

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Mejoramiento de un Sistema de Producción de Electroodos  
Revestidos Mediante el uso de un Modelo de Simulación y Técnicas  
de Control de Producción y Flujo de Materiales”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

Presentada por:

Mónica Nathaly Muñoz Becerra

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2008

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por la maravillosa vida que me ha dado. A mis padres, por ser mis guías y los mejores profesores en mi vida. Al personal de la empresa de electrodos, por abrirme sus puertas. A mis amigos, especialmente al grupo “Shingo+1”, por ser excelentes compañeros y enseñarme lo mejor de la amistad. Finalmente, al Ing. Marcos

Buestán, por ser un gran profesor y  
director de tesis.

## DEDICATORIA

**A MIS PADRES:**

Ronald y Mónica

**A MI HERMANA:**

Natasha Tatiana

**A MI SOBRINA:**

Nicole Fernanda

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Jorge Abad M.  
SUB- DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Marcos Buestán B.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Dr. Kleber Barcia V.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Mónica Nathaly Muñoz Becerra

## RESUMEN

La presente tesis buscará mejorar el proceso productivo de una empresa de electrodos revestidos ubicada en la ciudad de Guayaquil. La producción de este tipo de elementos de soldadura a nivel mundial se está viendo afectada por la introducción de nuevos productos y métodos, lo que ocasiona que las empresas que se han especializado en la fabricación de electrodos revestidos refuercen sus procedimientos y mantengan o mejoren la productividad de sus líneas para poder mantenerse en el mercado a largo plazo.

La empresa en estudio ha sido líder en el país en la producción y venta de esta clase de productos pero actualmente está sufriendo algunos problemas que no le permiten alcanzar su máxima eficiencia en el proceso. Uno de los principales es la gran cantidad de productos semi-elaborados que existen entre algunas estaciones de trabajo, y que en ocasiones no cumple con la demanda de la bodega de la empresa (debido a que su producción es de tipo *make to stock*).

Una vez identificados los principales problemas, se buscarán y analizarán propuesta de mejoras para el proceso productivo, así como también se escogerá el mejor sistema de control de producción que permita maximizar los parámetros de desempeño de la fabricación de electrodos. Luego mediante el uso de un modelo de simulación, se compararán los resultados obtenidos al modelarse la situación futura versus la situación actual. Una vez conocidos estos resultados se realizará un análisis donde se mostrarán los beneficios que la empresa puede lograr implementando las propuestas planteadas.

Al término de la futura tesis, se espera contar con una propuesta de mejora valiosa que servirá para incrementar la eficiencia y productividad del proceso de fabricación de electrodos, utilizando un modelo de simulación y las técnicas de control de la producción.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	9
1.4 Estructura de la Tesis.....	10
 CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Sistemas de Control de Producción y Flujos de Materiales.....	12
2.1.1 Kanban.....	13

2.1.2	CONWIP.....	16
2.1.3	DBR.....	18
2.1.4	MRP.....	21

### CAPÍTULO 3

3	DESCRIPCIÓN Y MODELACIÓN DEL PROCESO.....	24
3.1	Descripción del Proceso.....	24
3.2	Toma de Tiempos.....	33
3.3	Modelación del Proceso.....	44
3.3.1	Asunciones del Modelo.....	44
3.3.2	Creación de Entidades.....	47
3.3.3	Creación de Locaciones.....	48
3.3.4	Creación de Recursos.....	51
3.3.5	Creación de Arribos.....	53
3.3.6	Creación de Atributos.....	53
3.3.7	Creación de Asignaciones de Shift.....	54
3.3.8	Programación del Modelo.....	55
3.3.9	Características Relevantes del Modelo.....	55
3.4	Validación del Modelo de Simulación.....	59
3.4.1	Cálculo del Tiempo Warm Up del Proceso y Número de	

Réplicas.....	60
3.4.2 Parámetros de Comparación.....	62
3.4.3 Comparación de los Parámetros basados en Datos Reales y Datos de ProModel.....	63
3.5 Condiciones Actuales del Proceso.....	64
CAPÍTULO 4	
4 IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS.....	65
4.1 Elección de la Técnica de Mejora.....	65
4.2 Planteamiento de las Mejoras.....	67
4.3 Modelación del Proceso Mejorado.....	81
4.3.1 Cambios Incorporados en el Modelo de Simulación.....	81
4.3.2 Características Relevantes del Modelo basado en las Propuestas de Mejoras.....	92
4.3.3 Cálculo del Tiempo Warm Up del Proceso y Número de Réplicas.....	94
4.4 Evaluación de Resultados y comparación con la situación inicial.....	94
CAPÍTULO 5	
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97

5.1 Conclusiones.....	97
5.2 Recomendaciones.....	100

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

TIG	Soldadura con gas inerte de tungsteno
MIG	Soldadura con gas inerte de metal
MAG	Soldadura con gas activo de metal
WIP	Producto en proceso
CONWIP	Sistema de producto en proceso constante
DBR	Sistema tambor-colchón-cuerda
MRP	Planeamiento de requerimiento de materiales
BOM	Lista de materiales
JIT	Justo a tiempo
TOC	Teoría de las Restricciones
TH	Tasa de producción
CT	Tiempo de ciclo
PLC	Comunicación mediante línea de energía
KS	Prueba Kolmogorov Smirnov
ANOVA	Análisis de Varianza
VS	Versus
MP	Materia Prima

## SIMBOLOGÍA

$\emptyset$	Diámetro
mm	Milímetros
%	Porcentaje
$p$	Valor crítico
$\alpha$	Nivel de confianza
$\beta$	Parámetro de distribución estadística
$\mu$	Media
$\sigma$	Desviación estándar de los datos
$n$	Número de Réplicas
H0	Hipótesis Nula
H1	Hipótesis nueva
LS	Límite superior del intervalo de confianza
LI	Límite inferior del intervalo de confianza
D	Demanda
$r_{eM}$	Tasa de producción de estación M
$r_a$	Tasa de arribo
$r_{eH}$	Tasa de producción de horno
$K$	Número de kanban
$Hr$	Horas
$U_H$	Utilización del horno
$E_{TH}$	Total de rumas que entran al horno

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Diagrama de Pareto de Producción de electrodos según tipo.....	6
Figura 1.2	Diagrama de Pareto de Ventas de electrodos según tipo.....	7
Figura 2.1	Sistema Kanban.....	15
Figura 2.2	Sistema CONWIP.....	17
Figura 3.1	Diagrama de flujo del proceso de fabricación.....	25
Figura 3.2	Diagrama del proceso de electrodos.....	32
Figura 3.3	Resultado 1 de la prueba de ajuste.....	36
Figura 3.4	Resultado 2 de prueba de ajuste según KS.....	37
Figura 3.5	Resultado ANOVA Caso 1.....	39
Figura 3.6	Resultado ANOVA Caso 2.....	40
Figura 3.7	Resultado ANOVA Caso 3.....	41
Figura 3.8	Resultado ANOVA Caso 4.....	42
Figura 3.9	Locaciones del modelo.....	50
Figura 3.10	Asignación de horario de trabajo para la máquina trefiladora...	54
Figura 3.11	Datos de entrada en SimRunner.....	60
Figura 3.12	Cálculo del tiempo WARM UP del proceso.....	61
Figura 3.13	Comparación de los intervalos de confianza basados en	

	datos reales y ProModel.....	63
Figura 4.1	Tiempos dentro del horno.....	69
Figura 4.2	Diagrama de cantidades de WIP.....	71
Figura 4.3	Diagrama conwip-push dentro de planta.....	72
Figura 4.4	Diagrama CONWIP.....	73
Figura 4.5	Señales kanban.....	76
Figura 4.6	Kanban urgente.....	78
Figura 4.7	Sistema LOOK-SEE.....	80
Figura 4.8	Processing CONWIP 1.....	82
Figura 4.9	Diagrama operacional CONWIP.....	83
Figura 4.10	Processing CONWIP 2.....	84
Figura 4.11	Processing CONWIP 3.....	85
Figura 4.12	Datos para cálculo de CT.....	86
Figura 4.13	Datos para CONWIP.....	88
Figura 4.14	Diagrama de consumo de cantidad de rumas iniciales (x).....	90
Figura 4.15	Dato de arribo a simulación mejorada.....	91
Figura 4.16	Diagrama CONWIP con datos.....	92
Figura 4.17	Situación inicial vs CONWIP.....	95



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Listado de productos de la empresa “Electrodos” .....	5
Tabla 2 Tabla resumen de la toma de tiempos.....	43
Tabla 3 Descripción de jornadas de trabajo del proceso.....	45
Tabla 4 Tabla de entidades de la simulación.....	47
Tabla 5 Tabla de locaciones de la simulación.....	48
Tabla 6 Tabla de variables de la simulación.....	51
Tabla 7 Tabla de atributos de la simulación.....	55
Tabla 8 Situación actual del proceso.....	64
Tabla 9 Comparación de resultados de mejoras.....	94

# INTRODUCCIÓN

Todas las empresas manufactureras poseen un sistema de administración de la producción propio dependiendo de las condiciones y características de cada proceso productivo, pero muchas veces estos sistemas son propuestos en base a conocimientos empíricos y sin ninguna base científica sobre el tema, desaprovechándose la oportunidad de mejorar los indicadores de producción e incurriendo en gastos monetarios innecesarios.

Cada vez se van creando nuevas formas de producción que permiten alcanzar el máximo nivel de desarrollo de la línea. En las últimas décadas se ha generado una evolución tal desde los primeros sistemas PUSH hasta los actuales sistemas PULL, y las combinaciones de ambos sistemas potencializándose sus beneficios individuales, cabe recalcar que el ejemplo más claro de la fusión de dos importantes sistemas es el sistema CONWIP, con el cual se garantiza un mejor rendimiento de la cadena productiva.

