del Pareto en la línea utópica, esta es dividida en varios puntos “XP” y en un proceso iterativo, de cada punto “XP” una línea normal es usada para reducir el espacio factible. El conjunto de soluciones óptimas del Pareto se encontrarán minimizando los resultados del punto de Pareto, consecuentemente después de trasladar la línea normal para todos los puntos “XP”. Para más de 2 objetivos el plano utópico original se indica en un triángulo pequeño el cual es magnificado para que envuelva toda la frontera Pareto que es el conjunto factible, para el nuevo plan utópico las sub-regiones que no están proyectadas en los puntos del Pareto son elevadas, de esta manera el método modificado puede encontrar la superficie entera del Pareto (Motta, 2012).

El método de optimización para resolver problemas de distribución de layout es el llamado Reactive Search Optimization (RSO por sus siglas en inglés), este algoritmo es considerado de los más avanzados en optimización inteligente asistida por computadora, se desarrolla en base a la decisión hecha a través de un proceso iterativo, el algoritmo es guiado para incrementar su capacidad de aprendizaje. El RSO emplea aprendizaje para la optimización, estas técnicas las hace a través de integrar sub-símbolos dentro de las búsquedas heurísticas de modo que la selección del algoritmo, su adaptación e integración se hace de manera muy automatizada. De esta manera el historial pasado puede ser usado como auto-adaptación en un sistema automatizado. Por otra parte la visualización y optimización son conectadas a través de procesos de interacción de decisión. El RSO se combina con otros algoritmos o técnicas asistidas por computadora para resolver problemas de optimización multi criterios (Amir, 2012).

El algoritmo de búsqueda TABU es usado para resolver problemas de distribución de layout en línea recta en un sistema de manufactura flexible. La técnica llamada “3-opt esquema de búsqueda por vecindad”, el modelo computacional muestra la efectividad de esta técnica así como la competitividad del algoritmo de búsqueda TABU. Se basa en que los sistemas de manufactura flexibles están compuestos de 3 principales componentes los cuales son: El conjunto de máquinas, un sistema de manejo de material flexible como robots o autómatas guiados por un vehículo, y un sistema computacional que controla en su totalidad al sistema de manufactura. Entonces lo que propone es que dentro de un sistema de manufactura se debe obtener el arreglo óptimo de las máquinas para que el manejo de material sea el más eficiente. Entonces la función objetivo de este problema es minimizar el costo total por manejo de material usando un layout óptimo de máquinas. Cabe mencionar que esta técnica se recomienda usar para sistemas de manufactura de gran tamaño. Este algoritmo se basa en permutaciones entre las localizaciones de las máquinas (Ravi, 2012).

Las heurísticas de distribución de planta para resolver problemas asistidos por computadora son: CRAFT es un modelo de Armour y Buffa (1963) el cual empieza con los costos de las instalaciones y la determinación de los centros de cada área. El proceso es encontrar una distribución de bajo costo y la óptima solución se encuentra cuando ya no puedes bajar más el costo. CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning por sus siglas en inglés) en esta distribución se ubican a los departamentos de acuerdo con la calificación de cercanía total en trayectoria rectilínea, el de mayor relación de cercanía va al centro, si hay 2 o más, se queda el más grande y comienza la interacción. Y por último ALDEP (Automated Layout Desing Program por sus siglas en inglés) es una versión más antigua del CORELAP, solo que este utiliza una búsqueda aleatoria para seleccionar los departamentos a ubicar y realizar desempates (Mejia, 2011).

La tecnología de grupos en celdas de manufactura es usado en un modelo mixto entero no lineal de tipo cuadrático. Esto se resuelve con programas de optimización Dicopt y Baron, esto es para encontrar el óptimo de máquinas en las celdas. Para encontrar el layout óptimo se basa en los costos del manejo de material convirtiendo el modelo no

lineal a lineal. Para resolverlo primero se asegura que tenga la capacidad de cumplir con la demanda de producción y optimizar. Para el layout óptimo se utilizan heurísticas 2-opt, recocido simulado (simulated annealing). Primero con el modelo cuadrático se realiza el agrupamiento y con las heurísticas se hace el acomodo (Camussi, 2011).

CIM (Manufacturing Integration Computer por sus siglas en inglés) es un sistema integrado de manufactura que está basado en la automatización de los procesos, como del flujo de información. El problema de la programación de la producción es el principal problema que tratan sistemas flexibles de manufactura. En este trabajo se trata de establecer las reglas óptimas de secuencia del programa de producción para que se cumpla, y no afecte a la productividad esto a través de un modelo de simulación. Lo más usado para medir el estudio de programación es la tardanza y el tiempo de flujo. En este trabajo se utiliza el software ARENA que modela el sistema, se usa el diseño de experimentos con un modelo factorial completamente aleatorio para estudiar los factores que influyen el modelo, y se hace el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar y analizar los resultados (Bhuiyan, 2011).

Un sistema de desensamble reconfigurable representa un nuevo paradigma de los sistemas automatizados de desensamble, que usan tecnología reconfigurable para una rápida adaptación a los cambios en cantidad y mezcla de productos que se desensamblan. La metodología usada es desarrollada en 2 fases, primero se agrupan los productos en familias de acuerdo a su coeficiente de similitud usando un algoritmo Hierarchical Clustering, la segunda fase es determinar la secuencia óptima de la familia de productos usando como criterio la minimización del costo de operación y la reconfiguración y esto se determina con un modelo de programación lineal mixto integrado. El proceso de desensamble se hace por las legislaciones ambientales de ciertos países donde al volverse obsoletos los productos regresan a las fabricas para ser desensamblados y ver qué partes se pueden volver a utilizar. Agrupar en familias para desensamblar o ensamblar productos similares reduce los cambios de máquina, tiempos de espera, inventario en proceso y el manejo de material aumentando la productividad (Eguia, 2011).

El mapeo del flujo de valor (VSM Value Stream Mapping por sus siglas en inglés) es un método popular de visualización del mapa del flujo de la transformación de la materia prima en producto final para un sistema de manufactura esbelta. La premisa del VSM es entender el flujo del producto desde la perspectiva del cliente, mejorar el rendimiento, reducir el tiempo ciclo y ayudar a diseñar el sistema de producción. Se siguen los siguientes pasos: 1) Seleccionar una familia del producto, 2) Crear un mapa del estado actual, 3) Establecer un mapa del estado futuro usando técnicas de manufactura esbelta, 4) Definir un plan de implementación para el estado futuro e 5) Implementar el estado futuro a través de las actividades de mejora continua. En este trabajo se utiliza el VSM para identificar oportunidades con principios Lean y luego usar simulación para analizar y evaluar el estado actual y el futuro. Entonces, primero se elabora el VSM, después se utiliza el Concept Development Process (CDP) que es un método iterativo que consiste en 6 etapas que son: 1) Identificar las necesidades del cliente y comunicárselas efectivamente a los dueños del proceso, 2) Las necesidades se convierten en especificaciones, 3) Se generan conceptos de esas necesidades, 4) Seleccionar el concepto que es evaluar y optimizar los conceptos propuestos usando métricas de desempeño relevantes, en este caso de estudio, el concepto es el proceso de diseño de layout y el métrico de desempeño será un sistema de acoplamiento a nivel de índice, lo que hace es formar un diseño modular para reducir la complejidad del sistema y dejar una función independiente para reducir las interacciones entre los componentes, 5) Se evalúan las alternativas usando simulación en este caso FLEXIM y 6) Se procede al plan de desarrollo del producto con la mejor alternativa (Jeong, 2011).

Los métodos cuantitativos para la distribución de una planta, en especial el método de factores ponderados en el cual se desarrolla una lista de los elementos relevantes que afecten la selección de la localización, después de eso se asigna un peso a cada componente reflejando su importancia relativa, se desarrolla una escala para cada elemento, se califica cada localización para cada componente y por último se multiplica cada calificación por los pesos de cada integrante y se totalizan las calificaciones de cada localización utilizando una fórmula matemática. La ventaja que él ve de utilizar

este método cualitativo es que permiten trabajar con una cantidad ilimitada de factores de localización, inclusive combinando valores objetivos (cuantificables) con otros subjetivos. Esta particularidad supone la factibilidad de incorporar aspectos, no evaluados habitualmente, concernientes a la sustentabilidad del proyecto (Tavella, 2010).

El método de la media geométrica donde se emplean ponderaciones exponenciales en lugar de lineales y se utiliza el producto de las puntuaciones de cada factor en lugar de la sumatoria. Otro es el método de análisis de la secuencia de BUFFA, la característica de este método es que utiliza el flujo de material como criterio único, donde se estudia el proceso, las piezas y sus recorridos; la secuencia de operaciones de cada pieza, de esta manera determina las cargas de transporte entre los departamentos, se realiza una búsqueda de la posición relativa ideal de los diferentes centros de trabajo, con esto se desarrolla un diagrama de bloques ideal con sus relaciones para finalizar con del desarrollo del Layout. Otro método que describe es la metodología de REED, la cual estudia el producto a fabricar, determina el proceso, prepara los esquemas de planificación de layout, determina las estaciones de trabajo, los requerimientos de almacenamiento, los pasillos y prever posibles expansiones futuras. (Camargo, 2010)

Otra metodología, es el método de enfoque de sistemas ideales de Nadler (Nadler, 1965), éste parte de un sistema teórico ideal con costo cero, calidad absoluta, sin riesgos, sin desperdicio y eficiente, después determina un sistema ideal último el cual representa una solución que la tecnología no permite implementar en el momento actual pero puede ser en el futuro, de ahí parte al sistema ideal tecnológicamente viable el cual representa una solución para la que la tecnología actual puede dar respuesta pero no puede implementarse por alguna razón (costo elevado). Luego desarrolla el sistema recomendado que es una solución viable con una aceptable eficiencia y costo para terminar con el sistema real que es la implementación existente de la solución. Y el otro método del que habla es la metodología de APPLE la cual se basa en una serie de pasos que hay que seguir para encontrar la solución factible los cuales son: obtener los datos básicos del problema, analizar dichos datos, diseñar el proceso productivo, proyectar los

patrones del flujo de material, determinar el manejo de materiales, calcular los requerimientos de equipos, establecer grupos de operaciones relacionadas, establecer las relaciones entre las actividades, determinar los requerimientos de almacenamiento, determinar los requerimientos de espacio y localizar las operaciones en el espacio total disponible (Camargo, 2010).

El algoritmo de Benson es usado para resolver problemas de optimización multi-objetivo en problemas de programación lineal. Este algoritmo encuentra todos los puntos extremos no-nominados del conjunto factible de programación lineal en el espacio resultado; un punto no-nominado en un espacio objetivo en la imagen de una solución eficiente en un espacio variable. Se construye una secuencia de poli-topes que contienen el conjunto factible en el espacio resultado y termina cuando el poli-tope aproximado tiene los mismos puntos extremos no-nominados como el conjunto verdadero resultado. Hay una modificación al algoritmo de Benson utilizando la teoría dual geométrica con la cual se re-descubren los principios conocidos de la teoría escalar dual y permite tener nuevos puntos de vista del algoritmo de Benson (Ehrgott, 2010).

El algoritmo competitivo imperialista es usado para resolver problemas de distribución de layout en una línea recta con el objetivo de minimizar el costo de transporte entre las estaciones de trabajo, el algoritmo competitivo imperialista (ICA Imperialist Competitive Algorithm por sus siglas en inglés) empieza con una población inicial de soluciones llamados “países” que son clasificados como Imperialistas y Colonos. Cada colonia de la población inicial es asignada a un imperialista respectivamente, un imperialista y sus correspondientes colonias construyen un Imperio. El proceso del ICA se da a través de 3 principales componentes llamados a) Asimilación dentro de cada imperio, b) Competencia imperialista entre los imperios y c) Eliminación de los imperios ineficaces. El ICA converge cuando queda un solo imperio. Se genera y evalúa la población a través de ecuaciones preestablecidas y se selecciona a las mejores colonias, entonces los parámetros del ICA van a ser la población inicial, el número de colonias y el número de imperialistas. Una vez obtenidos los imperios iniciales comienza el proceso de asimilación, el cual consiste en mover cada colonia con su

imperialista correspondiente, este movimiento se hace utilizando los conceptos de cruzamiento y mutación de los algoritmos genéticos, lo que puede suceder en la asimilación es que una colonia puede acercarse a una mejor posición con la asimilación y convertirse en imperialista y viceversa el imperialista puede convertirse en colonia. El último paso es la eliminación de los imperios ineficaces, cuando un imperio perdió todas sus colonias automáticamente se elimina, el proceso termina cuando solo queda un imperio con la mayor cantidad de colonias cerca de la misma posición con su imperialista. Se llega a esto después de varias iteraciones hasta encontrar la solución óptima (Kunlei, 2010).

Los algoritmos genéticos son usados para encontrar la solución óptima a un problema de distribución de layout con función multi-objetivo. Se menciona que tradicionalmente hay 2 objetivos en este tipo de problemas, uno cuantitativo que se refiere a la minimización del costo del manejo de material y otra cualitativa que es maximizar la cercanía entre este material. Entonces se propone utilizar algoritmos genéticos para encontrar la óptima distribución considerando los 2 objetivos que se mencionaron anteriormente. El proceso de los algoritmos genéticos es crear una población inicial aleatoriamente y a través de un operador de cruzamiento y un proceso de mutación generar nuevos descendientes, si esta descendencia satisface los criterios, se seleccionan y vuelve a empezar el proceso así hasta llegar a la mejor solución. Para este criterio se busca una solución no dominada llaman Pareto óptimo. Entonces lo que hace es resolver las 2 funciones objetivo por separado y con el Pareto encontrar la solución óptima de las 2 funciones objetivo. El problema que trata es muy apegado a la realidad porque menciona que layout tiene que soportar multi-productos con diferentes volúmenes de producción y además diferentes rutas de proceso. Entonces el proceso que se sigue para resolver el problema a través de algoritmos genéticos es el siguiente: a) Determinar las entradas del problema en este caso Jannat (2010) considera 3 a) El número de localizaciones, el número de distribuciones y la secuencia de operación, b) Construir la función objetivo, c) Agregar los objetivos, d) Seleccionar la solución usando los algoritmos genéticos. Ahora para empezar a utilizar los algoritmos genéticos, él

menciona como entradas para este proceso un tipo de codificación, es decir, nomenclatura, cromosomas, seleccionar el método, reproducción y condición de terminación (Jannat, 2010).

La tecnología de grupos es una de las metodologías más eficientes para mejorar el proceso de manufactura de productos con bajo volumen pero gran variedad, la cual consiste en agrupar los productos en sus diferentes familias según el proceso haciéndolo más eficiente. Aunque no sólo se deben de considerar los costos directos si no también los indirectos como son los mantenimientos. Una solución para hacer más eficientes las celdas donde se aplica la tecnología de grupos, es utilizar la simulación no solo para mejorar el comportamiento del proceso sino también estimar costos y poder mejorarlos, esto utilizando costos basados en las actividades específicas de cada celda donde se aplique la simulación. Hay 3 métodos que incorporan la estimación de costos en la simulación y son:

1.-Uno es usar el software simul8 simulation software, el cual ya trae incorporado en su lenguaje costos predeterminados de acuerdo a ciertas operaciones, lo cual puede representar una desventaja ya que el usuario desconoce cómo se estimaron estos costos.

2.-La segunda propuesta utiliza o hace estimaciones de costos off-line después del proceso y éstos se utilizan como medidas del desempeño final del sistema, una desventaja es que no se utiliza la interacción entre la variabilidad de cada una de las partes al trabajar fuera de línea.

3.-La tercera propuesta es incorporar directamente las rutas de costos dentro del modelo de simulación lo que permite que se recolecten los datos en línea durante la ejecución del modelo.

Los datos que se agregan al modelo de simulación son: El costo total por unidad de cada tipo de producto, el costo de desarrollo por unidad de cada producto, el costo de procuramiento por unidad de cada producto, el costo de manejo de material dentro de la celda por unidad de cada producto, el costo de los controles de calidad e inspección por

unidad de cada producto, el costo de producción por unidad de cada producto y el costo de inventarios, además de estimar éstos, la simulación es capaz de determinar en los que el operador esta libre y el costo de depreciación de las máquinas al no ser utilizadas de tiempo completo por el programa de producción, estimando no solo el mejor diseño de una celda de manufactura si no también los costos, esto hace más eficiente para las compañías tomar decisiones. (Savory, 2010).

El proceso de Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) es una técnica multicriterio que descompone una situación en sus partes, ordena estas partes o variables en un orden jerárquico, asigna valores numéricos o juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada variable y se sintetizan los juicios para determinar qué variables tienen mayor prioridad. La base matemática del AHP es que trata directamente con pares ordenados de prioridades en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión, esto se hace a través de comparación de matrices, después de hacer esta comparación se puede calcular lo que se denomina prioridad para cada uno de los elementos que se comparan y así se llega a la síntesis. El proceso matemático preciso implica el cálculo de valores y vectores característicos, luego se evalúa el modelo lo cual consiste en examinar los elementos del problema aisladamente por medio de comparación de pares, el resultado final se obtiene una vez realizadas todas las comparaciones y llegando a un consenso. (Salazar, 2009).

