

**METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DE UN CASO EMPRESARIAL DEL
SECTOR MANUFACTURERO A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN**

NATALIA BOTERO ROJAS

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

BOGOTÁ

2013

**METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DE UN CASO EMPRESARIAL DEL
SECTOR MANUFACTURERO A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN**

NATALIA BOTERO ROJAS

TUTOR

LUZ MARINA PATIÑO NIETO

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

BOGOTÁ

2013

CONTENIDO

CONTENIDO	2
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. TITULO	10
2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	10
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	13
2.3.1 <i>Delimitación geográfica</i>	13
2.3.2 <i>Delimitación del espacio</i>	14
3. JUTIFICACION.....	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5. MARCO REFERENCIAL	17
5.1 MARCO HISTÓRICO.....	17
5.1.1 <i>Misión</i>	17
5.1.2 <i>Visión</i>	17
5.1.3 <i>Política De Calidad</i>	18
5.2 MARCO TEÓRICO	18
5.2.1 <i>Diagramas De Flujo De Los Procesos</i>	18
5.2.2 <i>Diagrama De Causa Efecto</i>	19
5.2.3 <i>Ingeniería De Métodos</i>	19
5.2.4 <i>Estudio De Tiempos</i>	20
5.2.4 <i>Estudio De Movimientos</i>	20
5.2.5 <i>Simulación</i>	20
5.2.6 <i>Herramientas De Recolección Y Análisis De La Información</i>	24
5.2.7 <i>Estadística</i>	25

5.2.8 <i>La Probabilidad</i>	25
5.2 MARCO CONCEPTUAL.....	25
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
6.2 DISEÑO METODOLÓGICO	28
7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	30
7.1 DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO Y ORGANIZACIONAL	30
7.1.1 <i>Perfil De Capacidad Interna P.C.I.</i>	30
7.1.2 <i>Perfil De Oportunidades Y Amenazas POAM:</i>	31
7.1.3 <i>Matriz DOFA.</i>	32
7.2 OBSERVACIÓN INDIRECTA	34
7.2.1 <i>Determinación De La Población Y Muestra</i>	34
7.2.2 <i>Trabajo De Campo</i>	35
7.2.3 <i>Diseño Del Cuestionario</i>	35
7.2.3.1 <i>Clase De Preguntas</i>	35
7.2.4 <i>Tabulación Y Análisis De La Información</i>	36
7.3 OBSERVACIÓN DIRECTA	38
7.3.1 <i>Descripción Del Producto</i>	38
7.3.2 <i>Diagrama De Operaciones</i>	38
7.3.3 <i>Diagrama De Procesos</i>	39
7.3.4 <i>Layout</i>	42
7.3.4.1 <i>Descripción De Las Áreas Que Interviene En El Proceso</i>	43
7.3.4.2 <i>Diagrama De Recorrido</i>	44
7.3.5 <i>Estudio De Tiempos Y Movimientos</i>	48
7.3.6 <i>Análisis De La Información Para La Simulación</i>	55
7.3.7 <i>Simulación Del Sistema Actual Con Promodel</i>	63
7.3.7.1 <i>Resultados Obtenidos De La Simulación</i>	65
7.3.7.2 <i>Validación Del Modelo</i>	68
8. MEJORAS PARA EL CONDENSADOR 1107125	72
8.1 DIAGRAMAS DE OPERACIONES PROPUESTOS	72
8.2 DIAGRAMA DE PROCESOS.....	73
8.3 LAYOUT PROPUESTO.....	73
8.3.1 <i>Diagrama De Recorrido Propuesto</i>	73
8.4 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS MEJORADO.....	74
8.4.1 <i>Mejoras implementadas</i>	74
8.4.2 <i>Análisis De La Información Para La Simulación</i>	77

8.5 SIMULACIÓN EN PROMODEL CON LAS MEJORAS	78
8.5.1 Validación Del Modelo	80
8.6 MEJORAS EVIDENCIADAS	81
9. CARTILLA INTERACTIVA.....	86
10. CONCLUSIONES	88
11. BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Diseño metodológico.....	28
Tabla 2 Resultados matriz PCI.....	31
Tabla 3 Resumen matriz POAM.....	32
Tabla 4 Matriz DOFA	33
Tabla 5 Desplazamiento entre procesos	45
Tabla 6 Recorrido puesto de trabajo soldadura	46
Tabla 7 Recorrido puesto de trabajo doblado	46
Tabla 8 Recorrido del puesto de trabajo prueba.....	47
Tabla 9 Recorrido puesto de trabajo pintura	47
Tabla 10 Recorrido puesto de trabajo empaque	47
Tabla 11 Descripción operarios con contacto directo al producto	50
Tabla 12 Resumen tamaño de muestras	52
Tabla 13 Puntuación de los suplemento	54
Tabla 14 Tiempos estándar.....	55
Tabla 15 Resumen replicas t-student.....	56
Tabla 16 Comparación resultados statfit t-student	58
Tabla 17 Comparación réplicas y números de elementos	59
Tabla 18 Resultados distribución statfit	60
Tabla 19 Resultados distribución exportada a Promodel	61
Tabla 20 distancia del recorrido del sistema mejorado	74
Tabla 21 tiempos estándar del sistema mejorado	75
Tabla 22 Diagrama de gannt sistema mejorado.....	76
Tabla 23 Replicas para las mejoras de doblado y prueba.....	77
Tabla 24 Nueva distribución para los elementos de doblado y prueba	78
Tabla 25 Mejoras de tiempos de recorrido	81
Tabla 26 Mejoras de los tiempos estándar.....	81
Tabla 27 Mejora en la utilización de las locaciones	83
Tabla 28 Mejora en las entidades obtenidas en 24 horas	83
Tabla 29 Ahorros en la mano de obra.....	84
Tabla 30 Comparación mejoras	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama Causa-Efecto	11
Figura 2 Mapa de Brus Refrigeration of Colombia.....	13
Figura 3 Mapa países donde esta Bundy	17
Figura 4 Ejemplo componentes del sistema	21
Figura 5 Sistema discreto, estado de variable.....	22
Figura 6 Pasos en una simulación.....	23
Figura 7 Partes de una nevera.....	26
Figura 8 Formato matriz	30
Figura 9 Diagrama de operaciones general	39
Figura 10 Simbología del diagrama de procesos.....	40
Figura 11 Layout	42
Figura 12 Proceso de soldadura y doblado.....	43
Figura 13 Procesos de pruebas	43
Figura 14 Proceso de pintura.....	43
Figura 15 Proceso de empaque.....	44
Figura 16 Recorrido en el layout del condensador.....	45
Figura 17 Metodología tiempos y movimientos 1.....	48
Figura 18 Metodología tiempos y movimientos 2.....	49
Figura 19 Formula de muestra 95% de confianza	51
Figura 20 Escala de calificación del factor ritmo.....	53
Figura 21 Réplicas de statfit	57
Figura 22 Layout simulación.....	63
Figura 23 Descripción de las locaciones a simular	64
Figura 24 Entidad definida en Promodel.....	64
Figura 25 Reporte general de simulación sistema real.....	65
Figura 26 Utilización de locaciones del sistema real	65
Figura 27 Diagrama de torres utilización locaciones del SR	66
Figura 28 Situación de las locaciones simples del SR.....	66
Figura 29 Situación de las locaciones múltiples del SR.....	67

Figura 30 Total entidades existentes en el SR.....	67
Figura 31 Comparación del indicador de productividad de soldadura.....	68
Figura 32 Diagrama de gannt del sistema real	70
Figura 33 Diagrama de recorrido mejoras	73
Figura 34 Reporte general de simulación del sistema mejorado	78
Figura 35 Utilización de las locaciones del sistema mejorado	79
Figura 36 Estado de las locaciones vacío / ocupado	79
Figura 37 Total entidades existentes en el SM.....	80
Figura 38 Mejora estadística doblar	82
Figura 39 Muestra estadística prueba	82
Figura 40 Muestra estadística de empaque.....	84
Figura 41 Portada cartilla interactiva.....	86

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en la empresa *Brus Refrigeration* del sector metalmeccánico donde se realizó un diagnóstico estratégico y organizacional, se identificaron diferentes fortalezas y debilidades, se analizó los factores que generan problemas en la línea de producción de la sección condensadores y se formuló un problema para ser resuelto por medio de la *simulación*. Los resultados proponen mejoras para ampliar la capacidad de producción del condensador referencia 1107125 logrando crear una metodología para la toma de tiempos y movimientos además de la *cartilla interactiva* que propone al lector un método para llevar a cabo la simulación de cualquier proceso del sector manufacturero.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas deben ser más eficientes y productivas con el único objetivo de ahorrar costos y producir en masa al mejor precio, para no ser clausuradas o salir del mercado. Al tener un acercamiento al sector metalmecánico de Colombia a través de la empresa Brus Refrigeration y una visión mundial por sus sedes en nueve países, se puede concluir que si no se logra ser productivo y rentable para tener la capacidad de competir en el mercado, la empresa cerrará y será reemplazada por otra que si lo pueda lograr.

Con el objetivo de generar mejoras se realizó una serie de pasos, empezando con un diagnóstico organizacional donde se emplean diferentes herramientas como las matrices PCI (Perfil de Competitividad Interna) y POAM (Perfil de Oportunidades y Amenazas en el Medio), allí se analizó la información, cruzándola, para generar la matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas, amenazas). La información recolectada en este paso se puede ver reflejada en los factores que generan problemas en la planta de producción de la empresa.

Se realizó una observación indirecta donde se determinó el tamaño de la población para realizar encuestas y con el cual se trabajó para analizar el ambiente laboral de la planta de producción. Por otro lado, se hizo la observación directa donde se utilizaron herramientas de ingeniería como: diagramas causa efecto, diagramas de operaciones, diagramas de procesos, diagramas de recorrido y se tomaron los tiempos estándar de las operaciones, logrando así crear una metodología para la toma de tiempos y movimientos.

Finalmente se procedió a la conceptualización del modelo para la simulación y el traslado de los datos recolectados al software seleccionado, en este caso Promodel, donde se verificó y validó la información para proponer las mejoras. Igualmente se diseñó la cartilla interactiva que le propone al lector un método para llevar a cabo una simulación de cualquier proceso del sector manufacturero.

1. TITULO

Metodología para la solución de un caso empresarial del sector manufacturero a través de la simulación

2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Se selecciona la empresa Brus Refrigeration Of Colombia Ltda. Del sector manufacturero para analizar la fabricación de un nuevo condensador referencia: 1107125 para su cliente Haceb, que requiere del análisis de su línea de producción donde interviene diferentes factores que retrasan la el proceso productivo de este, se identifican las falencias y proponen mejoras por medio de la simulación.

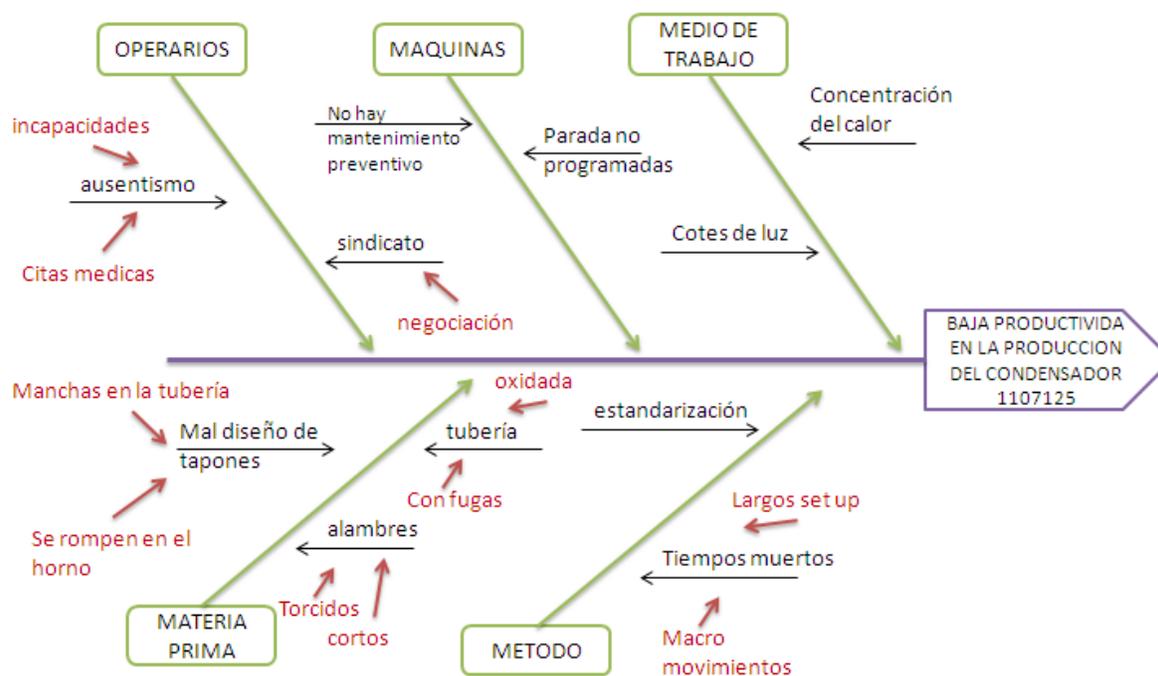
Esta selección se realizó por la accesibilidad que se tiene a la información requerida para llevar a cabo una simulación.

2.1 Descripción Del Problema

El análisis en la línea de producción del condensador referencia: 1107125, se inició desde la orden de producción hasta tener el producto en empaque, pasando por las diferentes secciones del área de condensadores; corte de tubo, corte de alambre, doblado de serpentín, soldadura, pintura y empaque. En el análisis se trataron factores como: maquinaria, mano de obra, materia prima utilizada, entre otros.

Para formular el problema se utilizó la herramienta causa efecto que se observa en la figura 1, se seleccionó esta herramienta debido a que los factores que causan los problemas se pueden identificar fácilmente. Se representó en color morado la columna vertebral de donde se desprenden los factores principales a trabajar, de allí en color verde se despliegan las líneas secundarias con sus respectivos aspectos generales y en rojo encontramos aspectos puntuales del problema a resolver.

Figura 1 Diagrama Causa-Efecto



Fuente: Autora

Las principales causas de la baja productividad del condensador 1107125 fueron; los cambios de referencias por la cantidad de tiempo que requieren, problemas en la materia prima como la tubería, los alambres y el mal diseño de los tapone además de la mano de obra.

- Tapones: actualmente se usar dos tipos de tapones ya que un extremo del tubo lleva una expansión, el material del tapón usado en este extremo es demasiado duro dificultando la operación.
- El alambre: estos llegan al equipo de soldadura con varios defectos como: cortos torcidos u oxidados.
- La tubería: esta materia prima puede contener fugas u oxido
- Algunos movimiento realizados por los operarios pueden ser más cortos modificando sus herramientas de trabajo.

2.2 Formulación Del Problema

¿De qué manera se puede evidenciar el análisis y la mejora en la línea de producción del condensador referencia: 107125 de la empresa Brus Refrigeration Of Colombia, donde interviene diferentes factores que retrasan la productividad (tubería, tapones, alambres, mano de obra), se identifican las falencias y proponen mejoras por medio de la simulación?

Actualmente la empresa tiene una ventaja geográfica en comparación con su competencia principal ubicada en Medellín, los proveedores de la materia prima e insumos se encuentran en Bogotá lo que le da un tiempo de holgura cuando ocurren cambios imprevistos en la programación de la producción.

2.3.2 Delimitación del espacio

La planta de producción de Brus Refrigeration Of Colombia Ltda. Está dividida en 3 secciones: condensadores, evaporadores y refrigeración. Cada sección se subdivide en la fabricación de productos específicos con el fin de responder a la demanda de los clientes. El trabajo se enfocó en la sección de *condensadores*, la cual cuenta con las siguientes sub secciones:

- Corte de tubo
- Corte de alambre
- Dobladoras de serpentín
- Soldadura
- Pintura
- Empaque

. Finalmente encontramos que la sección cuenta con un promedio de 50 trabajadores.

3. JUTIFICACION

Este estudio tiene como fin analizar y mejorar el proceso de producción de la sección de condensadores de la empresa Brus Refrigeration Of Colombia. El desarrollo de este trabajo contribuirá como dice Luz Marina Patiño, “en la formación de profesionales con suficientes conocimientos para diseñar y optimizar los procesos productivos en el sector real” (Patiño, s.f, párr 1). Esta metodología aportará a la empresa mejoras a su actual proceso de producción de condensadores. Para lograr lo anterior se usara la simulación, analizando y reforzando los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería de producción.

El beneficio que aporta este proyecto es poder evidenciar todos los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera que contribuyen a desarrollar las habilidades y competencias de un ingeniero de producción. Al desarrollar una cartilla interactiva que le proponga al lector seguir paso a paso el procedimiento adecuado se logra desarrollar; “la capacidad de diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos además de utilizar las técnicas, habilidades y herramientas modernas necesarias para la práctica de la Ingeniería” (Patiño, s.f, párr 1).

Este proyecto con el apoyo de la simulación y el modelaje a través del análisis de datos de las operaciones que conforman los procesos productivos podrá presentar alternativas de mejoramiento y optimización mediante la validación de la información, para luego usarlo como herramienta moderna para el desarrollo de las competencias de los estudiantes.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Construir una metodología para analizar y modelar datos reales de cadenas de producción que muestren las eficiencias y deficiencias de la línea de producción del condensador referencia: 1107125 de la empresa Brus Refrigeration Of Colombia, de manera tal que se logre mejorar la productividad implementando algunas de las mejoras propuestas.

4.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar datos del entorno empresarial en el cual se encuentra la empresa manufacturera.
2. Analizar la información recopilada de la empresa manufacturera.
3. Realizar la simulación de los diferentes procesos productivos de la empresa manufacturera, para probar el modelo, obtener datos y confrontarlos con la teoría.
4. Elaborar una herramienta moderna para los estudiantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad EAN.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Marco Histórico

Refrigeration Bundy es un líder mundial en el diseño, fabricación y suministro de sistemas de refrigeración con más de 50 años de experiencia en la industria y una red de fabricación en todo el mundo, su marca registrada en Colombia es: Brus Refrigeration Of Colombia Ltda.

Figura 3 Mapa países donde esta Bundy



Fuente: <http://www.bundyrefrigeration.com/index.html> el 17 de julio del 2012

5.1.1 Misión

“Ser un Proveedor completo de servicio para sistemas de fluidos, ofreciendo soluciones a costos comprensibles que atiendan los estándares de medioambiente y calidad.” (Refrigeration, s.f)

5.1.2 Visión

“Ser reconocido como proveedor preferencial de sistemas de conducción de fluidos para los mercados donde actuamos” (Refrigeration, s.f)

5.1.3 Política De Calidad

“La meta de BRUS es la de convertirse en el proveedor preferido mediante la satisfacción total de sus clientes, en un ambiente de prevención y mejoramiento continuo” (Refrigeration, s.f)

5.2 Marco Teórico

Se pone en evidencia en el trabajo desarrollado los diferentes conocimientos adquiridos durante el pregrado de ingeniería de producción como herramientas de gran importancia para la toma de decisiones y análisis de la información recolectada.

Se desarrolló un análisis estratégico y organizacional donde se refleja la situación actual de la empresa en diferentes aspectos dejando al descubierto las fortalezas y debilidades, para tener un marco referencial en el análisis de la información y toma de decisiones.

En un estudio realizado en la facultad de ingeniería, de la Universidad Rafael Landíva en Guatemala; México. “Se demuestra las diferencias que hay entre la clase tradicional y la clase eminentemente práctica o de laboratorio, donde la primera lleva al alumno a la monotonía y escasos conocimientos y habilidades y la segunda lo orienta más a la práctica, a autor regular sus conocimientos”, (Ola, 2009, párr 1). Este proyecto tendría una gran importancia e impacto sobre aquellos lectores que deseen usar la metodología propuesta.

La simulación ser una herramienta que refleje el análisis de los datos estadísticos además de poder; personalizar modelos, interfaces de usuario, y creación de objetos. También permite la creación de modelos de gran complejidad en pocos minutos, aprovechando la atención del estudiante para ser enfocada en los puntos más relevantes. La cartilla interactiva que se creó, contiene la metodología para la simulación de procesos de manufactura y podrá ser usada bajo la autonomía del estudiante. En las simulaciones se puede: *modelar, analizar, visualizar y optimizar* cualquier proceso imaginable en 2D Y 3D.

5.2.1 Diagramas De Flujo De Los Procesos

“Las actividades asociadas a los procesos con frecuencia se afectan unas de las otras, por lo cual es importante considerar el desempeño simultaneo de una serie de actividades que operan al mismo tiempo una forma aconsejable es realizar un diagrama de flujo de procesos” (Chase,

Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 162). Los diagramas traen su propia simbología, por ejemplo: las tareas se muestran en forma de triángulos, los flujos en forma de flechas, el almacenamiento en forma de triángulos invertidos y la toma de alguna decisión se representa con un rombo. Estos fueron de gran ayuda para la organización de la metodología de simulación y la propuesta para la toma de tiempos y movimientos, es fundamental el uso y la lectura de los diagramas de flujo en este trabajo.

Tabla 31 Simbología del diagrama de flujo

	INICIO O FINAL DEL DIAGRAMA
	REALIZACIÓN DE UNA ACTIVIDAD
	ANALISIS DE SITUACIÓN Y TOMA DE DECISIÓN
	ACTIVIDAD DE CONTROL
	CONEXIÓN O RELACIÓN
	INDICACIÓN DE FLUJO DEL PROCESO

Fuente: por Autora

Por medio del diagrama de flujo se desarrolló la metodología ya que es una herramienta de análisis de procesos facilitando la información y toma de decisiones para realizar una simulación.

5.2.2 Diagrama De Causa Efecto.

También llamados diagramas de espina de pescado, “muestra las relaciones propuestas hipotéticamente entre causas potenciales y el problema que se estudia” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 315). Con la elaboración de este diagrama se pudo analizar cuáles eran las causas potenciales del problema, además de ser de vital importancia para la formulación del problema.

5.2.3 Ingeniería De Métodos

“Los términos de análisis de operación, simplificación de trabajo e ingeniería de métodos se utilizan con frecuencia como sinónimos” (Nibel, 1996, pág. 4), esta área de la ingeniería fue de

gran aporte para realizar los diferentes diagramas de procesos, procedimiento y recorridos. La información recolectada y analizada de la ingeniería de métodos fue esencial para la validación de la simulación.

5.2.4 Estudio De Tiempos

Estudio de tiempo o medición del trabajo, “es una actividad que comprende la técnica de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada” (Nibel, 1996, pág. 7), el analista de tiempos tiene estrecha relación con el ingeniero de métodos, la diferencia radica en los objetivos con los cuales cada uno realiza su trabajo la implementación del estudio de tiempos permite obtener los tiempos estándar de los sistemas que luego son usados en el software de simulación.

5.2.4 Estudio De Movimientos

El estudio de movimientos se puede definir como “el estudio de movimientos del cuerpo humano al realizar una operación, para mejorarla mediante la eliminación de movimientos innecesarios, la simplificación de los necesarios y el establecimiento de la secuencia de movimientos más favorables para la eficiencia máxima” (Nibel, 1996, pág. 17) El reconocimiento de los movimientos de una operación es la fase inicial para empezar a desglosar los elementos del proceso que van a ser trabajados en todo el procesos de simulación.