La presente tesis tratará la propuesta de implementar un nuevo sistema de producción para una empresa encargada de la fabricación de electrodos, la cual será ejecutada mediante un modelo de simulación en ProModel. Con la ayuda de esta simulación se podrá analizar detalladamente el impacto de la propuesta, para conocer si generará o no diferencias en cuanto al

rendimiento de la línea de producción, comparándose con la situación actual; así como también servirá de soporte para afinar los detalles de su implementación. Adicionalmente, se evaluará otra propuesta de mejora recomendada por el personal de la empresa, y finalmente se concluirá que tan grande es el impacto de la misma.

# CAPÍTULO 1

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Con el paso de los años la soldadura ha experimentado un continuo progreso en su industria, debido en gran medida a la evolución de las técnicas de soldadura y a la creciente demanda de este proceso. Ha sido tal la evolución presentada, que materiales que hace muchos años se creían insoldables, en la actualidad son soldados con muy buenos resultados.

El proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos es el método más conocido y probablemente el más utilizado debido a su versatilidad, flexibilidad y rápida forma de trabajar para el soldador experto. Este ingenioso material fue creado por el ingeniero Oscar Kjellberg en Suecia en el año 1904 y posteriormente fabricado por muchas compañías a nivel mundial. En el Ecuador, existen

empresas encargadas de la fabricación de electrodos revestidos que llevan algunas décadas en el desarrollo y producción de este tipo de materiales de soldadura (1).

Pero en los últimos años, debido a la propia evolución de la soldadura, se han presentado en el mercado nuevos materiales y métodos que son considerados como potenciales productos sustitutos de los electrodos revestidos; estos métodos son: el arco sumergido, soldadura con gas inerte de tungsteno (Tungsten Inert Gas - TIG), Estos presentan ventajas indiscutibles al obtenerse cordones de soldadura más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que el resto de los métodos; y por lo tanto, se puede conseguir un buen acabado superficial. Aunque para estos métodos se requiere de una mano de obra y de equipos especializados lo que aumenta los costos (2).

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El presente trabajo de investigación se basará en una línea de producción de electrodos revestidos localizada en la ciudad de Guayaquil. Bajo la marca de la empresa "Electrodos", se comercializan alrededor de 18 tipos de productos, los cuales están clasificados entre electrodos tipo: celulósicos, rútilicos, especiales y

básicos. Actualmente en la empresa sólo se están produciendo 9 de esos tipos de electrodos mientras que los demás son importados al país pero vendidos de igual forma bajo la misma marca. En la tabla 1 se muestran los diferentes productos de acuerdo a su categoría. Cabe señalar que cada tipo de electrodo se puede encontrar en cuatro diferentes diámetros, estos son: 2.5 mm (3/32), 3.25 mm (1/8), 4 mm (5/32) y 5 mm (3/16).

TABLA 1

## LISTADO DE PRODUCTOS DE LA EMPRESA "ELECTRODOS"

Categoría	Tipo de Electrodo
Celulósico	C-13
Rulíficos	R-10
Rulíficos	R-15
Especiales	B-80
Especiales	B-83
Especiales	B-84
Especiales	B-85
Especiales	R-60
Especiales	R-63
Especiales	R-65
Especiales	R-67
Especiales	R-91
Especiales	X-41
Especiales	X-44
Especiales	X-48
Especiales	X-49
Básicos	B-10
Básicos	E-7018

Dentro de la categoría de los celulósicos se encuentra el electrodo considerado el producto estrella de la empresa, el electrodo C13,

debido a que es el producto que mayor demanda tiene de parte del mercado y por lo tanto es el ítem que se produce en mayores cantidades. A continuación se muestran dos Diagramas de Pareto, donde se puede observar la participación del electrodo C13, estos están basados en información de reportes de venta y producción del año 2007.

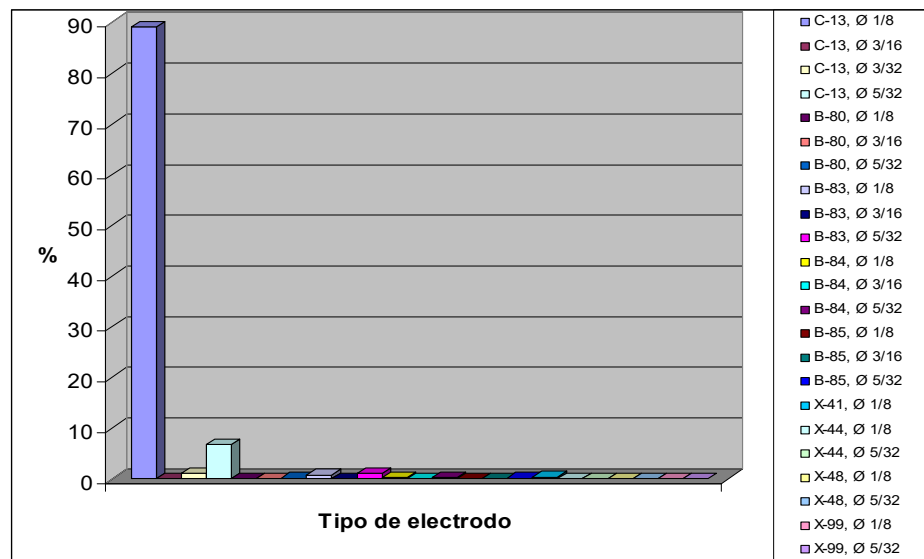


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE PARETO DE PRODUCCIÓN DE ELECTRODOS SEGÚN TIPO

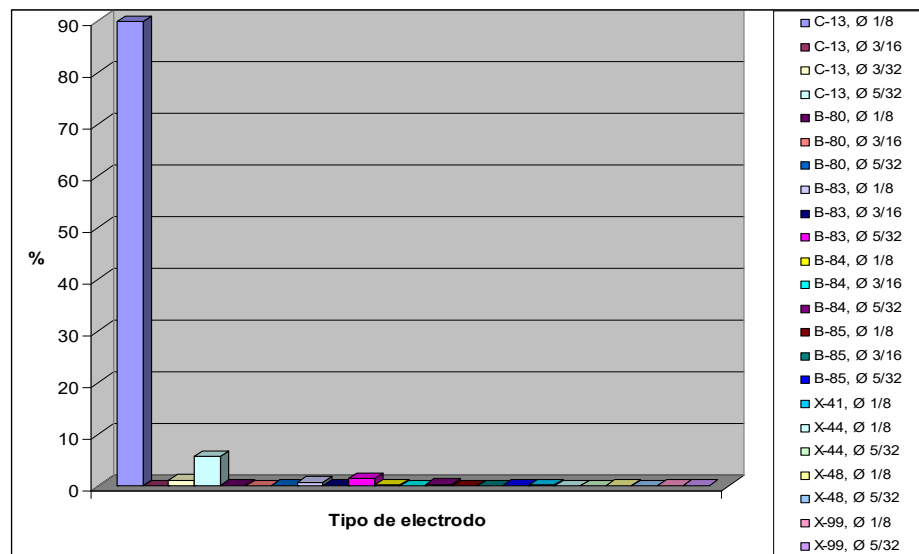


FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE PARETO DE VENTAS DE ELECTRODOS SEGÚN TIPO

Como el electrodo C13 y específicamente con diámetro 1/8 ó 3.25 mm, es el producto que ocupa casi el 90% de la producción total de la empresa, la presente investigación se centrará en el estudio y mejoramiento del proceso para este tipo de electrodo, aunque todos siguen los mismos procesos de fabricación.



La demanda mensual del electrodo C13 es de aproximadamente 8500 cajas. El tipo de producción de esta empresa se la puede considerar como *make to stock*<sup>1</sup>.

La empresa presenta los siguientes problemas:

- Exceso de productos semi-terminados (Work in Process - WIP) entre algunas estaciones de trabajo a lo largo del proceso.
- Elevado tiempo de ciclo del producto
- En ocasiones no se cumple con la demanda de la bodega de la empresa.
- Se incurre en sobre-tiempos para poder cumplir la meta de producción.
- Falta de coordinación entre los procesos de las máquinas de tochos y la prensa.
- Desperdicios por mala calidad de los productos en proceso.
- No existen buena comunicación entre los departamentos de Ventas y Producción.
- Exceso de nivel de inventario de materias primas y materiales de apoyo.

---

<sup>1</sup> Make to stock o “Hecho para almacenar” es un ambiente en el que la empresa fabrica de forma continua pero no existe una demanda explícita por parte de algún cliente. Se basa en pronósticos de demandas pasadas.

- Presencia de tiempos ociosos y tiempos perdidos por fallas de algunas máquinas.

Debido a la presencia de estos factores que perjudican el rendimiento global de la empresa, se aplicarán mejoras de los procesos con el objetivo de establecer mecanismos para incrementar la productividad y eficiencia de la línea de producción. Además, se contará con la ayuda de un programa de simulación con el cual se podrá representar de mejor forma el desempeño actual y esperado del proceso.

### **1.3. Objetivos**

#### **General:**

Desarrollar acciones de mejora sobre un proceso de elaboración de electrodos revestidos a través de la aplicación de un modelo de simulación y técnicas de control de producción.

#### **Específicos:**

- Conocer, describir y entender los sistemas más relevantes de control de producción y flujos de materiales más relevantes como Kanban, entre otros.

- Seleccionar y evaluar la técnica de mejora a implementar basándose en el sistema de control de producción más adecuado de acuerdo a las características descritas.
- Hacer un análisis técnico de la situación esperada y mostrar los beneficios que la empresa puede obtener, si implementa en su proceso el nuevo sistema de control de producción elegido.

#### **1.4. Estructura de la tesis**

En el Capítulo 1, denominado Planteamiento del Problema, se definirán: los antecedentes, el planteamiento del problema específico, el objetivo general de la tesis, los objetivos específicos y la estructura con que contará la presente investigación; todos estos puntos servirán como direccionamiento del trabajo.

En el Capítulo 2, llamado Marco Teórico, se expondrán todos los conceptos básicos así como las referencias teóricas de los sistemas de control de producción y flujos de materiales más conocidos, como Kanban, CONWIP, DBR y MRP.