El comportamiento de un algoritmo evolutivo flexible es diseñado con el fin de ser una nueva herramienta de optimización. Los algoritmos evolutivos tienen grandes ventajas una de ellas es la capacidad de auto-adaptar la búsqueda de soluciones óptimas durante el proceso pero también tiene desventajas, una de ellas es que dependen del problema al que se apliquen y como consecuencia, los parámetros usados para su implementación deben ser ajustados para cada caso. Estos algoritmos se dividen en funciones llamados motores, existe una función central denominada motor de decisión que se ocupa de gobernar todos los procesos. El proceso comienza con una población inicial, la cual es evaluada mediante la función de aptitud misma que será establecida al azar. Otro motor es el de aprendizaje, el cual calculará medidas estadísticas por ejemplo de convergencia,

luego viene el motor de selección, el motor de cruce o mutación el cual cuenta con 60 operadores, existen 2 parámetros de control, el primero rige cómo muestrear los individuos y el segundo decide cuál de los 60 operadores de muestreo se usarán. Estos 2 parámetros se ajustan durante el proceso y no necesitan ser predeterminados. Al final del proceso se eliminan las soluciones repetidas fenotípicamente. Para terminar, se repite el proceso hasta que se cumple con un determinado criterio de parada, generalmente es alcanzar un número determinado de evaluaciones de la función objetivo (Alonso, 2009).

El recocido simulado es una metodología para resolver el problema de distribución de layout. Se proponen 2 funciones objetivos que son: minimizar el costo del manejo de material y maximizar los requerimientos de adyacencia, de esto se deriva que al reducir el costo total del transporte de material y maximizar los requerimientos de adyacencia el resultado es una reducción en los niveles de material en proceso (WIP work in process por sus siglas en inglés), los tiempos de producción, los daños al producto y el control del material, todo esto se produce simultáneamente. La salida de esta metodología es un layout que especifique la localización relativa de cada departamento. La capacidad que tiene esta metodología es que puede saltar de una solución óptima local a una solución óptima global, la capacidad se logra mediante la aceptación de probabilidad de vecinos peores que la solución actual, lo que quiere decir es que la probabilidad de aceptación está determinada por un parámetro de control que decrece durante el proceso de la simulación (Gülsün, 2009).

Un proceso de transformación Lean tradicional no valida el estado futuro antes de su implementación. Se pretende es que a través de un modelo de simulación se mejore este proceso de implementación Lean. La simulación es el único soporte capaz de alcanzar la meta corporativa de encontrar la correcta o al menos la mejor solución para el diseño de un sistema, que cumpla con los requerimientos de operación antes de su implementación. El objetivo es desarrollar y mejorar el sistema del proceso Lean que incluye Kanban, Layout físico y otros parámetros cuantitativos utilizando simulación para alcanzar los requerimientos y objetivos del sistema a la primera. Las herramientas Lean sólo muestran el estado futuro de manera estática no las interacciones entre los

factores del sistema y las interacciones entre las herramientas de Lean, además de que tampoco incluyen las variaciones a las que está sujeta el sistema, es por eso que se propone utilizar la simulación antes de la implementación.

El proceso mejorado que se propone en el artículo está basado en el trabajo de Felds (2009) agregándole un paso más, quedando de la siguiente manera:

- Valoración del proceso Lean para el sistema de la corporación.
- Estado actual.
- Diseñar el estado futuro utilizando VSM.
- Lo nuevo que se agregó es validar ese estado futuro a través de la simulación.
- Implementación.

El VSM es una representación estática del sistema, al aplicarle simulación se mejora de diferentes maneras: (Marvel, 2009).

- 1.-El modelo puede ser utilizado para analizar a través de una computadora y experimentos, la validación del desempeño del sistema bajo ciertas condiciones.
- 2.-La dimensión del tiempo puede ser incluido para ver los cambios dinámicos en el comportamiento del sistema.
- 3.-El comportamiento individual de cada factor como partes, niveles de inventario, manejo de material pueden observarse y hacer inferencias acerca del comportamiento del sistema.
- 4.-La variabilidad estructural y aleatoria es incluida en el modelo de simulación y se pueden determinar los efectos que tiene esta variabilidad en el desempeño del sistema.
- 5.-La interacción entre los efectos puede ser explícitamente o implícitamente incluida en el modelo de simulación.

Los problemas de asignación cuadrática se utilizan para resolver problemas de distribución de planta, básicamente esto funciona de la siguiente manera: Se asignan “n” distribuciones para “n” localizaciones con costo inicial proporcional al del flujo entre las distribuciones multiplicadas por sus distancias. El objetivo es localizar cada distribución de tal manera que se minimice el costo total de las localizaciones. Por lo general el QAP siempre se maneja con 2 matrices “A” y “B” pero en este trabajo se incluye una tercera “C”, donde “C” es el costo de la localización de la distribución “i” en la localización “j”. Para llegar a la solución óptima del QAP existen 3 algoritmos exactos y estos son: programación dinámica, técnicas de corte plano y branch and bound, investigaciones han demostrado que el último algoritmo es el más exitoso para resolver el método QAP (Ji, 2008).

El NBI (Normal Boundary Intersection por sus siglas en inglés) es una metodología de solución para generar una superficie de Pareto en problemas de optimización multi-objetivos no lineales. Se prueba que el método es independiente de las escalas relativas de la función objetivo y es exitoso produciendo un conjunto de puntos distribuidos en la superficie del Pareto dando asimismo un conjunto de parámetros. Lo que se hace es, desarrollar vectores y el límite de ese vector llamado “F” se representa como la derivada parcial de “F,” entonces el método determina la porción de esta derivada parcial de “F” que contiene los puntos óptimos del Pareto. La principal idea detrás de este enfoque es que el punto de intersección entre el límite de la derivada y la normal a través del origen emanando de cualquier punto en el CHIM (Conjunto de puntos en R^n que son combinaciones convexas), es un punto en la porción de la derivada contenido en el punto eficiente. Este punto es garantizado a ser el punto óptimo del Pareto si la superficie de intercambio en el espacio objetivo es convexa (Jia, 2008).

El diseño de la distribución del layout trata con el arreglo de las máquinas de minimizar el flujo de las partes dentro del sistema, el layout comúnmente más utilizado en los sistemas de manufactura son los de línea recta ya que proveen un mejor control de las operaciones y tienen habilidad para soportar diferentes tipos de manejo de material, el autor menciona 5 tipos de arreglos de un layout: a) Una sola línea, b) Múltiples líneas, c)

Layout en curva, d) Cluster layout, y e) Layout circular. Se resolverá un problema de distribución en un layout de línea recta con un área desigual utilizando el algoritmo de búsqueda dispersa. En el modelo presentado en el artículo se toman las siguientes suposiciones: a) Las máquinas están distribuidas a lo largo de una línea recta, b) Las máquinas están orientadas en una sola dirección, c) Las máquinas son rectangulares con medidas desiguales, d) El espacio entre cada máquina es variable y e) La distancia entre las máquinas es calculada respecto a sus centros. Con estos datos se determina la función objetivo y las restricciones del sistema y se empieza a resolver el modelo con el algoritmo de búsqueda dispersa, que se basa en los principios del algoritmo genético, ya que empieza a generar una población inicial con soluciones iniciales, y a partir de una referencia empieza a seleccionar a través de la combinación de las mismas las mejores opciones de localización del material dentro del layout (Satheesh, 2008).

Los algoritmos híbridos se usan para resolver problemas de distribución de planta donde incluye restricciones espaciales o prioridades de cercanía. El algoritmo integra 2 técnicas que son los algoritmos basados en colonias de hormigas y los algoritmos genéticos que permite mejorar el conjunto de soluciones obtenidas por las hormigas artificiales. La información que utiliza es la obtenida a partir de los datos del problema (distancia entre áreas, flujos entre secciones, capacidades de las áreas, etc.). El objetivo del trabajo es minimizar el costo de transporte con restricciones de carácter espacial. La ventaja de implementar algoritmos híbridos ya que pueden incorporar varias técnicas para mejorar las soluciones, como por ejemplo los algoritmos genéticos mejoran las soluciones obtenidas a través de las colonias de hormigas. Cada una de las hormigas artificiales del algoritmo construirá una posible solución del problema realizando asignaciones parciales de secciones a áreas de la planta. La información que usará para decidir si debe realizar o no una asignación parcial son los datos sobre distancias entre áreas y flujos entre secciones (información heurística), e información sobre la calidad de las soluciones previamente obtenidas en las que se realizó esa asignación (rastro de feromona). Esta información será almacenada en sendas matrices cuadradas de dimensión n (Coba, 2008).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La aportación principal en el desarrollo del proyecto, es el establecimiento de una metodología que indique los pasos a seguir para diseñar o re-diseñar una línea de ensamble, basándose en movimientos de material, es decir, reordenamiento de los puntos de almacén a lo largo de la línea utilizando el mismo espacio y reduciendo el transporte de este material dentro de la misma, dando con ello varios beneficios como es el incremento de la capacidad de la línea y la reducción del tiempo ciclo de ensamble.

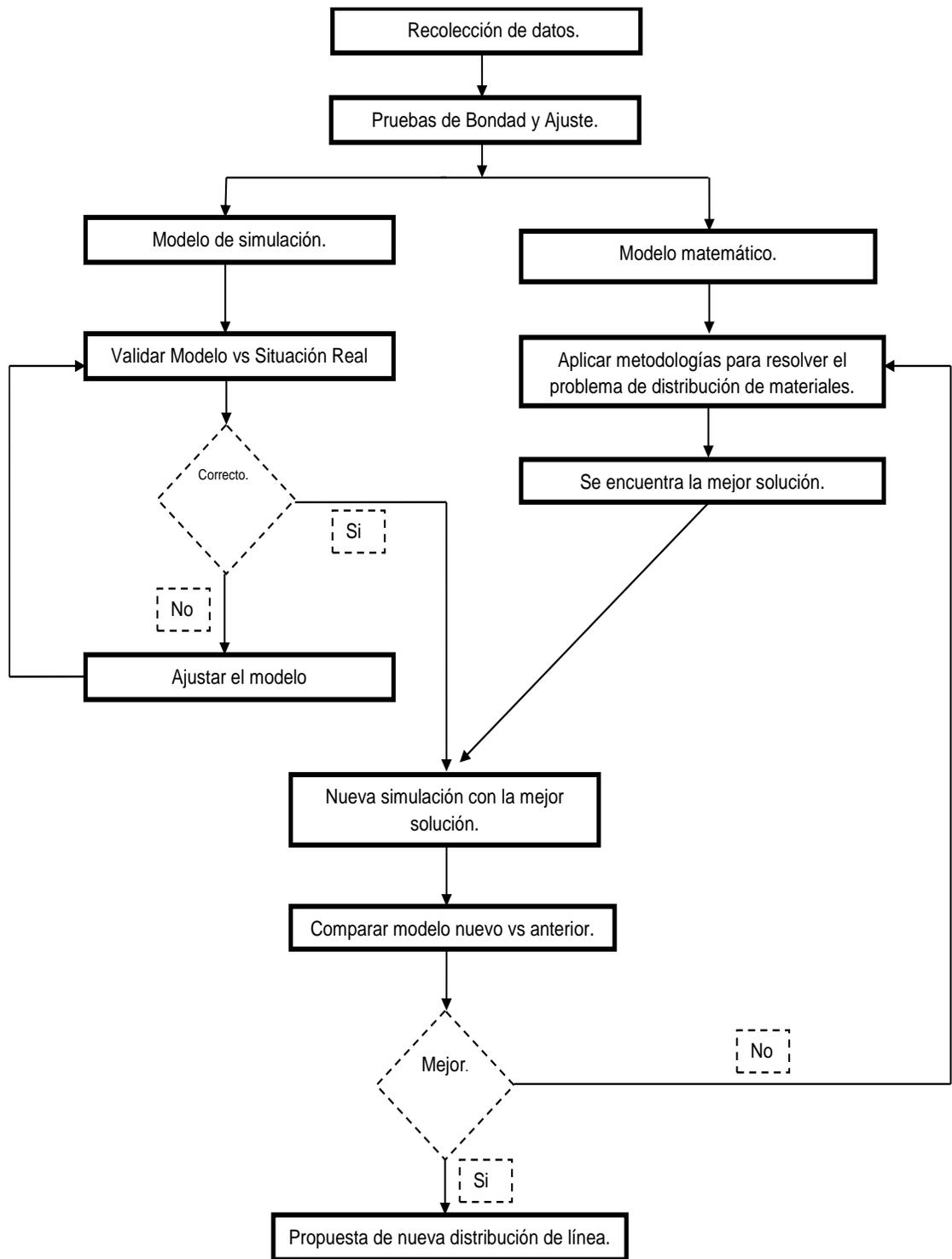


Figura 3. 1 Metodología general del proyecto de investigación.

A continuación se resumen las etapas de la metodología general de investigación.

1. Recolección de datos

En esta etapa se hace la recolección de los datos los cuales se utilizarán para la aplicación de las metodologías que van a encontrar la mejor distribución de material, así como en la etapa de validación con simulación, los datos son: Tiempos ciclo por operación de cada una de las estaciones de trabajo, distancias de recorrido de material para el ensamble de las partes, las veces al día que se utilizan y la capacidad de cada almacén de material a lo largo de la línea.

2. Pruebas de bondad y ajuste

A las muestras de tiempos ciclo de operación se les aplican 3 pruebas de bondad y ajuste, para posteriormente determinar cómo se distribuyen estos datos y estimar sus parámetros y tener una simulación lo más apegada a la producción real.

3. Modelo de simulación y modelo matemático

Al mismo tiempo se pueden hacer 2 cosas, establecer el modelo de simulación en el software en este caso (plant simulation) que es el layout en 3D y 2D con la recolección de los datos, y también hacer el modelo matemático para reducir el transporte de recorrido de material, es decir, se establece la función objetivo y las restricciones con las cuales se va a estar trabajando.

4. Validar modelo contra la situación real

Una vez con el modelo de simulación, se hace una corrida para ver que los datos como producción diaria y tiempo ciclo sean congruentes con la producción real de la planta,

compararlo con un margen de error establecido y aceptar como válida o no el modelo de simulación, en caso de no ser así el paso siguiente es ajustar el modelo.

5. Ajustar el modelo

En caso de que la validación del modelo no sea aceptada hacer este paso, es decir, ajustar el modelo con los datos, de lo contrario ir al paso 8.

6. Aplicar metodologías para resolver problemas de distribución de layout

Para este proyecto se aplicarán 3 metodologías diferentes para resolver el problema de distribución de un layout las cuales son: Planeación Sistemática del layout, programación lineal y un algoritmo colonia de hormigas, si ninguna de ellas diera un mejor resultado se pueden aplicar otras que se mencionan en el estado del arte y volver a este paso.

7. Encontrar la mejor solución

El objetivo del proyecto es encontrar la mínima distancia recorrida de los materiales dentro de la línea, por lo que aquella metodología que arroje una menor distancia será la que se aplicará para simular y dar la propuesta en los pasos siguientes, si no se regresa al paso 6.

8. Simulación con los recorridos nuevos

La metodología que cumpla con el objetivo hará que se haga un reordenamiento de material lo cual arrojará nuevas distancias y por consecuente reducirá los tiempos ciclos

de operación, esos datos se simularán en varias corridas en nuestro modelo de simulación.

9. Comparar el modelo nuevo contra el anterior

Con los resultados de ambas simulaciones una de ellas con los datos reales de producción ,y otra con los datos obtenidos por la metodología se valora si hay una mejora en cuestión de capacidad de línea, y tiempo ciclo de operación, si la hay se pasa al paso 10 si no se regresa al paso 6.

10. Propuesta de la nueva distribución de línea

Cuando se cumplan todos los pasos y se validen con simulación se hace la propuesta de la nueva distribución de materiales en la línea de ensamble.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El primer paso de la metodología es la recolección de datos, iniciando por la toma de tiempos en las 7 estaciones de la línea de chasis de las 15 operaciones en promedio que tiene cada una, y se recolectaron varias muestras para poder analizarlas, en la tabla 4.1 se aprecia un ejemplo de la recolección de tiempos de cada operación y la cantidad de muestras en este caso para modelo de tractor 5000.

MODELO 5000		
ESTACIÓN	OPERACIONES	MUESTRAS
0	14	420
1	12	360
2	13	390
3	21	630
4	9	270
5	14	492
6	19	570
		3132

Tabla 4.1 Muestras de tiempos de ensamble (Cortesía John Deere).