5.2.5 Simulación

La simulación es la imitación de las operaciones de un sistema respecto al tiempo, a medida que evoluciona el sistema toma la forma de un conjunto de hipótesis que se pueden ver expresadas en expresiones matemáticas y lógica entre otros, por lo tanto la simulación puede ser utilizada como un instrumento de análisis para predecir el efecto de cambios en los sistemas existentes, y como herramienta de diseño para predecir el rendimiento de los nuevos sistemas bajo diferentes circunstancias.

Las áreas donde es aplicable la simulación pueden ser extensas, tales como: la manufactura, la construcción, logística, transporte, salud, aplicaciones militares o para otras instituciones como las universidades.

Los componentes de un sistema tienen que ser claramente identificados. En primer lugar sus entidades son aquellos objetos que requieren explícita representación en el modelo, en segundo

lugar los atributos son las propiedades de la entidad, en tercer lugar las actividades que necesitan de una duración respecto al tiempo, en cuarto lugar los eventos que cambian el estado del sistema y por último el estado de las variables. Un ejemplo de esto lo podemos observar en la figura 4.

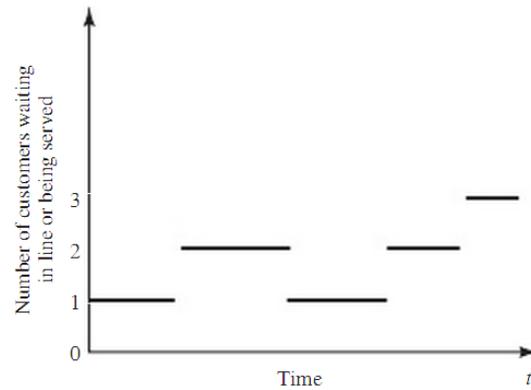
Figura 4 Ejemplo componentes del sistema



Fuente: cartilla interactiva; por Autora

La metodología a desarrollar está fundamentada en la simulación discreta donde se manejan números enteros, "los sistemas de simulación de eventos discretos la variable de estado cambia solo en un conjunto discreto de puntos" (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2010, pág. 16), además de ser analizados mediante métodos numérico en lugar de analíticos.

Figura 5 Sistema discreto, estado de variable



Fuente: (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2010, pág. 14)

Los pasos para una simulación son descritos en la figura 6.

Figura 6 Pasos en una simulación

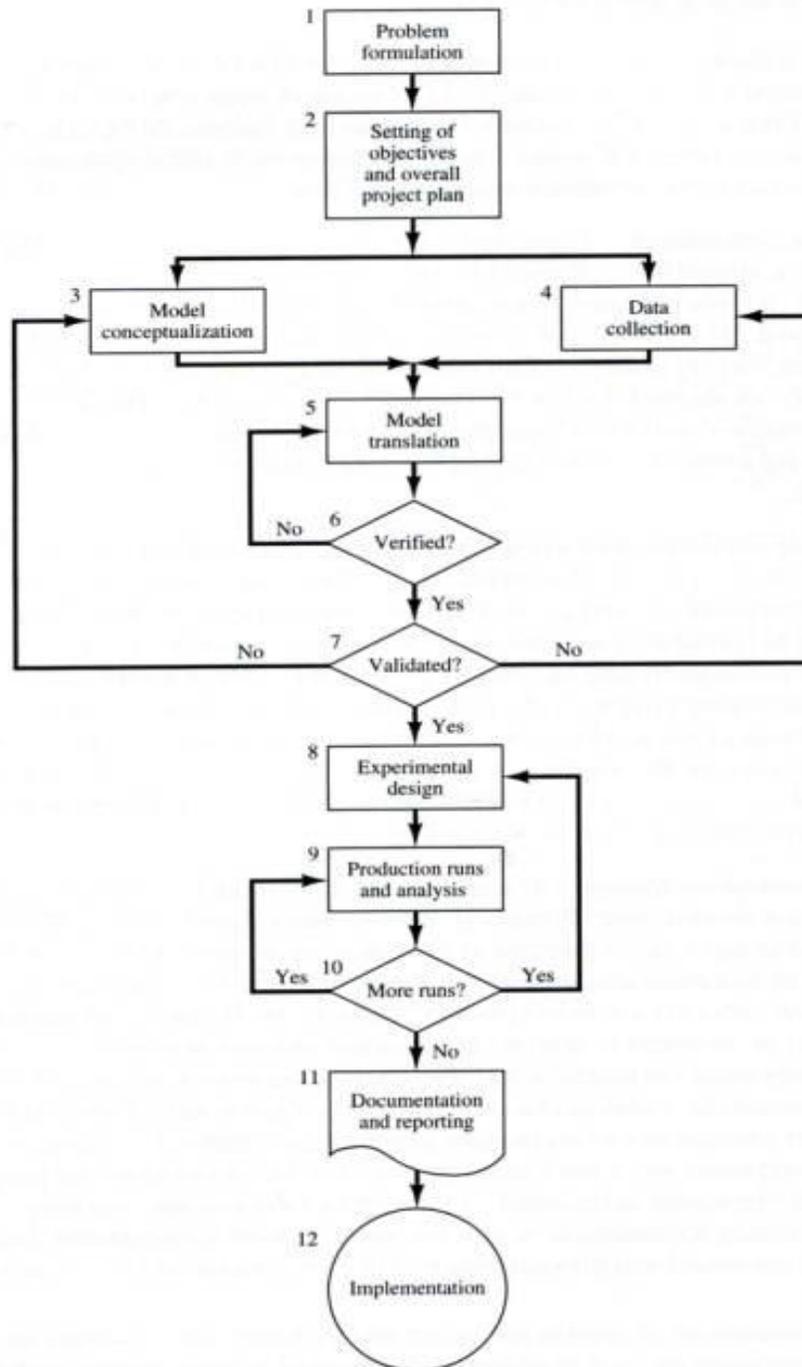


Figure 1.3. Steps in a simulation study.

Fuente: (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2010, pág. 16)

La metodología para simular procesos propuesta por (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2010, pág. 16) se describe en un diagrama de flujo, esta fue la base para proponer una nueva metodología y desarrollar el trabajo en la empresa Brus Refrigeration. La figura 6 está dividida en dos partes la primera inicia en la formulación del problema culminando en la validación, los siete pasos descritos en el esquema serán la base del trabajo y la segunda parte del diagrama describe el diseño experimental.

La metodología propuesta en la cartilla interactiva difiere un poco en la presentada en la figura 6 donde se le da al diagrama de flujo una culminación después del paso de validar, se corrige el uso del símbolo *rombo* representa en el diagrama de flujo *análisis de situación y toma de decisión*, el cual se usa para comparar de manera lógica con dos respuestas sí o no, por lo cual tiene dos salidas esto lo podemos apreciar en el anexo EE.

5.2.6 Herramientas De Recolección Y Análisis De La Información.

Recolectar datos se refiere al uso de diversas técnicas que son usadas para desarrollar diversos sistemas, como las entrevistas, las encuestas, los cuestionarios, la observación, el diagrama de flujo y el diccionario de datos. El objetivo de tener todo reunido es analizar y comparar la información.

Herramientas para la recolección de la información:

- Fotografías o videos
- Entrevistas
- Cuestionario o encuesta
- Matriz. PCI (Perfil de Competitividad Interna):
- Matriz POAM (Perfil de Oportunidades y Amenazas en el Medio):
- Matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas)

Se requiere de la estadística para tabular y recopilar la información en datos numéricos

5.2.7 Estadística

La estadística está ligada con los métodos científicos en la toma, organización, recopilación, presentación y análisis de datos, se trabajó con un software estadístico de nombre Statfit el cual fue de gran utilidad para la interpretación de los datos recolectados en el programa de simulación.

5.2.8 La Probabilidad

Ésta es la base de la estadística ya que sin la probabilidad la interpretación de los datos no podría hacerse, algunos términos que se manejan en probabilidad son:

- Varianza: Es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones.
- Media: el promedio aritmético de las observaciones.
- Moda: Es el valor de las observaciones que ocurre con mayor frecuencia en el conjunto.
- Mediana: Es el valor para el cual, cuando todas las observaciones se ordenan de manera creciente, la mitad de estas es menor que este valor y la otra mitad es mayor.

5.2 Marco Conceptual

Condensador. Los condensadores usualmente los encontramos en la parte externa posterior de la nevera. La función que cumple es transformar el gas refrigerante en líquido refrigerante, siempre existirá dentro del condensador vapor caliente a alta presión en una parte y líquido caliente en la otra, motivo por el cual los condensadores que se encuentran detrás de las neveras están sobre la temperatura ambiente del lugar. En la figura 7 se puede apreciar en color rojo el condensador, en azul el evaporador y en naranja los marcos refrigerantes.

Figura 7 Partes de una nevera



Fuente: http://www.bundyrefrigeration.com/Corporate_Overview.html 3 de agosto

Proceso productivo. Se define como la transformación de las entradas por medio de procesos donde ocurre una transformación para obtener alguna salida, En el proceso productivo del problema planteado las entradas son (tubería, alambre, tapones, pintura) y su salida es un condensador.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Tipo De Investigación

El tipo de investigación que se llevó a cabo fue descriptiva la cual describió cada una de las operaciones realizadas en la línea de producción del condensador referencia: 1107125, obteniendo de esta manera las relaciones existentes entre las variables del proceso sin dejar a un lado la investigación explícita donde se explicaron las mejoras propuestas en la línea de producción mediante la utilización de diseños experimentales con la herramienta del modelaje y simulación.

No puede faltar “La metodología cuantitativa: es aquella que permite examinar los datos de manera científica, o más específicamente en forma, generalmente con ayuda de herramientas del campo de la estadística” (Wikipedia, s.f, párr1), el contenido de información numérica recopilada en este trabajo requiere de análisis para ser usado en la simulación.

6.2 Diseño Metodológico

Tabla 1 Diseño metodológico

Tabla descripción de la metodología		
NOMBRE	ACTIVIDAD	HERRAMIENTAS
Recopilación de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de la empresa manufacturera. • Desarrollo de la matriz del Perfil de Oportunidades y Amenazas en el Medio para la empresa. • Desarrollo de la matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas). • Desarrollo de la matriz del Perfil de Competitividad Interna. • Entrevistas a los empleados. • Hacer el diagrama causa efecto a la línea de producción. • Ir a planta a hacer observación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos para la recopilación de información. • Documentar en fotografías y videos.
Análisis de la información	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de la información. • Uso de la información útil para la metodología. • Identificación de las debilidades y fortalezas de la empresa. • Clasificación de toda la información obtenida en diferentes aspectos empresariales. • Si al analizar la información se encuentra insuficiente, se debe ampliar. • Para la información requerida dar un 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de Excel como herramienta para el análisis de los datos. • Uso diagramas de proceso, procedimiento y recorridos. • Uso de diagramas de flujo

	análisis estadístico (tabulación).	
Desarrollo de la simulación	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del software a usar en el proyecto. • Del análisis de la información recopilada y los aspectos seleccionados a trabajar se escogen los sectores a simular. (procesos) • Definición del sistema a simular y sus respectivos parámetros. • Clasificación los procesos en elementos. • Verificación de las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real. • Interpretación de las estadísticas arrojadas por la simulación. • Interpretación de los datos arrojados y validación de la simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos estandarizados para la recolección de datos. • Estadísticas y tablas que se usarán en la simulación. • Distribuciones para ingresar al simulador.
Elaboración de la herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de la herramienta moderna a trabajar. • Recopilación de la información de manera clara y con ejemplos en la cartilla. • Desarrollo la metodología en un diagrama de flujo 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de una cartilla interactiva donde explique la metodología de simulación.

Fuente: autora

7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

7.1 Diagnóstico Estratégico y Organizacional

El diagnóstico organizacional da la capacidad de medir a la empresa en sus diferentes áreas, se elabora con ayuda de la herramienta de Perfil de Capacidad Interna (P.C.I) y Perfil de Oportunidades y Amenazas (P.O.A.M) recolectando diversa información en la empresa para luego conformar la matriz D.O.F.A. y así identificar que factores organizacionales influyen en la producción del condensador. Las matrices se diseñaron como se muestra en la figura 8 donde se identificaron los aspectos a evaluar de la matriz y la escala de puntuación obtenida al final mostrando el porcentaje correspondiente a cada aspecto clasificado en fortaleza, debilidad e impacto.

Figura 8 Formato matriz

TITULO												
NOMBRE DESCRIPCION	FORTALEZA			DEBILIDAD			IMPACTO			PUNTUACION		
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	FORTALEZA	DEBILIDAD	IMPACTO
ASPECTOS A EVALUAR										0	0	0
										0	0	0
										0	0	0
										0	0	0
PUNTUACION : 3 (ALTA), 2(MEDIANA) , 1 (BAJA)										0	0	0
										0%	0%	0%

Fuente: autora

7.1.1 Perfil De Capacidad Interna P.C.I.

La matriz “busca definir cuáles son las debilidades y fortalezas, al igual que el impacto de ellas en la organización” (Amaya, 2005) se agrupan en las siguientes categorías: capacidades directiva, competitiva, financiera, tecnológica y de talento, la calificación se da de la siguiente manera: A (alto) con 3, M (medio) con 2 y B (bajo) con 1. Los resultados obtenidos se pueden ver en la tabla 2 en el anexo A.

Tabla 2 Resultados matriz PCI

RESUMEN PCI			
CAPACIDAD	FORTALEZA	DEBILIDAD	IMPACTO
CAPACIDAD DIRECTIVA	25%	24%	51%
CAPACIDAD COMPETITIVA	29%	18%	53%
CAPACIDAD FINANCIERA	18%	33%	50%
CAPACIDAD TECNOLOGICA	33%	17%	50%
CAPACIDAD DEL TALENTO HUMANO	19%	28%	53%
SUB TOTAL	60	56	123
TOTAL PORCENTAJE	25%	23%	51%

Fuente: autora

Esta deja ver en color rojo el total de puntos obtenidos en la calificación de la matriz PCI y un porcentaje en cada una de las áreas evaluadas. Las fortalezas de esta compañía se encontraron en su capacidad tecnológica y sus debilidades en la capacidad financiera, generando cada área un impacto significativo en la compañía. Pero el mayor impacto de la compañía se encontró en dos áreas; competitividad y capacidad de talento humano de la empresa.

7.1.2 Perfil De Oportunidades Y Amenazas POAM:

“El medio de una organización es la fuente de sus oportunidades y amenazas, la clave consiste en identificar las oportunidades y amenazas que ofrece el medio buscado aprovechar lo mejor las oportunidades y evadir las al máximo las amenazas” (Amaya, 2005). Los factores a tener encuentra son: económicos, políticos, tecnológicos, competitivos, y geográficos. Como los factores externos no son controlados, la empresa deberá evadirlos o sacarles provecho, la matriz se puede ver en el anexo B.

Tabla 3 Resumen matriz POAM

DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO POAM			
FACTOR	FORTALEZA	DEBILIDAD	IMPACTO
FACTORES ECONOMICOS	18%	28%	54%
FACTORES POLITICOS	28%	15%	56%
FACTORES SOCIALES	8%	39%	53%
FACTORES TECNOLOGICOS	23%	26%	51%
FACTORES GEOGRAFICOS	6%	33%	61%
SUB TOTAL PUNTAJE	33	50	99
TOTAL PROCENTAJE	18%	27%	54%

Fuente autora

En esta matriz se encuentran diferentes factores, su mayor fortaleza se localiza en los factores políticos de Colombia con un 28% y su mayor debilidad con un porcentaje del 39% está en los factores sociales, sin embargo se identifica el mayor impacto en los factores geográficos.

7.1.3 Matriz DOFA.

La matriz DOFA debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. “identifica tanto factores externos (amenazas y oportunidades) como internos (fortalezas y debilidades). Se define como una herramienta de auditoría de la organización, para detectar tanto del impacto presente y futuro del entorno, como los problemas propios de la organización” (Arizabaleta, 2004).

Teniendo en cuenta que en la matriz se encuentran las siguientes estrategias FO: usar las fortalezas para aprovechar las oportunidades, FA: usar las fortalezas para evitar las amenazas, DO: superar las debilidades aprovechando las oportunidades y DA: reducir las debilidades evitando las amenazas. La matriz se puede apreciar en el anexo C o en la figura 4.

Las conclusiones obtenidas en el diagrama DOFA se toman en cuenta en las posibles mejoras para la línea de producción de condensador 1107125 ya que si estas afectan factores clasificados como debilidades o amenazas (el sindicato, los precios de condensador, el área de mantenimiento o retrabajos) para convertirlos en una fortaleza la simulación será viable, pero si ocurre lo contrario, en los factores y capacidades de la empresa mencionados en la tabla 3 y 2 son afectados de manera negativa esta posible solución será rechazada.

Los diferentes factores y aspectos se pueden ver inter-relacionados unos con otros identificándolos con los diferentes colores de cada estrategia planteada en las matrices (P.C.I) y (P.O.A.M)conformando (D.O.F.A)

Tabla 4 Matriz DOFA

DOFA		FORTALEZAS		DEBILIDADES	
		1F	CAPACIDAD TECOLOGICA DE LA EMPRESA	1D	FACTORES SOCIALES
		2F	FACTORES POLITICOS	2D	PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO
		3F	SATISFACCION AL CLIENTE	3D	TIEMPOS LARGOS DE SETUP
		4F	MARCA INTERNACIONAL	4D	RETRAJOS
OPORTUNIDADES		ESTRATEGIAS FO		ESTRATEGIAS DO	
1O	FLEXIBILIDAD MANUFACTURERA	Aprovechar el reconocimiento internacional y la capacidad tecnológica para cumplirle al cliente en tiempo y calidad de producto, aprovechando la programación de la producción adecuada y ordenada.	Si se tiene la oportunidad de programar adecuadamente la producción se podría hacer lo mismo para el mantenimiento y los setup, haciendo estas dos cosas se reducen los re trabajos.		
2O	CALIDAD EN EL PRODUCTO				
3O	CUMPLIMIENTO AL CLIENTE				
4O	PROGRAMACION DE LA PRODUCCION				
AMENAZAS		ESTRATEGIAS FA		ESTRATEGIAS DA	
1A	EL SINDICATO DE LA EMRPESA	Teniendo en cuenta los diferentes factores políticos puede la empresa darle más beneficios al sindicato ayudando a mantener alejado el mercado chino.	Si se reducen los re trabajos se puede mejorar el precio ofrecido por la compañía, además de ser más competitiva con el mercado chino.		
2A	MERCADO CHINO				
3A	COMPETENCIAS (PRECIOS BAJOS)				
4A	AREA MANTENIMIENTO				

Fuente: autora

7.2 Observación Indirecta

La observación indirecta “basada en fuentes escritas o entrevistas, a personas, profesionales o no que han tenido contacto previo con dichas comunidades” (Berdichewsky, 2002, pág. 128), el trabajo de campo se lleva a cabo en las instalaciones de Brus Refrigeration.

7.2.1 Determinación De La Población Y Muestra

La población para este cuestionario fue los operarios que tienen relación directa con el proceso productivo del condensador referencia: 1107125. Brus Refrigeration tiene aproximadamente 104 operarios y 45 trabajadores administrativos, de los cuales 50 son operarios que trabajan en la sección de condensadores, pero solo 7 operarios tienen contacto directo con el producto a trabajar, se dividen de la siguiente manera; soldador, doblador, taponador, empacador y 3 operarios en pintura.

Como la población es pequeña se clasificó como población finita la cual tiene un número limitado de elementos utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

Z=1.96, margen de confiabilidad va ser del 95 % por lo tanto el valor es de 1,96.

P =0.05, probabilidad de que el evento ocurra en este caso es de 5%.

q = 0.95 probabilidad de que el evento no ocurra donde q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)

d =0.03, error de estimación que será del 3%

N = 7, tamaño de la población

Debido al diagnóstico estratégico-organizacional y el contacto con los operarios durante 6 meses la probabilidad de confianza que ellos conozcan los procesos es del 95%, la información de los trabajadores seleccionados se puede apreciar en la tabla 11.

n = tamaño necesario de la muestra
reemplazamos los valores

$$n = \frac{7 * 1.96^2 * 0.05 * 0.95}{0.03^2 * (7 - 1) + 1.96^2 * 0.05 * 0.95}$$

$$n = \frac{1,277332}{0,187876}$$

$$n = 6,798$$

Como se puede observar el tamaño necesario para la muestra debe ser el total de operarios que interviene directamente con el producto.

7.2.2 Trabajo De Campo

Objetivo :Determinar cuales son las ventajas y dificultades en cada uno de los procesos por los cuales pasa el producto al interactuar con los operarios.

Se realizo el cuestionario para definir alternativas para posibles mejoras en los puestos de trabajo de cada proceso con el fin de disminuir tiempos estandar, comprobando la factibilidad de los objetivos propuestos en el trabajo

7.2.3 Diseño Del Cuestionario

“Un cuestionario es un conjunto articulado y coherente de preguntas redactadas en un documento para obtener informacion necesaria para poder realizar la investigacion que la requiere” (Grande & Abascal, 2005, pág. 25) se seleccionó este medio ya que traslada el objetivo de la investigación a preguntas concretas y homogeniza la información obtenida de las diferentes personas, todos los temas a responder se pueden ver en el anexo D.

7.2.3.1 Clase De Preguntas

Se realizaron dos tipos de preguntas :

Dicotómicas: “en ellas solo existen dos alternativas de respuesta, mutuamente excluyentes” (Grande & Abascal, 2005, pág. 31) como respuesta llevan el si o no.

Cerradas : “en ellas la alternativa de respuesta es limitada. El encuestado marca una o varias de las alternativas que se le ofrecen” (Grande & Abascal, 2005, pág. 30) tiene como ventaja que se responden con rapidez.

Es importante resaltar que este tipo de preguntas se pueden responder con facilidad y rapidez ya que en el momento de hacerlas a los operarios deben dejar de trabajar por algunos minutos.

7.2.4 Tabulación Y Análisis De La Información

Para la tabulación y análisis de los cuestionarios se analizaron los 17 ítems y sus respectivas respuestas para cada puesto de trabajo, para la verificación de la información se puede ver el anexo E y F.

Para aumentar el número de unidades producidas por los operarios según el estándar de unidades por hora que tiene la empresa es necesario hacer cambios a los puestos de trabajo de cada proceso, el 71% de los operarios manifestaron que no podrían aumentar el número de unidades por hora.

La mayoría de los operarios en su turno de 8 horas permanecen realizando la misma operación a diferencia de 2 que son el operario de prueba de fugas y taponado y uno de pintura cataforética. Todos tienen en la planta acceso al plano del condensador referencia 1107125 lo cual es una ventaja para resolver cualquier duda en cuanto a material y especificación del cliente, este se puede ver en el anexo G donde se encuentra el plano del condensador.

Los re trabajos es el nombre que se le da al producto no terminado con algún defecto, el cual requiere de un reproceso, todos los procesos sacan re trabajos pero en diferentes cantidades el proceso de soldadura es el que mayor número de unidades saca para ser reprocesados.

La trazabilidad es una herramienta conocida por todo el personal de planta que ayuda a conocer el histórico de la ubicación y la trayectoria del condensador. Cada operario anota en una tarjeta específica para un lote determinado de condensadores, datos básicos como nombre, turno y fecha. De vital importancia resulta que el 100% de los operarios lleven la trazabilidad.