En la Descripción y Modelación del Proceso, nombre del Capítulo 3, se detallará toda la información recolectada concerniente al estado actual de los procesos de la empresa, tanto información teórica como

toma de tiempos; y luego mediante un software de simulación llamado "ProModel", se procederá a realizar una simulación computarizada del proceso de la Empresa de Electroodos, considerando todos los datos reales colectados. Por último, se presentará la condición actual de la empresa según los datos obtenidos mediante observación y la simulación.

Una vez modelado el proceso actual, en el Capítulo 4 llamado Implementación de las Propuestas de Mejoras, se seleccionará el mejor sistema de control de producción a implementarse en el proceso, así como otras propuestas de mejoras; las mismas que serán programadas y evaluadas en el modelo de simulación. Posteriormente se compararán los resultados obtenidos en la situación esperada y en la situación actual del proceso con el fin de cuantificar los posibles beneficios.

Finalmente, en el Capítulo 5 llamado Conclusiones y Recomendaciones, se detallarán los resultados obtenidos de la investigación, se expondrán las conclusiones de la presente tesis; así como también, las recomendaciones para la empresa y/o para futuros trabajos que se basen en esta investigación.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sistemas de Control de Producción y Flujos de Materiales

En la actualidad, la necesidad de producir eficientemente sin causar retrasos en las entregas de los productos ni altos costos, es un factor de suma importancia para las empresas. Esto es posible conseguir mediante la implementación de sistemas de control de producción eficientes. Existen dos grandes tipos de estos sistemas, los llamados: PULL (producción accionada por el cliente) y PUSH (producción accionada por una orden de producción). Dentro de cada tipo existen sistemas y programas de producción con diferentes características enfocadas a las diversas formas de manufactura.

En el presente capítulo se exponen los sistemas de control de producción y de flujo de materiales más importantes en las últimas décadas.

### 2.1.1. Kanban

El sistema Kanban<sup>2</sup> fue originalmente desarrollado por la empresa japonesa TOYOTA en la década de los 50, como parte de la filosofía JIT (Justo a tiempo) para manejar el flujo de materiales en una línea de ensamble de automóviles. El concepto principal nació analizando la forma de trabajar de los supermercados estadounidenses.

El objetivo principal es satisfacer la demanda real del público consumidor, al mismo tiempo de minimizar los tiempos de entrega, la cantidad en stock y los costos. Permitir que sea el mercado quien "hale" las ventas, que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a buscar un comprador. Es por esto que Kanban es considerado como un sistema de control de producción del tipo PULL [3].

Los kanbans son representados mediante tarjetas o contenedores, éstos contienen información acerca de que se va a producir, en que cantidad, mediante que medios, y como será transportado. El funcionamiento del sistema es el

---

<sup>2</sup> Palabra japonesa cuyo significado en español es "señal"

siguiente: existen kanbans adheridos a los lotes de producción o sólo a una unidad de producto (dependiendo de la forma de producir), cuando un cliente retira productos de su lugar de almacenamiento, se acciona una orden donde la tarjeta que pertenecía a ese producto vendido viaja hasta el proceso precedente, autorizando la fabricación de uno nuevo para reemplazar el que fue despachado. Dentro del proceso se tienen como reglas:

1. El proceso posterior recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades necesarias, en el lugar y momento oportuno.
2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.
3. No se deben mandar productos defectuosos a las estaciones subsecuentes [4].

En el siguiente gráfico se representa el funcionamiento del sistema kanban. Los círculos y triángulos simbolizan las máquinas y supermercados de inventarios, respectivamente. Las flechas rojas representan el flujo de las tarjetas kanbans y

las flechas azules representan el flujo de los productos dentro del sistema.

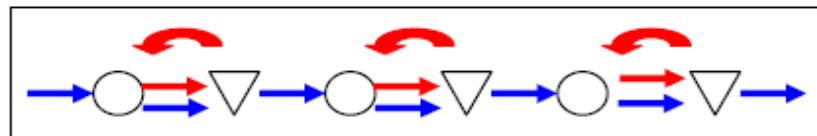


FIGURA 2.1 SISTEMA KANBAN

A pesar que el presente sistema trae consigo una gran cantidad de beneficios como la reducción del inventario y del tiempo de ciclo, éste únicamente funciona cuando ciertos requisitos han sido introducidos previamente en el proceso. Muchas veces se puede adaptar el proceso a los requerimientos del Kanban pero en algunas ocasiones eso resulta casi imposible. Una de las principales imposiciones es que sólo puede aplicarse en fábricas cuya producción sea repetitiva o en masa.

El Kanban es difícil o imposible de usar cuando:

- ⊕ Hay órdenes de trabajo con cortas corridas de producción.
- ⊕ Existen set-ups altos.
- ⊕ Hay pérdidas por desperdicios.



- ✦ Las fluctuaciones de la demanda son grandes e impredecibles.
- ✦ Anteriormente no se hayan implementado sistemas de disminución de la variabilidad, como el Poka-Joke [5].

### **2.1.2. CONWIP**

El sistema CONWIP (Constant Work In Process) nace como una variante del sistema Pull para los casos cuya implementación es complicada, fue creado por los señores Wallace Hopp y Mark Spearman. A este sistema se lo considera como híbrido ya que alberga conceptos básicos de los sistemas Pull y Push. Como medida de apoyo se pueden utilizar tarjetas kanban y otros medios de visuales de control, como el "Look-see".

El CONWIP se puede definir como un sistema de control de producción cerrado, esto es, controla la cantidad de materiales que ingresan al sistema y únicamente permite una cantidad constante de WIP (como su nombre lo indica).

El sistema funciona de la siguiente manera: al principio de la línea una tarjeta kanban se fija a un lote de producción o a un

producto específico y viaja con él hasta el final. Dentro del proceso, desde que se inicia el trabajo en la primera máquina hasta que se culmina en la última, el flujo de fabricación (representado por las flechas azules) continúa sin restricciones de una forma Push. Cuando se entrega un producto al cliente se retira la respectiva tarjeta y se la envía al inicio del proceso (representado por las flechas verdes) para autorizar la entrada de material y por ende de producción, en esta parte del proceso se comporta como un sistema Pull.

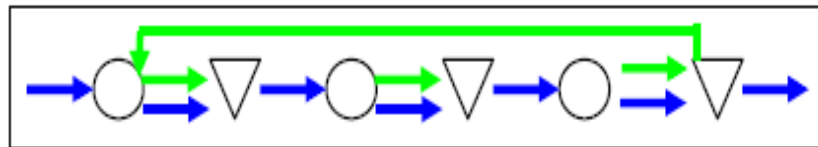


FIGURA 2.2 SISTEMA CONWIP

Los sistemas JIT y CONWIP no responden muy bien a cambios en el volumen y a la mezcla de productos. Como se comentó antes, los sistemas Pull requieren un flujo estable de productos o lo que es lo mismo: una producción nivelada [4].

### 2.1.3. DBR

La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints – TOC) fue descrita por Eliyahu Goldratt al principio de los años 80. Nació como una manera de administrar los ambientes industriales, con el objetivo de aumentar las ganancias de las organizaciones en el corto y largo plazo. Este objetivo se alcanza aumentando el ingreso de dinero a través de las ventas y al mismo tiempo se reducen los inventarios y los gastos de operación.

La clave de la Teoría de las Restricciones es hacer la comparación de que la operación de cualquier sistema complejo (empresa), consiste en realidad en una gran cadena de recursos interdependientes (máquinas, equipos, centros de trabajo, materiales) pero sólo unos cuantos, conocidos como cuellos de botella, son los que restringen o condicionan la salida de toda la producción. Goldratt en su libro *LA META* resalta que en toda empresa hay por lo menos una restricción, ya que si no fuera así, se generarían ganancias ilimitadas.

El DBR como técnica de control de producción, es la aplicación de la Teoría de las Restricciones a la producción

dentro de las fábricas. Son tres los conceptos básicos que priman y de los cuales se forma el nombre de la técnica: Drum (Tambor), Buffer (Colchón) y Rope (Cuerda).

El principal recurso con restricción de capacidad será tratado como el “tambor” que es el que marcará la velocidad de producción de toda la planta. También se necesitará establecerá un “amortiguador” de inventario frente al factor limitativo. Este amortiguador protegerá el throughput de la planta de cualquier perturbación que se produzca en los factores no cuellos de botella. Y finalmente, para asegurarse que el inventario no crezca más allá del nivel dictado por el amortiguador, deberá limitarse la velocidad a la cual se liberen materiales a la planta. Debe amarrarse una “cuerda” desde el cuello de botella hasta la primera operación; en otras palabras, la velocidad para liberar materiales a la planta será gobernada por la velocidad a la cual el cuello de botella esté produciendo.

El sistema DBR se considera un proceso de mejora continua debido a que se siguen cinco pasos primordiales:

1. Identificar la(s) restricción(es) del sistema

2. Decidir cómo explotar la(s) restricción(es) del sistema
3. Subordinar todo lo demás a la decisión del paso anterior
4. Elevar la(s) restricción(es) del sistema
5. Si en los pasos anteriores se ha roto alguna restricción, regresar al paso 1.

Existen puntos resaltables de esta teoría, los cuales son:

- ▮ No se debe equilibrar la capacidad productiva con la demanda del mercado, sino el flujo de producción.
- ▮ La utilización y la activación de un recurso no son lo mismo.
- ▮ Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.
- ▮ Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.
- ▮ El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso.
- ▮ No tiene sentido producir más que lo que el cuello de botella puede absorber.
- ▮ Las demás máquinas deben trabajar para que el cuello de botella no se pare.

Como los sistemas presentados anteriormente, el DBR también posee limitaciones en su aplicación como:

- ✦ Cuando se tienen cuellos de botella móviles.
- ✦ Empresas con muchos productos sin rutas fijas.
- ✦ Mix de producción diferente [7 y 8].

#### **2.1.4. MRP**

El MRP o el Planeamiento de Requerimientos de Materiales es un método de planeación de producción y de inventarios, que utiliza las ventajas de las bases de datos. Este sistema comenzó a ser utilizado en los años 70 y fue hecho especialmente para productos con demanda dependiente. Por ejemplo, cinco llantas por auto.