Una vez obtenidos los tiempos, se procede a obtener las distancias, las cuales estarán dadas en metros para cada uno de los materiales que lleva el proceso de ensamble. Se realiza un layout en 2D y otro usando AutoCAD en 3D, además de las veces al día que se usan y la capacidad de los almacenes a lo largo de la línea, la figura 4.2 muestra el layout en 2D y la figura 4.3 muestra el layout en AutoCAD en 3D, las tablas 4.4 y 4.5 la distancia así como las veces en el día que se usan y la capacidad de cada almacén respectivamente, en total fueron 107 almacenes de material a lo largo de la línea de chasis.

j		i		j	
		i1	i2		
		Estaciones			
j1	Sub-ensamble Trailer Brake	0	1	H02	j6
j2	Banco 117			BTRA	j7
j3	Banco 231			Banco 200	j8
j4	H01			H04	j9
j5	H03				
		i3	i4		
j10	Banco 202	2	3	Banco 203	j15
j11	H01			H02	j16
j12	H03			BTRA	j17
j13	H05			H04	j18
j14	H07			Sub-ensamble filtros	j19
				H06	j20
				H20	j21
				Banco 204	j22
				H08	j23
				H10	j24
		H12	j25		
		H14	j26		
		H16	j27		
		i5	i6		
j28	Barras cardan	4	5	H18	j34
j29	BTRA			H02	j35
j30	Mangueras			H04	j36
j31	Banco 207			Banco 205	j37
j32	H09			Banco 206	j38
j33	H11	Marcadora	j39		
		H06	j40		
		i7	i8		
j41	H01	6	7	VCS	j56
j42	H03			H02	j57
j43	Banco 212			Banco 208	j58
j44	Mangueras			H04	j59
j45	Banco 214			BTRA	j60
j46	Palancas			H06	j61
j47	BTRA			H08	j62
j48	H05			H10	j63
j49	H07			H12	j64
j50	Banco 215			H14	j65
j51	Banco 216				
j52	Banco 217				
j53	Banco 218				
j54	Banco 219				
j55	H09				
		i9	i10		
j66	H01	8	9	H02	j71
j67	BTRA			H04	j72
j68	H03			H06	j73
j69	Pared de fuego			BTRA	j74
j70	Banco 221			H08	j75
				Trampa de Agua	j76
				AC	j77
				H10	j78
		H02	j79		
		i11	i12		
j80	H01	10	11	Palancas	j87
j81	H03			H04	j88
j82	Tableros			H06	j89
j83	BTRA			H08	j90
j84	H05			H10	j91
j85	Banco 225			H12	j92
j86	Banco 224			H14	j93
				Banco 222	j94
		Banco 223	j95		
		i13	i14		
j96	Banco 232	12	13	Banco 228	j103
j97	Banco 231			Banco 230	j104
j98	H01			H08	j105
j99	H03			H02	j106
j100	H05			H04	j107
j101	H07				
j102	H09				

4.2 Layout 2D de la línea de chasis.

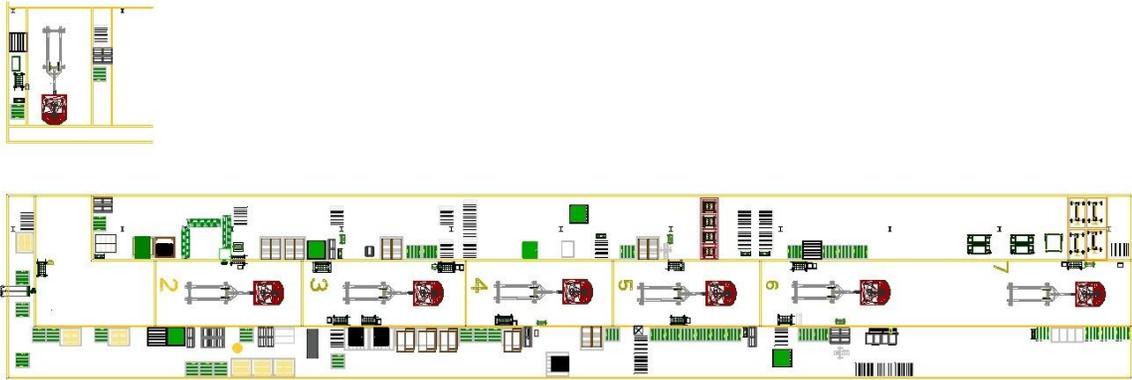


Figura 4.3 Layout en AutoCAD 3D de la línea de chasis.

Distancia	mts ida	mts vuelta	Veces al día
X11	1.68	1.68	1
X12	1.2	1.2	30
X13	0.96	0.96	50
X14	2.16	2.16	40
X15	0.48	0.48	33
X18	2.4	2.4	30
X19	1.44	1.44	32
X25	2.4	2.4	32
X26	0.48	0.48	30
X27	0.24	0.24	65
X29	0.72	0.72	63
X310	1.2	1.2	65
X311	0.72	0.72	20
X312	1.2	1.2	30
X415	1.2	1.2	10
X416	0.48	0.48	10
X417	0.24	0.24	65
X418	0.96	0.96	50
X419	1.2	1.2	40
X420	1.2	1.2	10
X421	3.12	3.12	50
X422	1.44	1.44	2
X423	1.92	1.92	30
X424	1.68	1.68	10
X425	1.92	1.92	10
X426	2.4	2.4	5
X427	2.64	2.64	5
X434	1.2	1.2	30
X513	1.68	1.68	30
X514	1.44	1.44	30
X528	1.2	1.2	50
X529	0.24	0.24	65
X530	1.2	1.2	20
X531	2.16	2.16	2
X532	1.2	1.2	5
X633	2.88	2.88	50
X635	0.48	0.48	30
X636	0.72	0.72	50
X637	0.24	0.24	30
X638	0.72	0.72	30
X639	0.96	0.96	65
X640	0.72	0.72	5
X742	1.92	1.92	30
X743	0.96	0.96	30
X744	0.48	0.48	30
X745	2.4	2.4	2
X746	0.48	0.48	30
X747	0.24	0.24	65

Tabla 4.4 Recorrido del material.

Capacidad de los almacenes			
j1=10	j28=24	j55=3	j82=4
j2=9	j29=14	j56=10	j83=14
j3=7	j30=4	j57=3	j84=3
j4=6	j31=49	j58=25	j85=49
j5=3	j32=3	j59=3	j86=49
j6=2	j33=3	j60=14	j87=20
j7=14	j34=2	j61=2	j88=36
j8=9	j35=2	j62=2	j89=36
j9=3	j36=3	j63=2	j90=3
j10=7	j37=7	j64=2	j91=3
j11=3	j38=12	j65=2	j92=3
j12=6	j39=1	j66=3	j93=3
j13=2	j40=3	j67=14	j94=49
j14=2	j41=9	j68=2	j95=49
j15=49	j42=3	j69=12	j96=49
j16=2	j43=7	j70=36	j97=49
j17=14	j44=2	j71=3	j98=4
j18=3	j45=49	j72=3	j99=3
j19=16	j46=7	j73=3	j100=3
j20=3	j47=14	j74=14	j101=3
j21=3	j48=3	j75=3	j102=3
j22=9	j49=3	j76=7	j103=7
j23=3	j50=36	j77=5	j104=30
j24=3	j51=36	j78=2	j105=2
j25=3	j52=36	j79=3	j106=3
j26=3	j53=36	j80=3	j107=3
j27=3	j54=36	j81=3	

Tabla 4.5 Capacidad de los almacenes.

Posteriormente con los datos de los tiempos de operación haciendo uso de técnicas de estadística y probabilidad, se aplican 3 pruebas de bondad y ajuste no paramétricas las cuales son: Anderson-Darling, Chi-Cuadrada y Kolmogorov Smirnov para saber cómo se comportan estos datos, estas pruebas se hicieron utilizando el mismo software de simulación (plant simulation), en las tablas 4.6, 4.7 y 4.8 se muestra un ejemplo de cada una de las pruebas, esto se hizo para los todos los datos de cada estación.

Chi-Square Test:

Distribution	Chi statistic	Chi value	Result Chi
Frechet	1.6666666666689	5.97520019035369	true
Logistic	2.6666666666649	5.97520019035369	true
Loglogistic	2.6666666666657	5.97520019035369	true
Normal	3.99979477682979	5.97520019035369	true
Cauchy	5.25957289000656	5.97520019035369	true
Laplace	6.33333333333333	5.97520019035369	false
Paralogistic	9.3333333333276	5.97520019035369	false
Pareto	14.3333333333337	5.97520019035369	false
Triangle	18.333333333329	3.80905998822195	false
Uniform	20.6666666666672	5.97520019035369	false
Negexp	120	7.80411805661389	false
Gumbel	1000	0	false

Tabla 4.6 Prueba Chi-Cuadrada.

Kolmogorov-Smirnov Test:

Distribution	KS statistic	KS value	Result KS
Frechet	5.60995403479266	1.358	false
Logistic	1.02666301899506	1.358	true
Loglogistic	1.02037505095484	1.358	true
Normal	1.11931032283915	1.358	true
Cauchy	1.23065712503744	1.358	true
Laplace	1.04591651282777	1.358	true
Paralogistic	1.46315855919132	1.358	false
Pareto	1.06124530652523	1.358	true
Triangle	1.85950505562608	1.358	false
Uniform	2.15915304520533	1.358	false
Negexp	3.52323550047171	1.358	false
Gumbel	0.811002740857316	1.358	true

Tabla 4.7 Prueba Kolmogorov-Smirnov.

Anderson-Darling Test:

Distribution	AD statistic	AD value	Result AD
Frechet	60.2854392128899	2.492	false
Logistic	0.84778223156529	2.492	true
Loglogistic	0.833618915349778	2.492	true
Normal	1.06699896907142	2.492	true
Cauchy	1.80515366977905	2.492	true
Laplace	1.27479417619855	2.492	true
Paralogistic	2.80256370319516	2.492	false
Pareto	5.21105333819261	2.492	false
Triangle	5.36058877909286	2.492	false
Uniform	5.80901192285671	2.492	false
Negexp	13.5931980899421	2.492	false
Gumbel	0.672354775857393	2.492	true

Tabla 4.8 Prueba Anderson-Darling.

Lo que muestran cada una de las tablas de las diferentes pruebas son algunas de las distribuciones de cómo se pueden comportar los datos, el estadístico de prueba se compara contra las distribuciones del estadístico de prueba, en este caso una distribución F para determinar el p-valor, ahora si este p-valor es mayor que el estadístico de prueba los datos se distribuyen como alguna distribución de probabilidad.

Después de aplicar estas pruebas a los datos se pasa a estimar los parámetros de cada una de las distribuciones, y estos parámetros son los necesarios para que el software trabaje, la estimación de los parámetros se hace igual en el software de simulación plant simulation, la tabla 4.9 muestra un ejemplo de esa estimación de parámetros.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Frechet	185.397370204984	575.485642623474		Alpha = 1.9e+002	Theta = 5.8e+002	
Logistic	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Loglogistic	577.280077087932	261.159698224143		Alpha = 5.8e+002	Beta = 2.6e+002	
Normal	577.294	3.94213191051301		Mu = 5.8e+002	Sigma = 3.9	
Cauchy	577.98	2.03999999999996		Mu = 5.8e+002	Theta = 2	
Laplace	577.74	3.97959696451789		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Paralogistic	169.999999995094	596.996849547647		Alpha = 1.7e+002	Theta = 6e+002	
Pareto	131.74176536986	572.965322718324		Alpha = 1.3e+002	Theta = 5.7e+002	
Triangle	577.98	569.64	588.84	c = 5.8e+002	a = 5.7e+002	b = 5.9e+002
Uniform	569.64	588.84		Start = 5.7e+002	Stop = 5.9e+002	
Negexp	577.294			Beta = 5.8e+002		
Gumbel	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	

Tabla 4.9 Estimación de parámetros.

En la prueba de bondad y ajuste dependiendo de los resultados se decide cómo se están comportando los datos por estación, de acuerdo a esa decisión, el modelo de simulación usa los 2 ó 3 parámetros que arroja la estimación y de acuerdo a la distribución se establecen límites porque como son tiempos no se debe de trabajar con números negativos.

Las tablas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 y 4.16 muestran los parámetros estimados de cada una de las estaciones.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Frechet	185.397370204984	575.485642623474		Alpha = 1.9e+002	Theta = 5.8e+002	
Logistic	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Loglogistic	577.280077087932	261.159698224143		Alpha = 5.8e+002	Beta = 2.6e+002	
Normal	577.294	3.94213191051301		Mu = 5.8e+002	Sigma = 3.9	
Cauchy	577.98	2.03999999999996		Mu = 5.8e+002	Theta = 2	
Laplace	577.74	3.97959696451789		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Paralogistic	169.999999995094	596.996849547647		Alpha = 1.7e+002	Theta = 6e+002	
Pareto	131.74176536986	572.965322718324		Alpha = 1.3e+002	Theta = 5.7e+002	
Triangle	577.98	569.64	588.84	c = 5.8e+002	a = 5.7e+002	b = 5.9e+002
Uniform	569.64	588.84		Start = 5.7e+002	Stop = 5.9e+002	
Negexp	577.294			Beta = 5.8e+002		
Gumbel	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	

Tabla 4.10 Estimación de parámetros estación 00.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Frechet	242.406033707192	382.181494621449		Alpha = 2.4e+002	Theta = 3.8e+002	
Logistic	383.098	2.03309582181157		Mu = 3.8e+002	Sigma = 2	
Loglogistic	383.09260539651	341.781465793119		Alpha = 3.8e+002	Beta = 3.4e+002	
Laplace	382.815	2.16091832330608		Mu = 3.8e+002	Sigma = 2.2	
Normal	383.098	1.99892371039485		Mu = 3.8e+002	Sigma = 2	
Cauchy	382.83	1.25999999999999		Mu = 3.8e+002	Theta = 1.3	
Triangle	382.83	379.74	388.32	c = 3.8e+002	a = 3.8e+002	b = 3.9e+002
Paralogistic	169.999999995094	396.173005553504		Alpha = 1.7e+002	Theta = 4e+002	
Pareto	173.822929556426	380.920410719022		Alpha = 1.7e+002	Theta = 3.8e+002	
Uniform	379.74	388.32		Start = 3.8e+002	Stop = 3.9e+002	
Negexp	383.098			Beta = 3.8e+002		
Gumbel	383.098	2.03309582181157		Mu = 3.8e+002	Sigma = 2	

Tabla 4.11 Estimación de parámetros estación 01.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Logistic	526.1444	2.62665148839371		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	
Loglogistic	526.137843748423	363.327363119237		Alpha = 5.3e+002	Beta = 3.6e+002	
Normal	526.1444	2.58250294096603		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	
Cauchy	526.548	1.81799999999998		Mu = 5.3e+002	Theta = 1.8	
Laplace	526.596	2.97324259353318		Mu = 5.3e+002	Sigma = 3	
Triangle	526.548	521.586	530.742	c = 5.3e+002	a = 5.2e+002	b = 5.3e+002
Uniform	521.586	530.742		Start = 5.2e+002	Stop = 5.3e+002	
Paralogistic	169.999999995094	544.101530948073		Alpha = 1.7e+002	Theta = 5.4e+002	
Pareto	169.01567926553	523.069902138574		Alpha = 1.7e+002	Theta = 5.2e+002	
Frechet	257.641383486229	524.960437045278		Alpha = 2.6e+002	Theta = 5.2e+002	
Negexp	526.1444			Beta = 5.3e+002		
Gumbel	526.1444	2.62665148839371		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	

Tabla 4.12 Estimación de parámetros estación 02.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Laplace	437.085	1.32582521472478		Mu = 4.4e+002	Sigma = 1.3	
Frechet	458.932024296995	436.708181221055		Alpha = 4.6e+002	Theta = 4.4e+002	
Cauchy	436.965	0.671249999999986		Mu = 4.4e+002	Theta = 0.67	
Logistic	437.2595	1.22393891410117		Mu = 4.4e+002	Sigma = 1.2	
Loglogistic	437.257787044366	647.993369208245		Alpha = 4.4e+002	Beta = 6.5e+002	
Normal	437.2595	1.20336704705427		Mu = 4.4e+002	Sigma = 1.2	
Triangle	436.965	434.7	439.935	c = 4.4e+002	a = 4.3e+002	b = 4.4e+002
Pareto	323.409718020628	435.92341766357		Alpha = 3.2e+002	Theta = 4.4e+002	
Uniform	434.7	439.935		Start = 4.3e+002	Stop = 4.4e+002	
Paralogistic	169.999999995094	452.183019284419		Alpha = 1.7e+002	Theta = 4.5e+002	
Negexp	437.2595			Beta = 4.4e+002		
Gumbel	437.2595	1.22393891410117		Mu = 4.4e+002	Sigma = 1.2	

Tabla 4.13 Estimación de parámetros estación 03.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Laplace	446.085	2.18354574030405		Mu = 4.5e+002	Sigma = 2.2	
Pareto	199.457423997348	444.047370251347		Alpha = 2e+002	Theta = 4.4e+002	
Logistic	446.258	2.04123086599204		Mu = 4.5e+002	Sigma = 2	
Loglogistic	446.253331729594	396.541432613974		Alpha = 4.5e+002	Beta = 4e+002	
Normal	446.258	2.00692202140558		Mu = 4.5e+002	Sigma = 2	
Triangle	446.46	442.86	450.78	c = 4.5e+002	a = 4.4e+002	b = 4.5e+002
Cauchy	446.46	1.08750000000001		Mu = 4.5e+002	Theta = 1.1	
Frechet	281.127334271223	445.338032552852		Alpha = 2.8e+002	Theta = 4.5e+002	
Uniform	442.86	450.78		Start = 4.4e+002	Stop = 4.5e+002	
Paralogistic	169.999999995094	461.488635054987		Alpha = 1.7e+002	Theta = 4.6e+002	
Negexp	446.258			Beta = 4.5e+002		
Gumbel	446.258	2.04123086599204		Mu = 4.5e+002	Sigma = 2	

Tabla 4.14 Estimación de parámetros estación 04.

• Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Frechet	185.397370204984	575.485642623474		Alpha = 1.9e+002	Theta = 5.8e+002	
Logistic	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Loglogistic	577.280077087932	261.159698224143		Alpha = 5.8e+002	Beta = 2.6e+002	
Normal	577.294	3.94213191051301		Mu = 5.8e+002	Sigma = 3.9	
Cauchy	577.98	2.03999999999996		Mu = 5.8e+002	Theta = 2	
Laplace	577.74	3.97959696451789		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	
Paralogistic	169.999999995094	596.996849547647		Alpha = 1.7e+002	Theta = 6e+002	
Pareto	131.74176536986	572.965322718324		Alpha = 1.3e+002	Theta = 5.7e+002	
Triangle	577.98	569.64	588.84	c = 5.8e+002	a = 5.7e+002	b = 5.9e+002
Uniform	569.64	588.84		Start = 5.7e+002	Stop = 5.9e+002	
Negexp	577.294			Beta = 5.8e+002		
Gumbel	577.294	4.00952366246677		Mu = 5.8e+002	Sigma = 4	

Tabla 4.15 Estimación de parámetros estación 05.

Calculation of the distribution parameters

Distribution	Parameter1	Parameter2	Parameter3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Logistic	526.1444	2.62665148839371		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	
Loglogistic	526.137843748423	363.327363119237		Alpha = 5.3e+002	Beta = 3.6e+002	
Normal	526.1444	2.58250294096603		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	
Cauchy	526.548	1.81799999999998		Mu = 5.3e+002	Theta = 1.8	
Laplace	526.596	2.97324259353318		Mu = 5.3e+002	Sigma = 3	
Triangle	526.548	521.586	530.742	c = 5.3e+002	a = 5.2e+002	b = 5.3e+002
Uniform	521.586	530.742		Start = 5.2e+002	Stop = 5.3e+002	
Paralogistic	169.999999995094	544.101530948073		Alpha = 1.7e+002	Theta = 5.4e+002	
Pareto	169.01567926553	523.069902138574		Alpha = 1.7e+002	Theta = 5.2e+002	
Frechet	257.641383486229	524.960437045278		Alpha = 2.6e+002	Theta = 5.2e+002	
Negexp	526.1444			Beta = 5.3e+002		
Gumbel	526.1444	2.62665148839371		Mu = 5.3e+002	Sigma = 2.6	

Tabla 4.16 Estimación de parámetros estación 06.

Después de hacer este análisis se procede con la creación del modelo en 3D y 2D de la línea de chasis para su simulación.

Las figuras 4.17 y 4.18 muestran la simulación en 2D y 3D respectivamente.

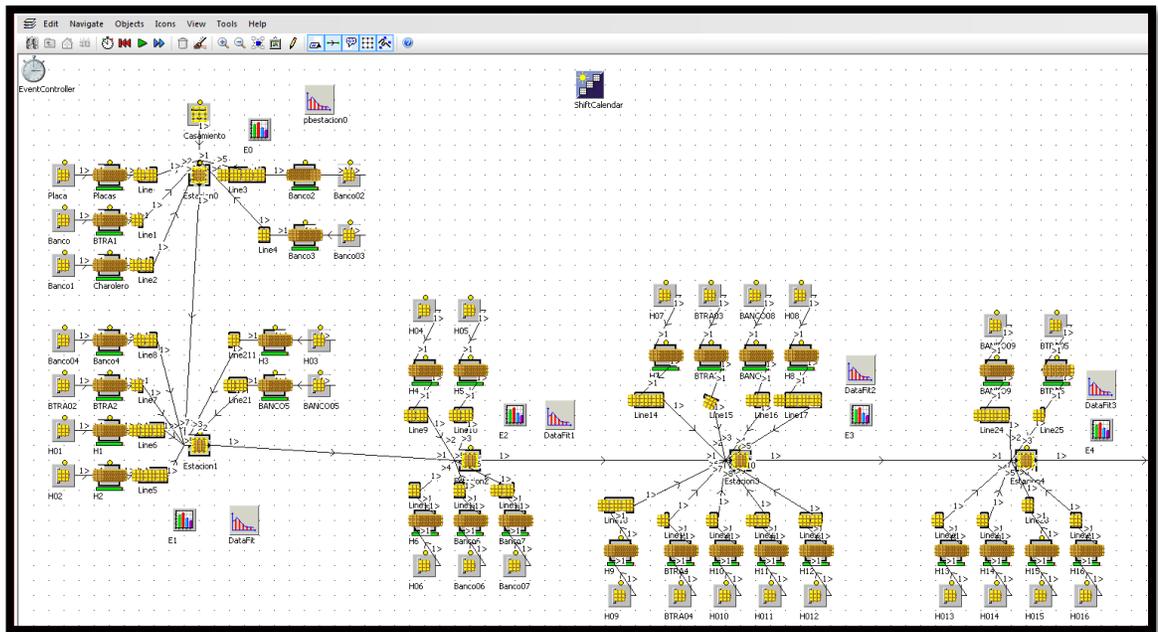


Figura 4.17 Simulación en 2D.

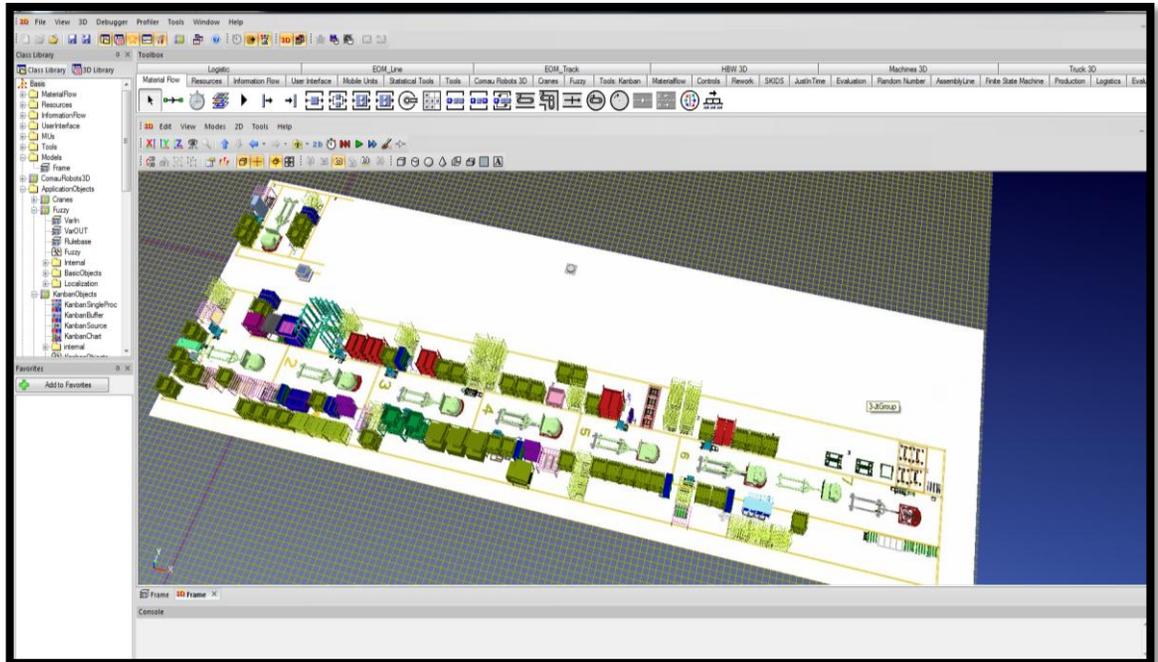


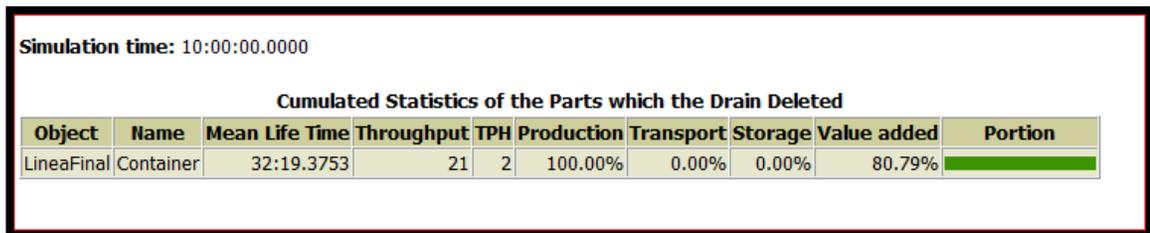
Figura 4.18 Simulación en 3D.

4.1 Validación del modelo actual

La simulación consiste en formar las 7 estaciones con todos los almacenes de material que hay dentro de la línea, establecer las distancias obtenidas en la recolección de datos, fijar almacenes que suministren a los de la línea y establecer su capacidad, establecer los turnos a trabajar, los tiempos de procesamiento haciendo uso de los parámetros obtenidos de las distribuciones y definir el flujo de los materiales en el ensamble, esto se hace en 2D y en 3D solo se hace el diseño de cada uno de los almacenes y la línea.

Una vez obtenido el modelo se realizan varias corridas en el software de simulación con los datos recolectados, y se procede a validar los resultados del modelo de simulación contra la producción real de la fábrica.

La figura 4.19 muestra los resultados de la simulación, es decir, cantidad de tractores a fabricar por día así como el tiempo ciclo total y el valor agregado de la producción, cuánto es lo que realmente está trabajando el sistema de manufactura. Asimismo la figura 4.19.1, 4.19.2, 4.19.3, 4.19.4, 4.19.5, 4.19.6 y 4.19.7 muestran las gráficas de cada una de las estaciones donde se representa con color verde el tiempo que la estación está trabajando y en color amarillo el tiempo que está esperando, de esa manera se puede notar dónde están los cuellos de botella dentro de la línea para corregirlos.



Simulation time: 10:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
LineaFinal	Container	32:19.3753	21	2	100.00%	0.00%	0.00%	80.79%	<div style="width: 80.79%;"></div>

Figura 4.19 Resultados generales de la simulación de la línea de tractores.

Se simulan 10 horas de trabajo, este es el turno que se trabaja para producir tractores, en un tiempo ciclo de 32.19 min dentro de la línea de chasis se producen 21 tractores del modelo 5000 con un valor agregado de 80.79%.

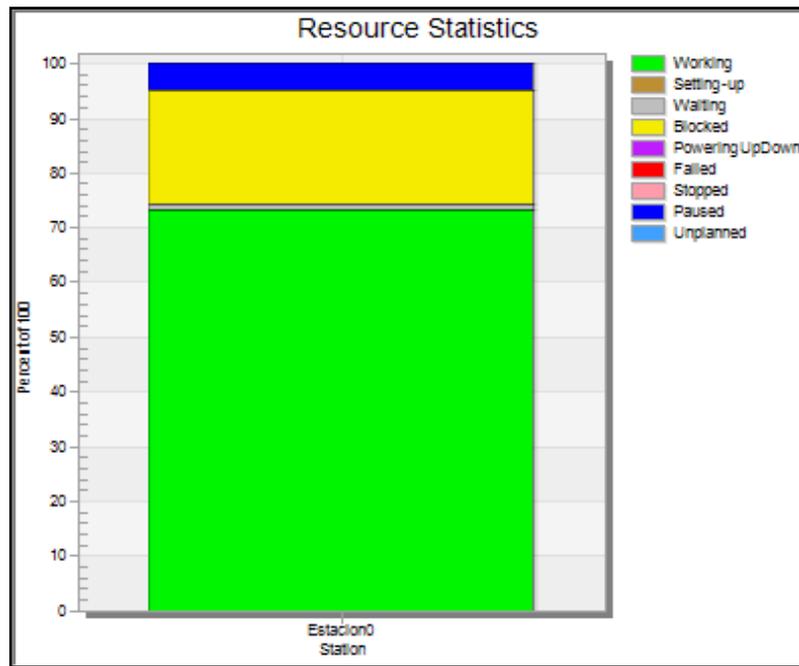


Figura 4.19.1 Gráfica de desempeño estación 00.

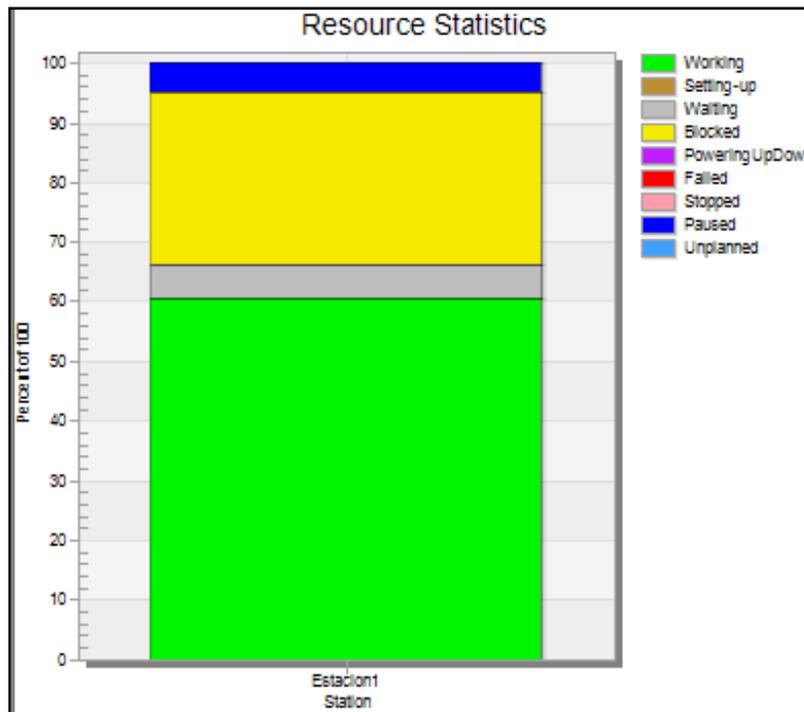


Figura 4.19.2 Gráfica de desempeño estación 01.

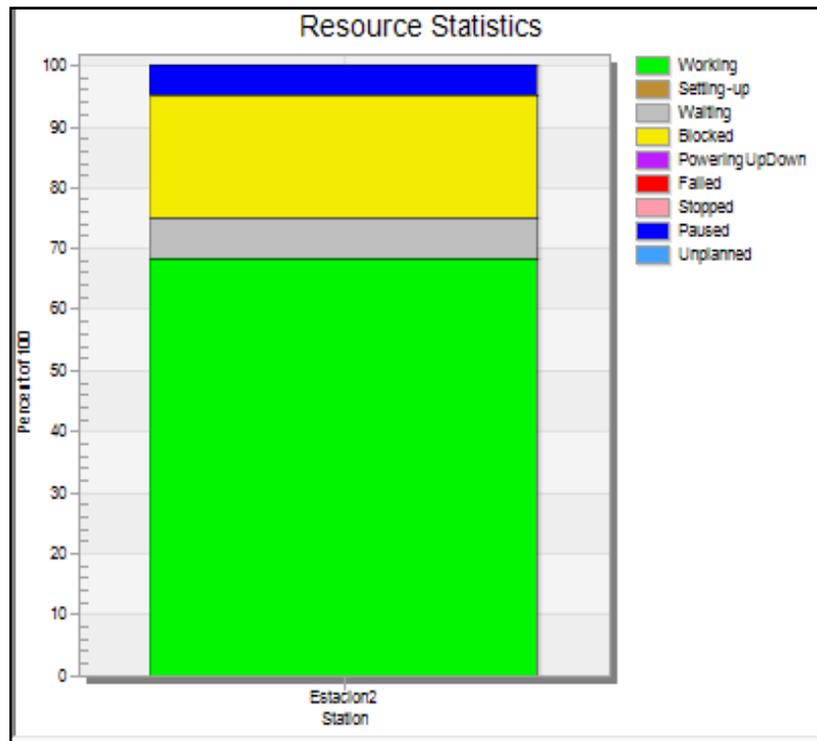


Figura 4.19.3 Gráfica de desempeño estación 02.