El scarp es el nombre que recibe aquel condensador que tiene algún defecto por lo tanto no puede ser reprocesado, el único proceso que no genera scrap es el cual es doblado de orejas de puntas en el cual siempre existe la posibilidad de reparar el daño. El proceso que mayor cantidad de scrap genera es soldadura.

Los códigos de no conformidades son establecidos por la empresa para que el operario identifique la no conformidad y le asigne un código y además sepa clasificarla como scarp o retrabajo, el 43% reconoció no conocerlo debido a un cambio de códigos que la empresa realizó.

Es importante que todos conozcan la política de calidad que está enfocada a la satisfacción del cliente, la mayoría de los procesos llevan control de las unidades producidas por hora menos el proceso de pruebas de fuga como es una inspección obligatoria, el operario se dedica a realizarle a todos los condensadores la prueba sin excepción y no lleva control de esto. Pero cuando se controlan las unidades no conformes el único proceso que no lo realiza es el empaque el operario manifiesta que con los controles de calidad los defectos siempre son detectados antes de llegar al empaque.

Algo positivo que se observó y se evidenció en el cuestionario fue el uso de EPP *elemento de protección personal* del 100% de los operarios, al igual que el aseo del puesto de trabajo de cada proceso. El mantenimiento que se lleva a cabo o es preventivo o correctivo y la duración depende del proceso donde ocurra, puede ser de horas o días, dependiendo del daño.

Toda la información tabulada y en porcentajes se puede encontrar en el anexo E.

7.3 Observación Directa

7.3.1 Descripción Del Producto

El producto seleccionado es el condensador referencia 1107125, el cual tiene como materias primas tubo de diámetro 3/16” PEW (Peltre una aleación entre estaño y cobre), alambre de diámetro 1.27 mm aunque en el plano mostrado en la anexo G, señale el diámetro diferente, en la actualidad este condensador se produce con el diámetro anteriormente nombrado que es importado de Italia ya que el alambre nacional dificulta el trabajo a la máquina soldadora.

De vital importancia tenemos los tapones para los extremos de las puntas, en el plano se puede observar el *detalle c* donde hace referencia a una expansión la cual lleva el tapón 3161428 y la punta faltante lleva el tapón 31640R.

Para mayor detalle del producto se puede observar el plano de condensador distinguiendo las tolerancias y especificaciones de la materia prima.

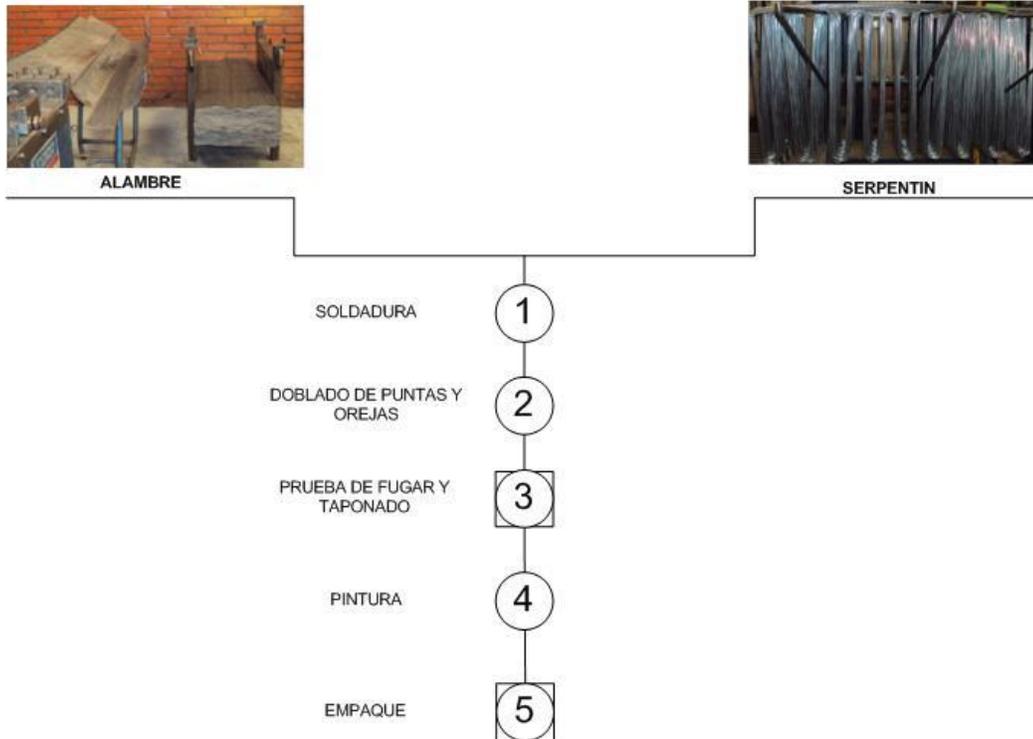
7.3.2 Diagrama De Operaciones

Es una herramienta visual para la comprensión de los procesos “el diagrama de operación es tiene un círculo por cada operación requerida para fabricar uno de los componentes, para armar el ensamble final y empacar el producto terminado. Están incluidos todos los pasos de producción, tareas y componentes” (Meyers & Stewart, 2002, pág. 72). Este diagrama identifica las materias primas en la parte superior y ofrece diferente información como es: secuencia de fabricación, secuencia de ensamble, necesidad de equipos. Lo podemos apreciar en el anexo H, las siguientes cinco operaciones y su explicación.

**BRUS REFRIGERATION OF COLOMBIA
DIAGRAMA DE OPERACIONES**



CONDENSADOR : 1107125
NUMERO DE OPERACIONES: 5



Fuente: autora

A cada proceso se le puede identificar las operaciones realizadas, cuáles son necesarias y cuáles no, además de mirar si las inspecciones realizadas por los operarios son demasiadas o muy pocas y finalmente revisar que pertinente es la secuencia de las operaciones.

7.3.3 Diagrama De Procesos

“El diagrama de procesos muestra todo el manejo, inspección, operaciones, almacenaje y retrasos que ocurren en cada componente conforme se mueve” (Meyers & Stewart, 2002, pág. 75) la figura 10, muestra la simbología implementada para el desarrollo y lectura del diagrama de procesos.

Figura 10 Simbología del diagrama de procesos

SIMBOLOS DEL DIAGRAMA DE PROCESOS		
EJECUCION DE UNA TRABAJO		OPERACION
SE USA FRECUENTEMENTE EN EL CONTROL DE CALIDAD		INSPECCION
MOVER MATERIAL		TRANSPORTE
ALMACENAMIENTO LARGO PLAZO		ALMACENAMIENTO
SE INTERFIERE EN EL FLUJO DEL PROCESO		RETRASO
SE REALIZA UNA OPERACIÓN Y UNA INSPECCION EN EL MISMO LUGAR O POR LA MISMA PERSONA		COMBINADA

Fuente: autora

Para nuestro condensador se definieron 5 procesos, para cada uno se realizó un diagrama con el objetivo de analizar como se comporta el proceso integrando los aspectos de cantidad y distancia. Se puede apreciar en el anexo I.

De los diagramas de procesos obtenidos podemos concluir:

Análisis de la gráfica de proceso de soldadura: esta persona únicamente se desplaza en un tramo largo a recolectar el alambre para la máquina y se mueve en su espacio de trabajo de 1 metro sacando, colocando serpentín y condensadores en la máquina, la persona está capacitada para hacerle pequeños ajustes al equipo, además de reconocer con facilidad un condensador bien soldado y uno que necesita ser re trabajado.

Análisis de la gráfica de proceso de doblado de orejas y puntas: en este proceso se realizan pocos desplazamientos y solo una inspección que es obligatoria ya que si las medidas el condensador están mal no van a encajar en el dispositivo, su trabajo está lleno de operaciones y desplazamientos muy cortos.

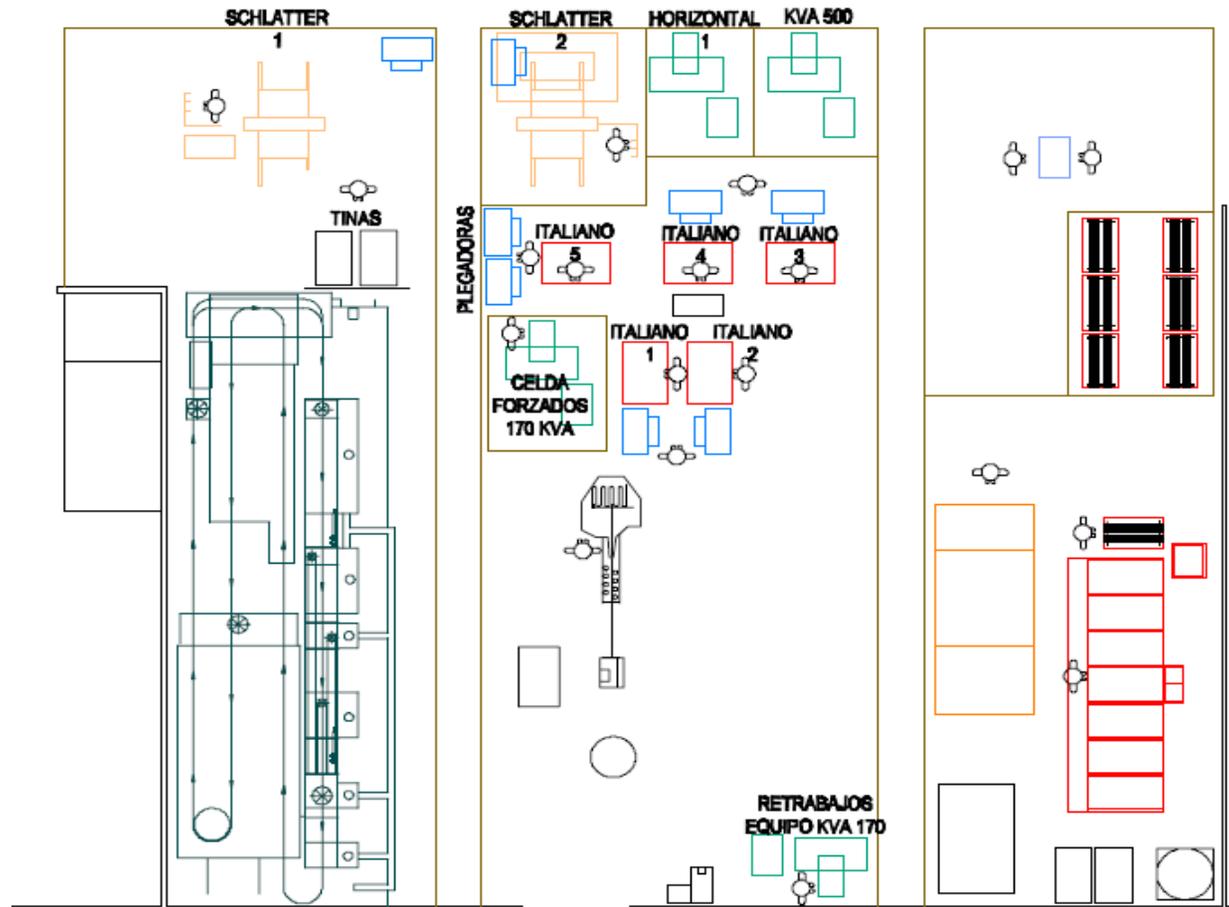
Análisis de la gráfica de proceso de doblado de prueba de fugas y taponado: esta operación es una inspección obligatoria para hallar en la materia prima fugas se sumergen en una solución especial anti corrosión, y se colocan los tapones adecuados en los extremos de las puntas el desplazamiento es muy corto y al finalizar estos quedan en un almacenamiento por un corto tiempo.

Análisis de la gráfica de proceso de doblado de pintura: la gráfica deja claramente que es el proceso que mayor desplazamiento requiere además de utilizar a 3 operario, este proceso presenta varias demoras como son el horno y la espera a que baje la temperatura del condensador para ser manipulado nuevamente, además de tener varias operación los operarios deben tener agilidad para colgar y descolgar además de conocimiento básico del funcionamiento cataforético de esta máquina, el único almacenamiento que se da es en la espera de llenar el huacal con 100 condensadores.

Análisis de la gráfica de proceso de doblado de empaque: pocos transportes pero con distancias grandes este operario se debe desplazar bastante, debe poder realizar varias operaciones, una inspección vital ya que esta es la última persona que tiene contacto con el producto antes de ser entregado al cliente, finalmente se realiza un almacenamiento que es aproximadamente de 1 día.

7.3.4 Layout

Figura 11 Layout



Fuente: Brus Refrigeration layout

7.3.4.1 Descripción De Las Áreas Que Interviene En El Proceso

El equipo schlatter 2 es donde se suelda el alambre y los serpentines obtenidos de las secciones nombradas anteriormente, acá trabajan 2 operarios uno que es el soldador, el otro es el doblador en un dispositivo realiza el doblado de puntas y orejas al condensador podemos apreciar el puesto de trabajo en la figura 11.

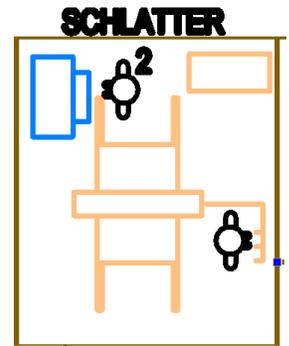


Figura 12 Proceso de soldadura y doblado

Fuente: Brus refrigeración Layout

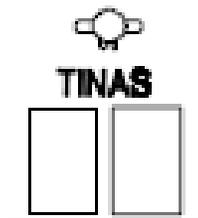


Figura 13 Procesos de pruebas

Fuente: Brus refrigeración Layout

Sección de tinas ilustrada en la imagen acá un operario se encarga de hacerle un prueba de fugas la cual detecta defectos en la tubería este proceso se lleva a cabo como un control de calidad y el operario se encarga de colocarle los tapones a cada extremo de la tubería.

Sección de pintura: trabajan 3 operarios que se dividen diferentes funciones para trabajar en conjunto en la maquina cataforética, el primer operario se encarga de colgar los condensadores en un gancho que puede contener máximo 30 condensadores, el segundo opera la maquina cataforética donde sumerge los condensadores en 7 tanques y los meten al horno el ultimo operario se encarga de sacar los del horno y descolgarlos del gancho. Para que el horno funcione necesita un mínimo de 1200 condensadores y una demora de 7 horas para alcanzar la temperatura óptima.

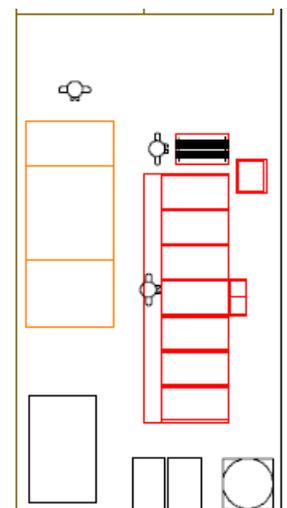


Figura 14 Proceso de pintura

Fuente: Brus refrigeración Layout

La sección de empaque se encarga de empacar el producto para el cliente ellos necesitan estar estratégicamente ubicados al lado de pintura que es el proceso que les suministra el material de trabajo.

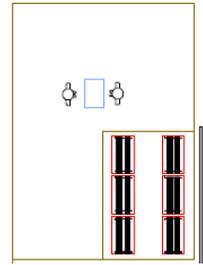


Figura 15 Proceso de empaque

Fuente: Brus refrigeración Layout

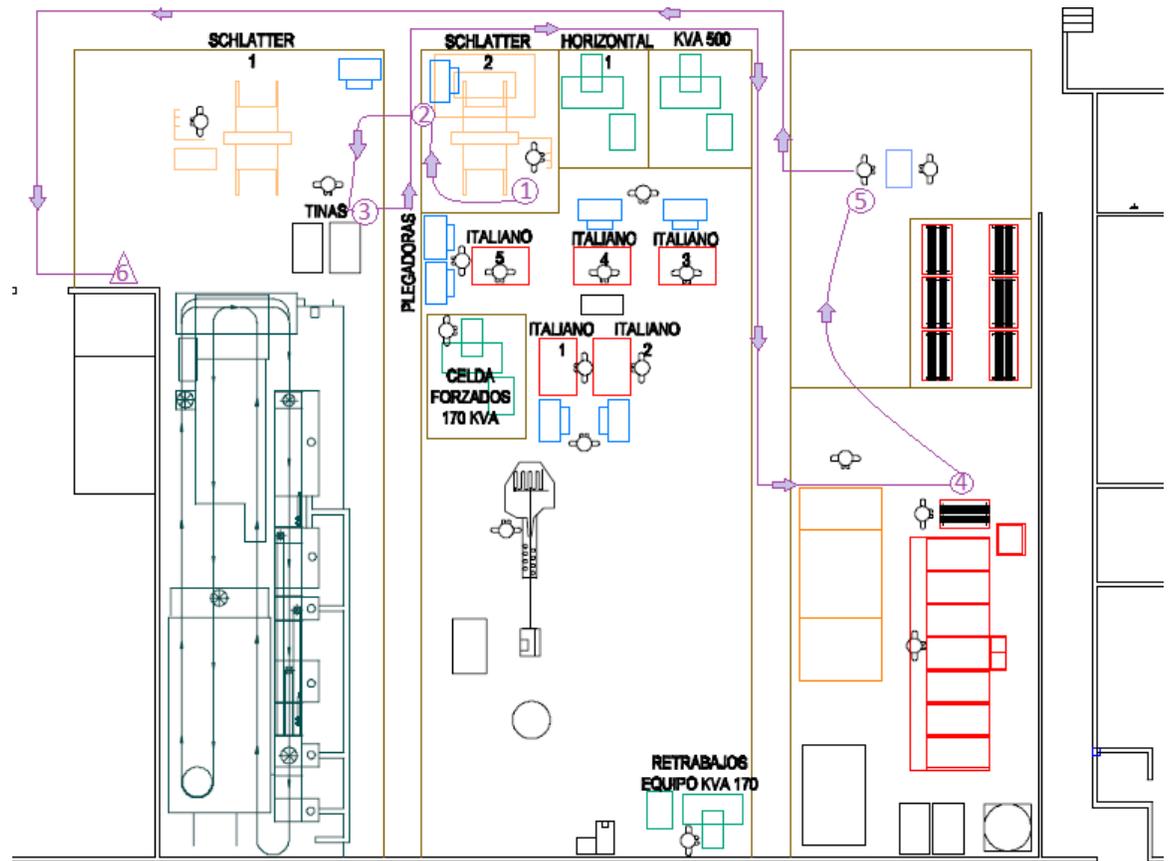
7.3.4.2 Diagrama De Recorrido

Se desarrolla en base al layout obtenido de la empresa Brus Refrigeration el diagrama de recorrido del condensador 1107125, se trabaja en el programa Draftsight donde se acotan los recorridos para obtener con la mayor precisión las distancias recorridas, previamente se verifico que las distancias que da el layout de Draftsight con las reales coincidieran, para así afirmar que están las medidas son a escala. Este se puede ver en el anexo J.

“los diagramas de recorrido son; diagramas analíticos de las operaciones del proceso dibujados sobre representaciones a escala de la sección o secciones donde el proceso se lleva acabo de tal forma que los símbolos ASME de cada sección se dibujan en la posición del lugar en que se realizan” (Vallhonrat & Corominas, 1991, pág. 62)

Se realiza un mismo diagrama de recorrido para los 5 procesos definidos. En la figura 16 se encuentran las operaciones y dirección del recorrido.

Figura 16 Recorrido en el layout del condensador



Fuente: Brus refrigeración layout

Tabla 5 Desplazamiento entre procesos

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	SOLDADURA	DOBLADOR	4,4	1
2	DOBLADOR	PRUEBA TINAS	4,27	2
3	TINAS	PINTURA	35,8	3
4	PINTURA	EMPAQUE	9,2	4
5	EMPAQUE	ALMACEN	42,3	5,6
total			95,97	METROS

Fuente: autora

Para mayor claridad de las distancias recorridas por los operarios en cada puesto de trabajo y las actividades que ellos realizan se hace diagrama de recorrido a cada proceso.

Resumen de los recorridos por procesos:

Todos los diagramas de recorrido de casa proceso se puede apreciar en el anexo k allí estarán los diagramas de recorrido donde se muestran gráficamente los significados de las convenciones.

Recorrido soldadura

Tabla 6 Recorrido puesto de trabajo soldadura

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	maquina	tara de alambre	6,56	A, B
2	tara de alambre	maquina lado #1	2,2	C
3	maquina lada #1	tara de alambre	2,2	A, B
4	tara de alambre	maquina lado #2	3,5	C
5	maquina	guías	2,12	D
6	guías	maquina	1,42	E, I, J
7	maquina	estibas	1,1	F, G
total distancia			19,1	METROS

Fuente: autora

Recorrido de doblado de orejas y puntas

Tabla 7 Recorrido puesta de trabajo doblado

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	maquina schlatter	zona doblado	3,46	A, B
2	zona doblado	dispositivo	1	C,D,E,F,G,H
3	dispositivo	estiba	1	I, J
total distancia			5,46	METROS

Fuente: autora

Recorrido de fugas y taponado

Tabla 8 Recorrido del puesto de trabajo prueba

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	maquina schlatter	tina	5	A
2	tina	estibas	1	B,C,D
total distancia			6	METROS

Fuente: autora

Recorrido de pintura

Tabla 9 Recorrido puesto de trabajo pintura

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	colgador	desengrase	4,2	A
2	desengrase	enjuague	3,5	B
3	enjuague	pintura	3,5	C
4	pintura	horno	7,6	D,E
5	salida horno	descolgado	6,4	F
total distancia			25,2	METROS

Fuente: autora

Recorrido de empaque

Tabla 10 Recorrido puesto de trabajo empaque

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	descolgado	empaque	3,4	A,B,C,D,E,F
2	empaque	almacenamiento	42,3	G
total distancia			45,7	METROS

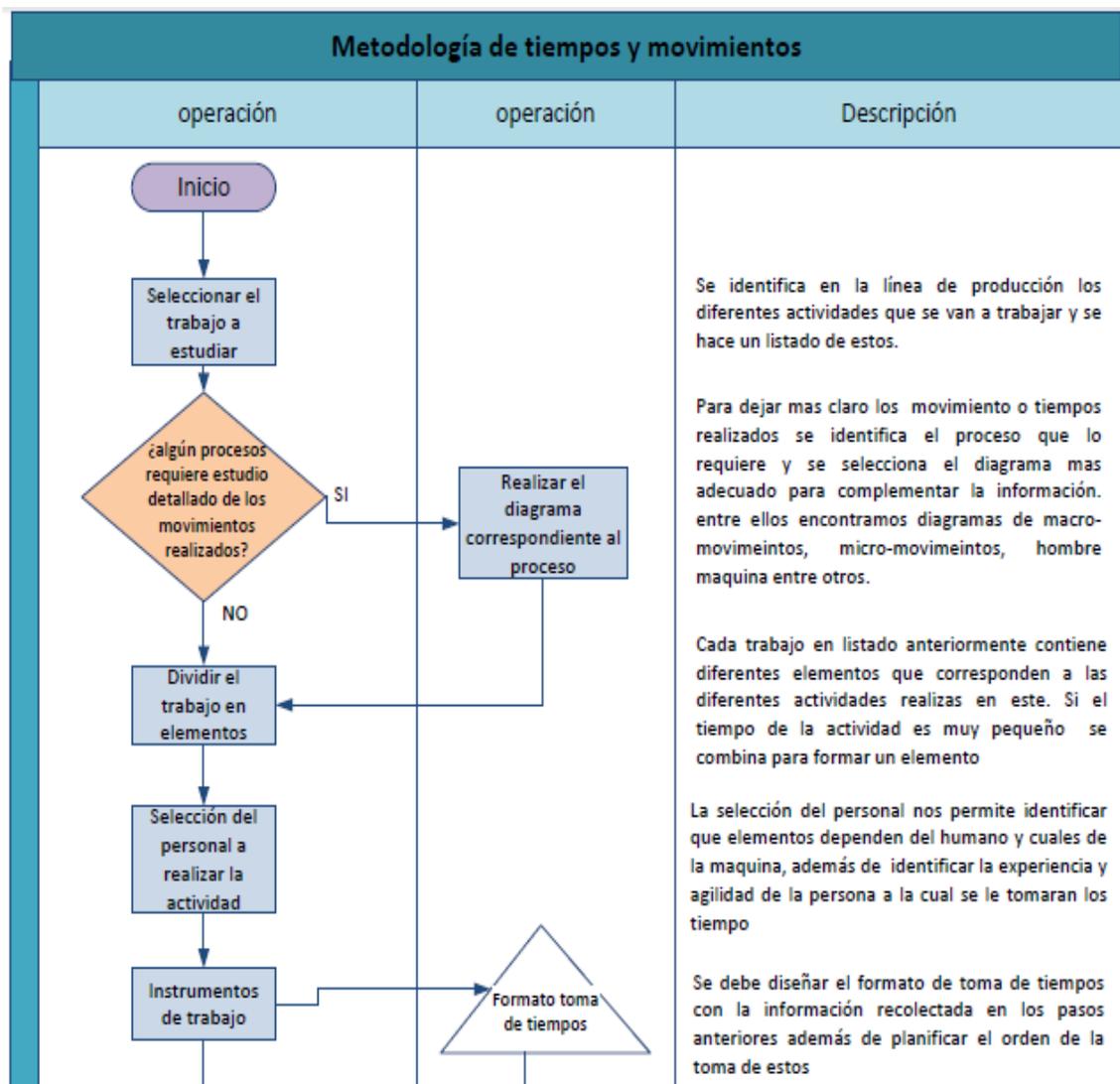
Fuente: autora

7.3.5 Estudio De Tiempos Y Movimientos

Estudio de tiempos es el proceso por el cual se va a determinar el tiempo que se requiere un operador hábil y bien capacitado para trabajar a ritmo normal para que desarrolle una tarea específica.