Este sistema de control ha cambiado a lo largo del tiempo, corrigiendo sus falencias. Existen nuevas versiones como: MRPII, DRP y ERP, los cuales incluyen módulos de capacidad, costos, rutas, job shop y módulos de comunicación en red. Sin embargo, el archivo central de éstos sigue siendo el MRP.

El MRP tiene tres fuentes importantes de información:

- ▀ Programa Maestro de Producción en donde se registra la demanda pronosticada de bienes finales.
- ▀ Lista de Materiales (BOM) en donde se registra la estructura de dependencia de los sub-ensambles y las partes del producto final, con niveles y cantidades.
- ▀ Estado de Inventarios en donde se lleva cuenta del inventario a la mano en el momento actual y las llegadas programadas de materiales.

El MRP es considerado como un prototipo de los sistemas PUSH debido a que las órdenes de compra y de producción del programa se van acumulando o “empujando”. Además, es un sistema de control abierto ya que no controla la entrada de materiales, únicamente verifica que el Throughput (TH) se cumpla.

En muchos casos se han obtenido grandes ventajas de este sistema, como la reducción de inventarios y el mejoramiento en los niveles de atención a los clientes. Pero existen algunos problemas en la implementación del MRP, los cuales pueden

afectar e influir para que los planes de producción que se hagan, no se cumplan. Éstos son:

- ✦ Se precisa absoluta integridad en los datos. Si hubiere algún error en los datos de entrada, como: datos de inventarios o BOM, la información de salida será incorrecta.
- ✦ Se consideran lead times fijos y constantes (asumiendo que las partes están disponibles), es decir que se usará el mismo tiempo cada vez que se fabrique dicho producto sin considerar otros factores importantes.
- ✦ Se necesita la implementación previa de sistemas de reducción de variabilidad para estar seguros que los productos saldrán sin defectos.
- ✦ No siempre se generan planes de producción factibles [4].



# CAPÍTULO 3

## 3. DESCRIPCIÓN Y MODELACIÓN DEL PROCESO

### 3.1. Descripción del Proceso

Para la fabricación de electrodos se necesitan tres materias primas básicas, las cuales son: rollos de acero (alambrón), polvos (componentes químicos) y el aglutinante (silicatos). Cada material sigue sus propias operaciones de transformación, empezando desde sus respectivas bodegas de almacenamiento, hasta que al final del proceso, la unión de ellos consigue formar el electrodo revestido.

El proceso de los electrodos sigue el diagrama de flujo que se muestra a continuación:

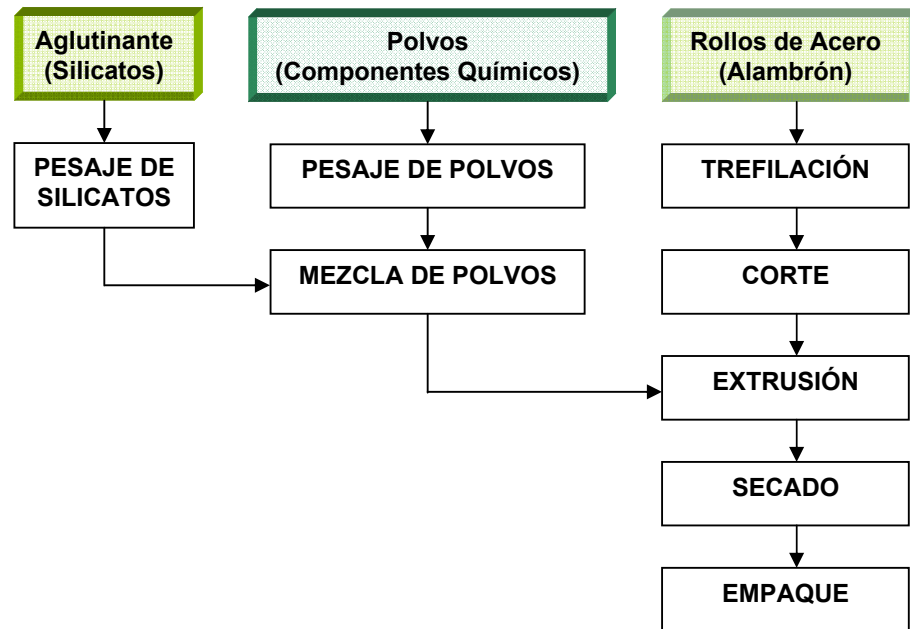


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

### Proceso de Trefilación del alambre

El proceso de trefilación del alambre se realiza en una sola máquina y consta de varias etapas: devanado, decapado, trefilado y limpieza. Dos personas, el operario principal y un ayudante, son los encargados de esta área.

Este proceso comienza con la carga de dos rollos de alambre en la máquina, la punta del primero es soldada con la punta del rollo que está por terminar, para permitir un proceso continuo.

La máquina trefiladora hala el alambón y lo guía a través de un dispositivo de decapado mecánico, que por fraccionamiento desprenden la calamina u óxido ferroso del alambre. Este proceso de trefilación consta de varios pasos, el número de pasos se define como el número de veces que el alambón va a ser sometido a reducción de diámetro, para el caso de esta investigación el número de pasos es de cinco ya que el diámetro es de 3.25 mm. Antes de cada paso, el alambre pasa por recipientes con jabón lubricante en polvo para evitar el desgaste excesivo de las herramientas, después se enrolla en una bobina giratoria; pero antes del último paso, el alambón pasa por una caja que contiene Kerex, para limpiar todo exceso de jabón lubricante. En la última bobina el alambre es recogido con un teclee, se identifica y almacena el rollo trefilado hasta entrar en la próxima operación.

### **Proceso de Corte del alambón**

En esta etapa se llevan a cabo las operaciones de enderezado y corte. Existen dos máquinas cortadoras con diferentes capacidades de corte las cuales son manejadas por un operario cada una.

El rollo de alambre trefilado es montado en un dispositivo giratorio con ayuda de un teclee, donde se sueldan las puntas para permitir un

proceso continuo así como en el trefilado. Primero se pasa por un cuerpo enderezador y luego con la ayuda de una cuchilla de corte y tope se cortan las varillas siempre en el mismo tamaño. Estas varillas caen por gravedad a una bandeja, para luego ser recogidas manualmente, colocadas en cajas especiales, identificadas y almacenadas para su posterior uso.

### **Proceso de Pesaje de polvos y silicatos**

Con este proceso empieza la fabricación del revestimiento del electrodo. En esta etapa se pesan varios componentes químicos en polvo siguiendo la receta del tipo de electrodo a fabricar, estos componentes son vertidos en contenedores montados en una balanza electrónica donde son pesados. Luego se traslada el contenedor al área de almacenamiento con la ayuda de un teclee y se lo identifica. Este proceso es realizado por una persona.

Para el proceso de pesado de silicatos se cuenta con la ayuda de una balanza digital y un tanque, al que se le ha colocado un sensor que esta conectado a un PLC (Power line communication – Comunicación mediante línea de energía); este sensor indica cuando se alcanza el peso requerido de silicato según la fórmula y ordena

abrir una válvula que lo transporta por medio de tuberías hasta la máquina mezcladora, mediante un sistema electro-neumático.

### **Proceso de Mezcla**

Esta etapa consta de los procesos de mezcla seca, mezcla húmeda y briquetado. En el proceso de mezcla seca, los componentes químicos son vertidos en la máquina mezcladora y amasados durante un tiempo, luego a este flux (mezcla de componentes químicos) se le añaden los silicatos y un poco de agua, esto es parte de la mezcla húmeda; el tiempo de amasado depende de la fórmula. En el proceso de briquetado, la masa pastosa obtenida del proceso anterior es llevada hacia una prensa de briquetas con la cual se compacta la masa dándole una forma cilíndrica, a esta nueva forma de masa se la llama "tocho". En la máquina mezcladora y en la prensa de briquetas trabaja una persona respectivamente.

### **Proceso de Extrusión**

Es considerado como el eje central de la línea de producción. Consta de los procesos de extrusión, cepillado, lijado y rotulado; realizados en una sola máquina.

El proceso de extrusión comienza cuando las varillas cortadas y los tochos de masa son cargados en la máquina extrusora. Mediante un juego de rodillos, las varillas son aceleradas hacia el “dado de varilla”, lugar donde éstas y la masa se unen como resultado de una fuerte presión, formándose los electrodos, que luego son transportados mediante bandas transportadoras a los siguientes procesos.

En el proceso de cepillado, los electrodos son llevados a una cepilladora que desgarrar un pedazo de la masa de uno de los extremos. En el proceso de lijado, mediante un cilindro que contiene una lijadora, al electrodo se le lija la punta de modo que se forme un chaflán. En el proceso de rotulado, se rotulan los electrodos tanto en la punta como en el extremo sin masa, identificando el tipo de electrodo que se ha producido y el número de lote. Finalmente dos operadores recogen los electrodos en bandejas, colocados en soportes metálicos (rumas) e identificados; existen dos tipos de rumas: las de 90 bandejas y de 120 bandejas.

### **Proceso de Secado**

Este proceso consta del proceso de pre-secado y horneado. Durante el proceso de pre-secado, los electrodos son estacionados en un

área asignada, dependiendo del tipo y diámetro del electrodo permanecen en ese sitio entre 24 y 72 horas; en este lapso de tiempo, el electrodo pierde aproximadamente el 50% de humedad. Una vez que se ha completado el tiempo requerido de pre-secado, los electrodos son llevados al horno para realizar el secado completo del producto. El tiempo y los grados de temperatura del horno, dependen del tipo de electrodo. Para el caso del electrodo C13 el tiempo de pre-secado es 24 horas y el tiempo de horneado es 1 hora.

### **Proceso de Empaque**

Una vez que los electrodos son horneados, se recoge una muestra para realizar pruebas más exhaustivas de calidad y funcionalidad en el taller de pruebas de soldadura de la empresa. Además de esas pruebas, en el área de empaque los electrodos son inspeccionados visualmente, pesados de acuerdo al tipo de presentación de venta, enfundados y colocados en cajas de cartón. Además se los rotula y embala en pallets para ser almacenados en la bodega de productos terminados. Este proceso es completamente manual y normalmente trabajan cuatro estaciones de empaque contando con uno o dos operarios por estación.