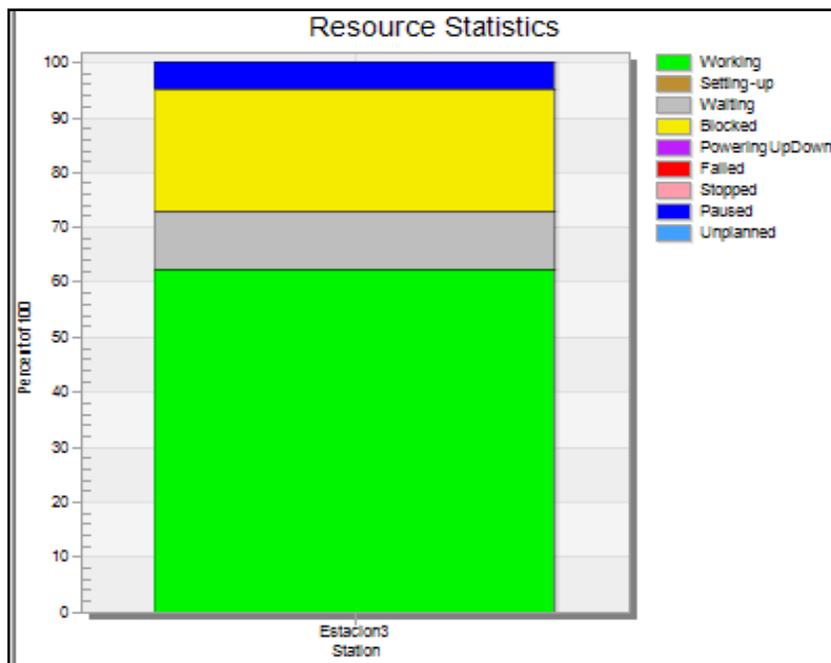


Figura 4.19.4 Gráfica de desempeño estación 03.

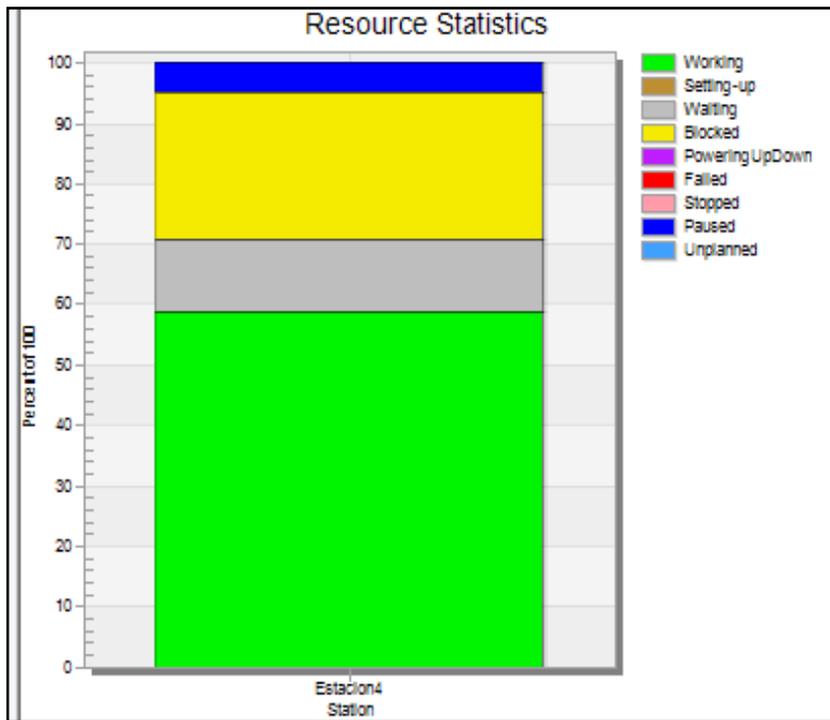


Figura 4.19.5 Gráfica de desempeño estación 04.

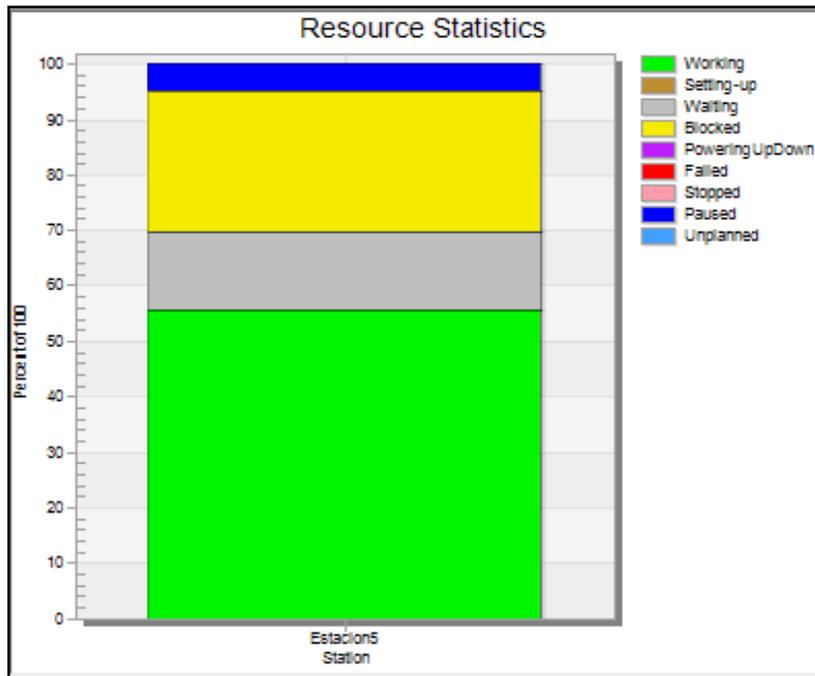


Figura 4.19.6 Gráfica de desempeño estación 05.

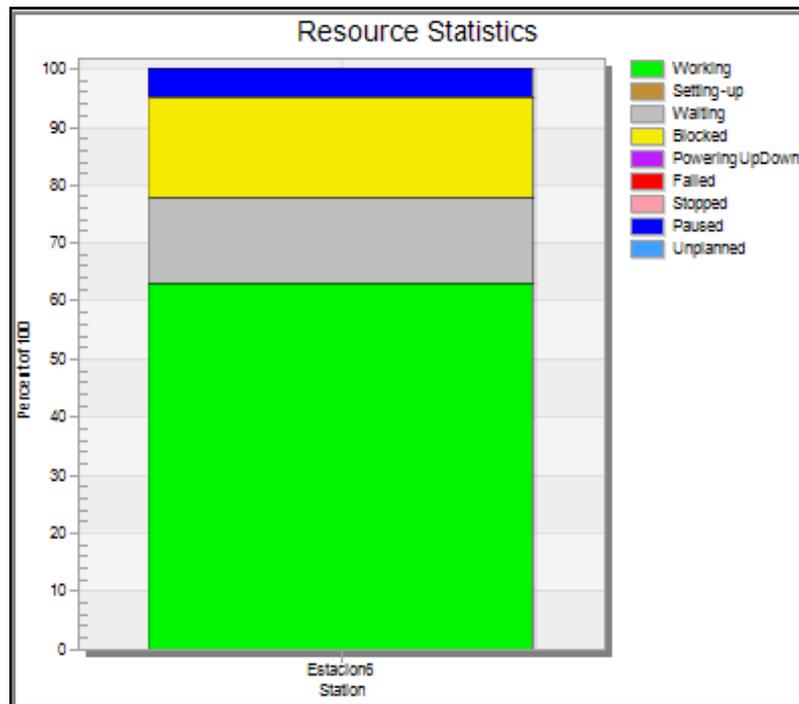


Figura 4.19.7 Gráfica de desempeño estación 06.

En las gráficas se puede notar que las estaciones con más tiempo de espera son 1, 2 y 4 lo que significa que las demás tardan más en el ensamble del tractor por movimientos innecesarios de material.

La forma de validar el modelo de simulación es de 2 maneras, la primera es comparando los resultados con los reportes de producción real de la planta, y la segunda es con el establecimiento de un error relativo del 10% de confiabilidad, si está dentro de ese 10% el modelo se considera correcto y válido.

La figura 4.20 presenta un reporte de producción diario de una semana de ese modelo y la figura 4.21 presenta la comparación entre el modelo y la producción diaria.

Count of ORDER_NO	Rótulos de columna				
Rótulos de fila	24/06/2014	25/06/2014	26/06/2014	27/06/2014	30/06/2014
P05076	5			7	2
P05082	1	2			3
P05083					
P05090	12			7	9
P05415	2	2		5	6
P05715	3	2		2	1
P05615				1	1
Total general	23	6	22	8	22

Figura 4.20 Reporte de producción diario (Cortesía John Deere).

	Actual	Modelo
Tractores al día.	23	21
Tiempo ciclo.	36min	32min
Valor agregado.	80%	80.79%

Figura 4.21 Comparación Modelo vs Real.

La producción real produce 23 tractores al día y el modelo estima 21 tractores, se debe recordar que en la descripción del problema se menciona el tiempo extra para poder completar la producción según la demanda y el simulador no emplea tiempo extra es por eso la diferencia, el tiempo ciclo real es de 36 min y el del simulador es de 32 min con un valor agregado de 80% contra un 80.79% del modelo.

Ahora se establece también un error relativo del 10% siguiendo esta fórmula:

$$Ea = \frac{Aac - Aan}{Aac}$$

Donde:

Ea = Error aproximado.

Aac = Aproximación actual.

Aan = Aproximación anterior.

$$Ea = \frac{23 - 21}{23} = 0.086 \times 100\% = 8.6\%$$

Estando dentro del rango del nivel de confianza que se otorgó al error, el modelo de simulación se considera válido.

Entonces siguiendo los pasos de la metodología se procede a probar 3 métodos para resolver el problema de distribución del layout, donde el objetivo es reducir la distancia por transporte de material.

Las metodologías a probar son planeación sistemática del layout, programación lineal y optimización por algoritmo de colonia de hormigas.

4.2 Modelo matemático

El modelo matemático que se utilizará en las metodologías para resolver el problema, está representado por las ecuaciones (1), (2) y (3) las cuales son la función objetivo y las restricciones respectivamente.

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m dij * vd \tag{1}$$

Donde:

d =Distancia del material

i =Cantidad de estaciones de trabajo

j =Cantidad de mini-almacenes en cada estación de trabajo

vd =Veces en el día en que se utiliza ese material en cada estación

La ecuación (1) es la función objetivo, que es la sumatoria de la distancia de cada estación de trabajo a cada almacén dentro de las estaciones, por el tiempo durante el día en que es utilizado ese material en las estaciones.

$$j=Qm \tag{2}$$

Donde:

j =Cantidad de mini-almacenes en cada estación de trabajo

Qm =Cantidad de material en cada mini-almacén.

La primera restricción se refiere a la cantidad de material de cada uno de los almacenes de la línea.

$$i \geq 1 \text{ for each } j \tag{3}$$

La segunda restricción se refiere a que por lo menos en cada estación debe de entrar un material de los almacenes de la línea.

4.3 Planeación Sistemática de la distribución (SLP)

La planeación sistemática de la distribución (S.L.P) en planta fue desarrollada por un especialista reconocido en materia de planeación, quien ha recopilado los distintos elementos utilizados para preparar y sistematizar los proyectos de distribución.

Se basa en 3 parámetros fundamentales de toda distribución: relaciones, espacio y ajuste. El SLP ha sido la metodología más aceptada y la más comúnmente utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos.

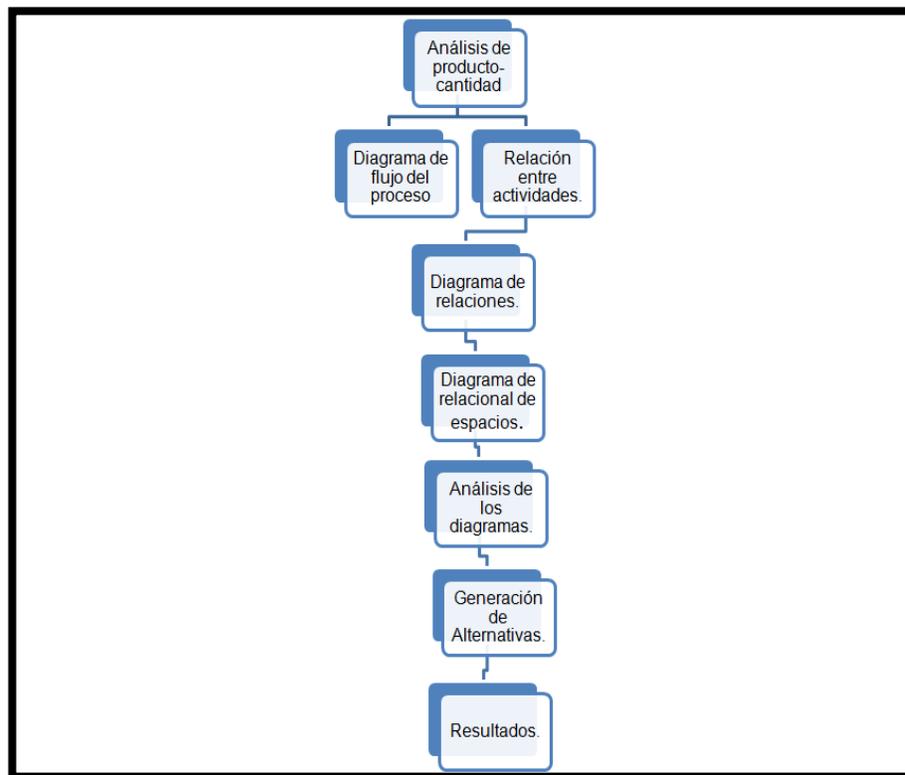


Figura 4.3.1 Metodología SLP.

Al aplicar planeación sistemática de la distribución se sigue la metodología de la figura 4.3.1

1.- Análisis Producto-Cantidad:

En la planta de Industrias John Deere tractores se producen 3 modelos principales, serie 5000, 6D y 6B con un pronóstico de demanda anual de 14,000 tractores, siendo los meses con más demanda abril, junio, agosto y septiembre.

2.- Diagrama de Flujo de Proceso:

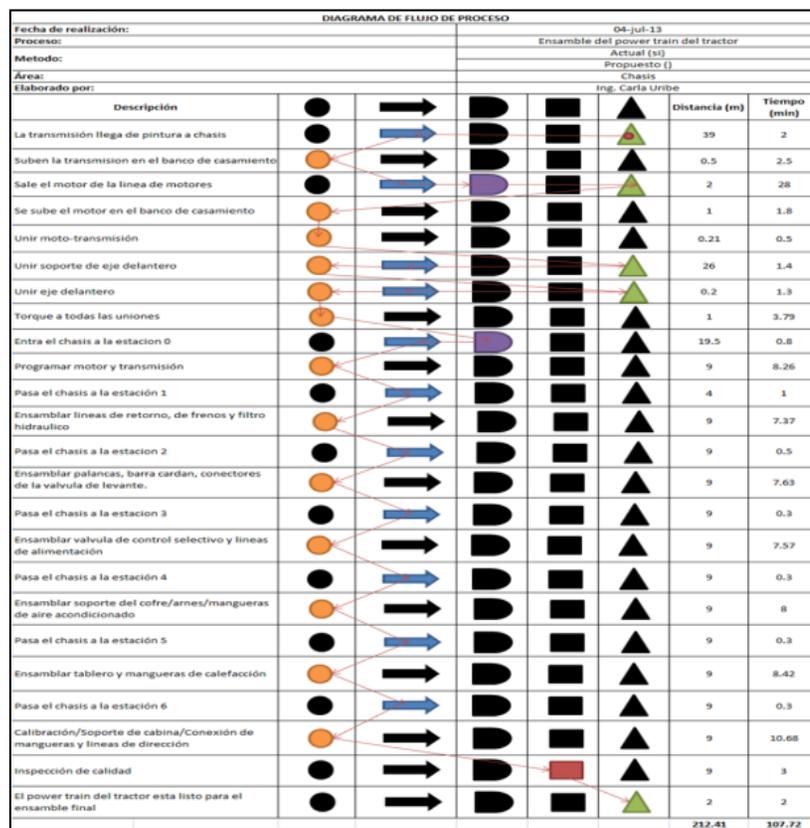


Figura 4.3.2 Diagrama de flujo de proceso chasis (Cortesía de John Deere)

La figura 4.3.2 muestra el diagrama de proceso del chasis del tractor, la distancia total recorrida es de 6,566 metros y el tiempo total de operación es de 32 min.