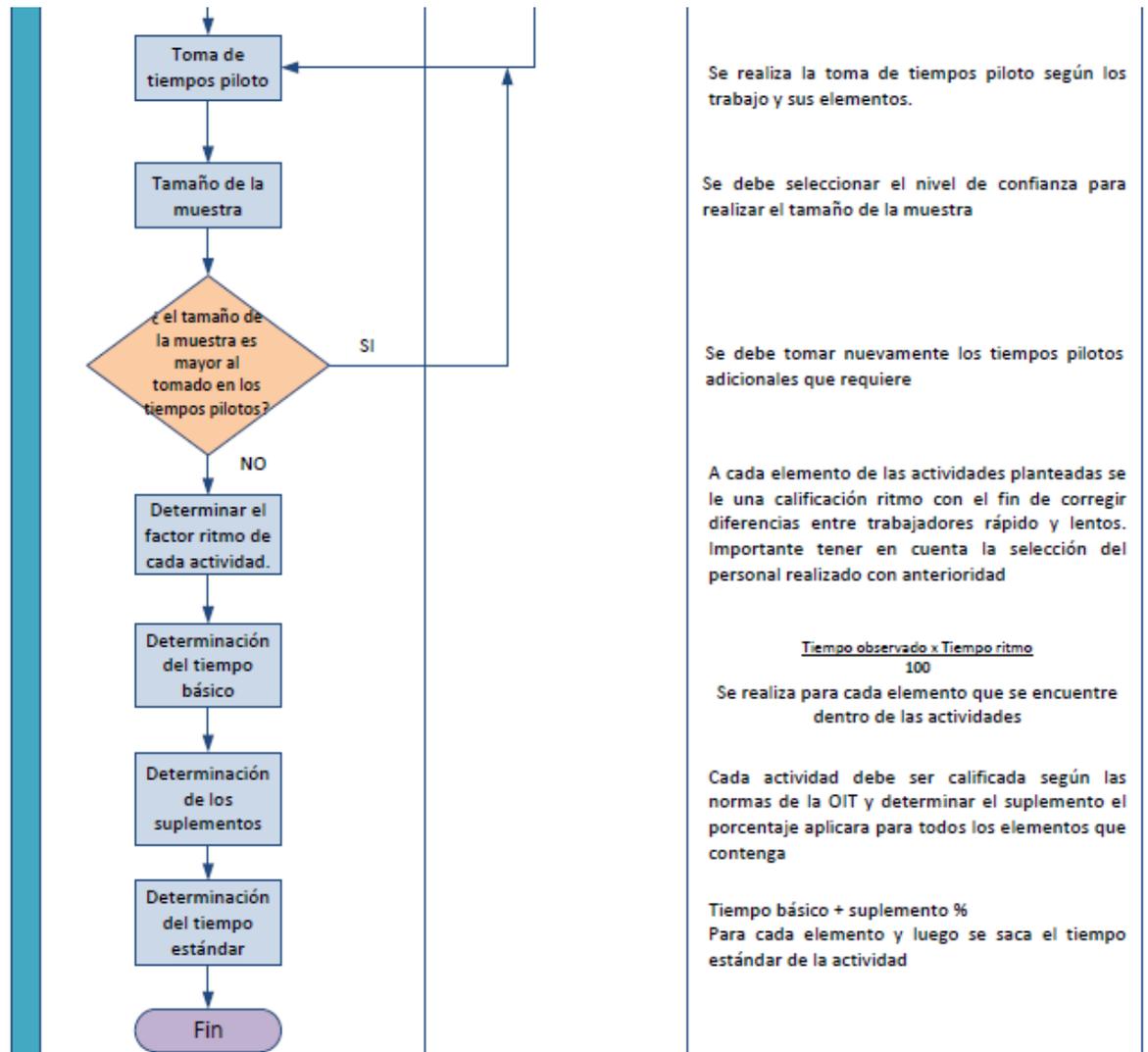
Diseño metodologico propuesto para el estudio de tiempos y moviminetos, La imagen de la metodología se puede apreciar completa en el anexo FF.

Figura 17 Metodología tiempos y movimientos 1



Fuente: autora

Figura 18 Metodología tiempos y movimientos 2



Fuente: autora

Seleccionar el trabajo a estudiar: el trabajo seleccionado para el estudio de tiempos fue el condensador 1107125 el cual se dividió en los siguientes 5 procesos anteriormente trabajados:

1. Proceso de soldadura
2. Proceso de doblado de orejas y puntas
3. Proceso de prueba de fugas y taponado
4. Procesos de pintura
5. Procesos de empaque

Diagrama hombre-maquina: “este diagrama sirve para estudiar la implicaciones que implica el trabajo de cada puesto, para analizar y valorar el grado de juste o de sincronización recíproca entre el hombre y la máquina” (Roig, 1996). Para estos procesos el único que requiere de este diagrama es el proceso de soldadura ya que depende del 100% de la máquina lo podremos ver en el anexo L donde está el diagrama hombre-maquina.

Dividir el trabajo en elementos: los 5 procesos son sometidos a su descomposición en base a las operaciones planteadas anteriormente, algunas operaciones se combinaron debido a que su tiempo es muy pequeño esto se puede apreciar en el anexo M donde estarán las operaciones de cada proceso. En resumen la cantidad de elementos corresponde a:

1. Proceso de soldadura-----5 elementos
2. Proceso de doblado de orejas y puntas-----3 elementos
3. Proceso de prueba de fugas y taponado----- 3 elementos
4. Procesos de pintura-----6 elementos
5. Procesos de empaque-----7 elementos

Selección de los operarios:

Tabla 11 Descripción operarios con contacto directo al producto

#	PROCESO	ELEMENTOS	OPERARIO	EXPERIENCIA EN EL PROCESO
1	Proceso de soldadura	todos	Cesar Díaz	4 años
2	Proceso de doblado de orejas y puntas	todos	Iván Varón	2 años
3	Proceso de prueba de fugas y taponado	todos	Rafael Fernández	5 años
4	Procesos de pintura	1	Weimar	3 años
		2,3,4,5,6	John	3 años
		7	Rodrigo	4 años
5	Procesos de empaque	todos	Jairo Estrada	2 años

Fuente: autora

Instrumentos de trabajo : se diseñó un formato la toma de tiempo y un cronometro. Se cronometron los cuatro procesos seprados al igual que cada uno de sus elementos.

Tiempos piloto : se toman los tiempos piloto de acuerdo el procesos la cantidad toma varia ya que en algunos se manipulan 1 , 30 o 100 condensadores para realizar la operación. No se tiene en cuenta los tiempos de paro o donde el operario sufre alguna distraccion. Estos los podemos ver en el anexo N de los tiempos piloto.

Tamaño de la muestra: para determinar el numero de observaciones preliminaresse va usar el metodo estadistico con un nivel de confianza del 95,45% y un margen de error de +5% usando la siguiente formula:

Figura 19 Formula de muestra 95% de confianza

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Fuente (Nibel, 1996)

- n= tamaño de la muestra a calcular
- n'=observacones prelimnares
- Σ = sumatoria
- X=valores de la observacion
- 40= es una constante de nivel de confianza de 95,45%

Esta formula se usó para verificar el número de tiempos pilotos tomados, asegurando que fueran suficientes. Donde el tamaño de la muestra a calcular n debe dar un número mayor al número de tiempos pilotos tomados. Si esto no llegara a ocurrir y $n < \#$ tiempos tomados se realiza la toma de tiempos faltante.

Tabla 12 Resumen tamaño de muestras

TAMAÑO DE LA MUESTRAS					
	OPERACIÓN				
ELEMENTOS	1	2	3	4	5
1	7,43	9,70	12,55	8,87	7,61
2	0,16	6,55	5,20	0,00	8,52
3	8,82	8,19	9,78	0,00	9,79
4	5,97			0,00	9,79
5	1,09			0,00	9,61
6				8,62	8,43
7					1,53

Fuente: autora

Como resultados se obtubo de la operación 3 el elemento 1 con un tamaño de muestra superior a 10 entonces solo para este proceso se tomará un tamaño de muestra de 13 para todos sus elementos. El resto de procesos se trabajaran con 10 muestras.

Factor ritmo de la actividad FR: “este concepto surge de la necesidad de corregir las diferencias que producen trabajadores rapidos, normales y lentos al ejecutar una misma tarea” (Neira, pág. 95), se determinar con la ayuda de la escala mostrada en la figura 20 Se puede observar el valor asignado a cada elemento del proceso en el anexo N.

Figura 20 Escala de calificación del factor ritmo

Escala	Actividad	Velocidad en Km./h
0 - 100		
0	Ninguna	0
50	Muy lento, inseguro y movimientos torpes.	3,2
75	Actividad normal , constante, sin prisas pero no pierde tiempo, bien dirigido y controlado. No sujeto a incentivos de producción.	4,8
100	Actividad óptima o ritmo tipo , activo, capaz, obrero cualificado medio, incentivado, alcanza el nivel de calidad exigido.	6,4
125	Gran seguridad, coordinación y destreza, muy rápido. Por encima del operario cualificado medio.	8
150	Extraordinariamente rápido, pero sólo en cortos períodos de tiempo.	9,6

Nibel, B. (1996). *Ingeniería industrial metodos, tiempos y movimientos*. Alfomega s.a

Determinación del tiempo básico: este tiempo se obtiene al multiplicar el tiempo observado por el tiempo ritmo de la operación y dividido en el tiempo basico que es igual a 100, esto se puede encontrar en el anexo O el cual contiene los tiempo estandar, se calcula para cada uno de los 5 procesos.

Determinación de suplementos: para determinar los suplementos es necesario el uso de tablas de la organización internacional del trabajo a cada proceso se evalúa el esfuerzo en letras correspondiente; A alto, M medio y B bajo, luego se le da el puntaje se suma el total de puntos y se utiliza la tabla de conversión de puntos para obtener el porcentaje de suplemento esta la podemos observar en el anexo P.

Tabla 13 Puntuación de los suplemento

SUPLEMENTOS			PROCESOS									
OBSERVACION			SOLDADUR A		DOBLAR		PRUEBA		PINTURA		EMPAQUE	
			ESF U	PUN T	ESF U	PUN T	ESF U	PUN T	ESF U	PUN T	ESF U	PUN T
A) TENSION FISICA	1	FUERZA EJERCIDA	B	6	B	6	B	6	B	8	B	8
	2	POSTURA	B	3	B	3	B	3	B	3	M	7
	3	VIBRACIONES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	CICLO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	ROPA	M	5	B	3	B	3	M	7	B	2
B) TENSION MENTAL	1	CONCENTRACION	B	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	MONOTONIA	M	7	M	5	B	2	M	5	B	2
	3	TENSION VISUAL	-	-	B	2	-	-	B	2	-	-
	4	RUIDO	A	8	M	3	M	3	-	-	B	1
C) TENSION FISICO / MENTAL	1	TEMPERATURA	-	-	-	-	-	-	M	9	-	-
	2	VENTILACION	-	-	-	-	-	-	M	4	-	-
	3	GASES	M	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	POLVOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	SUCIEDAD	A	7	A	7	B	2	M	3	M	3
	6	PRESENCIA AGUA	-	-	-	-	B	2	B	2	-	-
TOTAL PUNTOS				43		29		21		43		23
TOTAL SUPLEMENTO				20%		15%		13%		20%		13%

Fuente: autora

Determinación del tiempo estándar: El tiempo estándar lo vamos a obtener sumándole el porcentaje de suplemento al resultado de la media obtenido del tiempo básico de cada elemento en los diferentes procesos. “el tiempo estándar se define como el tiempo que se ha determinado como necesario para que una persona calificada trabajando al ritmo ordinario experimentando los retrasos y fatigas normales” (Bennington, 2002, pág. 241).

Para el para determinar el tiempo estándar del proceso de soldadura se tienen en cuenta solo 3 de los 5 elementos, ya que estos completan un ciclo definido anteriormente en el anexo L de diagrama hombre-maquina.

Tabla 14 Tiempos estándar

TIEMPOS ESTANDAR	
NOMBRE PROCESO	UNIDADES CONDENSADORES POR HORA
SOLDADURA	67
DOBLAR	101
PRUEBA	87
PINTURA	41,5
EMPAQUE	760

Fuente: autora

Para definir la unidades totales que se pueden obtener al finalizar una jornada laboral se diseña un gannt de produccion de 24 horas que se encuentra en el anexo Q, en este se puede apreciar que al finalizar la jornada en la seccion de empaque vamos a obtener un total de 82 unidades sin tener en cuenta los tiempos que se requiere para desplazarse, para obtener el total de horas del desplazamiento se multiplica este tiempo por la cantidad de horas que lo realiza para cada proceso, para un total de 38 minutos de desplazamiento de todos los procesos en 24 horas. Al tomar este tiempo encuentra el total de condensadores que podemos obtener es de 69.

7.3.6 Análisis De La Información Para La Simulación

Replicas

“Al realizar una corrida de simulación el resultado promedio de las variables del sistema tienen un período de inestabilidad conforme transcurre el tiempo, esas variables tienden a un estado estable y es entonces cuando los valores de las variables de respuesta son confiables” (Velez).

Para desarrollar las réplicas para cada proceso se usan dos herramientas

- ✓ Primera fórmula: Cuando la media y la variancia de la distribución a simular son 30 o menos elementos entonces se usa la siguiente ecuación para sacar el número óptimo de réplicas:

$$n = \frac{s^2 (t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})^2}{k^2}$$

t=Estadístico de la distribución t-student. (Muestra de 10 datos =2,228 y para una muestra de 13 datos =2,160)

K=Desviación absoluta máxima permitida sobre la media de la distribución a simular.

s²=Estimador de la variancia de la distribución a simular.

Resultados de se encuentra en la siguiente tabla 15, donde indica el número necesario de réplicas para cada procesos estos datos son suministrados por el anexo R de réplicas.

Tabla 15 Resumen replicas t-student

REPLICAS T-STUDENT					
ELEMENTOS	PROCESOS				
	SOLDADURA	DOBLAR	PRUEBA	PINTURA	EMPAQUE
1	1,8	2,1	2,1	1,7	1,7
2	1,7	1,9	1,7	1,7	1,7
3	1,6	2,1	1,5	1,7	1,7
4	1,6			1,7	1,7
5	3,0			1,7	1,7
6				1,7	1,7
7					1,7

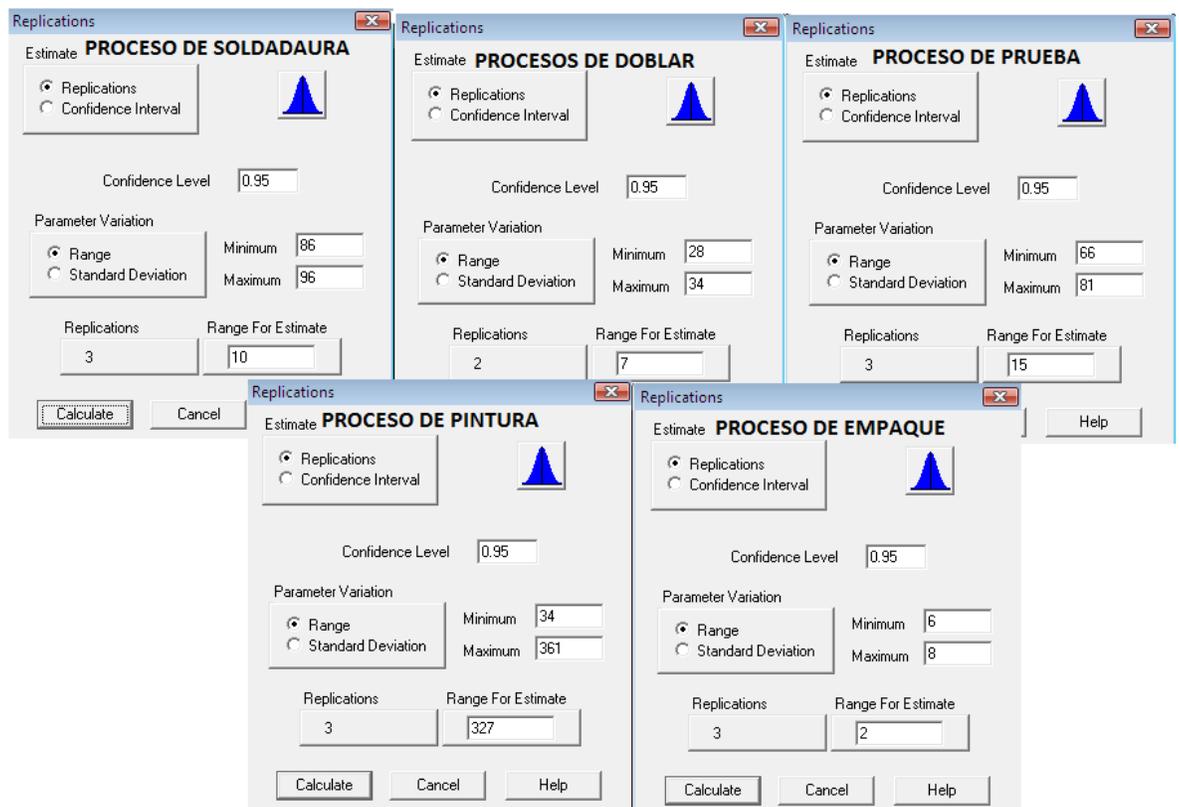
Fuente: autora

- ✓ Replicas usando staffit

“para el resultado de una variable aleatoria estable en una simulación, es necesario garantizar que la longitud de la replica, n sea suficientemente grande” (Duna, Garcia, & Cardenas, 2006) con el fin de no encontrar grandes variaciones.

El programa stat fit pide un nivel de significancia que sera del $95\%=0.95$, ademas de los valores minimos, maximo y el rango que ya se encuentran en el anexo R de replicas y los resultados arrojados por el programa en el anexo S replicas en stat fit.

Figura 21 Réplicas de statfit



Fuente: autora

Comparacion resultados de replicas:

La comparacion de los resultados se observa en la tabla 16, muestra los resultados obtenidos por los dos metodos. Con *t-student* se obtubo una media de 2,12 con un rango de 1,7 a 3 y en *statfit* una media de 2,8 con un rango de 2 a 3. Se observo la intercescción de los intervalos de confianza por lo cual se validan los resultados y se selecciona el numero

obtenido en el rago superior, en ambos casos es 3 para generar un tototal de 3 replicas para todos los procesos. Excepto el procesos de doblar el unico que solo necesita 2 replicas.

Tabla 16 Comparación resultados statfit t-student

COMPARACION RESULTADOS DE REPLICAS					
METODO	PROCESOS				
	SOLDADURA	DOBLAR	PRUEBA	PINTURA	EMPAQUE
T-STUDENT	3,0	2,1	2,1	1,7	1,7
STAT FIT	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0

Fuente: autora

La metodología desarrollar está fundamentada en la simulación discreta por lo cual se definió con anterioridad el número óptimo de réplicas en la simulación.

Generación de números aleatorios. Se implementa el metodo, Generadores congruenciales lineales donde se generan numeros pseudoaleatorios a través de relaciones matematicas de recurrencia caracterizandose por ontemer resultados determinísticos. La formula para su implementacion es la siguiente:

$$x_{n+1} = (ax_n + c) \text{ mod } m$$

Donden se debe cumplir lo siguiente con cada elemento

$x_0 = \text{la semilla } (x_0 > 0)$, cualquier numero entero, tiempo estandar obtenido.

$a = \text{el multiplicador } (a > 0)$, el valor de a se obtiene de la siguiente expresion $a = 8t \pm 3$ donde t es el valor maximo.

$c = \text{constate aditiva } (c > 0)$, la constante es la media del elemento

$m = \text{modulo } (m > x_0, c > 0, a > 0)$, se usan la expresion 2^k donde se eleva al valor obtenido que corresponde al valor minimo del elemento

Obtenemos una secuencia de números aleatorios para cada elemento se puede ver en el anexo T donde está el método lineal congruencial que se encuentra formulado para generar los números aleatorios, se necesita cambiarle las 4 variables según los resultados de cada elemento.

Tabla 17 Comparación réplicas y números de elementos

REPLICAS PARA CADA PROCESO					
ITEM	PROCESOS				
	SOLDADURA	DOBLAR	PRUEBA	PINTURA	EMPAQUE
CANTIDAD DE REPLICAS	3	2	3	3	3
NUMERO DE ELEMENTOS	10	10	13	10	10
# DE TIEMPOS REPLICADOS	30	20	39	30	30
TOTAL NUMEROS					149

Fuente: autora

Como se muestra en la tabla 17 los números aleatorios usados en total fueron de 149 para todos los elementos. Usando la información de cantidad de réplicas y los números aleatorios para cada elemento genero el anexo U los aleatorios en réplicas.