Generalmente, las piezas que entran y salen de los diferentes procesos no son las mismas, debido a que se requiere que éstas sean agrupadas o divididas según el caso. A continuación se encuentra diagramado el proceso de la elaboración de electrodos, mostrándose las máquinas y la cantidad de operarios de todos los procesos, así como las equivalencias de las entidades.



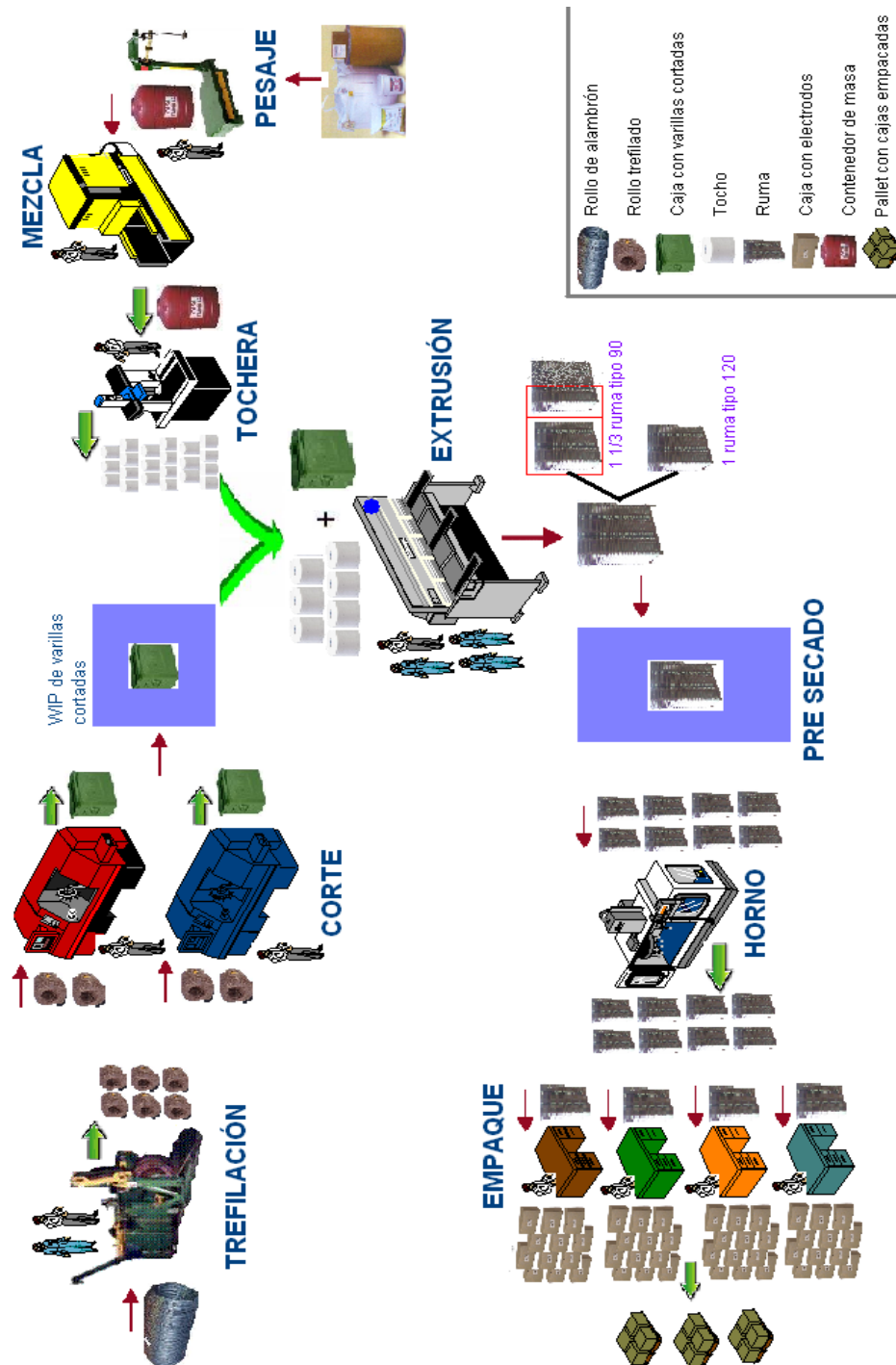


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DEL PROCESOS DE ELECTRODOS

### 3.2. Toma de Tiempos

Con el fin de obtener datos para simular el proceso se realizó una toma de tiempos de las actividades principales para la elaboración de los electrodos, recalándose que el propósito no fue realizar un estudio de tiempos donde se tome en cuenta el desempeño de los operadores para obtener tiempos estándares, sino que se lo hizo para obtener tiempos promedios que sustenten el modelo de simulación.

Las actividades que se consideraron para la toma de tiempos son:

- Proceso de Trefilación:
  - Soldar puntas de los rollos de alambrón
  - Tiempo de proceso de trefilación de un rollo
  - Sacar alambre de la máquina y amarrarlo (mientras la máquina se encuentra parada)
  - Mover alambre hasta WIP de trefilación (mientras la máquina está trabajando)
  
- Proceso de Corte (para cada cortadora):
  - Colocar rollo en el caballete de la máquina
  - Soldar puntas de los alambres

- Tiempo de proceso de corte de un rollo
- Mover caja hasta WIP de corte
  
- Proceso de Extrusión:
  - Tiempo que trabaja la extrusora
  - Tiempo que toma cargar tochos a la extrusora
  - Tiempo en formarse una hilera de 90
  - Tiempo en formarse una hilera de 120
  - Mover ruma a proceso de pre-secado
  
- Proceso de Pesaje de polvos:
  - Preparación del operador antes de pesar
  - Tiempo de pesaje
  - Tiempo en mover contenedor hasta WIP de pesaje
  
- Proceso de Mezcla:
  - Tiempo en tomar contenedor y llenarlo en la máquina
  - Proceso de mezcla I
  - Limpieza de mezcladora entre proceso
  - Proceso de mezcla II
  - Tiempo en que cae toda la mezcla de la máquina
  - Tiempo desde que cae polvo hasta antes de realizar 1er tocho

- Tiempo en realizar un tocho
- Limpieza de tochera entre paradas
  
- Proceso de Secado
  - Tiempo de una ruma en pre-secado
  - Tiempo en mover 8 rumas al horno
  - Tiempo de ruma en horneado
  - Tiempo en mover 8 rumas hasta empaque
  
- Proceso de Empaque (para cada estación de empaque):
  - Tiempo en empacar una ruma de 90 con un operador
  - Tiempo en empacar una ruma de 120 con un operador
  - Tiempo en empacar una ruma de 90 con dos operadores
  - Tiempo en empacar una ruma de 120 con dos operadores

Para la toma de tiempos se usaron cronómetros usando la modalidad de vuelta a cero. En primera instancia, se tomaron mínimo 15 muestras de tiempos para todas las actividades, y luego mediante una fórmula de tamaño de muestras, se comprobó que aquella cantidad recolectada fue suficiente y si no fue el caso se procedió tomar más muestras para la actividad que lo precisaba.

Para obtener las distribuciones estadísticas de los tiempos se usó el programa EasyFit 3.3, este programa usa las pruebas Kolmogorov Smirnov (KS), Anderson Darling y Chi-cuadrado para determinar la bondad de ajuste de una distribución dada en función de los datos ingresados al programa. Al momento de seleccionar la mejor distribución que se adapte a la muestra, se compara el valor p de las pruebas para todas las distribuciones posibles y se escoge aquella con el valor más alto. Para efecto del presente análisis, la selección se basará en los resultados de la prueba KS.

Como ejemplo se presenta la elección de la distribución de probabilidad para el tiempo de obtener un rollo trefilado. Luego de introducir 18 datos en el programa se obtuvo lo siguiente:

Bondad de ajuste - Resumen							
#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
1	Beta	0.23387	7	5.0704	11	N/A	
2	Exponential	0.51806	12	6.4595	12	2.1327	4
3	Exponential (2P)	0.12074	3	1.8585	5	0.78728	1
4	Gamma	0.23449	8	1.0506	3	7.1068	7
5	Gamma (3P)	0.12814	4	4.2408	9	N/A	
6	Lognormal	0.23097	6	0.92352	2	1.8083	3
7	Lognormal (3P)	0.10994	1	0.1794	1	0.92229	2
8	Normal	0.25404	10	1.2541	4	7.0733	6
9	Triangular	0.34668	11	3.5083	7	9.1532	8
10	Uniform	0.24327	9	4.9709	10	N/A	
11	Weibull	0.20574	5	3.0833	6	5.3025	5
12	Weibull (3P)	0.11903	2	4.1718	8	N/A	

FIGURA 3.3 RESULTADO 1 DE LA PRUEBA DE AJUSTE

Bondad de ajuste - Detalles [ocultar]					
<b>Weibull</b> [#11]					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	18				
Estadística	0.20574				
Rango	5				
$\alpha$	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
Rechazar?	No	No	No	No	No

FIGURA 3.4 RESULTADO 2 DE PRUEBA DE AJUSTE SEGÚN KS

En la figura 3.3 se muestra un listado con las distribuciones calificadas de acuerdo a un rango de ajuste según las 3 pruebas del programa. Según la prueba KS la distribución que mejor se ajusta a los datos es la Lognormal (3P), calificándola como primera en su rango de posiciones pero debido a que ProModel no cuenta con este tipo de distribución, se escoge la siguiente distribución posible, la Weibull, la cual a pesar de estar en la quinta posición se ajusta muy bien a los valores de los tiempos reales del proceso, esto se lo puede observar en la figura 3.4. En ésta figura se muestran diferentes valores críticos ( $p$ ) obtenidos para diferentes niveles de  $\alpha$ , donde según el criterio de:

$$\text{Si } p < \alpha \rightarrow \text{Rechazo } H_0$$

donde:  $H_0$  = los datos siguen una distribución Weibull

Para el caso presentado no se rechaza  $H_0$ , es decir, los datos siguen una distribución Weibull con sus parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ .

Un caso especial se presentó para los tiempos de los procesos de Corte y de Empaque, ya que en éstos existe más de una máquina (2 y 4 respectivamente); en cada estación de trabajo se realizan las mismas actividades pero éstas son ejecutadas por operadores y/o máquinas distintas, debido a esto, era presumible que los tiempos de las actividades similares fueran estadísticamente iguales.

Para ilustrar el caso se tomará en cuenta el proceso de empaclado, en el cual adicionalmente se presentó un inconveniente. Durante el período de la toma de tiempos, la estación 3 no trabajó debido a problemas de salud del operador principal. Como es necesario obtener datos de todos los tiempos de trabajo dentro de la empresa, y además siguiendo la premisa de que todas las estaciones de empaque realizan sus tareas en tiempos similares, se analizaron los tiempos de las estaciones 1, 2 y 4, para comprobar que las actividades comunes se realizan en tiempos estadísticamente iguales y así poder conseguir un tiempo general para cada actividad que sirva principalmente para modelar con certeza las actividades de la estación 3.

El análisis se lo realizó en el programa Minitab utilizando el método ANOVA (Analysis of Variance = Análisis de Varianzas). Se postularon dos hipótesis, una hipótesis nula que propone la igualdad de las medias de los tiempos pertenecientes a las actividades comunes de las estaciones 1, 2 y 4 versus la hipótesis de que existe al menos una media que no es igual.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_4$$

**Vs**

H1: Existe al menos una media de los tiempos pertenecientes a las actividades comunes de las estaciones 1, 2 y 4 que es diferente a las demás

**Empaque de ruma de 90 bandejas con UN operador en las estaciones 1, 2 y 4**

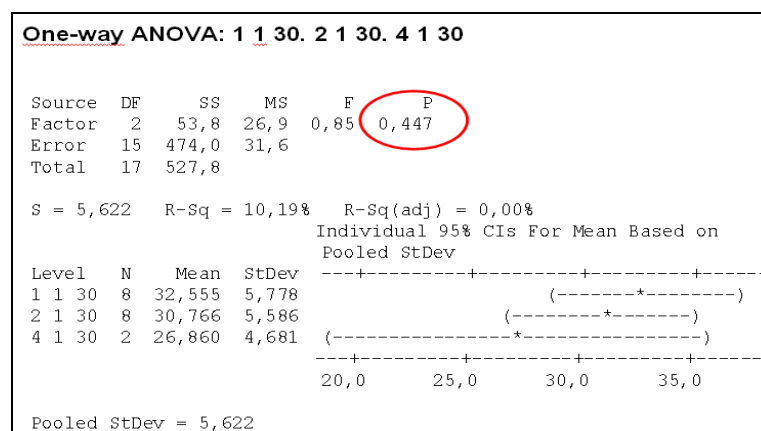


FIGURA 3.5 RESULTADO ANOVA CASO 1



Para rechazar la hipótesis nula,  $H_0$ , el valor de  $p$  debe ser menor a 0,05 (considerando 95% de confianza), en este caso el valor de  $p$  es 0,447 y por lo tanto no se rechaza  $H_0$ . Es decir, las medias de la actividad en común “Empacar una ruma de 90 bandejas con Un operador” de las estaciones 1, 2 y 4 son iguales y consecuentemente se agruparán para sacar una distribución de probabilidad general.

### Empaque de ruma de 120 bandejas con UN operador en las estaciones 1, 2 y 4

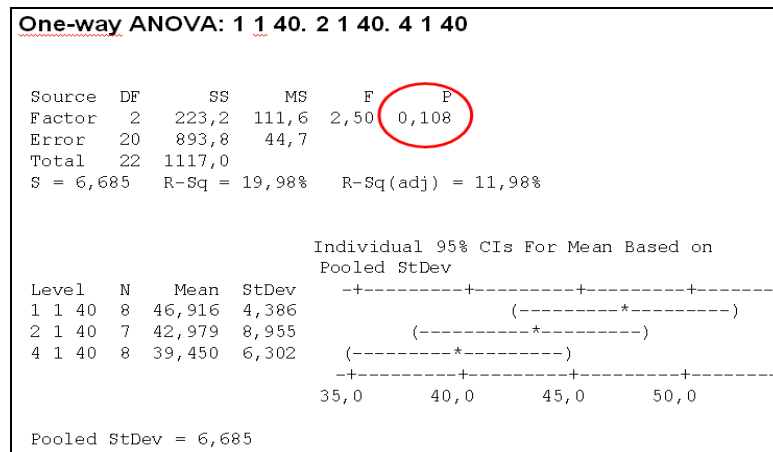


FIGURA 3.6 RESULTADO ANOVA CASO 2

Para esta actividad el valor  $p$  es 0,108, el cual es mayor a 0,05, lo que indica que los valores son estadísticamente iguales y se pueden agrupar para sacar una distribución de probabilidad general.

**Empaque de ruma de 90 bandejas con DOS operadores en las estaciones 1, 2 y 4**

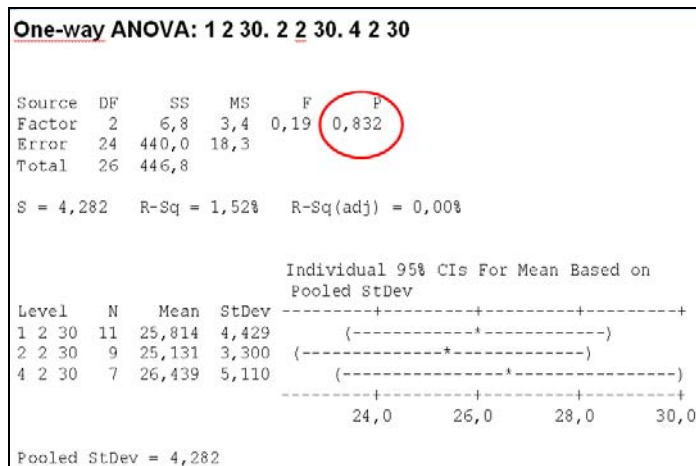


FIGURA 3.7 RESULTADO ANOVA CASO 3

En este caso el valor p también es mayor a 0,05 con lo cual muestra que las medias para estas actividades son iguales.

**Empaque de ruma de 120 bandejas con DOS operadores en las estaciones 1, 2 y 4**

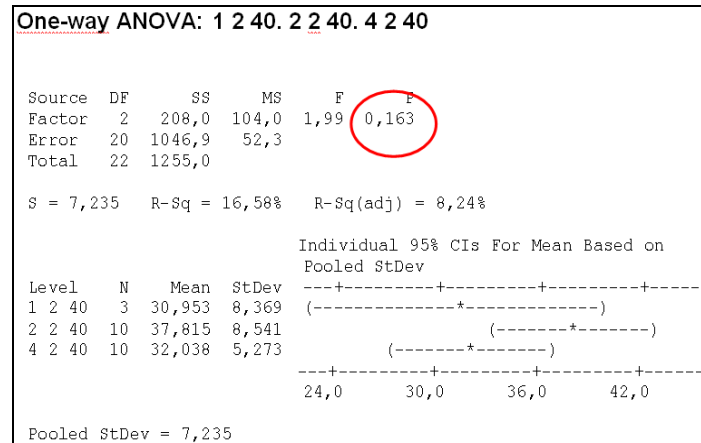


FIGURA 3.8 RESULTADO ANOVA CASO 4

Para esta última actividad también se pueden agrupar los datos debido a que las medias son iguales estadísticamente.

Todos los tiempos de las actividades que se realizan en la planta, e incluso las fallas más recurrentes de las máquinas se las expresaron en distribuciones estadísticas. En la tabla 2 que se muestra más abajo, se listan las actividades junto con su distribución de probabilidad y parámetros requeridos.

La tabla de las distribuciones de las fallas de las maquinarias se encuentran en el *Apéndice 1*.