3.- Diagrama de Relaciones:

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		
1	Pintura	U																												
2	Motores		A																											
3	Transmisiones			A																										
4	Banco Casamiento				A																									
5	Estación 0					A																								
6	Estación 1						A																							
7	Estación 2							A																						
8	Estación 3								A																					
9	Estación 4									A																				
10	Estación 5										A																			
11	Estación 6											A																		
12	Tableros												A																	
13	Almacén													A																
14	Cobertizos														A															
15	Oficinas Manufactura															A														

Figura 4.3.3. Diagrama de Relaciones Chasis.

En el diagrama de relaciones de la figura 4.3.3 se plasman el peso de la relación de acuerdo al uso y la información que se utiliza entre las distintas áreas que conforman chasis.

Las áreas que se relacionan son: pintura, motores, transmisiones, bancos de casamiento (unión motor-transmisión), estación 0, 1, 2, 3, 4, 5,6, tableros, almacén, cobertizos, oficinas de manufactura.

Resumen de relaciones																
	Pintura	Motores	transmision	casamier	Estacion 0	Estacion 1	Estacion 2	Estacion 3	Estacion 4	Estacion 5	Estacion 6	Tableros	Almacen	Cobertizo	Manufactura	Total
Pintura		0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	10
Motores	0		3	1	3	3	3	3	3	3	3	0	4	1	4	34
Transmisiones	1	0		0	3	3	3	3	3	3	3	0	4	1	4	31
Bancos Casamiento	1	1	0		1	3	3	3	3	3	3	0	4	0	4	29
Estacion 0	0	3	3	1		1	3	3	3	3	3	0	4	0	4	31
Estacion 1	0	3	3	3	1		1	3	3	3	3	0	4	0	4	31
Estacion 2	0	3	3	3	3	1		1	3	3	3	0	4	0	4	31
Estacion 3	0	3	3	3	3	3	1		1	3	3	0	4	0	4	31
Estacion 4	0	3	3	3	3	3	3	1		1	3	0	4	0	4	31
Estacion 5	0	3	3	3	3	3	3	3	1		1	1	4	0	4	32
Estacion 6	0	3	3	3	3	3	3	3	3	1		1	4	0	4	34
Tableros	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		4	0	4	11
Almacén	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		1	0	49
Cobertizo	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	6
Manufactura	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0		44

1	Más uso
3	Menor uso
4	Más información
0	No se requiere

Figura 4.3.4. Tabla de Valores-Relaciones Chasis.

La figura 4.3.4 muestra los valores de los pesos de las relaciones entre cada área.

Siendo Almacén quien tiene más relación con todas las áreas con 49 puntos, seguido por Manufactura 44, Motores 34, Transmisiones 31, Bancos de casamiento 29 y la Línea de ensamble de la estación 0 a la 6 con 31 puntos, los de menor relación son pintura con 10 puntos, tableros con 11 y cobertizo con 6 puntos.

Los 2 layout propuestos para reducir la distancia del transporte de material son:

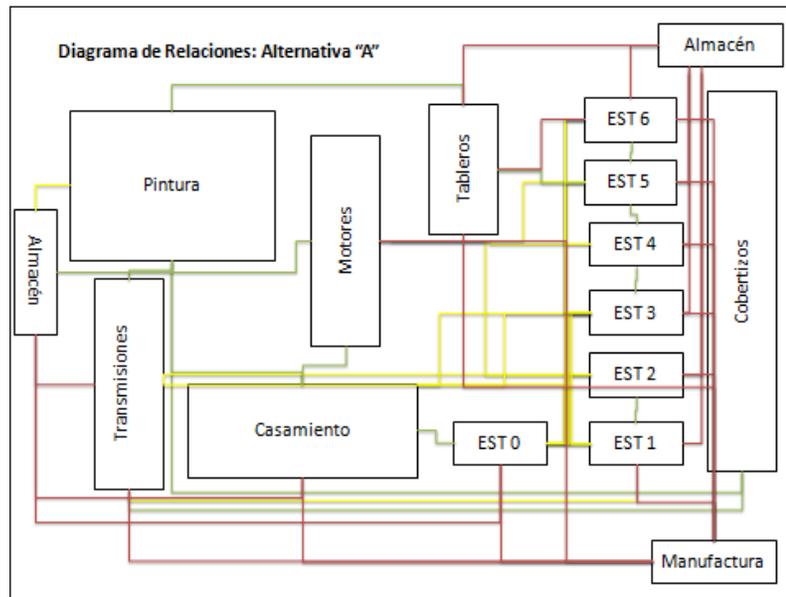


Figura 4.3.5 Alternativa "A".

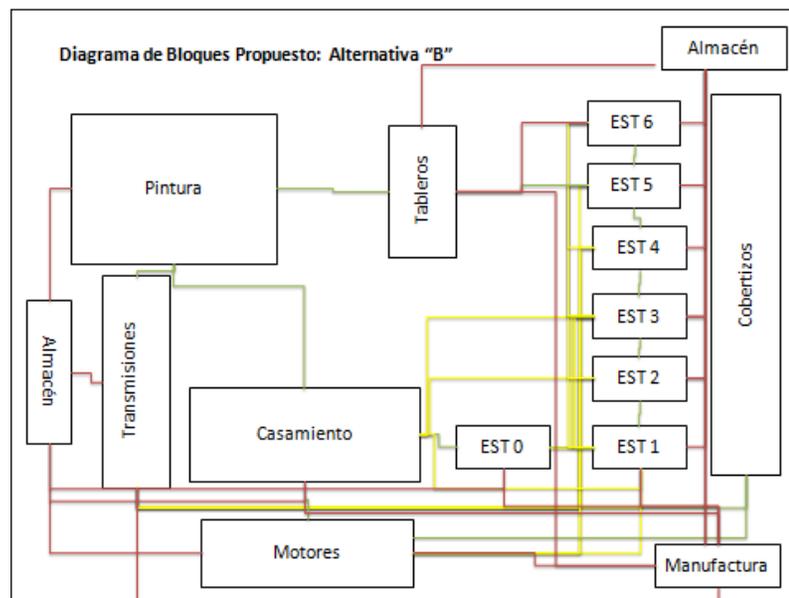


Figura 4.3.4 Alternativa "B".

El resultado de cuál alternativa es mejor se mostrará en la sección de resultados en este momento solo por percepción se puede decir que es la alternativa B.

4.4 Programación lineal

Un problema de programación lineal se define como aquel que maximiza o minimiza una función objetivo lineal sujeta a restricciones lineales. (Ferguson, 2010)

Los pasos que se siguen para implementar esta metodología son:

- 1.- Definición de la función objetivo.
2. - Definición de las restricciones.
- 3.- Recolección de la información.
- 4.- Solución del problema.
- 5.- Análisis de los resultados.

La función objetivo es la ecuación 1 definida en el modelo matemático, las restricciones son las ecuaciones (2) y (3) y la recolección de datos son aquellos que se recolectaron en el paso 1 de la metodología, con esto ya se tienen 3 de los pasos necesarios para resolver un problema de programación lineal.

Para entrar al paso 4 de la metodología de programación lineal se hace uso del software LINDO, donde introduces la función objetivo ya con los datos de las distancias así como las restricciones que es la capacidad de cada almacén y que por lo menos un material de ese almacén de cada estación debe entrar por lo menos 1 vez, la figura 4.2.1 muestra la función objetivo a resolver en LINDO.

Se resolverá la ecuación (1) y la figura 4.4.1 muestra la ecuación con los datos de las distancias.

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} * v_d \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
\text{MIN } Z = & 3.36X_{11} + 72X_{12} + 96X_{13} + 172.8X_{14} + 31.68X_{15} + 144X_{18} + 92.16X_{19} + 153.6X_{25} + \\
& 28.8X_{26} + 31.2X_{27} + 90.72X_{29} + 156X_{310} + 28.8X_{311} + 72X_{312} + 24X_{313} + 9.6X_{416} + 31.2X_{417} + \\
& 96X_{418} + 96X_{419} + 24X_{420} + 312X_{421} + 5.72X_{422} + 11.5X_{423} + 33.6X_{424} + 28.4X_{425} + 24X_{426} + \\
& 26.4X_{427} + 72X_{434} + 100.8X_{513} + 86.4X_{514} + 120X_{528} + 31.2X_{529} + 48X_{530} + 8.64X_{531} + 12X_{532} \\
& + 288X_{633} + 28.8X_{635} + 72X_{636} + 14.4X_{637} + 43.2X_{638} + 124.8X_{639} + 7.2X_{640} + 115.2X_{742} + \\
& 57.6X_{743} + 28.8X_{744} + 9.6X_{745} + 28.8X_{746} + 31.2X_{747} + 13.44X_{750} + 17.28X_{751} + 13.44X_{752} + \\
& 15.36X_{753} + 17.28X_{754} + 48X_{755} + 115.2X_{841} + 38.4X_{848} + 76.8X_{849} + 96X_{856} + 192X_{857} + \\
& 24X_{858} + 14.4X_{859} + 31.2X_{860} + 38.4X_{861} + 38.4X_{862} + 57.6X_{863} + 76.8X_{864} + 96X_{865} + 48X_{966} \\
& + 31.2X_{967} + 19.2X_{968} + 28.8X_{969} + 11.52X_{970} + 14.4X_{1076} + 19.2X_{1077} + 48X_{1078} + 14.4X_{1180} \\
& + 43.2X_{1181} + 72X_{1182} + 31.2X_{1183} + 28.8X_{1184} + 11.52X_{1185} + 13.44X_{1186} + 86.4X_{1188} + \\
& 86.4X_{1189} + 9.6X_{1279} + 57.6X_{1284} + 48X_{1287} + 14.4X_{1288} + 14.4X_{1289} + 57.6X_{1290} + 57.6X_{1291} \\
& + 144X_{1292} + 172.8X_{1293} + 48X_{1294} + 38.4X_{1295} + 11.52X_{1396} + 13.44X_{1397} + 100.8X_{1398} + \\
& 43.2X_{1399} + 72X_{13100} + 63.36X_{13101} + 28.8X_{13102} + 184.32X_{14101} + 86.4X_{14102} + \\
& 13.44X_{14103} + 100.8X_{14104} + 21.6X_{14105} + 43.2X_{14106} + 14.4X_{104107}
\end{aligned}$$

Figura 4.4.1 Función objetivo de la programación lineal.

La figura 4.4.2 muestra las restricciones de las ecuaciones (2) y (3).

$$j=Qm \tag{2}$$

$$i \geq 1 \text{ for each } j \tag{3}$$

j1=10	j60=14
j2=9	j61=2
j3=7	j62=2
j4=6	j63=2
j5=3	j64=2
j6=2	j65=2
j7=14	j66=3
j8=9	j67=14
j9=3	j68=2
j10=7	j69=12
j11=3	j70=36
j12=6	j71=3
j13=2	j72=3
j14=2	j73=3
j15=49	j74=14
j16=2	j75=3
j17=14	j76=7
j18=3	j77=5
j19=16	j78=2
j20=3	j79=3
j21=3	j80=3
j22=9	j81=3
j23=3	j82=4
j24=3	j83=14
j25=3	j84=3
j26=3	j85=49
j27=3	j86=49
j28=24	j87=20
j29=14	j88=36
j30=4	j89=36
j31=49	j90=3
j32=3	j91=3
j33=3	j92=3
j34=2	j93=3
j35=2	j94=49
j36=3	j95=49
j37=7	j96=49
j38=12	j97=49
j39=1	j98=4
j40=3	j99=3
j41=9	j100=3
j42=3	j101=3
j43=7	j102=3
j44=2	j103=7
j45=49	j104=30
j46=7	j105=2
j47=14	j106=3
j48=3	j107=3
j49=3	
j50=36	
j51=36	
j52=36	
j53=36	
j54=36	
j55=3	
j56=10	
j57=3	
j58=25	
j59=3	

Figura 4.4.2 Restricciones de la función objetivo.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1) 3774.84		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z	0.000000	1.000000
X11	35.000000	0.000000
X12	0.000000	40.320000
X13	0.000000	64.320000
X14	0.000000	141.120010
X15	181.000000	0.000000
X18	0.000000	112.320000
X19	0.000000	60.480003
X25	0.000000	124.800003
X26	190.000000	0.000000
X27	0.000000	2.400001
X29	0.000000	61.920002

Figura 4.4.3 Resultados de la programación en LINDO.

La figura 4.4.3 es un resumen de los resultados que presenta LINDO como el valor de la función objetivo, es decir, la cantidad de metros de distancia de transporte de material y el valor de cada uno de los almacenes, los que están en ceros son aquellos que se tienen que mover para que generen un ahorro en los metros de recorrido.

4.5 Algoritmo colonia de hormigas

El algoritmo de colonia de hormigas es la técnica de optimización que fue inspirada en el comportamiento de las hormigas, originalmente el método fue introducido para aplicación de problemas discretos de optimización. (Wang, 2005)

Para poder resolver el problema también se necesita una función objetivo y restricciones, las que se utilizaron son las mismas del modelo matemático establecido

con anterioridad pero se agregan 2 ecuaciones más la número (4) y (5) para poder programarla utilizando el software MATLAB.

$$P_{(i,j)} = \frac{\tau(i,j)^\alpha [vis(i,j)]^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha [vis(i,j)]^\beta} \quad (4)$$

Donde:

P=Probabilidad de que una hormiga escoja un camino.

t=valor de la feromona.

α y β =Los factores de importancia.

vis=La visibilidad que se tiene de cada camino.

$$\Delta_{(i,j)} = \frac{Q}{L} \quad (5)$$

Donde:

$\Delta(i,j)$ =Actualización del camino de feromonas.

Q=Número constante.

L=Longitud del camino.

El algoritmo que se utilizó para programarlo en MATLAB fue el siguiente:

1.-Ciclos totales = 100;

2.-Mientras los ciclos totales < Ciclos totales máximos;

DO

3.-Lugares iniciales de las hormigas en los nodos factibles iniciales;

4.-Mientras cada hormiga no complete su ruta

DO

5.-Colocar la ruta actual dentro de la secuencia de la hormiga;

6.-Calcular la probabilidad de cada hormiga;

7.-Escoger el siguiente nodo de manera aleatoria;

8.-Mover a la hormiga al nuevo nodo;

9.-Actualizar el camino de feromonas;

10.-Evaluar todas las soluciones tomando un contador dentro de su propia re-orientación;

11.-Actualizar la mejor ruta de cada hormiga;

12.-Conjunto de ciclos totales = Ciclos totales + 1;

13.-Salida es la mejor ruta de cada hormiga.

End

End

Los resultados que arroja el algoritmo de la colonia de hormigas es el mejor camino para recorrer por material, es decir, el reordenamiento necesario de material para poder reducir la distancia por transporte de material a ensamblar dentro de la línea.

La figura 4.5.1 muestra el mejor camino seleccionado por las hormigas dentro de la línea de chasis.

j		i		j	
		i1	i2		
		Estaciones			
j1	Sub-ensamble Trailer Brake	0	1	H02	j6
j2	Banco 117			BTRA	j7
j3	Banco 231			Banco 200	j8
j4	H01			H04	j9
j5	H03				
		i3	i4		
j10	Banco 202	2	3	Banco 203	j15
j11	H01			H02	j16
j12	H03			BTRA	j17
j13	H05			H04	j18
j14	H07			Sub-ensamble filtros	j19
				H06	j20
				H20	j21
				Banco 204	j22
				H08	j23
				H10	j24
		H12	j25		
		H14	j26		
		H16	j27		
j28	Barras cardan	i5	i6	H18	j34
j29	BTRA	4	5	H02	j35
j30	Mangueras			H04	j36
j31	Banco 207			Banco 205	j37
j32	H09			Banco 206	j38
j33	H11			Marcadora	j39
		i7	i8	H06	j40
j41	H01	6	7	VCS	j56
j42	H03			H02	j57
j43	Banco 212			Banco 208	j58
j44	Mangueras			H04	j59
j45	Banco 214			BTRA	j60
j46	Palancas			H06	j61
j47	BTRA			H08	j62
j48	H05			H10	j63
j49	H07			H12	j64
j50	Banco 215			H14	j65
j51	Banco 216				
j52	Banco 217				
j53	Banco 218				
j54	Banco 219				
j55	H09				
j66	H01	i9	i10	H02	j71
j67	BTRA	8	9	H04	j72
j68	H03			H06	j73
j69	Pared de fuego			BTRA	j74
j70	Banco 221			H08	j75
				Trampa de Agua	j76
		AC	j77		
		H10	j78		
		H02	j79		
		i11	i12		
j80	H01	10	11	Palancas	j87
j81	H03			H04	j88
j82	Tableros			H06	j89
j83	BTRA			H08	j90
j84	H05			H10	j91
j85	Banco 225			H12	j92
j86	Banco 224			H14	j93
				Banco 222	j94
				Banco 223	j95
				i13	i14
j96	Banco 232	12	13	Banco 230	j104
j97	Banco 231			H08	j105
j98	H01			H02	j106
j99	H03			H04	j107
j100	H05				
j101	H07				
j102	H09				

Figura 4.5.1 Mejor camino seleccionado por las hormigas.