La herramienta *Generación de números aleatorios* se implementa como un ejercicio académico pero se recomienda el uso de software o programas diseñados para la creación de estos ya que ofrecen una mayor confiabilidad en sus números. Estos tienen tests de calidad donde se verifican los tiempos de ciclo, la distribución, correlación, dispersión entre otros. Actualmente en la industria colombiana es difícil adquirirlos por sus elevados costos por esto se acudió a las herramientas de generación de números aleatorios. Actualmente el libro *Discrete-event System Simulation*, en el capítulo random numbers ofrece una alternativa en la web para la generación de números aleatorios.

Distribución de cada elemento dentro de los procesos

En base a los numeros aleatorios obtenidos en el paso anterior para cada proceso y cada elemento le asigno una una distibucion que se obtiene del programa Stat Fit donde se ingresan los datos y se obtiene la siguiente informaicon:

1. Distribucion no rechazadas y rechazadas “Auto fit of distribution”
2. Grafica comparativa de las distribuciones “fitted density”
3. Graficas de dispersion y autocorrelacion “scatter y autocorrelation”

Que se encuentra en el anexo V distibucion y en las tabla 18, vemos observamos los resultados de las distribuciones.

Los resultados obtenidos son:

Tabla 18 Resultados distribución statfit

SOLDADURA	
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STATFIT
maquina soldando	lognormal(27., 2.04e-002, 0552)
sacar y meter guías a la maquina	lognormal(8., 0,473, 0592)
alimentar el equipo	Exponential(33., -0.317, 1.03)

DOBLAR OREJAS Y PUNTAS	
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STATFIT
poner en el dispositivo	Uniform(4., 5.36)
doblar puntas y orejas	lognormal(20., 0.904, 0.564)
sacar del dispositivo	lognormal(2., -2.07E-002, 0.448)

PRUEBA	
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STATFIT
meter en la tina	Uniform(7., 8.98)
barrer con aire	Uniform(22., 27,9)
taponar	Exponential(36., 3.73)

PINTURA	
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STATFIT

colgar condensadores en ganchos	lognormal(7., -0.399, 0.989)
tiempo estándar de espera	lognormal(23., 0.372, 1.34)
descolgar condensadores de ganchos	lognormal(3., 0.655, 0.933)

EMPAQUE	
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STATFIT
contar cantidad	lognormal(0., -1.39, 0.145)
sacar o poner	lognormal(0., -1.55, 7.64e-002)
zunchar	Uniform(2., 2.9)
cerrar huacal	lognormal(1., -1.3, 0.918)
colocar estreches	lognormal(0., -0.872, 0.345)
identificación y trazabilidad	lognormal(1., -1.19, 0.962)
almacén	lognormal(1., -1.98, 1.19)

Fuente: autora

Para validad o vereficar nuestro sistema se implementa una herramienta llamada Promodel definido el software para simular se requiere exportar las distribuciones obtenidas anteriormente al lenguaje de Promodel con Statfit donde se exporta los siguientes resultados:

Tabla 19 Resultados distribución exportada a Promodel

SOLDADURA		
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
maquina soldando	lognormal(27., 2.04e-002, 0552)	27.+L(1.19, 0.71)
sacar y meter guías a la maquina	lognormal(8., 0,473, 0592)	8.+L(1.91, 1.24)
alimentar el equipo	Exponential(33., -0.317, 1.03)	33.+E(1.15)

DOBLAR OREJAS Y PUNTAS		
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
poner en el dispositivo	Uniform(4., 5.36)	U(4.68, 0.68)
doblar puntas y orejas	lognormal(20., 0.904, 0.564)	20.+L(2.89, 1.77)
sacar del dispositivo	lognormal(2., -2.07E-002, 0.448)	2.+L(1.08, 0.51)

PRUEBA		
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
meter en la tina	Uniform(7., 8.98)	U(7.99, 0.99)
barrer con aire	Uniform(22., 27,9)	U(24.9, 2.95)
taponar	Exponential(36., 3.73)	36.+E(3.73)

PINTURA		
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
colgar condensadores en ganchos	lognormal(7., -0.399, 0.989)	7.+L(1.09, 1,41)
tiempo estándar de espera	lognormal(23., 0.372, 1.34)	23.+L(3.75, 8.01)
descolgar condensadores de ganchos	lognormal(3., 0.655, 0.933)	3.+L(2.98, 3.51)

EMPAQUE		
NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
contar cantidad	lognormal(0., -1.39, 0.145)	L(0.252, 3.68e-002)
sacar o poner	lognormal(0., -1.55, 7.64e-002)	L(0.223, 1.63e-002)
zunchar	Uniform(2., 2.9)	U(2.45, 0.45)
cerrar huacal	lognormal(1., -1.3, 0.918)	1.+L(0.413, 0.475)
colocar estreches	lognormal(0., -0.872, 0.345)	L(0.444, 0.158)
identificación y trazabilidad	lognormal(1., -1.19, 0.962)	1.+L(0.482, 0.595)
almacén	lognormal(1., -1.98, 1.19)	1.+L(0.281, 0.494)

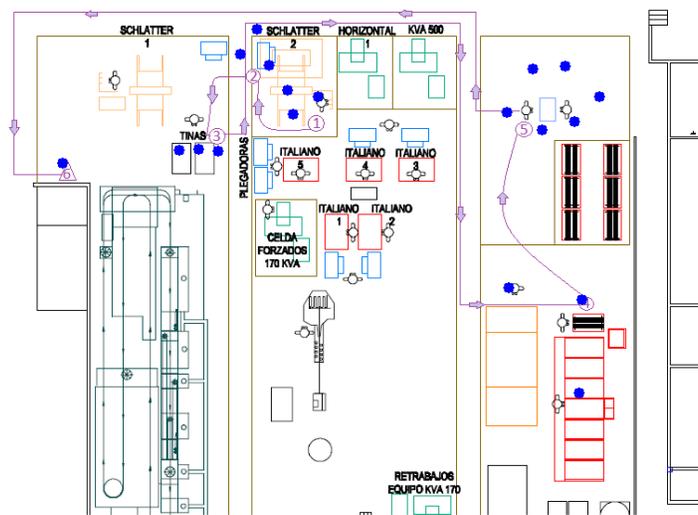
Fuente: autora

7.3.7 Simulación Del Sistema Actual Con Promodel

Los parámetros del tiempo de simulación se dan en un periodo de 24 horas que equivale a 2 jornadas de trabajo, se seleccionó este tiempo para ver los resultados finales más significativos para todos los procesos ya que un tiempo muy corto no deja apreciar resultados de los últimos procesos. Para el análisis de los resultados siempre se mira en conjunto los elementos correspondientes a cada proceso.

En la figura 22 se puede apreciar el layout de la empresa usado para elaborar la simulación, donde se pueden apreciar los círculos azules como la representación de los elementos de cada proceso.

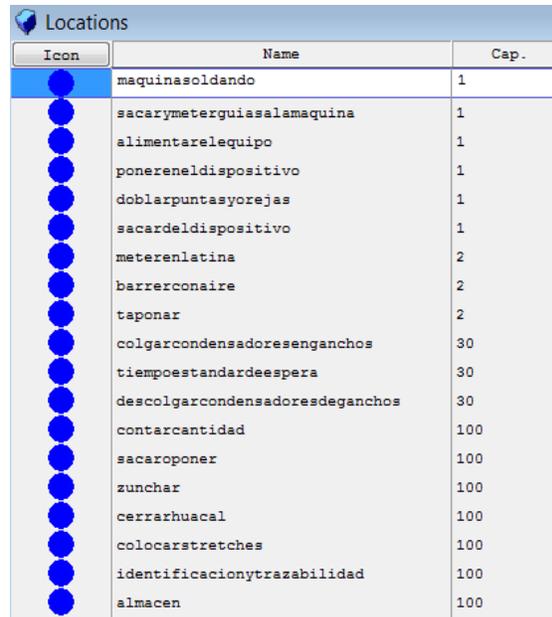
Figura 22 Layout simulación



Fuente: autora y Promodel

En la figura 23, se aprecian un total de 19 locaciones con su respectiva capacidad para llevar a cabo la simulación

Figura 23 Descripción de las locaciones a simular



Icon	Name	Cap.
●	maquinasoldando	1
●	sacarymeterguiasalamaquina	1
●	alimentarelequipo	1
●	ponereneldispositivo	1
●	doblarpuntasyorejas	1
●	sacardeldispositivo	1
●	meterenlatina	2
●	barrerconaire	2
●	taponar	2
●	colgarcondensadoresenganchos	30
●	tiempoestandardeespera	30
●	descolgarcondensadoresdeganchos	30
●	contarcantidad	100
●	sacaroponer	100
●	zunchar	100
●	cerrarhuacal	100
●	colocarstretches	100
●	identificacionytrazabilidad	100
●	almacen	100

Fuente: autora y Promodel

Se definen la entidad en este caso es única representada como una caja gris y se llamara condensador se puede apreciar en la figura 24

Figura 24 Entidad definida en Promodel



Icon	Name
	condensador

Fuente: autora y Promodel

Además del ingreso de estos datos se define el tiempo de llegada a la primera locación y se le indica al programa el recorrido de la entidad por cada locación además de ingresar la distribución correspondiente.

7.3.7.1 Resultados Obtenidos De La Simulación

Promodel arroja una serie de tablas que interpretaremos a continuación la primera figura 25, corresponde a la información del tiempo del sistema de un total de 24 horas y los datos de ubicación del archivo además de la fecha y hora cuando se realizó.

Figura 25 Reporte general de simulación sistema real

General Report (Normal Run - Avg. Reps)	
General	Locations Location States Multi Location States Single Failed Arrival:
SIMULACION.MOD (Normal Run - Avg. Reps)	
Name	Value
Run Date/Time	25/12/2012 05:10:55 p.m.
Model Title	Normal Run
Model Path/File	E:\SIMULACION.MOD
Average Warmup Time (HR)	0
Average Simulation Time (HR)	24

Fuente: autora y Promodel

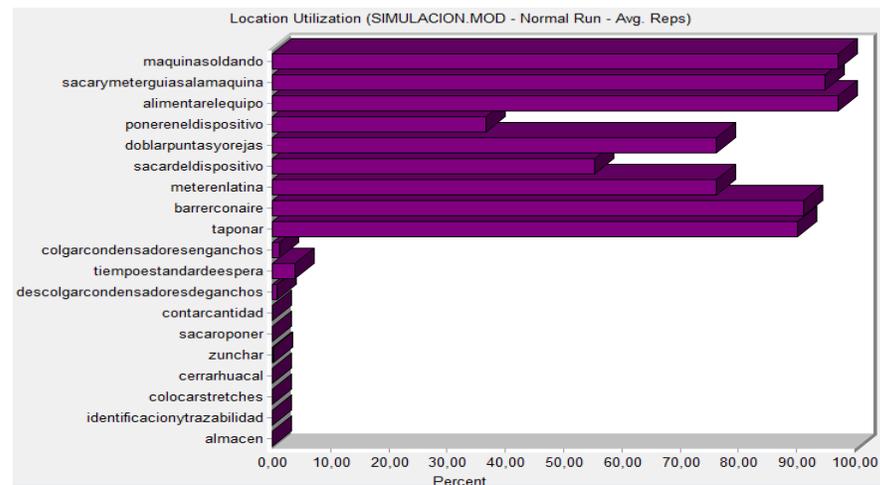
Figura 26 Utilización de locaciones del sistema real

SIMULACION.MOD (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Schedule Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
maquinasoldando	24,00	1,00	42,33	33,02	0,97	1,00	1,00	97,07
sacarymeterguiasalamaquina	24,00	1,00	41,33	33,04	0,95	1,00	1,00	94,83
alimentarelequipo	24,00	1,00	40,33	34,71	0,97	1,00	1,00	97,20
ponereneldispositivo	24,00	1,00	39,33	13,46	0,37	1,00	1,00	36,74
doblarpuntasyorejas	24,00	1,00	38,33	28,62	0,76	1,00	1,00	76,16
sacardeldispositivo	24,00	1,00	37,33	21,36	0,55	1,00	1,00	55,34
meterenlatina	24,00	2,00	36,33	60,37	1,52	2,00	2,00	76,16
barrerconaire	24,00	2,00	69,00	38,06	1,82	2,00	2,00	91,18
taponar	24,00	2,00	67,00	38,79	1,80	2,00	2,00	90,22
colgarcondensadoresenganc...	24,00	30,00	65,00	7,96	0,36	2,00	0,67	1,20
tiempoestandardeespera	24,00	30,00	64,33	26,04	1,16	3,00	0,33	3,88
descolgarcondensadoresdeg...	24,00	30,00	64,00	5,87	0,26	2,00	0,67	0,87
contarcantidad	24,00	100,00	63,33	0,25	0,01	1,00	0,33	0,01
sacaroponer	24,00	100,00	63,00	0,22	0,01	1,00	0,00	0,01
zuncher	24,00	100,00	63,00	2,44	0,11	2,00	0,33	0,11
cerrarhuacal	24,00	100,00	62,67	1,36	0,06	2,00	0,00	0,06
colocarstretches	24,00	100,00	62,67	0,45	0,02	1,67	0,00	0,02
identificacionytrazabilidad	24,00	100,00	62,67	1,50	0,07	2,00	0,00	0,07
almacen	24,00	100,00	62,67	1,31	0,06	2,00	0,00	0,06

Fuente: autora y Promodel

Utilización locaciones. En las siguientes figuras 26 y 27 se encuentra la utilización de locaciones donde el mayor porcentaje lo tiene el proceso de soldadura con un promedio de 96% de utilización de la locación y representada en color azul, los tiempos más bajos en la utilización y permanecía de la entidad se encuentran en el proceso de empaque representado en color rosa.

Figura 27 Diagrama de torres utilización locaciones del SR



Fuente: autora y Promodel

Situación de las locaciones múltiples. La información suministrada en la figura 28 representa el estado del sistema ocupado o vacío, en color rosado se encuentra el proceso de empaque con un promedio de 96% de vacío.

Figura 28 Situación de las locaciones simples del SR

Name	Schedule Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down
meterenlatina	24,00	16,23	15,21	68,55	0,00
barrerconaire	24,00	8,66	0,33	91,01	0,00
taponar	24,00	9,71	0,14	90,15	0,00
colgarcondensadoresenga...	24,00	67,93	32,07	0,00	0,00
tiempoestandardeespera	24,00	23,87	76,13	0,00	0,00
descolgarcondensadoresd...	24,00	76,28	23,72	0,00	0,00
contarcantidad	24,00	98,90	1,10	0,00	0,00
sacaroponer	24,00	99,03	0,97	0,00	0,00
zunchar	24,00	89,72	10,28	0,00	0,00
cerrarhuacal	24,00	94,21	5,79	0,00	0,00
colocarstretches	24,00	98,07	1,93	0,00	0,00
identificacionytrazabilidad	24,00	93,66	6,34	0,00	0,00
almacen	24,00	94,39	5,61	0,00	0,00

Fuente: autora y Promodel

Situación de las locaciones. En la figura 29 el proceso con mayor operación y utilización de maquina es el proceso de soldadura representado en color verde y con el menor tiempo de ocio en color azul, si se compara con el proceso de prueba el tiempo de ocio es mucho mayor con un promedio de 43% en representación morada en comparación con el 3% de soldadura.

Figura 29 Situación de las locaciones múltiples del SR

Name	Schedule Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting
maquinasoldando	24,00	82,53	0,00	2,93	0,00
sacarymeterguiasalamquina	24,00	28,02	0,00	5,17	0,00
alimentarelequipo	24,00	95,11	0,00	2,80	0,00
ponereneldispositivo	24,00	12,94	0,00	63,26	0,00
doblarpuntasyorejas	24,00	60,28	0,00	23,84	0,00
sacardeldispositivo	24,00	8,06	0,00	44,66	0,00

Fuente: autora y Promodel

Actividad de la entidad. El total de condensadores fabricados fueron de 62 unidades en 24 horas que se encuentran en el último proceso, la entidad permaneció en el sistema 331.60 minutos, que se dividen en 222,82 minutos en operación y 108,78 minutos en alguna obstrucción o tiempo de espera en el sistema.

Figura 30 Total entidades existentes en el SR

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
condensador	62,67	14,33	331,60	0,00	0,00	222,82	108,78

Fuente: autora y Promodel

La simulación se realizó en Promodel y se puede ver en el anexo *SIMULACION*.

7.3.7.2 Validación Del Modelo

La validación me permite comparar los datos ingresados al sistema que estoy simulando con el sistema real que se lleva a cabo en la empresa.

La empresa lleva un control de producción que podremos observar en el anexo W que corresponde al control de producción enero 2013, ofrece información de día, turno, operativo, equipo, referencia, horas (trabajadas, paros, set up, mantenimientos), productividad entre otros el archivo contiene varios filtros para analizar mejor la información el primero es el del equipo S2 luego la referencia 11107125 y por último las horas de trabajo que son 7, esto se hace para poder comprar la información en igualdad de condiciones. El promedio total de soldadura en 7 horas de trabajo es de 464 según esta información. El tiempo estándar definido anteriormente era de 67 unidades por hora ósea que en 7 horas equivale a 469 unidades soldadas una diferencia muy pequeña que podremos

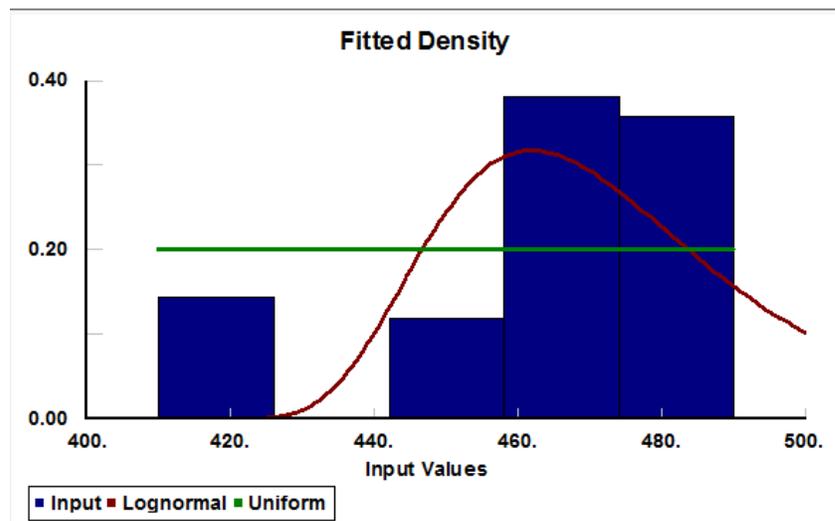
Figura 31 Comparación del indicador de productividad de soldadura

INDICADOR DE SOLDADURA		
Unidades soldada promedio de condensadores soldados en 7 horas		
	<i>Bundy</i>	<i>simulación</i>
UNIDADES	464	469
INFORMACION	Se promediaron 42 datos, recolectado de 3 operarios en diferentes horarios.	Se promedió las 42 réplicas para obtener este dato
RANGO	410 - 490	437 - 493
INTERVALOS DE CONFIANZA		
RANGO COMUN	437 - 490	
DIFERENCIA UNIDADES	5 UNIDADES	

Fuente: autora y Promodel

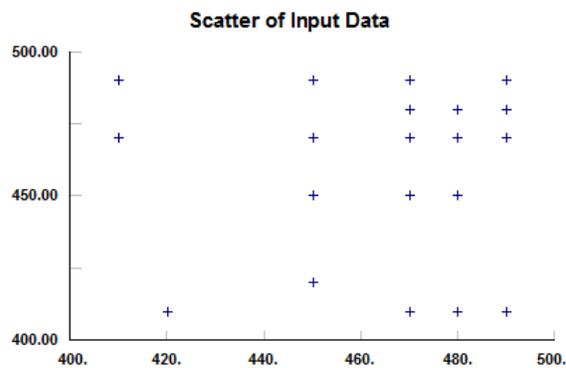
Se realizó la validación de la simulación del sistema real con apoyo de la figura 31 en la cual se utiliza el promedio de 42 datos de soldadura que se encuentra en el anexo W y se compran con 42 réplicas. Se analizan los intervalos de confianza que se encuentran cruzados en el rango 437 – 490, con una diferencia de 5 unidades esta diferencia es mínima y podemos validar el indicador de soldadura del sistema real frente a la simulación de este realizada en Promodel.

La información de la distribución de los 42 tiempos obtenidos en la empresa es la siguiente:



Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal(410, 4.08, 0.362)	100	reject
Uniform(410, 490)	0.	reject



- La locación de empaque es usada las dos últimas horas según el gannt que concuerdan con los datos de la simulación que son: permanecía de la entidad 1.5%, el de utilización de la locación el 2% de utilización y un 95% del tiempo se encontrara desocupada.
- Los tiempos de ocio arrojados en la simulación son de 43% para doblado y un 3% en soldadura esto se puede comprobar visualmente en la figura 29, el proceso de doblado tiene una capacidad mayor que la de soldadura y siempre dependerá de este proceso
- El total de condensadores fabricados según los resultados de Promodel son 62 unidades y según los datos de la empresa se obtiene 69 unidades las 7 piezas faltantes pueden estar en proceso.

Los datos de la simulación concuerdan con los del sistema real de la empresa por lo tanto podemos usarlo y validarlo.

8. MEJORAS PARA EL CONDENSADOR 1107125

Las propuestas realizadas a la empresa Brus Refrigeration se basaron en el contexto actual de la empresa obtenido de los capítulos 7.1 y 7.2 donde las prioridades del actual gerente es reducción de costos y aumento de la productividad para lograr ser más competitivos en el mercado. Una de las principales mejoras es la calidad materia prima pero si compras de mejor calidad el costo de esta también aumenta estas variables son directamente proporcionales. Así que solo se realizó la simulación a aquellas propuestas que estuvieran acordes con los resultados encontrados en los estudios administrativos realizados en la sección 7.1.

A partir del análisis de la información recolectada se realiza esta propuesta para la mejora de la línea de producción del condensadores 1107125 en la empresa Brus Refrigeration Of Colombia. Se deja evidencia del cambio o mejoras que se le realizaron en los diferentes procesos y sus elementos.

8.1 Diagramas De Operaciones Propuestos

No se cambian todos los diagramas de operación ya que en la mayoría de los procesos cada paso es indispensable para llevar a cabo la operación de una manera segura para el trabajador y con la calidad que exige el cliente. A los trabajadores seleccionados para las operaciones tiene años de experiencia ejecutando la misma actividad lo cual les da una habilidad única para no agregar pasos innecesarios a su actividad.

En el anexo Y, se puede apreciar los nuevos diagramas de operaciones donde los cambios que se realizaron fueron los siguientes:

Diagrama de operaciones de pintura; se elimina una operación llama retoque esta se ejecuta porque en ocasiones los condensadores no quedan en determinados lugares pintados lo cual va generar a largo plazo una oxidación o la devolución del producto, para que esto no ocurra se le agrega a la operación #6 una inspección para asegurarse que cuando salga del tanque de pintura estos lugares se encuentre en optimas condicione.

En la figura 33 se puede apreciar el nuevo recorrido del condensador con las siguientes distancias.