TABLA 2

TABLA RESUMEN DE LA TOMA DE TIEMPOS

ESTACIÓN	ACTIVIDAD	DISTRIBUCIÓN	$\sigma_1$ ó shape value (mm)	$\beta$ ó scale value (mm)	$\alpha_2$ ó shape par. (mm)	mínimo (min)	máximo (min)	moda (min)	Media (min)	Sigma (min)	FORMATO EN PROMODEL
Trefilación	Soldar puntas de alambres	Beta	0.46376	-	0.86264	9.24	26.56	-	-	-	B(0.46376, 0.86264, 9.24, 26.56)
	Proceso hasta tener un rollo trefilado	Weibull	10.073	17.803	-	-	-	-	-	-	W(10.073, 17.806)
	1) Mover alambre, amarrarlo	Weibull	2.259	7.939	-	-	-	-	-	-	W(2.259, 7.939)
Contadoras	2) Ponerlo en base y moverlo a buffer	Weibull	1.5199	2.5463	-	-	-	-	-	-	W(1.5199, 2.5466)
	Poner rollo en la máquina y poner otro a lado	Lognormal	-	-	-	-	-	-	0.7866	0.6264	L(0.7866, 0.6264)
	Cortar amarrias, soldar puntas y preparación SDR	Weibull	2.189	9.5002	-	-	-	-	-	-	W(2.189, 9.5002)
	Cortar amarrias, soldar puntas y preparación REL	Weibull	3.9828	7.0787	-	-	-	-	-	-	W(3.9828, 7.0787)
	Proceso de un rollo SDR (1)	Weibull	14.196	43.813	-	-	-	-	-	-	W(14.196, 43.818)
Extrusión	Proceso de un rollo REL (2)	Weibull	11.193	41.287	-	-	-	-	-	-	W(11.193, 41.287)
	Mover caja hasta buffer	Gamma	3.6024	0.5423	-	-	-	-	-	-	G(3.6024, 0.5423)
	Tiempo que trabaja prensa	Beta	0.9423	-	0.40539	1.4	5.57	-	-	-	B(0.9423, 0.40539, 1.4, 5.57)
Pesaje	Carga de tochos	Beta	0.34824	-	0.59905	1.92	6.92	-	-	-	B(0.34824, 0.59905, 1.92, 6.92)
	Mover ruma hasta pre secado	Triangular	-	-	-	0.5827	2.3083	0.83	-	-	T(0.5827, 0.83, 2.3083)
	Tiempo en formarse una hiera de 90	Normal	-	-	-	-	-	-	3.876	0.3300	N(3.876, 0.33)
	Tiempo en formarse una hiera de 120	Weibull	7.8021	5.6203	-	-	-	-	-	-	W(7.8021, 5.6206)
Mezcla	Preparación antes de pesar	Gamma	2.0489	0.2945	-	-	-	-	-	-	G(2.0489, 0.2945)
	Selección de polvos y pesaje en balanza	Gamma	22.401	0.3115	-	-	-	-	-	-	G(22.401, 0.3115)
	Mover cotenedor hasta buffer	Triangular	-	-	-	-0.0077	0.7342	0.17	-	-	T(-0.0077, 0.17, 0.7342)
	Coger contenedor y llenarlo en máquina	Weibull	4.7109	0.7495	-	-	-	-	-	-	W(4.7109, 0.7496)
Tochera	Proceso de mezcla I	Weibull	10.673	13.272	-	-	-	-	-	-	W(10.673, 13.272)
	Limpieza	Beta	0.4045	-	0.95452	1.57	5.15	-	-	-	B(0.4045, 0.9545, 1.57, 5.15)
	Proceso de mezcla II	Weibull	4.0486	11.198	-	-	-	-	-	-	W(4.0486, 11.198)
	Cae todo el polvo de olla	Gamma	3.2289	0.9489	-	-	-	-	-	-	G(3.2289, 0.9489)
	Cae polvo y se hace 1er tocho	Weibull	2.7319	1.0528	-	-	-	-	-	-	W(2.7319, 1.0528)
Horno	Hacer UN tocho	Weibull	3.1562	0.5942	-	-	-	-	-	-	W(3.1562, 0.5942)
	Limpieza entre paradas	Lognormal	-	-	-	-	-	-	0.52212	0.2622	L(0.52212, 0.2622)
	Proceso de pre secado (1r)	Beta	0.9945	-	1.6689	1.590	6798.6	-	-	-	B(0.9945, 1.6689, 1.590, 6798.6)
Estaciones de Empaque	Mover ruma al horno	Weibull	6.5985	7.8504	-	-	-	-	-	-	W(6.5985, 7.8504)
	Proceso en horno y enfriamiento dentro del horno	Beta	1.4158	-	1.7353	132	180	-	-	-	B(1.4158, 1.7353, 132, 180)
Empaque	Mover ruma hasta empaque	Triangular	-	-	-	2.2209	10.656	6.05	-	-	T(2.2209, 6.05, 10.656)
	1)Empacador con ruma de 30	Gamma	31.208	0.99741	-	-	-	-	-	-	G(31.208, 0.99741)
	1)Empacador con ruma de 40	Beta	229.05	-	168.73	-121.91	157.48	-	-	-	B(229.05, 168.73, -121.91, 157.48)
	2)Empacadores con ruma de 30	Gamma	38.578	0.66743	-	-	-	-	-	-	G(38.578, 0.66743)
		Beta	9.131	-	529.57	-11.96	1337.3	-	-	-	B(9.131, 529.57, -11.96, 1337.3)

### **3.3. Modelación del Proceso**

Para poder crear el modelo de simulación en ProModel, se observó directamente el proceso para así tener la capacidad de describir las actividades y poder simularlas. Los tiempos tomados y descritos en la sección anterior fueron los datos de entrada más importantes, además se tomó en cuenta la información proporcionada por los jefes de planta y los trabajadores, como por ejemplo: sus propias reglas, hábitos y formas de realizar sus tareas.

#### **3.3.1. Asunciones del Modelo**

Algunas asunciones que se hicieron para el desarrollo del modelo son:

1. Se consideró un mes de simulación con días de 24 horas, pero se programó con la ayuda de la herramienta "Shift Editor" los tiempos de producción y descanso de cada uno de los procesos, tomándose en cuenta los horarios reales de la empresa; esto se lo hizo para poder simular de mejor forma el tiempo que los electrodos pasan en el proceso de PreSecado, el cual es de 24 horas (reales) según información de la empresa.
2. A un día de trabajo en la simulación se le restó:

- 30 minutos de almuerzo
- 30 minutos de cena
- 30 minutos de preparación, limpieza al iniciar cada turno
- 30 minutos de limpieza al término de cada turno

Dependiendo del proceso, varia el tiempo de la jornada de trabajo, como se aprecia en la siguiente tabla:

TABLA 3  
DESCRIPCIÓN DE LAS JORNADAS DE TRABAJO

Proceso	No de turnos	Jornada diaria	Jornada productiva
Trefilación	2	15 horas	13,5 horas
Corte	2	15 horas	13,5 horas
Extrusión	2	12 horas	10,5 horas
Pesaje	1	12 horas	10,5 horas
Mezcla	2	12 horas	10,5 horas
Tochera	2	12 horas	10,5 horas
Empaque	1	8,5 horas	7 horas

El tiempo en la columna “Jornada diaria” es el tiempo de duración de un turno de trabajo, y los tiempos correspondientes a la columna “Jornada productiva” son los tiempos en que realmente se produce, es decir, a los tiempos de “Jornada diaria” se le restaron los tiempos destinados a las comidas y limpiezas.

3. El proceso en la simulación empieza con el arribo del alambión al caballete de la máquina trefiladora, no existe bodega de materia prima para este material.
4. Se asume que siempre se cuenta con materia prima disponible, sea alambión o polvos. Así como también se cuenta con suficientes cajas para empacar y pallets para trasladar.
5. Se asume que a la bodega de polvos, éstos arriban en containers donde serán procesados posteriormente.
6. Se crearon algunas locaciones ficticias con el fin de agrupar y desagrupar algunas entidades, pero éstas no influirán en el desempeño de la línea productiva.

El modelo de simulación cuenta con:

- Entidades
- Locaciones
- Arribos
- Atributos
- Variables
- Asignaciones de Shift

- User Distributions

### 3.3.2. Creación de Entidades

Las entidades son las piezas o materiales que se producen y/o transportan a lo largo del proceso productivo. En el modelo se crearon las siguientes entidades:

TABLA 4

TABLA DE ENTIDADES DE LA SIMULACIÓN










Icono	Nombre	Descripción
	Alambrón	Rollos de acero, <b>materia prima</b>
	Rollo_Trefilado	Rollo luego de pasar por proceso de trefilación
	Caja	Caja con varillas cortadas luego del proceso de corte
	Hilera	Conjunto de bandejas con electrodos, puede ser de tipo 90 ó 120 dependiendo del atributo
	Grupo90	<i>Entidad ficticia...</i> En el WIP de corte se agrupan hileras del mismo tipo, en este caso de 90, para que no se mezclen y se forme una ruma pura
	Grupo120	<i>Entidad ficticia...</i> En el WIP de corte se agrupan hileras del mismo tipo, en este caso de 120, para que no se mezclen y se forme una ruma pura
	Ruma	Conjunto de 3 hileras
	Ruma8	<i>Entidad ficticia...</i> Grupo de 8 rumas para entrar al horno
	Container	Agrupación de polvos, <b>materia prima</b>
	Tocho	Porción de masa compactada que sale de la máquina tochera
	Tochoss	Entidad ficticia... Agrupación de 7 tochos para cargarlos en la prensa
	Caja_Empacada	Caja con electrodos luego del proceso de empaque
	Pallet_Final	Conjunto de 100 cajas empacada, unidad de carga en la bodega final




































### 3.3.3. Creación de Locaciones

Las locaciones representan los lugares fijos donde se procesan o almacenan las entidades dentro del proceso productivo. En el modelo se colocaron locaciones reales que representan a las máquinas o estaciones de trabajo, así como lugares donde se almacenan los productos en proceso; y además existen locaciones ficticias que se crearon con el fin de facilitar ciertas actividades propias de la programación, como la agrupación de actividades. A continuación se muestra un detalle de las locaciones:

TABLA 5  
TABLA DE LOCACIONES DE LA SIMULACIÓN

Icono	Nombre	Capacidad	Descripción
	Caballete	1	Lugar donde arriba el alambón, parte de la máquina trefiladora
	Area_de_trefi	6	Lugar ficticio... Donde a partir de un alambón se crean 6 rollos trefilado
	Trefiladora	1	Máquina trefiladora
	WIP_trefi	Infinita	Lugar donde se almacenan los rollos luego de ser procesados en trefilación
	Cortadora1	1	Máquina cortadora 1
	Cortadora2	1	Máquina cortadora 2
	Group_cajas1	2	Lugar ficticio... Donde se forman las cajas con varillas cortadas de la cortadora 1
	Group_cajas2	2	Lugar ficticio... Donde se forman las cajas con varillas cortadas de la cortadora 2
	WIP_corte	Infinita	Lugar ficticio... Donde se adjunta un atributo a la entidad caja para clasificarla después como ruma tipo 90 ó 120