Los recuadros verdes de cada almacén dentro de cada estación de trabajo, dentro de la línea de ensamble de chasis, representa el mejor camino de las hormigas para recorrer por material y así ensamblar un tractor, reduciendo distancia de transporte de material a 2270.4 m y evitando movimientos innecesarios. Fisicaménte esto se logra con un reordenamiento de material dentro de la línea.

4.6 Evaluación de resultados

La distancia inicial de transporte de material dentro de la línea de chasis para ensamblar es de 6,566 m, aplicando SLP se generan 2 propuestas de distribución dónde la alternativa B reduce la distancia a 3,367 m lo que representa un 52% de mejora.

Después aplicando programación lineal, la distancia que se obtiene reordenando el material de la línea de manera que su recorrido de transporte de material sea menor de 3,774 m lo que representa un 51% de mejora en el transporte de material.

Y posteriormente aplicando el algoritmo de colonia de hormigas para el mismo problema reduce la distancia a 2,270 m lo que representa un 64% de mejora.

Con esto se puede concluir que la metodología que reduce de manera significativa la distancia por recorrido de transporte de material es la colonia de hormigas, por lo que se utilizará este nuevo reordenamiento de material y nuevas distancias para volver a simular la línea de chasis con los nuevos datos y ver si hay mejora o no.

La tabla 4.6.1 muestra el resumen de los resultados de las 3 metodologías.

Planeación Sistemática de la distribución	Programación lineal	Algoritmo colonia de hormigas.
3,367mts	3,774mts	2,270mts
52%	51%	64%

Tabla 4.6.1 Resultados de las metodologías

Utilizando el modelo de simulación que se hizo para poder representar cualquier escenario de cualquier modelo de tractor, se introdujeron las nuevas distancias y se vuelven hacer nuevas corridas, resultando lo mostrado en las figuras 5.6.2 que es la información general y las figuras 4.6.3, 4.6.4, 4.6.5, 4.6.6, 4.6.7, 4.6.8 y 4.6.9 son las gráficas que muestran el desempeño de cada estación.

Simulation time: 10:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
LineaFinal	Container	25:21.9338	30	3	100.00%	0.00%	0.00%	72.28%	

Figura 4.6.2 Resultados de la nueva simulación.

Se simula igual un turno de 10 horas, cambiando las distancias de transporte de material en cada estación lo que da una producción de 30 tractores del modelo 5000 al día en un tiempo ciclo de 25min en toda la línea.

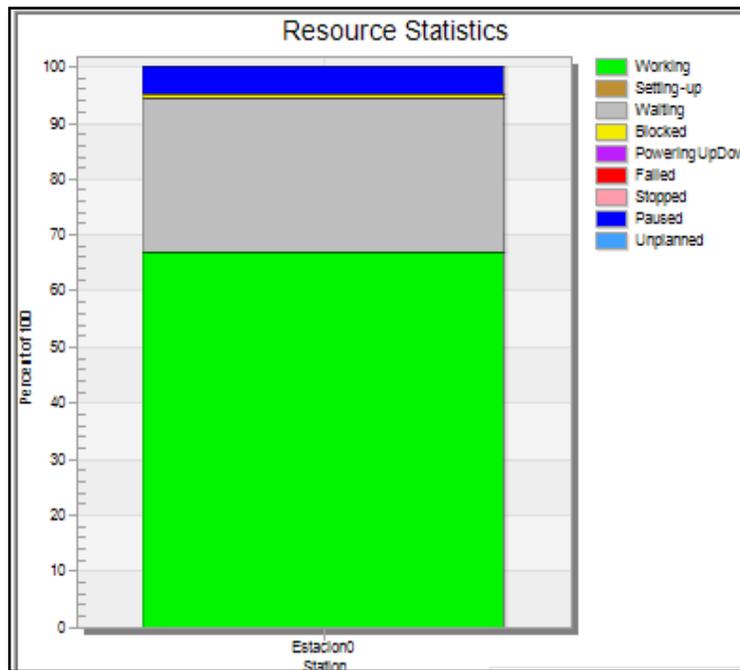


Figura 4.6.3 Gráfica de desempeño estación 00.

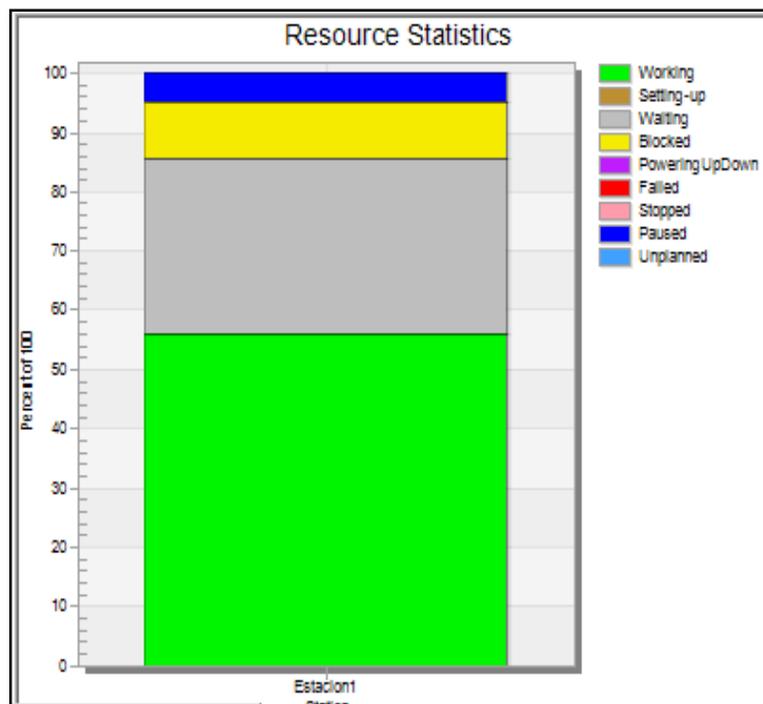


Figura 4.6.4 Gráfica de desempeño estación 01.

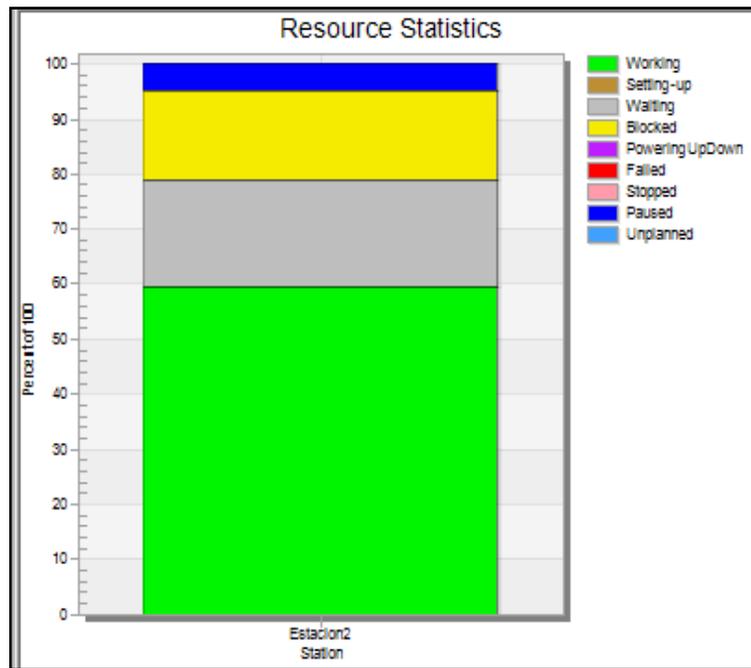


Figura 4.6.5 Gráfica de desempeño estación 02.

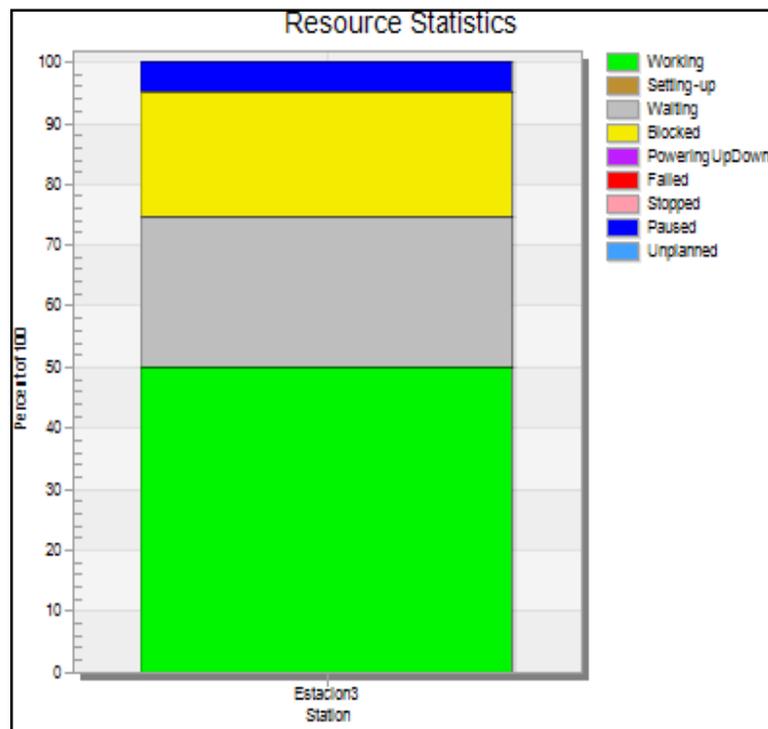


Figura 4.6.6 Gráfica de desempeño estación 03.

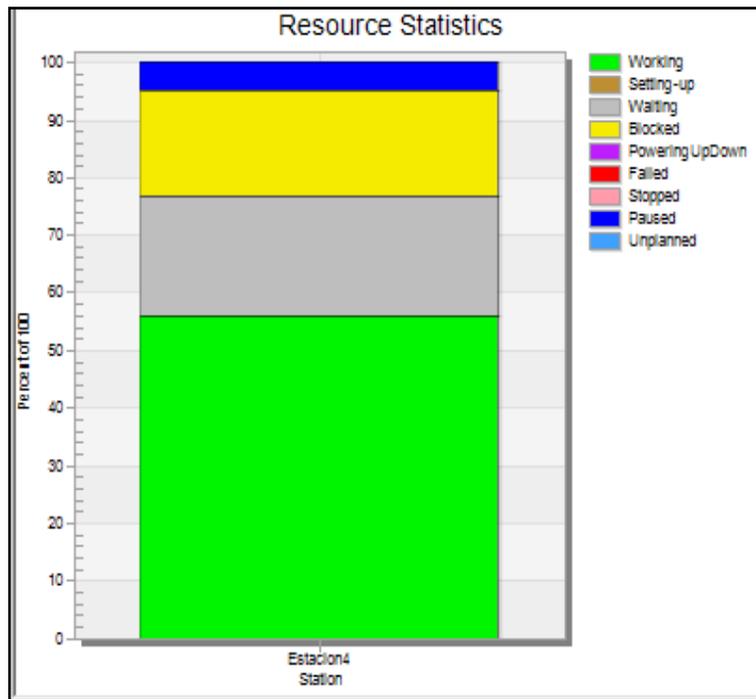


Figura 4.6.7 Gráfica de desempeño estación 04.

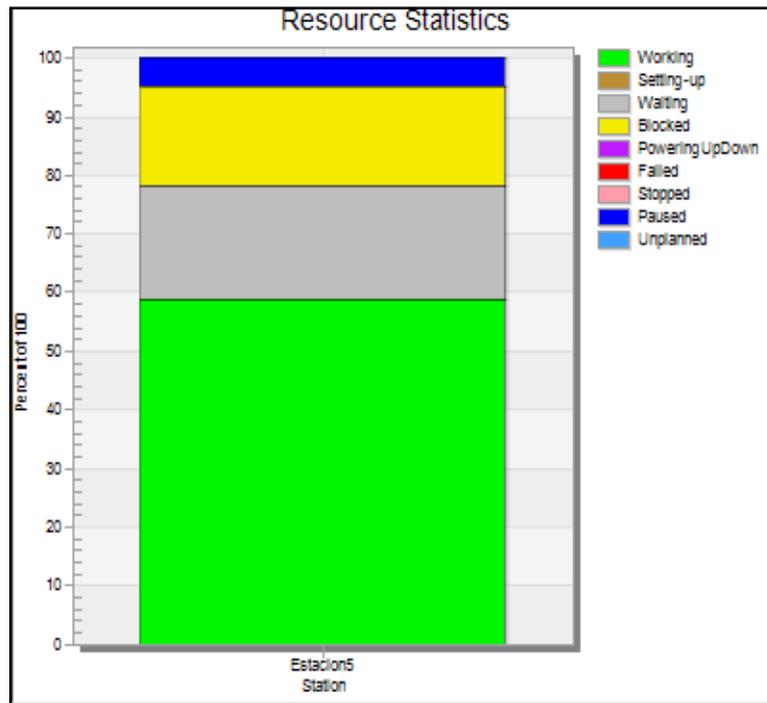


Figura 4.6.8 Gráfica de desempeño estación 05.

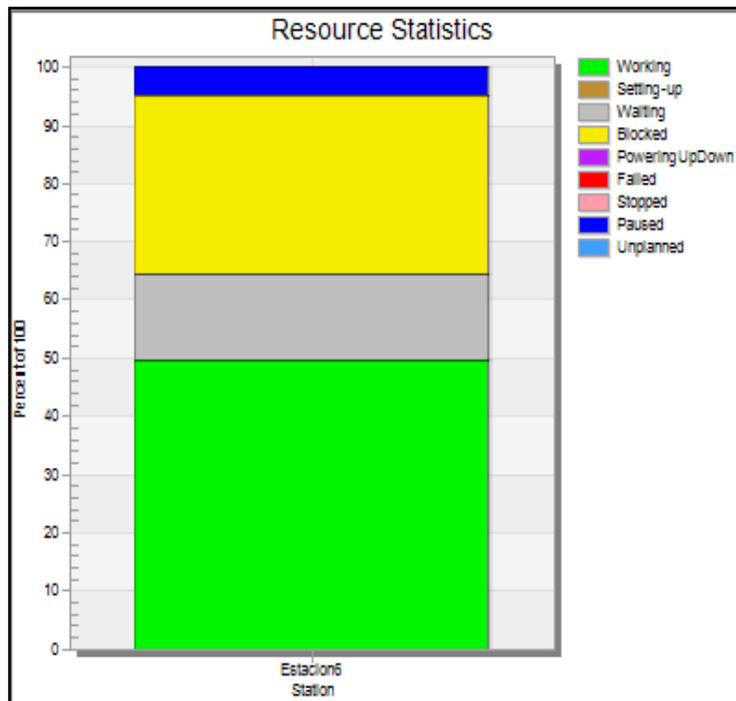


Figura 4.6.9 Gráfica de desempeño estación 06.

El color verde es el tiempo en que está trabajando la estación y el color amarillo el tiempo de espera, el cual muestran las gráficas que se redujo considerablemente en cada una de las estaciones, es por eso que aumenta la capacidad de la línea y disminuye el tiempo ciclo de operación lo que trae como consecuencia cero tiempo extra y aumento de productividad.

En la sección de conclusiones se discutirán los beneficios de esta propuesta de distribución de la línea de chasis. Aquí se termina el proyecto de investigación con la propuesta de una nueva distribución de layout que consiste en el reordenamiento del material, como lo indica el camino del algoritmo de colonia de hormigas ya que los resultados muestran ser mejores que los de la simulación con los datos reales, realizarlo o no ya es decisión de la empresa.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

De este trabajo de investigación se dividen las conclusiones en 3 principales, la primera relacionada con la distribución de material, la segunda con la aplicación de diferentes metodologías para resolver el problema de distribución y la tercera referente a la ventaja de la simulación.

La distribución de material dentro de una línea de ensamble es un factor contribuyente para tener baja productividad dentro de la empresa, porque hay que cumplir con la producción de acuerdo a la demanda en tiempo extra, esto se comprobó con la simulación del estado actual, entonces darle mayor peso e importancia a este factor del diseño de línea es muy importante para poder asegurar la producción en el tiempo establecido, pero lo más importante asegurar entregar productos al cliente en el tiempo que él lo necesita.

Los beneficios que se tienen con esta nueva distribución de layout de la línea de chasis son los presentados en la tabla 5.1

	ACTUAL	METODOLOGÍA	BENEFICIO
TRACTORES AL DÍA	23	30	+7
TIEMPO CICLO	36min	25min	-11min
AUMENTO DE VENTAS	NA	3,360,000 dlls	+3,360,000dlls

Estos beneficios son los obtenidos sólo con reducir la distancia de transporte de material dentro de la línea de chasis para darle flujo a las estaciones, terminar con los cuellos de botella, el inventario en proceso y el tiempo extra.