Tabla 20 distancia del recorrido del sistema mejorado

RECORRIDO	DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS	CONVENCION
1	SOLDADURA	DOBLADOR	4,5	1
2	DOBLADOR	PRUEBA TINAS	2	2
3	TINAS	PINTURA	7	3
4	PINTURA	EMPAQUE	9,2	4
5	EMPAQUE	ALMACEN	5	5,6
total			27,7	METROS

Fuente: autora

Los recorridos en los puestos de trabajo de cada proceso son los mismos planteados el único que cambio es el empaque puesto que se reubico la zona de almacén que está en la figura 33 de color amarillo, esto se puede apreciar en el anexo AA.

8.4 Estudio De Tiempos Y Movimientos Mejorado

Se debe aplicar la metodología de tiempos y movimientos propuesta en el diagrama de flujo de la figura 17.

8.4.1 Mejoras implementadas

Desde que se tomaron los tiempos pilotos en octubre de 2012 la empresa a realizados mejoras en la línea de producción del condensador que contribuyen a que los tiempos sean menores.

Mejora en la maquina dobladora. Se implementa en el proceso de doblado una máquina automática esto ayuda a que la operación no dependa de la velocidad en la que trabaja el operario, se disminuye parte del porcentaje del suplemento asignado a esta operación debido a que ejerce menos tensión física.

Mejora en los tapones. Los tapones son un insumo del procesos de prueba los cuales evitan que el condensador se pinte en los dos extremos y lo protege de la oxidación, en el mes de octubre de 2012 se usaban 2 tipos de tapones uno para la punta liza y otro para la punta expandida este último era demasiado duro para colocarlo. Actualmente se usa solo un modelo para ambas puntas y es más flexible lo cual permite que entre con mayor facilidad y más rápido.

Los resultados de los tiempos estándar es estos nuevos procesos son los que muestra la tabla 21 donde solo cambian el proceso de doblar y el de prueba.

Tabla 21 tiempos estándar del sistema mejorado

TIEMPOS ESTANDAR	
NOMBRE PROCESO	UNIDADES CONDENSADORES POR HORA
SOLDADURA	67
DOBLAR	188*
PRUEBA	150*
PINTURA	41,5
EMPAQUE	760

Fuente: autora

Se realiza con los tiempos estándar obtenidos un gannt de producción de 24 horas para saber el resultado final como lo describe la tabla 22 el total de unidades en empaque al final de la jornada es de 123 condensadores, el tiempo total del desplazamiento es de 25 minutos en las 24 horas, si en las últimas horas le está llegando a empaque 41 condensadores eso quiere decir que le llega aproximadamente 0,7 condensadores por minuto si multiplicamos esto por 25 da 18 unidades que es la diferencia entre los dos resultados en color naranja. Esto se encuentra en el anexo X el gannt mejorado.

Tabla 22 Diagrama de gannt sistema mejorado

DIAGRAMA DE GANNT COMPORTAMIENTO DEL CONDENSADOR EN 24 HORAS																										
HORAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
SOLDADURA	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67		
DOBLAR			188			188			188			188			188			188			188			188	188	
PRUEBA														150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
PINTURA															TIEMPO DEMORA PRENDER HORNO							41	41	41		
EMPAQUE																							41	41	41	
																									123	
																									105	
	tiempo total de desplazamiento 25 minutos													TOTAL UNIDADES EN EMPAQUE CON TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO												
	UNIDADES MINIMAS A PINTAR SON 1200. PARA PRENDER EL HORNO Y DESENGRASE DE LA PINTURA																									

Fuente: autora

8.4.2 Análisis De La Información Para La Simulación

La información modificada pertenecen a:

1. Proceso de doblado / elemento 2 DOBLAR OREJAS Y PUNTAS
2. Procesos de prueba / elemento 3 TAPONAR

Las réplicas para estos elementos según el programa Statfit son 3 como muestra la tabla 23.

Tabla 23 Replicas para las mejoras de doblado y prueba

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Replications' dialog box in Statfit. The left window is titled 'PROCESO DE DOBLADO' and the right window is titled 'PROCESO DE PRUEBA'. Both windows have a 'Confidence Level' of 0.95 and 'Parameter Variation' set to 'Range'. The left window has 'Replications' set to 3 and 'Range For Estimate' set to 4. The right window has 'Replications' set to 3 and 'Range For Estimate' set to 10. Both windows have 'Estimate' set to 'Replications' and 'Minimum' and 'Maximum' values for 'Parameter Variation'.

Process	Replications	Range For Estimate	Minimum	Maximum
PROCESO DE DOBLADO	3	4	15	19
PROCESO DE PRUEBA	3	10	38	49

Fuente: autora

Se generan los numero aleatorios con el Generadores congruenciales lineales que se encuentra en el anexo T, luego se saca la distribucion de cada elemento en stat fit y se exporta a promodel esto lo ponermos apreciar en los anexos BB y CC pertenecientos a cada elemento. En resumen la informacion la encontramos en la tabla 24.

Tabla 24 Nueva distribución para los elementos de doblado y prueba

NOMBRE OPERACIÓN	DISTRIBUCION STAT FIT	EXPORTACION A PROMODEL
DOBLAR OREJAS Y PUNTAS		
doblar puntas y orejas	lognormal(7., 0.613, 0387)	7.+L(1.99, 0.8)
PRUEBA		
taponar	lognormal(8., 0,707, 0.374)	8.+L(2.17, 0.842)

Fuente: autora

8.5 Simulación En Promodel Con Las Mejoras

Para poder comparar la simulación del sistema real con la propuesta es necesario desarrollarla en las mismas condiciones como son el tiempo de 24 horas, una solo entidad que es el condensador y el mismo número de locaciones que se puede apreciar en la figura34

Figura 34 Reporte general de simulación del sistema mejorado

	Name	Value
	Run Date/Time	06/01/2013 09:53:50 p.m.
	Model Title	Normal Run
	Model Path/File	E:\SIMULACION NUEVO.MOD
	Average Warmup Time (HR)	0
	Average Simulation Time (HR)	24

Fuente: autora

Como se muestra en la figura 35 el porcentaje de utilización de máquina para el proceso de soldadura sigue siendo el mayor, luego en color azul el proceso de doblado y en rojo el de prueba.

Figura 35 Utilización de las locaciones del sistema mejorado

Name	Schedule Time	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
maquinasoldando	24,00	1,00	33,00	42,45	0,97	1,00	1,00	97,28
sacarymeterguíasalamaquina	24,00	1,00	32,00	42,47	0,94	1,00	1,00	94,37
alimentarelequipo	24,00	1,00	31,00	45,17	0,97	1,00	1,00	97,23
ponereneldispositivo	24,00	1,00	30,00	42,13	0,88	1,00	1,00	87,78
doblarpuntasyorejas	24,00	1,00	58,33	22,25	0,90	1,00	1,00	90,11
sacardeldispositivo	24,00	1,00	57,33	22,28	0,89	1,00	1,00	88,70
meterenlatina	24,00	2,00	56,33	47,02	1,84	2,00	2,00	91,96
barrerconaire	24,00	2,00	109,33	24,52	1,86	2,00	2,00	93,07
taponar	24,00	2,00	107,33	10,19	0,76	2,00	1,00	37,97
colgarcondensadoresenganchos	24,00	30,00	106,33	8,08	0,60	2,00	0,33	1,99
tiempoestándardeespera	24,00	30,00	106,00	26,41	1,94	4,33	2,33	6,48
descolgarcondensadoresdeganchos	24,00	30,00	103,67	5,71	0,41	2,00	1,00	1,37
contarcantidad	24,00	100,00	102,67	0,25	0,02	1,67	0,00	0,02
sacaroponer	24,00	100,00	102,67	0,22	0,02	1,67	0,00	0,02
zunchar	24,00	100,00	102,67	2,45	0,17	2,00	0,00	0,17
cerrarhuacal	24,00	100,00	102,67	1,44	0,10	2,00	0,33	0,10
colocarestreches	24,00	100,00	102,33	0,44	0,03	2,00	0,00	0,03
identificaciónytrazabilidad	24,00	100,00	102,33	1,46	0,10	2,00	0,00	0,10
almacén	24,00	100,00	102,33	1,25	0,09	2,00	0,00	0,09

Fuente: autora

Según la figura 36 el empaque sigue siendo el proceso que mayor porcentaje del tiempo permanece desocupada con un promedio de 92%.

Figura 36 Estado de las locaciones vacío / ocupado

Name	Scheduled Time	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down
meterenlatina	24,00	6,45	3,19	90,36	0,00
barrerconaire	24,00	6,93	0,00	93,07	0,00
taponar	24,00	42,55	38,95	18,50	0,00
colgarcondensadoresenganchos	24,00	52,38	47,62	0,00	0,00
tiempoestándardeespera	24,00	10,22	89,78	0,00	0,00
descolgarcondensadoresdeganchos	24,00	64,87	35,13	0,00	0,00
contarcantidad	24,00	98,22	1,78	0,00	0,00
sacaroponer	24,00	98,41	1,59	0,00	0,00
zunchar	24,00	83,49	16,51	0,00	0,00
cerrarhuacal	24,00	90,02	9,98	0,00	0,00
colocarestreches	24,00	96,92	3,08	0,00	0,00
identificaciónytrazabilidad	24,00	89,97	10,03	0,00	0,00
almacén	24,00	91,36	8,65	0,00	0,00

Fuente: autora

Se obtiene un total de 102.33 unidades en 24 horas que se encuentran en el último proceso, la entidad permaneció en el sistema 330.09 minutos, que se dividen en 180 minutos en operación y 149 minutos en alguna obstrucción o tiempo de espera en el sistema, Como lo muestra la figura 37

Figura 37 Total entidades existentes en el SM

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System ...	Avg Time In Move Logic (...)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operatio...	Avg Time Blocked (MIN)
condensador	102,33	15,00	330,09	0,00	0,00	180,11	149,98

Fuente: autora

La simulación se realizó en Promodel y se puede ver en el anexo *SIMULACION MEJORADO*.

8.5.1 Validación Del Modelo

Para validar de este modelo retomo la tabla 22 correspondiente al gannt planteado y lo comparo con los resultados anteriores, donde se evidencia semejanzas entre los resultados por ejemplo la utilización de máquina para soldadura que es más del 98% y el poco uso de la locación de empaque.

Los resultados de la simulación arrojo que en 24 horas existen 102 condensadores y los tiempos estándar indican un total de 105 condensadores al finalizar la jornada. Con estos indicadores se valida el modelo para ser analizado.

8.6 Mejoras Evidenciadas

Para analizar toda la información se debe hacer una comparación de los resultados de la simulación del sistema real versus el sistema propuesto.

Tiempo de desplazamiento: con la reubicación de los equipos el tiempo total de desplazamiento es reducido y consecuencia de esto el número de unidades que se dejan de llegar a empaque son 9 condensadores, esto se puede apreciar en la tabla 25

Tabla 25 Mejoras de tiempos de recorrido

SITEMAS SIMULADOS		
	REAL	MEJORADO
Tiempo Desplazamiento	38 minutos	25 minutos
Diferencia	13 minutos	
Unidades que llegan a empaque en 13 minutos	9,1	

Fuente: autora

Tiempos estándar: Al implementarse las mejoras en los procesos de doblado y prueba los tiempos estándar mejoran la capacidad de proceso aumentando las unidades producida en una hora, como se aprecia en la tabla 26

Tabla 26 Mejoras de los tiempos estándar

TIEMPOS ESTANDAR			MEJORAS	
NOMBRE PROCESO	UNIDADES CONDENSADORES POR HORA		UNIDADES PRODUCIDAD EN UNA HORA	MEJORA EN CAPACIDAD DEL PROCESO
	SISTEMA REAL	SISTEMA MEJORADO		
SOLDADURA	67	67	0	0%
DOBLAR	93	179	87	86%
PRUEBA	87	150	63	72%
PINTURA	41,5	41,5	0	0%
EMPAQUE	760	760	0	0%

Fuente: autora

Para definir si las mejoras son estadísticamente significativas en el proceso de doblar se incluye la siguiente figura 38 con diferencias en la media de 86 unidades y con 40 unidades de diferencia en el rango, donde los intervalos de confianza no se interceptan.

Figura 38 Mejora estadística doblar

MEJORA EN EL PROCESO DOBLAR		
	<i>Tiempo sistema real</i>	<i>Tiempo sistema mejorado</i>
MEDIA UNIDADES	93	179
RANGO	89-120	160-195
INTERVALOS DE CONFIANZA		
DIFERENCIA RANGO	40	
DIFERENCIA MEDIA	86	

Fuente: Autora

Para definir si las mejoras son estadísticamente significativas en el proceso de prueba se incluye la siguiente figura 39 con diferencias en la media de 63 unidades y con 42 unidades de diferencia en el rango, donde los intervalos de confianza no se interceptan.

Figura 39 Muestra estadística prueba

MEJORA EN EL PROCESO PRUEBA		
	<i>sistema real</i>	<i>sistema mejorado</i>
MEDIA UNIDADES	87	150
RANGO	68-94	136-164
INTERVALOS DE CONFIANZA		
DIFERENCIA RANGO	42	
DIFERENCIA MEDIAS	63	

Fuente: Autora

Utilización de las locaciones: Para obtener los porcentajes de cada proceso se seleccionan los elementos y se realiza un promedio, soldadura permanece siempre como la locación que mayor porcentaje de utilización presenta, los procesos de doblar y prueba aumentan su utilización, este indicador deja ver la mejora realizada en el sistema propuesto. Los porcentajes los podemos comparar en la tabla 3.

Tabla 27 Mejora en la utilización de las locaciones

UTILIZACION DE LAS LOCACIONES			% UTILIZACION
NOMBRE PROCESO	SISTEMA MEJORADO	SISTEMA REAL	DIFERENCIA
SOLDADURA	96,60%	96,30%	0,30%
DOBLAR	88,80%	59,70%	29,10%
PRUEBA	74,30%	51,90%	32,40%

Fuente: autora

Entidades obtenidas: comparamos los resultados de los condensadores obtenidos en el proceso de empaque, en la simulación y con los tiempos estándar, en ambos obtenemos una mejora de 40 unidades y una diferencia de 3 y 2 unidades como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 28 Mejora en las entidades obtenidas en 24 horas

TOTAL DE ENTIDADES EXISTENTES EN 24 HORAS			MEJORA
	SISTEMA MEJORADO	SISTEMA REAL	UNI. EXTRAS
SIMULACION	102,33	62,67	40
TIEMPOS ESTANDAR	105	65	40

Fuente: autora

Para definir si las mejoras son estadísticamente significativas obtenidas en el proceso final que corresponde a empaque se puede observar la figura 40 con diferencias en la media de 39 unidades y con 19 unidades de diferencia en el rango, donde los intervalos de confianza no se interceptan.

Figura 40 Muestra estadística de empaque

TOTAL CONDENSADORES OBTENIDOS EN 24 HORAS		
	<i>sistema real</i>	<i>sistema mejorado</i>
MEDIA UNIDADES	62,7	102,33
RANGO	56-75	94-109
INTERVALOS DE CONFIANZA		
DIFERENCIA RANGO	19	
DIFERENCIA MEDIAS	39,63	

Fuente: autora

Mano de obra: En base a los gannt propuestos se analizó el costo de mano de obra con el SMLVD de 2013 equivalente a \$660.000 pesos, jornada laboral de 8 horas y una hora de descanso. Las mejoras con el nuevo sistema reflejan que se necesitan dos personas menos y se genera un ahorro de \$ 264.000 peso en 24 horas de producción. Esta información la podemos encontrar en el anexo DD y compara en la tabla 29

Tabla 29 Ahorros en la mano de obra

MANO DE OBRA		
	SISTEMA REAL	SISTEMA MEJORADO
TOTAL HORAS	67	55
TOTAL COSTO HORAS	\$ 1.474.000	\$ 1.210.000
TRABAJADORES	8	6

Fuente: autora

En la tabla 30 se encuentra un cuadro comparativo con las mejoras propuestas para el nuevo sistema.

Tabla 30 Comparación mejoras

CUADRO COMPARATIVO MEJORAS REALIZADAS		
INDICADOR	SISTEMA REAL	SISTEMA MEJORADO
Tiempo de desplazamiento	38 minutos	25 minutos
Unidades por hora en proceso doblar	101	188
Unidades por hora en proceso prueba	87	150
Utilización de la locación doblar	60%	89%
Utilización de la locación prueba	52%	74%
Total entidades en empaque	63	102
Mano de obra requerida	8 personas	6 personas
Costos MDO en 24 horas	\$ 1.474.000	\$ 1.210.000

Fuente: Autora

9. CARTILLA INTERACTIVA

Se desarrolla una metodología para la simulación donde se pueda evidenciar mejoras en los diferentes indicadores de una línea de producción manufacturera, por medio de una cartilla interactiva que explica paso a paso lo que se debe hacer desde la formulación del problema hasta la validación del sistema.

Como base para la metodología se toma una propuesta por Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. En el libro *Discrete-event System Simulation* del 2010 esta se puede apreciar en la figura 6. Donde proponen los pasos para simular, a partir de esta base se desarrolla en formato PowerPoint presentaciones la cartilla interactiva ya que permite crear hipervinculos que son usados para navegar de forma no lineal además el formato digital es un medio más accesible para los usuarios. Esta se encuentra ubicada en el anexo EE.

Finalmente se desarrolló una metodología para los sectores manufactureros en base a la realizada en la empresa Brus Refrigeration como se aprecia en la figura 42.

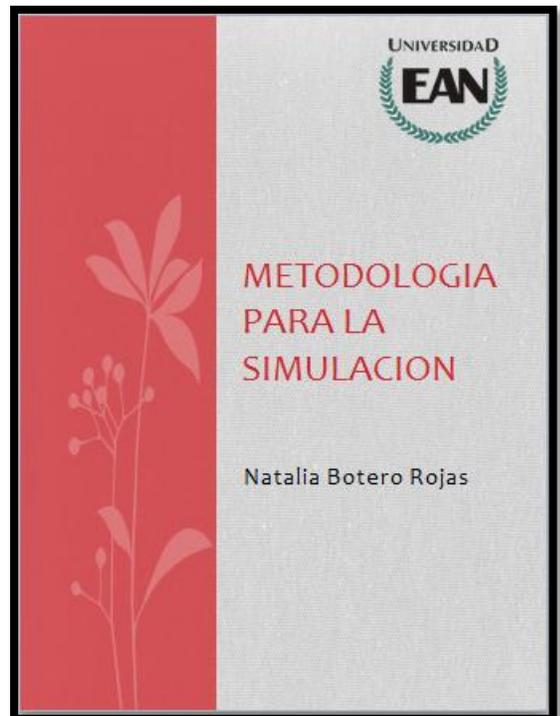
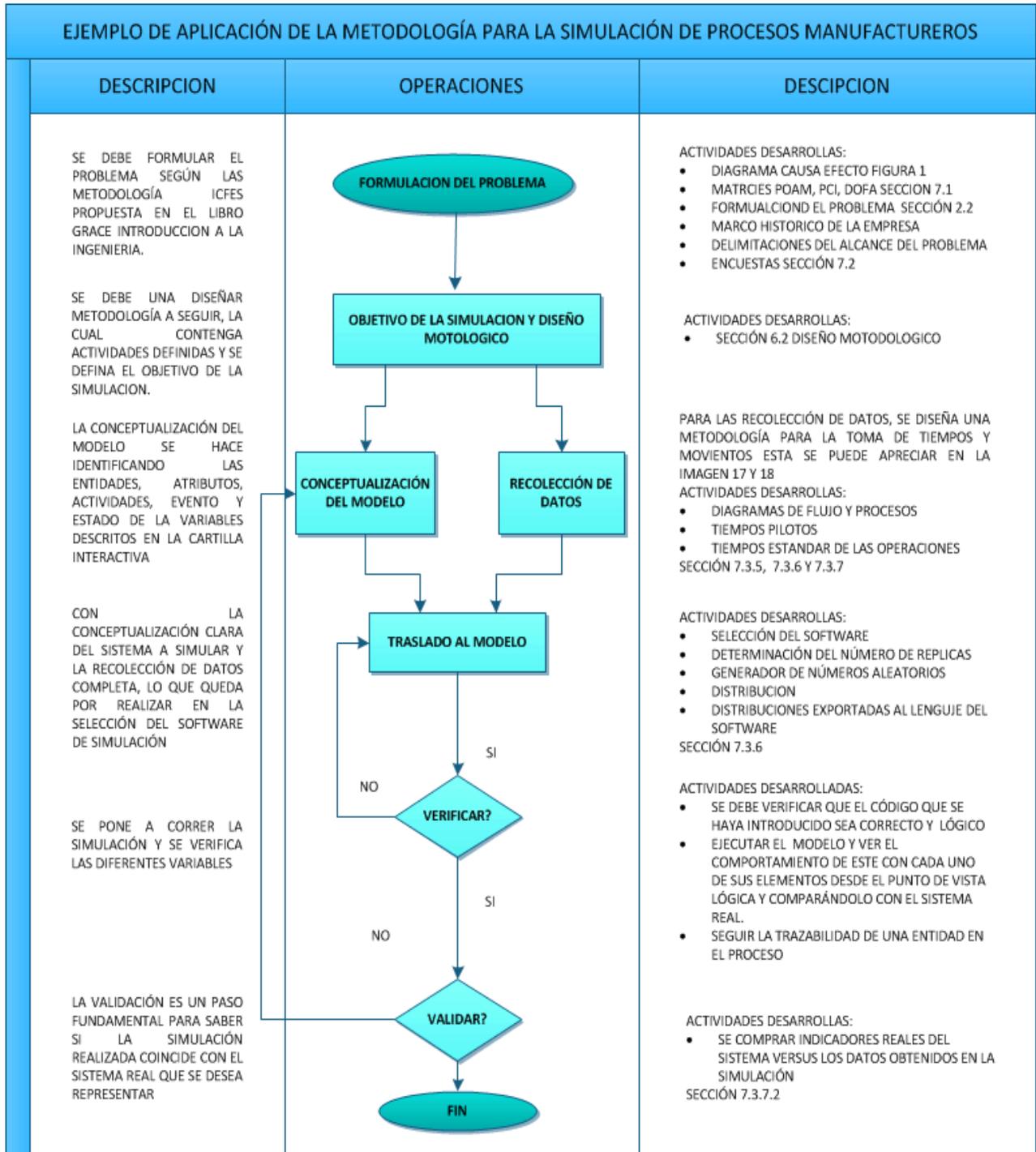


Figura 41 Portada cartilla interactiva

Fuente: autora

Figura 42 Ejemplo de aplicación de la metodología



Fuente: autora

10. CONCLUSIONES

Se recopiló exitosamente la información del entorno empresarial en el cual la empresa trabaja mediante la observación directa e indirecta, a través de herramientas como las matrices y las encuestas, obteniendo fotos y demás evidencias.

El diagnóstico estratégico y organizacional realizado a la empresa aporta una orientación del contexto actual en el cual se encuentra la misma, teniendo ésta una gran importancia para la toma de decisiones en las posibles mejoras, identificando opciones limitadas pero realistas a los problemas encontrados. Esto contribuyó a pronosticar el alcance e identificar limitaciones del proyecto.