De las 3 metodologías que se aplicaron, la colonia de hormigas fue la mejor, esto se determinó porque se obtuvo la menor distancia de recorrido de material, además de ser una metodología objetiva que utiliza modelos matemáticos para predecir y determinar el mejor trayecto de recorrido de material en varias iteraciones evitando la subjetividad.

La metodología de planeación sistemática de la distribución se considera subjetiva ya que depende de la experiencia y el conocimiento sobre el proceso del diseñador de línea, esto se concluye porque quien asigna los valores de las relaciones es el mismo ingeniero.

La programación lineal al igual que la optimización por colonia de hormigas usa un modelo matemático para determinar el mejor trayecto de recorrido de material, la desventaja es cuando se tienen funciones objetivos muy grandes y con una cantidad considerable de restricciones, lo que hace que el programa después de varias iteraciones se quede sólo en óptimos locales.

Considerando todas estas ventajas y desventajas de la metodologías, se decide, usar los datos obtenidos de la optimización por colonia de hormigas.

Y por último se puede concluir que la simulación es una herramienta muy útil, porque sin tener que hacer el reordenamiento físicamente, lo cual puede provocar detener la producción varios días o incluso semanas, se pueden ver diferentes escenarios de lo que pasaría cambiando la distribución, con lo cual es posible hacer predicciones sobre el comportamiento del sistema de manufactura y tomar mejores decisiones antes de la implementación física.

CAPÍTULO VI: TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se piensa replicar este proyecto a la línea de ensamble principal, ya que el modelo de simulación es el mismo.

También se puede aplicar para reducir la distancia de transporte de material al surtirlo de almacén a la línea.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Recuperado el 29 de Abril de 2012

- Alonso, S. (2009). Comportamiento de un algoritmo evolutivo flexible para problemas de optimización continua. *VI Congreso Español sobre Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados*.
- Amir, M. (2012). Reactive Search Optimization: Application to Multiobjective Optimization Problems. *Applied Mathematics*.
- Ardestani, A. (2009). A multi-objective formulation for facility layout problem. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*.
- Bhuiyan, N. (2011). Scheduling of a computer integrated manufacturing system. A simulation study. *Journal of Industrial Engineering and Management*.
- Camussi, N. (2011). Estrategia bi-etapa para el layout óptimo de celdas de manufactura. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*.
- Carlo, F. (2013). Layout design for a low capacity manufacturing line: A case study. . *International Journal of Engineering Business Management* , 10.
- Chen, G. (2007). Multi-objective Evaluation of Dynamic Facility Layout using Ant Colony Optimization. *University of Texas at Arlington*.
- Coba, A. (2008). Algoritmo Híbrido basado en colonias de hormigas para la resolución de problemas de distribución en planta orientados a procesos. *Universidad de Cantabria*.
- Cuatrecasas, L. (2009). Diseño general y dimensionado de una planta productiva. En L. Cuatrecasas, *Diseño Avanzado de procesos y plantas de producción flexible* (págs. 47-50). Barcelona: Profit.

- Cuatrecasas, L. (2009). Procesos y plantas de producción. En L. Cuatrecasas, *Diseño Avanzado de procesos y plantas de producción flexible* (págs. 17-46). Barcelona: Profit.
- Dogan, C. (2007). *Product design for sustainability-Integrated scales of design and production*. Recuperado el 02 de Mayo de 2013, de ProQuest: <http://search.proquest.com/index>
- Eguia, I. (2011). A methodological approach for designing and sequencing product families in reconfigurable disassembly system. *Journal of Industrial Engineering and Management*.
- Ehrgott, M. (2010). An approximation algorithm for convex multi-objective programming problems. *Springer Science and Business Media*.
- Emmatty, F. J., & Sarmah, S. P. (2012). *Modular product development through platform-based design and DFMA*. Recuperado el 28 de Febrero de 2013, de Journal of Engineering Design: <http://dx.doi.org/10.1080/09544828.2011.653330>
- Ferrer, J. (2013). Aplicación de la simulación para el incremento de la productividad de una empresa. *Ingenieria Industrial*.
- Fuente, D. d. (2009). Métodos simplificados de distribución de planta. En D. d. Fuente, *Distribución de Plantas* (págs. 63-70). Universidad de Oviedo.
- Ghaseminejad, A. (2010). Using Data Envelopment Analysis and TOPSIS method for solving flexible bay structure layout. *International Journal of Management Science*.
- Gülsün, B. (2009). A meta-heuristic approach for the facility layout desing problem. *13th International Research and Expert Conference*.

- Jannat, S. (2010). Optimal Solution for Multi-objetive Facility Layout Problem using Genetic Algorithm. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Jeong, K.-Y. (2011). Application of a concept development process to evaluate process layout desings using value stream mapping and simulation. *Journal of Industrial Engineering and Management*.
- Ji, P. (2008). A solution method for the Quadratic Assignment Problem. *6th International Symposium on Operations Research and Its Applications*.
- Jia, Z. (2008). Generate Pareto optimal solutions od scheduling problems using normal boundary intersection technique. *Science Direct*.
- Krajewski, L. (2000). Diseño de procesos. En L. Krajewski, *Administracion de operaciones, estrategias y analisis* (págs. 227-230). Mexico: Pearson Educacion.
- Kunlei, L. (2010). Single Row Facility Layout Problem using Imperialist Competitive Algorithm. *14th International Conference on Computers and Industrial Engineering*.
- Maghsud, S. (2008). Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch and bound algorithm. *European Journal of Operational Research*.
- Martinez, A. (2012). Aplicacion de Simulación y SLP en empresas para mejorar la distribucion de sus componentes y el uso de los espacios. *Revista de Ingenieria Industrial*.
- Marvel, J. (2009). A simulation-enhanced lean desing process. . *Journal of Indutrial Engineering and Managment* .
- Mejia, H. (2011). Aplicacion de metodologias de distribucion de plantas para la configuracion de un centro de distribucion. *Scienta et Technica*.

- Motta, R. (2012). A modified NBI and NC method for the solution of N-multiobjective optimization problems. *Springer-Verlag*.
- Niebel, B. W. (2009). Ingeniería Industrial metodos, estandares y diseño del trabajo. En B. Niebel, *Ingenieria Industrial metodos, estandares y diseño del trabajo* (pág. 417). Mc Graw Hill.
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del trabajo*. Delegación Alvaro Obregón, D.F., México: Mc Graw Hill. Recuperado el 04 de Mayo de 2013
- Norman, G. (1999). Tipos de diseño de proceso. En G. Norman, *Administracion de produccion y operaciones* (págs. 120-126). Mexico: Thomson Learning.
- Olivos, J. (2013). Análisis comparativo de modelos matemáticos para calcular los niveles de inventario y minimizar los costos del almacén. *Ingeniería Industrial* .
- Pardillo-Baez, Y. (2013). Modelo de diseño de nodos de integración en las cadenas de suministro. . *Ingenieria Industrial*.
- Peschl, M. (2011). Designing and Implementation of an intelligent manufacturing system. *Journal of Industrial Engineering and Management* .
- Ravi, K. (2012). Tabu search for the single row facility layout problem in FMS using 3-opt neighborhood. *Indian Institute of Management*.
- Salazar, M. (2009). Analisis de la demanda de los andaluces mediante un proceso analitico jerarquico. *Recta Vol. 10*.
- Satheesh, K. (2008). Scatter Search Algorithm for single row layout problem. *APEM Journal*.
- Savory, P. (2010). Estimation of cellular manufacturing cost components using simulation and activity-based costing. . *Journal of Industrial Engineering and Managmente* .

- Senties, O. B. (2012). Metodología de ayuda a la decisión para el plan de producción en sistemas de manufactura flexible. . *Ingeniería Industrial* .
- Shastri, S. (2005). *Evaluation of strengths of scanning techniques used in eddy current inspection*. Recuperado el 7 de Febrero de 2012, de Proquest: <http://search.proquest.com/docview/305381195?accountid=64055>
- Shewale, P. (2012). Improvement in plant layout using systematic layout planning (SLP) for increased productivity. . *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. , 3.
- Suñe, A. (2004). Distribucion de planta del sistema productivo. En A. Suñe, *Manual practico de diseñi de sistemas productivos* (págs. 146-160). Madrid: Diaz-Santos.
- Tavella, M. (2010). Consideraciones para la localizacion optima de grandes plantas industriales bajo un criterio de sustentabilidad. *Ciencia Vol.5*.
- Trejo, M. (2010). Medición eficiente con un Panel de Inspección. *Sistemas Ópticos GOM*. Cd. de México: GOM: Optical Measuring Techniques.
- Wen-Chyuan. (2005). Single and multi-objetive facility layout with workflow interference considerations. *European Journal of Operational Research*.

ANEXOS

1. Programación en MATLAB del algoritmo de colonia de hormigas.

```
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
- 1.0 + 1.1 x
1 %Algoritmo Colonia de Hormigas%
2
3 %Variables de entrada%
4
5 %% Se inicializa el algoritmo
6 CT=100; %numero de ciclos
7 t0=1;% feromona Inicial
8 b=0.8; %factor de importancia
9 p=0.1; %Parametro de evaporacion
10 Q=1; %Numero constante
11 a=2; % Constante para la formula de probabilidad o factor de importancia
12 e=5;% Actualizar el camino de feromonas
13 dbest=2;% Distancia que se busca
14 %% Programa cuerpo Principal
15 %X= Variable de entrada
16 x=[3.36 72 96 172.8 31.68 144 92.16 153.6 28.8 31.2 90.72 156 28.8 72 24 9.6 31.2 96 96 24 312 5.76 115.2 33.6 38.4 24 26.4 72 100.8 86.4 120 31.2
17
18 nodos=[107];
19
20 hormigas=100;
21
22 vis=(1./nodos);% visibilidad
23
24 xnodos=[1.68 1.2 0.96 2.16 0.48 2.4 1.44 2.4 0.48 0.24 0.72 1.2 0.72 1.2 1.2 0.48 0.24 0.96 1.2 1.2 3.12 1.44 1.92 1.68 1.92 2.4 2.64 1.2 1.68 1.44
25
26 %%iniciando la programacion
27 % tour de las hromigas
28 for th=1:hormigas
29     tour=randperm(nodos);
30 end
31 tour(:,nodos)=tour(:,1);
32 %%
33 for it=1:CT %ciclo para correr las 100 iteraciones
```

```

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
- 1.0 + ÷ 11 x
32 %%
33 - for it=1:CT %ciclo para correr las 100 iteraciones
34 -     for ia=1:hormigas %ciclo para correr las iteraciones de las hormigas
35 -         for iq=2:nodos-1
36 -             nt=tour(ia,iq-1) %el nodo actual visitado
37 -             nxt=tour(ia,iq:nodos) %los nodos visitados (memoria)
38 -             for i=nxt
39 -
40 -                 prob=(t0*(nt)+t0*(nxt(i))^a*(vis*(nt)+vis*(nxt(i))^b)/sum((t0*(nt)+t0*(nxt(i))^a*vis*(nt)+vis*(nxt(i))^b)) %probabilidad de escoger t
41 -
42 -
43 -             end
44 -
45 -             rnodo=rand;
46 -             for iz=1:length(prob) %longitud de la probabilidad
47 -                 if rnodo<sum(prob(1:iz))
48 -                     nn=iq-1+iz %nuevo nodo a visitar
49 -                     break
50 -                 end
51 -             end
52 -             temp=tour(ia,nn);
53 -             tour(ia,nn)=tour(ia,iq);
54 -             tour(ia,iq)=temp;
55 -         end
56 -     end
57 -     phtemp=zeros(nodos,nodos);
58 -     for th=1:hormigas
59 -         dist(th,1)=0;
60 -         for id=1:nodos
61 -
62 -             dist=dist(th)+rnodo(tour(th),tour(id),tour(th),tour(id)) %distancia
63 -             phtemp=0/(dist(th,1))
64 -

```

2.- Tabla de tiempos de la línea de ensamble de chasis (Cortesía de John Deere).

Tiempos minutos de Operación ESTACION 8													
Torques Tornillos de Casamiento LI	Torques Tornillos de Casamiento LD	Torque de Soporte del Eje Delantero LI	Torque de Soporte del Eje Delantero LD	Soporte para líneas de dirección	Capachon de TDF	Ensamblar conectores de WCS	Soporte de freno de mano Narrow y palanca SAE	Ensamble de base de salpiqueras	Conector T Golden	Ensamblar Válvula de TB	Instalar placa de num de serie	Dar Salida "Fase 3" a Tractor	Preparación de Hoja Viajera y Autocontrol
0.741	0.751	0.441	0.436	0.499	0.502	2.906	0.837	2.15	0.486	0.834	0.755	0.454	0.859
0.737	0.733	0.435	0.437	0.484	0.501	2.916	0.839	2.05	0.474	0.847	0.754	0.444	0.953
0.73	0.731	0.443	0.428	0.504	0.505	2.922	0.83	2.08	0.478	0.829	0.751	0.454	0.877
0.739	0.745	0.434	0.44	0.49	0.502	2.924	0.83	2.01	0.478	0.837	0.751	0.454	0.909
0.721	0.743	0.431	0.444	0.495	0.504	2.932	0.837	2.21	0.478	0.836	0.748	0.452	0.887
0.725	0.73	0.424	0.446	0.499	0.503	2.912	0.835	2.06	0.474	0.819	0.754	0.464	0.939
0.735	0.737	0.434	0.435	0.49	0.503	2.91	0.839	2.12	0.482	0.837	0.751	0.45	0.904
0.732	0.736	0.43	0.445	0.497	0.501	2.91	0.836	2.15	0.474	0.822	0.756	0.459	0.885
0.728	0.736	0.441	0.44	0.495	0.509	2.91	0.832	2.17	0.482	0.828	0.751	0.454	0.873
0.732	0.741	0.441	0.441	0.487	0.504	2.91	0.839	2.11	0.486	0.837	0.755	0.462	0.894
0.725	0.725	0.432	0.433	0.497	0.509	2.912	0.834	2.1	0.482	0.836	0.753	0.446	0.95
0.735	0.731	0.435	0.443	0.499	0.51	2.904	0.832	2.27	0.482	0.829	0.751	0.469	0.924
0.742	0.741	0.432	0.432	0.491	0.503	2.93	0.821	2.06	0.478	0.829	0.751	0.462	0.903
0.734	0.723	0.427	0.443	0.487	0.497	2.904	0.835	2.15	0.482	0.839	0.754	0.457	0.859
0.729	0.717	0.442	0.447	0.496	0.507	2.914	0.831	2.15	0.482	0.821	0.75	0.467	0.857
0.724	0.743	0.438	0.448	0.5	0.507	2.92	0.838	2.02	0.482	0.842	0.752	0.456	0.9
0.734	0.741	0.44	0.438	0.496	0.51	2.92	0.84	2.17	0.49	0.831	0.754	0.432	0.849
0.729	0.729	0.444	0.442	0.495	0.504	2.92	0.841	2.22	0.49	0.831	0.753	0.444	0.95
0.729	0.727	0.434	0.446	0.505	0.5	2.928	0.838	2.16	0.478	0.839	0.75	0.457	0.868
0.722	0.73	0.443	0.428	0.492	0.505	2.91	0.83	2.11	0.478	0.842	0.75	0.459	0.874
0.723	0.731	0.428	0.444	0.488	0.504	2.916	0.836	2.16	0.478	0.829	0.755	0.45	0.908
0.729	0.732	0.445	0.444	0.493	0.508	2.92	0.835	2.08	0.486	0.831	0.749	0.448	0.879
0.727	0.742	0.445	0.444	0.491	0.501	2.908	0.824	2.15	0.482	0.822	0.753	0.454	0.903
0.725	0.726	0.425	0.432	0.501	0.503	2.92	0.824	2.06	0.482	0.841	0.752	0.446	0.857
0.734	0.735	0.436	0.438	0.492	0.497	2.904	0.83	2.17	0.478	0.826	0.755	0.468	0.887
0.72	0.738	0.437	0.437	0.496	0.5	2.922	0.838	2.07	0.486	0.825	0.753	0.448	0.868
0.737	0.741	0.431	0.431	0.499	0.506	2.916	0.835	2.09	0.474	0.829	0.751	0.471	0.861
0.728	0.74	0.426	0.435	0.496	0.502	2.926	0.844	2.08	0.482	0.822	0.749	0.466	0.892
0.73	0.739	0.435	0.44	0.491	0.507	2.906	0.837	2.15	0.478	0.834	0.751	0.46	0.875
0.733	0.738	0.431	0.443	0.507	0.503	2.904	0.835	2.14	0.482	0.832	0.752	0.453	0.881