La selección de los trabajadores y su experiencia en la actividad que están desarrollando es influyente en los resultados finales de la simulación, las encuestas realizadas a esta población aportaron ideas para posibles mejoras. Un ejemplo es el operario Rafael Fernández quien en la última pregunta del cuestionario; ¿se pueden realizar mejoras a su puesto de trabajo? El respondió “*cambio de tapón*” ver anexo F. Fue una de las mejoras que se le realizó al proceso y se obtuvo un 72% más de capacidad al proceso Prueba en la tina.

Realizar la simulación de los diferentes procesos productivos de la empresa manufacturera, para probar el modelo, obtener datos y confrontarlos con la teoría.

Se realizó la simulación de los dos sistemas trabajados, el real y el mejorado donde se probaron los modelos, se verificaron y validaron, obteniendo diversa información para compararla con indicadores recolectados anteriormente, se confrontaron con los datos teóricos de los tiempos pilotos para obtener resultados exitosos.

Se diseñó la cartilla como herramienta moderna de fácil acceso e interactiva que le propone al usuario conocer y seguir ciertos pasos para aprender a realizar una simulación de un proceso manufacturero. Esta recopila en un diagrama de flujo los pasos esenciales

para desarrollar una simulación discreta dando consejos a los lectores quedando a disposición de los estudiantes de la Universidad EAN.

A través de la metodología implementada se analizó y se modelaron datos reales de la empresa Brus Refrigeration, mostrando las eficiencias y deficiencias de la línea de producción del condensador 1107125. Se logró a través de la simulación aumentar la capacidad de producción del condensador 1107125 de la empresa Brus Refrigeration, realizando las mejorar;

- Redistribución de los equipos de la planta que contribuyó a disminuir los recorridos que se realizaban, obteniendo como resultado mayor cantidad de entidades salientes del sistema.
- El cambio de equipos como la dobladora o insumos como los tapones son de vital importancia en el incremento de la capacidad de producción.
- Los resultados presentados en la mano de obra son de vital importancia para saber qué tan viable puede ser para el gerente de la empresa realizar estos cambios ya que a él le interesa saber el beneficio económico obtenido.

La recolección y el análisis de la información fue vital para realizar una correcta simulación y validación de los sistemas arrojados.

Se consiguió mejorar procesos internos de la empresa Brus Refrigeration dejando formatos de diagramas de operación y procesos, acudiendo a la ausencia existente de los mismos en cualquier producto, se propuso implementar el proyecto en el resto de referencias de condensadores y productos de la empresa.

Se implementó el formato de toma de tiempos en la empresa con la metodología diseñada para la toma de tiempos y movimientos. Evidenciando lo anterior, el departamento de calidad la esta implementado y se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, J. (2005). *Gerencia y planeación estratégica*. Universidad santo tomas.
- Arizabaleta, E. V. (2004). *Diagnóstico organizacional. Evaluación sistema del desempeño empresarial en el área digital*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2010). *Discrete-event System Simulation*. Pearson.
- Barros, R., Duque, G., Rojas, J., Sánchez, L. M., & Velosa, J. (2005). *GRACE Introducción a la ingeniería*. Bogotá: Universidad EAN.
- Bennington, J. (2002). *Técnicas de dirección y control de costes*. Baltimore: Reverte.
- Berdichewsky, B. (2002). *Antropología social*. Santiago: LOM.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. Mc graw hill.
- Duna, E., Garcia, H., & Cardenas, L. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con promodel*. Mexico: Pearson.
- Grande, I., & Abascal, E. (2005). *Análisis de encuestas*. Madrid: Esic.
- Harrell, C., Biman, G., & Bowden, R. (2004). *Simulation Using Promodel*. Boston: McGraw Hill.
- Meyers, F., & Stewart, J. (2002). *Motion and time study for lean manufacturing*. Prentice hall.
- Neira, A. C. (s.f.). *Técnicas de medición del trabajo*. Madrid: FC.
- Nibel, B. (1996). *Ingeniería industrial métodos, tiempos y movimientos*. Alfomega s.a.
- Ola, L. (Octubre de 2009). *Guías de aprendizaje como metodología de enseñanza en laboratorios técnicos del tec landívar*. Recuperado el 19 de Febrero de 2012, de http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_14_BAS02.pdf

- Patiño, L. M. (s.f). *Universidad EAN*. Recuperado el 18 de febrero de 2012, de http://www.ean.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=280&Itemid=731
- ProModel. (2012). *promodel*. Recuperado el 6 de 12 de 2012, de <http://www.promodel.com/>
- Refrigeration, B. (s.f). *Bundy Refrigeration*. Recuperado el 17 de 07 de 2012, de <http://www.bundyrefrigeration.com/index.html>
- Roig, J. (1996). *Estudio de los puestos de trabajo*. Madrid: lavel.
- Vallhonrat, J., & Corominas, A. (1991). *Localización, distribución en planta y manutención*. Barcelona: Marcombo.
- Velez, G. (s.f). *Scrib* . Recuperado el 05 de noviembre de 2012, de Apuntes de simulacion: <http://es.scribd.com/doc/56472029/42/Calculo-Del-Numero-De-Replicas>
- wikipedia. (s.f). *Investigación cuantitativa*. Recuperado el 12 de agosto de 2012



METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN

Natalia Botero Rojas

PRESENTACIÓN

Se desarrolla una metodología para la simulación donde se pueda evidenciar mejoras en los diferentes indicadores de una línea de producción manufacturera, por medio de esta cartilla se explica paso a paso lo que se debe hacer desde la formulación del problema hasta la validación del sistema.

La simulación es la imitación de las operaciones de un sistema respecto al tiempo, a medida que este evoluciona el sistema toma la forma de un conjunto de hipótesis que se pueden ver expresadas en términos matemáticos, por lo tanto la simulación puede ser utilizada como un instrumento de análisis para predecir el efecto de cambios en los sistemas existentes y como herramienta de diseño, para predecir el rendimiento de los nuevos sistemas bajo diferentes circunstancias.

Las áreas donde se puede aplicar la simulación pueden ser: la manufactura, la construcción, logística, transporte, salud, aplicaciones militares o para otras instituciones como las universidades.



CONCEPTOS IMPLEMENTADOS

Diagramas de flujo de los procesos

“Las actividades asociadas a los procesos con frecuencia se afectan unas de las otras, por lo cual es importante considerar el desempeño simultaneo de una serie de actividades que operan al mismo tiempo una forma aconsejable es realizar un diagrama de flujo de procesos” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 162). Los diagramas traen su propia simbología, por ejemplo: las tareas se muestran en forma de triángulos, los flujos en forma de flechas, el almacenamiento en forma de triángulos invertidos y la toma de alguna decisión se representa con un rombo. Estos fueron de gran ayuda para la organización de la metodología de simulación y la propuesta para la toma de tiempos y movimientos, es fundamental el uso y la lectura de los diagramas de flujo en este trabajo.

Simbología del diagrama de flujo

	INICIO O FINAL DEL DIAGRAMA
	REALIZACIÓN DE UNA ACTIVIDAD
	ANALISIS DE SITUACIÓN Y TOMA DE DECISIÓN
	ACTIVIDAD DE CONTROL
	CONEXIÓN O RELACIÓN
	INDICACIÓN DE FLUJO DEL PROCESO

Fuente: por Autora



Diagrama De Causa Efecto.

También llamados diagramas de espina de pescado, “muestra las relaciones propuestas hipotéticamente entre causas potenciales y el problema que se estudia” (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009, pág. 315). Con la elaboración de este diagrama se pudo analizar cuáles eran las causas potenciales del problema, además de ser de vital importancia para la formulación del problema.

Ingeniería De Métodos

“Los términos de análisis de operación, simplificación de trabajo e ingeniería de métodos se utilizan con frecuencia como sinónimos” (Nibel, 1996, pág. 4), esta área de la ingeniería fue de gran aporte para realizar los diferentes diagramas de procesos, procedimiento y recorridos. La información recolectada y analizada de la ingeniería de métodos fue esencial para la validación de la simulación.



Estudio de tiempos

Estudio de tiempo o medición del trabajo, “es una actividad que comprende la técnica de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada” (Nibel, 1996, pág. 7), el analista de tiempos tiene estrecha relación con el ingeniero de métodos, la diferencia radica en los objetivos con los cuales cada uno realiza su trabajo la implementación del estudio de tiempos permite obtener los tiempos estándar de los sistemas que luego son usados en el software de simulación.

Estudio De Movimientos

El estudio de movimientos se puede definir como “el estudio de movimientos del cuerpo humano al realizar una operación, para mejorarla mediante la eliminación de movimientos innecesarios, la simplificación de los necesarios y el establecimiento de la secuencia de movimientos más favorables para la eficiencia máxima” (Nibel, 1996, pág. 17) El reconocimiento de los movimientos de una operación es la fase inicial para empezar a desglosar los elementos del proceso que van a ser trabajados en todo el procesos de simulación.



NAVEGACIÓN EN LA CARTILLA INTERACTIVA

- Para un correcto uso de esta cartilla se recomienda el uso de los siguientes símbolos interactivos.



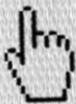
IR UNA PÁGINA HACIA ATRÁS



IR A LA PORTADA



IR UNA PÁGINA HACIA ADELANTE



INDICATIVO DE LA EXISTENCIA DE VÍNCULOS



IR AL DIAGRAMA DE FLUJO “PASOS PARA LA SIMULACIÓN”



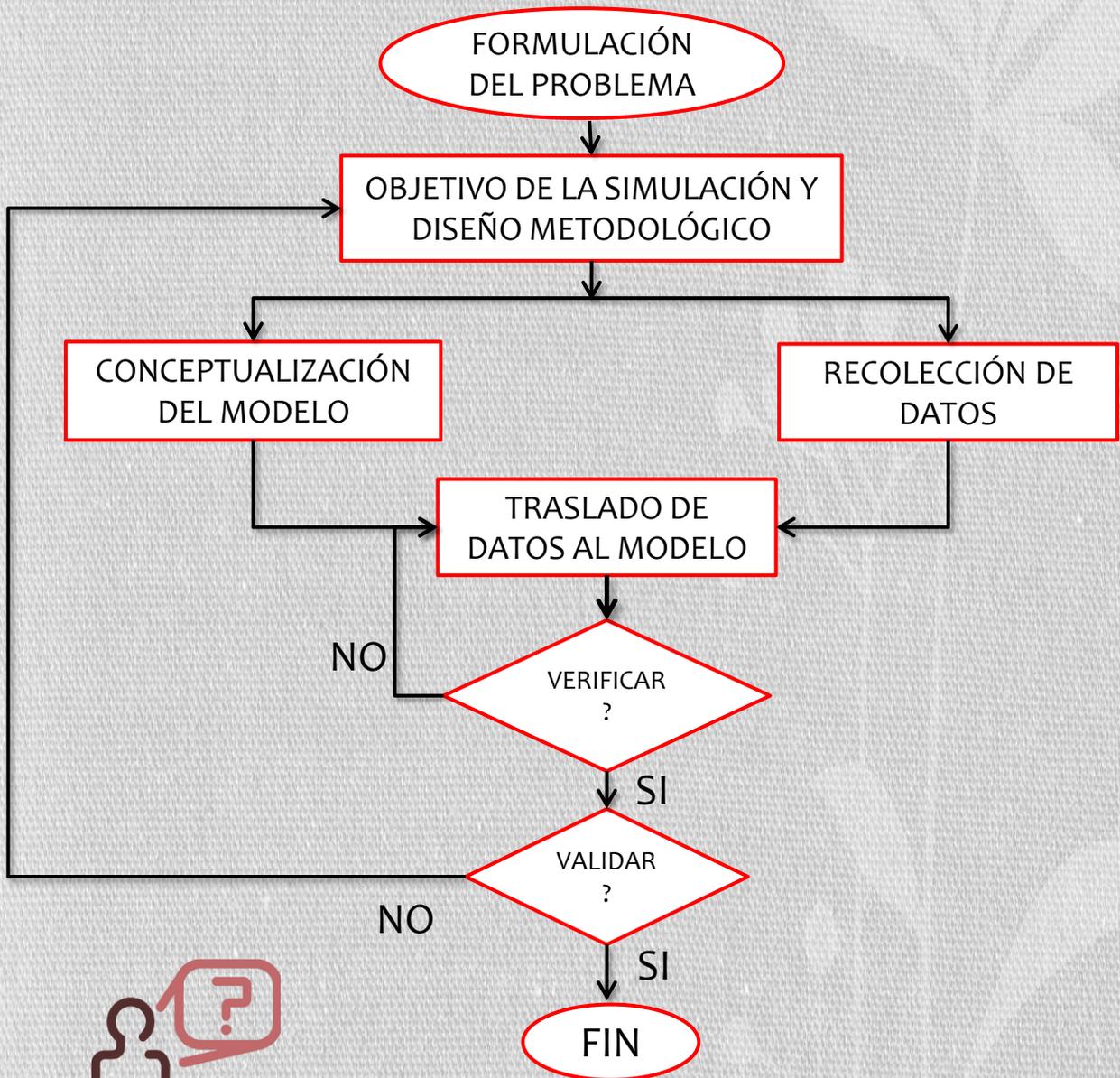
IR A LA FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



EJEMPLOS



PASOS PARA LA SIMULACIÓN



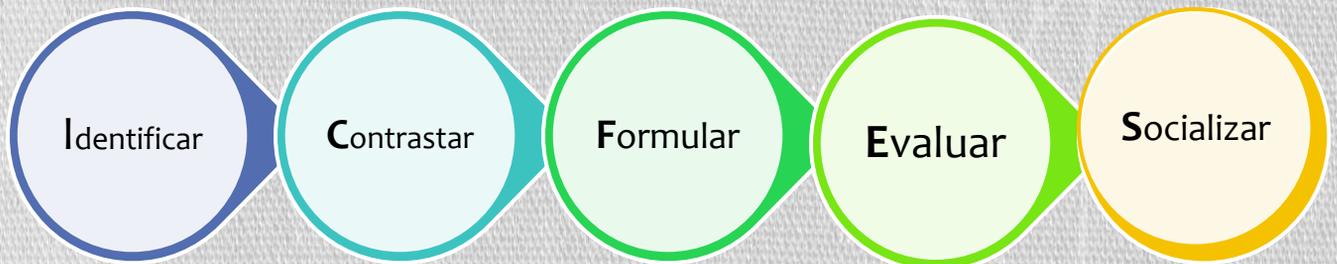
Para ampliar la información dar click en cada paso



FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- Los problemas se usan para generar situaciones de cambio en cualquier contexto, llevando a buscar soluciones innovadoras.

Se recomienda, para la formulación de un problema usar la metodología ICFES. Planteada en el libro GRACE introducción a la ingeniería.



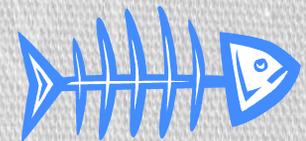
Para obtener más información de cada paso, haz click con tu mouse sobre los círculos.

La formulación del problema es el paso fundamental para guiar la simulación durante todo su proceso.



IDENTIFICAR

- Es importante identificar el problema para reconocer las entidades que se ven involucradas en el proceso además de los posibles mejoramientos que se pueden realizar.
- Una herramienta para la identificación de las causas del problema es el diagrama causa-efecto. Reconocido también por su forma de *pescado*.



- REALIZA LAS SIGUIENTES PREGUNTAS:
 1. “¿Cuál es la necesidad que se necesita satisfacer?”
 2. ¿Cuál es la situación que se quiere cambiar?
 3. ¿Cuál es el sueño que se quiere cambiar?”
(Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa, 2005, pág. 40.)



CONTRASTAR

- Se debe tener una media para poder contrastar el problema de la situación actual con la situación deseada, se puede usar indicativos cualitativos o cuantitativos. Se sugiere realizar una matriz con los siguientes datos.

¿PROBLEMA?		
SITUACIÓN	CUANTITATIVOS	CUALITATIVOS
ACTUAL		
DESEADA		

- “El contraste de un problema consiste en encontrar con claridad la diferencia entre el estado actual y el estado deseado”. (Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa , 2005, pág. 45.)
- REALIZA LAS SIGUIETES PREGUNTAS:
 1. “¿Cuál es la situación actual del problema?”
 2. ¿Cuál es la situación deseada del problema?”
(Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa, 2005, pág. 45.)



FORMULAR

- La formulación del problema está sujeta siempre a la interpretación de la persona que lo esté leyendo o escuchando, por esto debe ser claro y sencillo de manera que todos entiendan lo que se plantea.
- “La formulación consiste en formalizar en una pregunta, a partir de su identificación y contrastación, la diferencia entre el contexto actual y aquello que se desea pase.”(Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa, pág. 54.)
- REALIZA LAS PREGUNTAS O A OTRA PERSONA
 1. “¿Es claro el enunciado del problema?”
 2. ¿Se establece un contraste entre la situación actual y la deseada?
 3. ¿El enunciado invita a generar múltiples soluciones?” (Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa, 2005, pág. 54.)



EVALUAR

- Al evaluar mi problema puedo tomar la decisión si se puede ejecutar o no, para esto es necesario evaluarlo en diferentes contextos como el ético, legal, social, ambiental entre otros. Recomiendo realizar una matriz para ver los posibles impactos.

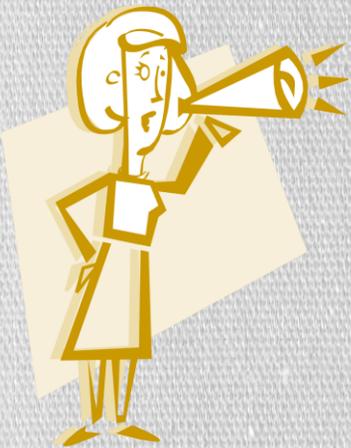
¿PROBLEMA?			
CONTEXTO	FORTALEZA	DEBILIDAD	IMPACTO
ÉTICO			
LEGAL			
SOCIAL			
AMBIENTAL			
OTRO			

- Se pueden usar matrices como el POAM o el PCI que permiten tener una visión más clara del contexto actual del problema, además de definirme que tan pertinente o prioritario puede ser la resolución del problema o si es el adecuado.



SOCIALIZAR UN PROBLEMA

- La socialización de un problema debe hacerse con todos los involucrados directo o indirectos, hacer este paso puede traer consejos, mejoras o ideas para posibles soluciones. Por ejemplo si se realiza una **encuesta** a determinada población involucrada en el problema surgirán posibles soluciones, siempre que se realicen las preguntas adecuadas.



SOCIALIZA ESTAS PREGUNTAS:

1. “¿A quién afecta el problema?”
2. ¿Quién puede solucionar el problema?
3. ¿A quienes les interesa el problema?” (Barros, Duque, Rojas, Sánchez, & Velosa , 2005, pág. 68.)

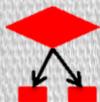
1. Identifico población

2. Realizó encuesta



OBJETIVO DE LA SIMULACIÓN Y DISEÑO METODOLÓGICO

- Los objetivos de la simulación indicarán las preguntas a ser respondidas por la simulación, siempre se buscará en la simulación la mejora de los indicadores.
- Para el diseño metodológico de la simulación se debe tener en cuenta el número de personas afectadas, el costo económico, un cronograma con etapas para cada fase del proyecto y los resultados esperados.



CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

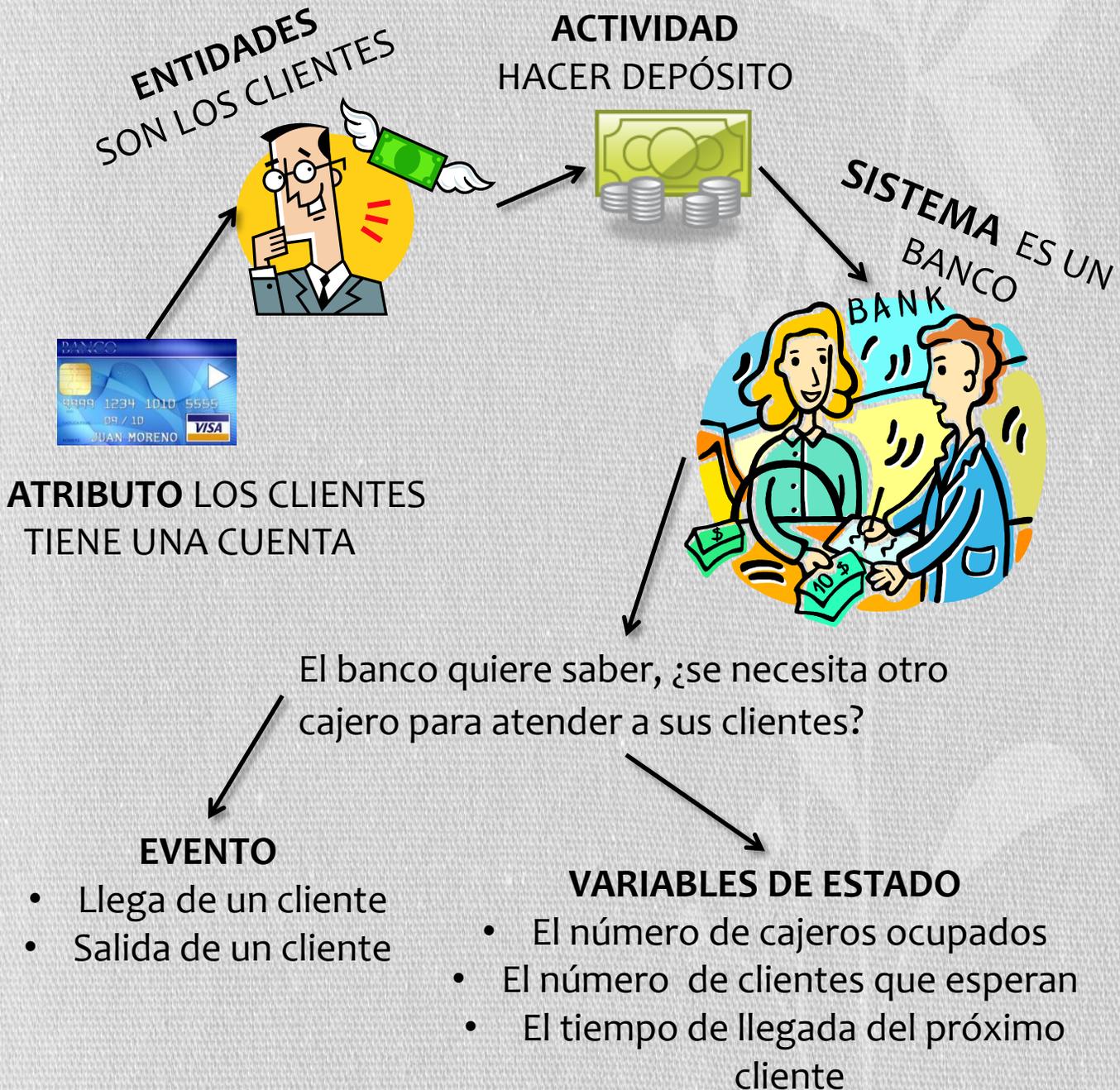
Se necesita conocer y comprender el comportamiento del sistema real a simular además de identificar sus componentes:

- “Entidad: Es una herramienta para el modelado de datos de un sistema.
- Atributo: es una propiedad de la entidad
- Actividad: Evento en un periodo de tiempo determinado.
- Estado de la variable: el conjunto de variables que se necesitan para describir el sistema.
- Evento: variable u ocurrencia que cambia el estado del sistema” (Banks, Carson, Nelson, & Nicol, 2010, pág. 13)

Si deseas ampliar la información puedes consultar un ejemplo dando click en el interrogante



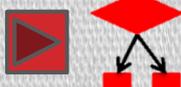
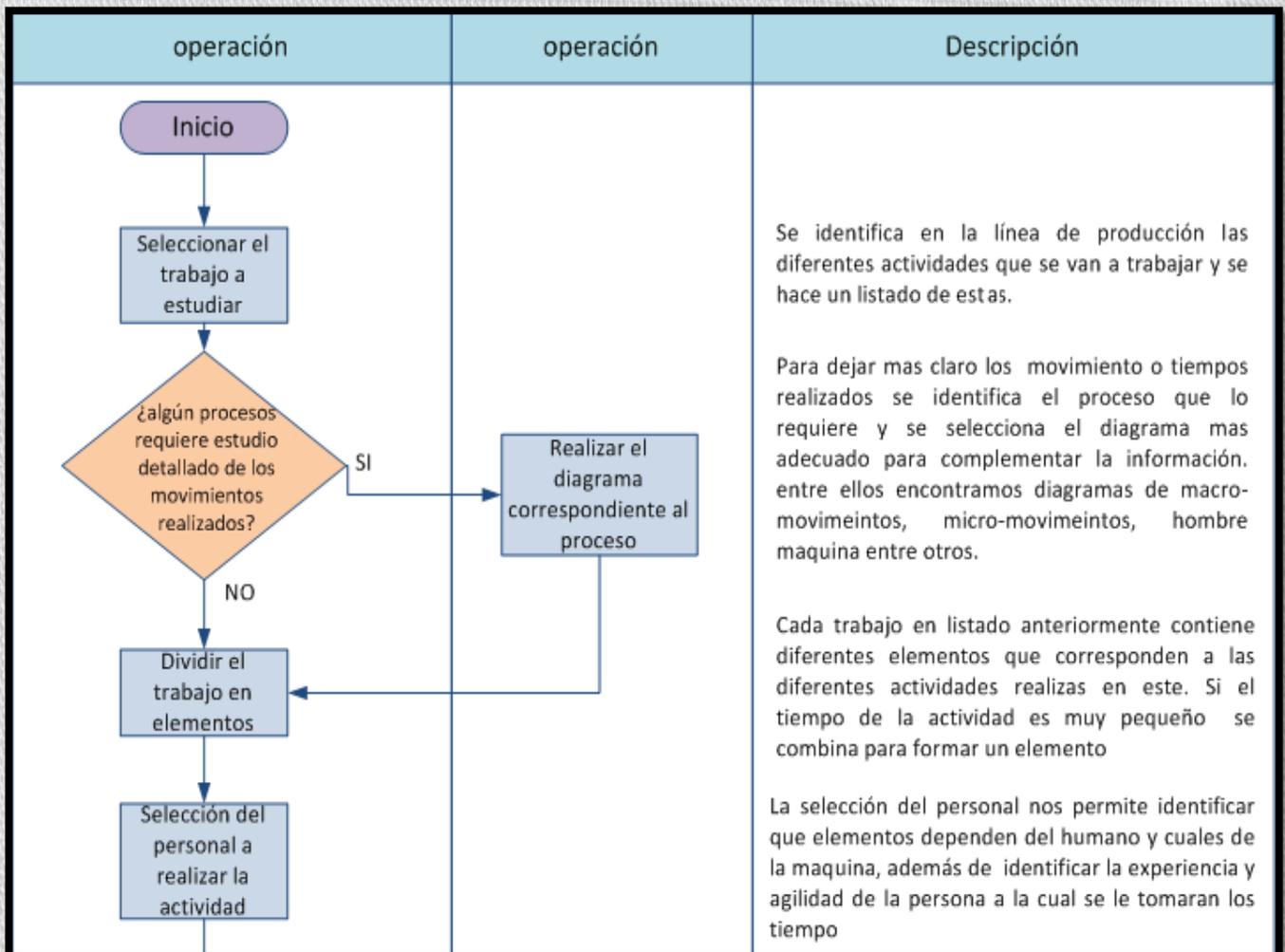
EJEMPLO COMPONENTES DE UN SISTEMA



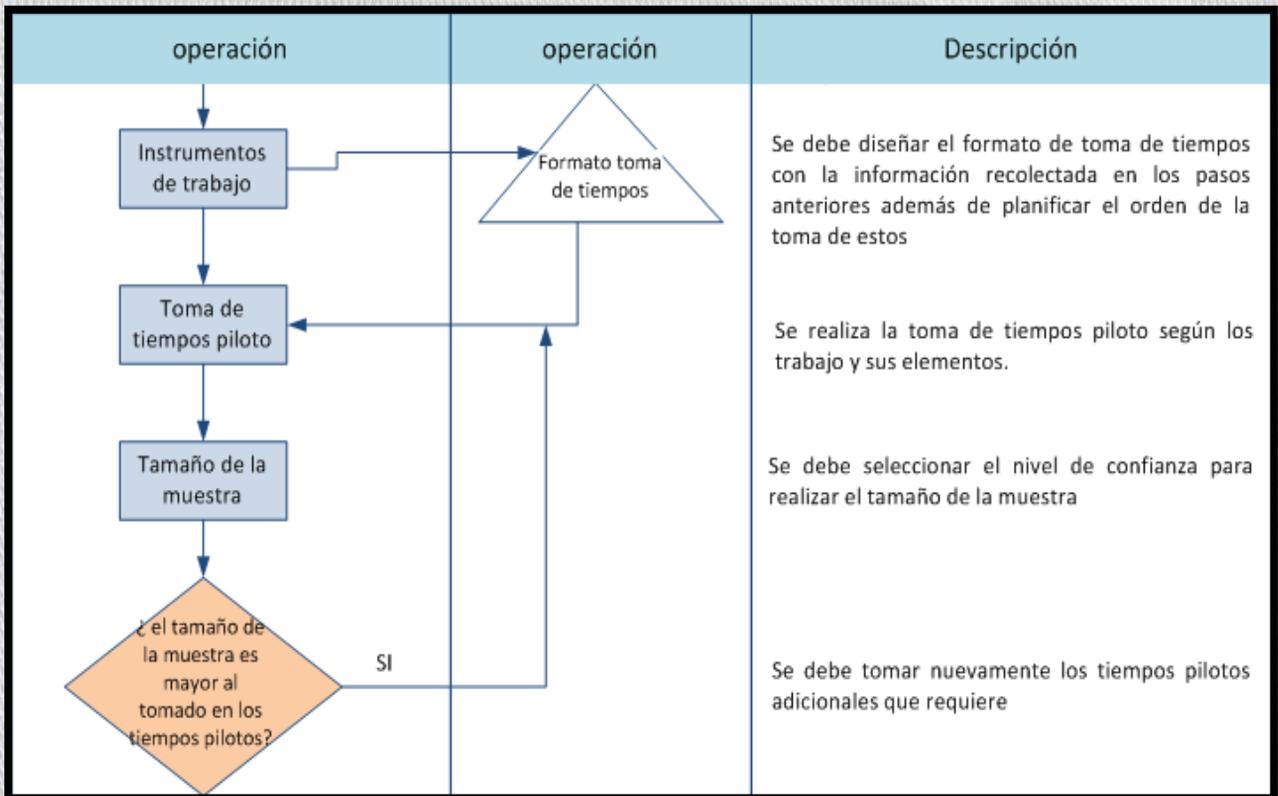
RECOLECCIÓN DE DATOS

Se desarrolla un metodología para la toma de tiempos y movimientos que se explican en siguiente diagrama de flujo de tres etapas.

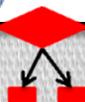
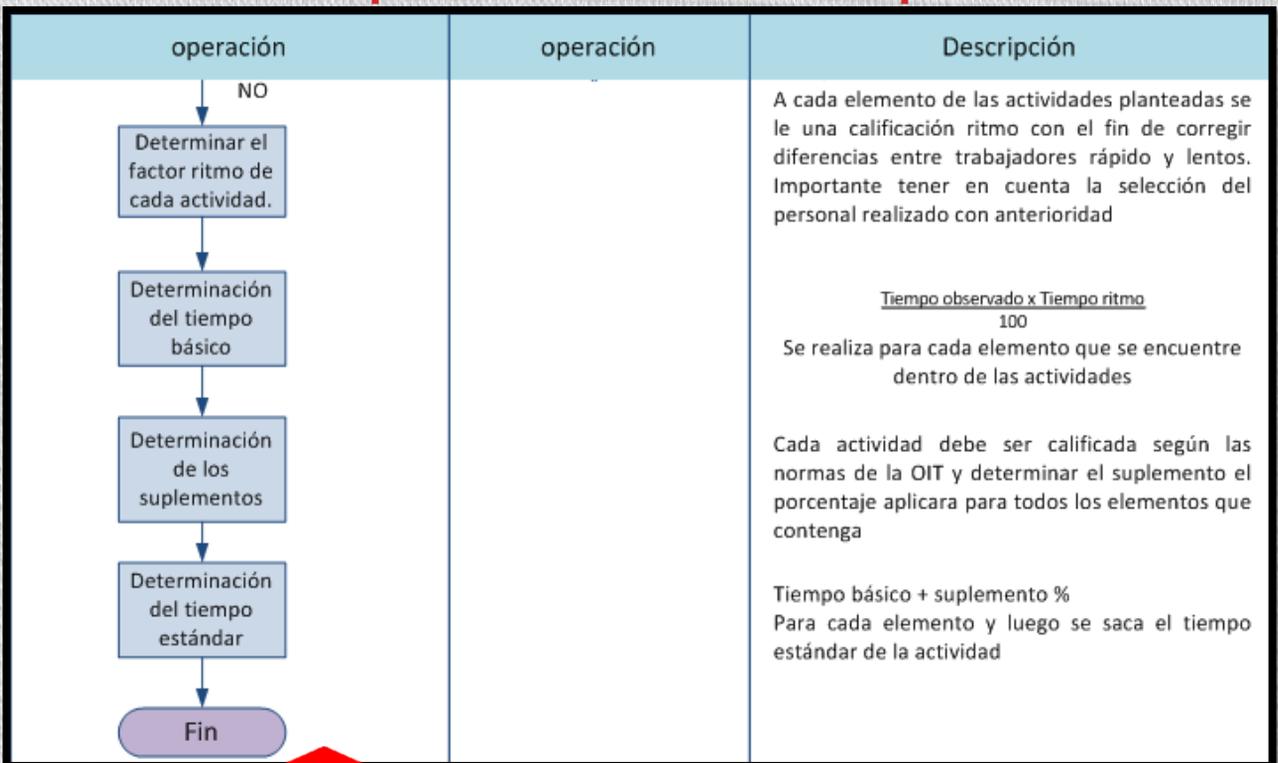
Primera etapa selección



Segunda etapa toma de tiempos

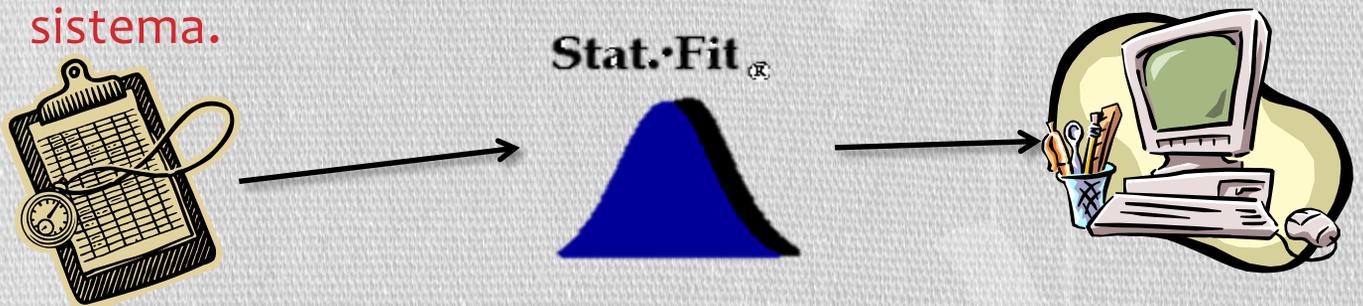


Tercera etapa determinación tiempo estándar

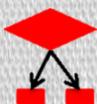
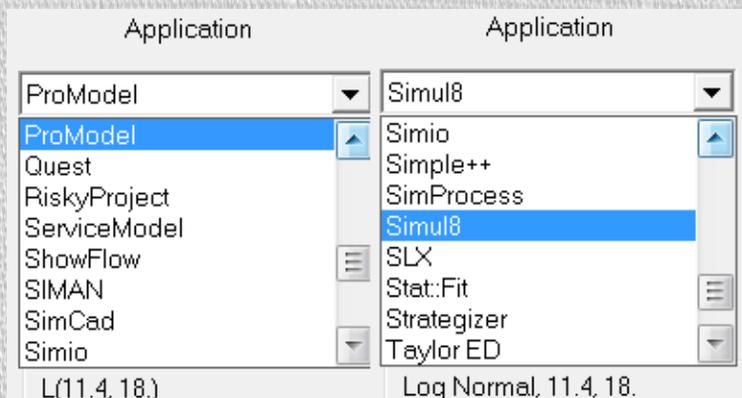


TRASLADO DE DATOS AL MODELO

Con la conceptualización clara del sistema a simular y la recolección de datos completa, lo que queda por realizar es la selección del software de simulación (AnyLogic, Arena, AutoMod, Extend, Flesim, ProModel y Simul8), cada uno contiene diferentes características y usa diferentes lenguajes así que usamos un programa “traductor” que nos ayuda a pasar nuestra recolección de datos al lenguaje del software seleccionado además de encontrar la distribución de los diferentes datos del sistema.



Se ingresan los datos recolectados al programa Statfit y este exporta la distribución de los datos en el lenguaje del software seleccionado.



VERIFICACIÓN

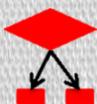
Se debe verificar el programa informático usado para simular, es importante realizar las siguientes preguntas:

- ¿El programa de simulación funciona correctamente?
- ¿Los datos preliminares son coherentes con los encontrados en el sistema real?

Consejos:

- ✓ Se debe verificar que el código que se haya introducido correctamente y sea lógico
- ✓ Ejecutar el modelo y ver el comportamiento de este con cada uno de sus elementos desde el punto de vista lógica y comparándolo con el sistema real.
- ✓ Pausar la simulación dar una hipótesis de los que ocurrida y reanudar la simulación.
- ✓ Seguir la trazabilidad de una entidad en el proceso
- ✓ Aislar un segmento del modelo con determinados elementos y analizar su comportamiento.

Si en el paso de verificación se encuentran inconsistencias se deberá reevaluar el traslado de datos al modelo.



VALIDACIÓN

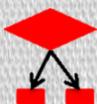
La validación va a determinar si el modelo es una representación del sistema real, Para esto se necesitan tener diferentes indicadores del sistema real para poder compararlos con los resultados obtenidos de la simulación y proceder a su validación



Si recordamos el ejemplo del BANCO

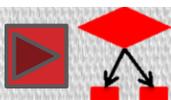
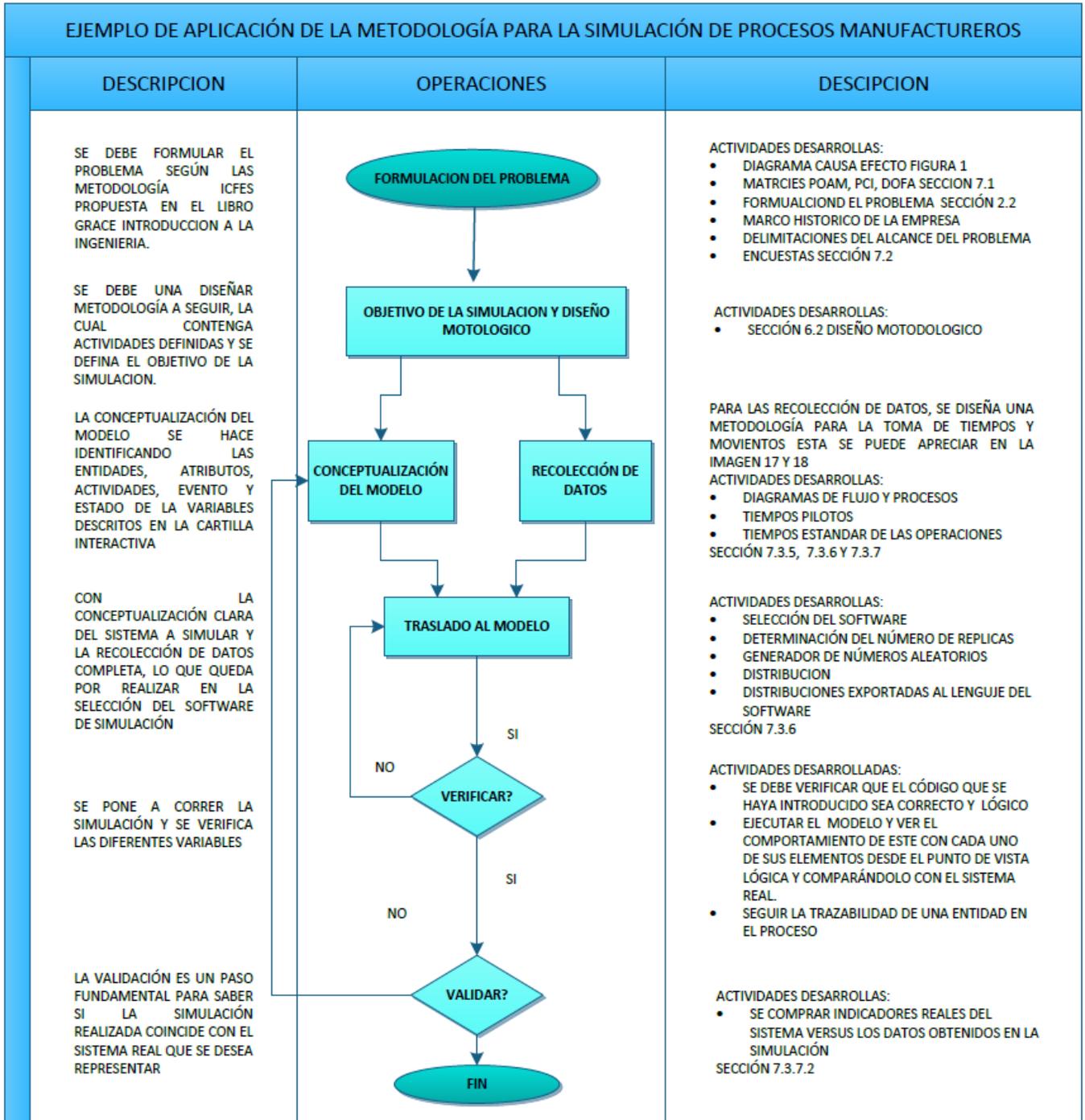
donde se recogieron datos sobre las longitudes de las colas de espera en las condiciones actuales, la pregunta a realizarse es ¿El modelo de simulación replicar esta medida?, Donde se compara el indicador actual frente al obtenido en la simulación.

Cuando se finalice la validación y esta sea correcta se podrá realizar el diseño de experimentos con el sistema real, si la validación no es aprobada se deberá reevaluar la conceptualización del modelo y la recolección de datos.



EJEMPLO DE SIMULACIÓN

- Para comprender el diagrama de flujo es necesario remitirse a la tesis **METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DE UN CASO EMPRESARIAL DEL SECTOR MANUFACTURERO A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN.**



BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, J. (2005). *Gerencia y planeación estratégica*. Universidad santo tomas.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2010). *Discrete-event System Simulation*. Pearson.
- Barros, R., Duque, G., Rojas, J., Sánchez, L. M., & Velosa, J. (2005). *GRACE Introducción a la ingeniería*. Bogotá: Universidad EAN.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. Mc graw hill.
- Duna, E., García, H., & Cárdenas, L. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con promodel*. México: Pearson.
- Harrell, C., Biman, G., & Bowden, R. (2004). *Simulation Using Promodel*. Boston: McGraw Hill.
- Meyers, F., & Stewart, J. (2002). *Motion and time study for lean manufacturing*. Prentice hall.
- Niebel, B. (1996). *Ingeniería industrial métodos, tiempos y movimientos*. Alfomega s.a.



LICENCIA DE USO – AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

Actuzendo en nombre propio identificado (s) de la siguiente forma:

Nombre Completo NATALIA BUTERO ROJAS

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: 1026567868

Nombre Completo _____

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: _____

Nombre Completo _____

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: _____

Nombre Completo _____

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: _____

El (Los) suscritor(s) en calidad de autor (es) del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado, documento de investigación, denominado:

Dejo (dejamos) constancia que la obra contiene información confidencial, secreta o similar: SI NO
(Si marqué (marcamos) SI, en un documento adjunto explicaremos tal condición, para que la Universidad EAN mantenga restricción de acceso sobre la obra).

Por medio del presente escrito autorizo (autorizamos) a la Universidad EAN, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad EAN y a los usuarios de bases de datos y sitios webs con los cuales la institución tenga convenio, a ejercer las siguientes atribuciones sobre la obra anteriormente mencionada:

- A. Conservación de los ejemplares en la Biblioteca de la Universidad EAN.
- B. Comunicación pública de la obra por cualquier medio, incluyendo Internet
- C. Reproducción bajo cualquier formato que se conozca actualmente o que se conozca en el futuro
- D. Que los ejemplares sean consultados en medio electrónico
- E. Inclusión en bases de datos o redes o sitios web con los cuales la Universidad EAN tenga convenio con las mismas facultades y limitaciones que se expresan en este documento
- F. Distribución y consulta de la obra a las entidades con las cuales la Universidad EAN tenga convenio

Con el debido respeto de los derechos patrimoniales y morales de la obra, la presente licencia se otorga a título gratuito, de conformidad con la normatividad vigente en la materia y teniendo en cuenta que la Universidad EAN busca difundir y promover la formación académica, la enseñanza y el espíritu investigativo y emprendedor.

Manifiesto (manifiestamos) que la obra objeto de la presente autorización es original, el (los) suscritos es (son) el (los) autor (es) exclusivo (s), fue producto de mi (nuestro) ingenio y esfuerzo personal y la realizo (zamos) sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de exclusiva autoría y tengo (tenemos) la titularidad sobre la misma. En vista de lo expuesto, asumo (asumimos) la total responsabilidad sobre la elaboración, presentación y contenidos de la obra, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Universidad EAN por estos aspectos.

En constancia suscribimos el presente documento en la ciudad de Bogotá D.C.,

NOMBRE COMPLETO: <u>Natalia Botero</u>	NOMBRE COMPLETO: _____
FIRMA: <u>Botero</u>	FIRMA: _____
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: <u>1076567868</u>	DOCUMENTO DE IDENTIDAD: _____
FACULTAD: <u>Ingeniería de</u>	FACULTAD: _____
PROGRAMA ACADÉMICO: <u>Producción</u>	PROGRAMA ACADÉMICO: _____

NOMBRE COMPLETO: _____	NOMBRE COMPLETO: _____
FIRMA: _____	FIRMA: _____
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: _____	DOCUMENTO DE IDENTIDAD: _____
FACULTAD: _____	FACULTAD: _____
PROGRAMA ACADÉMICO: _____	PROGRAMA ACADÉMICO: _____

Fecha de firma: 30 de enero de 2013