	Hilera90	Infinita	Lugar ficticio... Donde van las hileras con atributo de 90 y se agrupan
	Hilera120	Infinita	Lugar ficticio... Donde van las hileras con atributo de 120
	Desagrupar	Infinita	Lugar ficticio... Donde se desagrupan las hileras para entrar a la extrusora
	Espera_Hilera	1	Lugar ficticio... Sirve como puerta de entrada para permitir en ingreso de los tochos a la extrusora
	Extrusora	1	Máquina Extrusora
	Armado_rumas	3	Lugar ficticio... Donde se agrupan 3 hileras para formar una ruma
	Pre_secado	Infinita	Espacio destinado al presecado de los electrodos
	Group_presecado	8	Lugar ficticio... Donde esperan las rumas antes de al horno
	Puerta_Horno	1	Lugar ficticio... Donde espera el grupo de 8 rumas para poder entrar al horno
	Loqp1		Lugar ficticio... Controla entrada al horno
	Horno	8	Horno
	Loqp2		Lugar ficticio... Controla entrada al horno
	Horno_espera	8	Lugar ficticio... Donde se acumulan rumas al salir de horno
	Area_de_empaque	8	Lugar donde esperan las rumas para poder ser empacadas
	Estacion1	1	Estación de empacado 1
	Estacion2	1	Estación de empacado 2
	Estacion3	1	Estación de empacado 3
	Estacion4	1	Estación de empacado 4
	Group_pallet1	100	Lugar ficticio... Donde se agrupan 100 cajas empacadas de la estación 1
	Group_pallet2	100	Lugar ficticio... Donde se agrupan 100 cajas empacadas de la estación 2
	Group_pallet3	100	Lugar ficticio... Donde se agrupan 100 cajas empacadas de la estación 3
	Group_pallet4	100	Lugar ficticio... Donde se agrupan 100 cajas empacadas de la estación 4
	Area_de_espera	Infinita	Lugar donde esperan los pallets con las cajas para ser llevados a bodega
	Bodega_polvos	Infinita	Bodega de polvos químicos
	Pesadora_polvos	1	Lugar donde se pesan los polvos y se colocan en containers
	WIPmezcla	1	Lugar donde se almacenan los containers pesados
	Mezcladora	1	Máquina mezcladora

	Tochera	1	Máquina tochera
	Group_Tochos	8	Lugar ficticio ... Donde se agrupan 7 tochos
	Espera_Tochos	1	Lugar ficticio ... Donde esperan los tochos para poder entrar en la extrusora
	Carga_Tochos	1	Lugar ficticio ... Donde se simula el tiempo de carga de tochos a la extrusora
	Uso_Tochos	1	Lugar ficticio ... Donde se simula el tiempo de uso de los tochos en la extrusora
	Salida_Tocho	1	Lugar ficticio ... Donde se simula la salida de los tochos y se resetean las variables para permitir la entrada de nuevos tochos

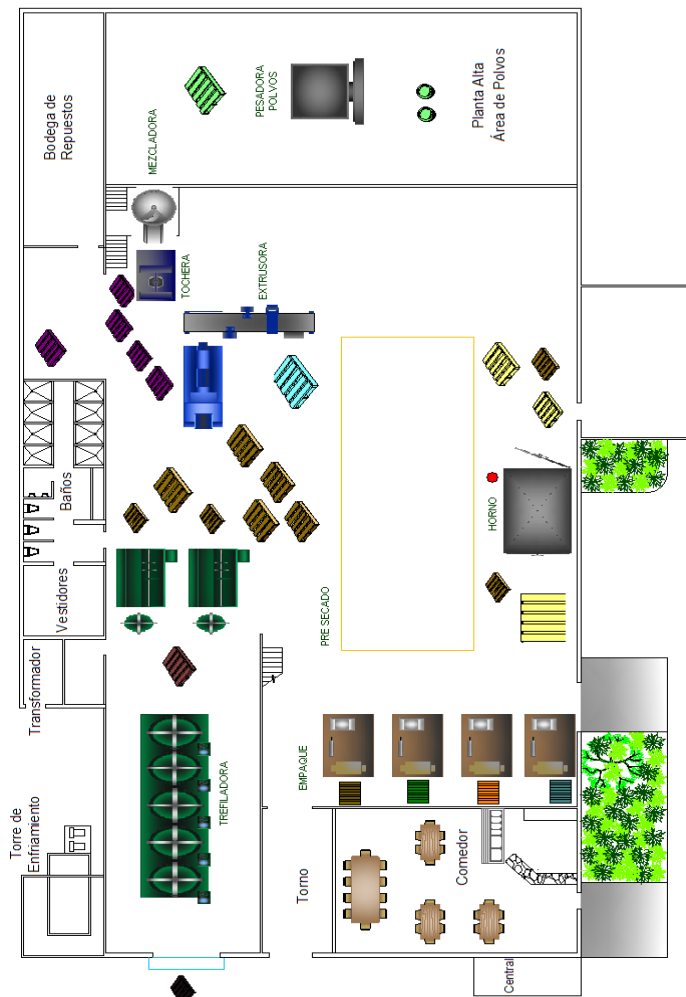


FIGURA 3.9 LOCACIONES DEL MODELO

### 3.3.4. Creación de Recursos

No se usaron recursos para la modelación de este proceso pero si variables importantes. Las variables guardan valores enteros o reales que pueden cambiarse durante la simulación. Éstas típicamente son usadas para la toma de decisiones u obtener datos crecientes. En la programación se usaron variables globales, las cuales se detallan a continuación:

TABLA 6

TABLA DE VARIABLES DE LA SIMULACIÓN

Nombre	Tipo	Valor Inicial	Descripción	Finalidad
Cont_uso_tochos	Entero	0	Sirve como puerta de entrada de las hileras hacia la extrusora	Dependencia de las actividades de las máquinas tochera y extrusora
Cont_carga_tochos	Entero	0	Sirve como puerta de entrada de los tochos hacia la locación "Carga_Tochos", para que éstos sean cargados en la extrusora	
Cont_Ruma90	Entero	0	Contabiliza cantidad de rumas de 90 que se produjeron en total	
Cont_Ruma120	Entero	0	Contabiliza cantidad de rumas de 120 que se produjeron en total	
WIPEXT	Entero	0	Controla que los tochos sean usados cuando hay una hilera produciéndose en la extrusora	
VAT	Entero	0	Guarda valor del atributo "Tipo_Caja" que posee una hilera	Guardar nuevo atributo luego de la operación de extrusión
Puerta_atributo_ruma	Entero	0	Cierra paso a la locación "Armado_rumas" para poder pegar nuevo atributo "ATRUMA" a la entidad ruma	
CONTH	Entero	0	Contabiliza hileras que salen de la extrusora	
CONTH90	Entero	0	Contabiliza hileras de 90 que entran en la extrusora	
CONTH120	Entero	0	Contabiliza hileras de 120 que entran en la extrusora	

CH	Entero	0	Contabiliza hileras que entran a la extrusora	Tomar tiempo de ciclo de las rumas
Puerta_tiempo_ruma	Entero	0	Cierra paso de nuevas hileras a la extrusora para poder contabilizar el tiempo de ciclo	
V90	Real	0	Cuando la primera hilera de 90 de cada ruma entra a la extrusora, se le pega el tiempo del comando "clock()"	
V120	Real	0	Cuando la primera hilera de 120 de cada ruma entra a la extrusora, se le pega el tiempo del comando "clock()"	
Tiempo_Ruma90	Real	0	Toma el tiempo de ciclo de una ruma de 90 al final de su formación	
Tiempo_Ruma120	Real	0	Toma el tiempo de ciclo de una ruma de 120 al final de su formación	
AA	Entero	1	Guarda valor del día de simulación	Controlar restricción de solo hornear 3 veces al día
Entrada_horno	Entero	0	Contabiliza rumas que entran al horno en un día	
VAR	Entero	0	Sirve de puerta de entrada de rumas al horno para controlar el proceso	
Cont_caja	Entero	0	Contabiliza las cajas producidas en todas las estaciones de empaque	Obtener valor de cajas, pallets y tochos producidos
Cont_caja1	Entero	0	Contabiliza las cajas producidas en la estación 1 de empaque	
Cont_caja2	Entero	0	Contabiliza las cajas producidas en la estación 2 de empaque	
Cont_caja3	Entero	0	Contabiliza las cajas producidas en la estación 3 de empaque	
Cont_caja4	Entero	0	Contabiliza las cajas producidas en la estación 4 de empaque	
Cont_pallet	Entero	0	Contabiliza los pallets con producto final de todas las estaciones de empaque	
Cont_pallet1	Entero	0	Contabiliza los pallets con producto final de todas la estación 1 de empaque	
Cont_pallet2	Entero	0	Contabiliza los pallets con producto final de todas la estación 2 de empaque	
Cont_pallet3	Entero	0	Contabiliza los pallets con producto final de todas la estación 3 de empaque	
Cont_pallet4	Entero	0	Contabiliza los pallets con producto final de todas la estación 4 de empaque	
Cont_7tochos	Entero	0	Contabiliza grupos de 7 tochos producidos	
Cont_7tochos_usados	Entero	0	Contabiliza grupos de 7 tochos usados por la extrusora	

### 3.3.5. Creación de Arribos

Los arribos fueron programados para las entidades: alambrón y container, los cuales llegan a las locaciones caballete y bodega\_polvos, respectivamente. Como se mencionó anteriormente, se considera que siempre hay disponibilidad de éstos materiales, es por eso que los arribos fueron programados de tal forma que no haya escasez de éstos en el proceso.

### 3.3.6. Creación de Atributos

Los atributos son variables que se asocian a una locación o a una entidad en especial. En la simulación de este proceso se usaron varios atributos:

TABLA 7

TABLA DE ATRIBUTOS DE LA SIMULACIÓN

Nombre	Tipo	Descripción
Tipo_Caja	Entero	Se asocia a la entidad "Caja" cuando está en la locación WIP_Corte para diferenciar a las hileras de acuerdo a su tipo, de 90 ó de 120.
TEP	Real	Se usa junto al comando "clock()" para calcular el tiempo de ciclo de las rumas en el proceso de pre-secado
ATRUMA	Entero	Nuevo atributo pero con los mismos valores del atributo "Tipo_Caja". Se asocia a la entidad "Ruma" cuando está el locación Armado_Rumas debido a que cuando salen de la extrusora y se agrupan las entidades se pierde el atributo que poseía antes del proceso.

El atributo “Tipo\_Caja” se basa en una distribución de probabilidad (User Distribution) que se programó en base a la cantidad de rumas de 90 y de 120 bandejas.

### 3.3.7. Creación de Asignaciones de Shift

Para poder modelar los tiempos de trabajo de las máquinas y estaciones de trabajo se usó la herramienta “Shift Editor”. A continuación se muestra el horario de trabajo de la máquina trefiladora: las barras azules representan los tiempos de trabajo, las barras rojas representan los tiempos de paras; y donde no se encuentra sombreado de ningún color, significa que no se tiene programado trabajar en esos períodos.

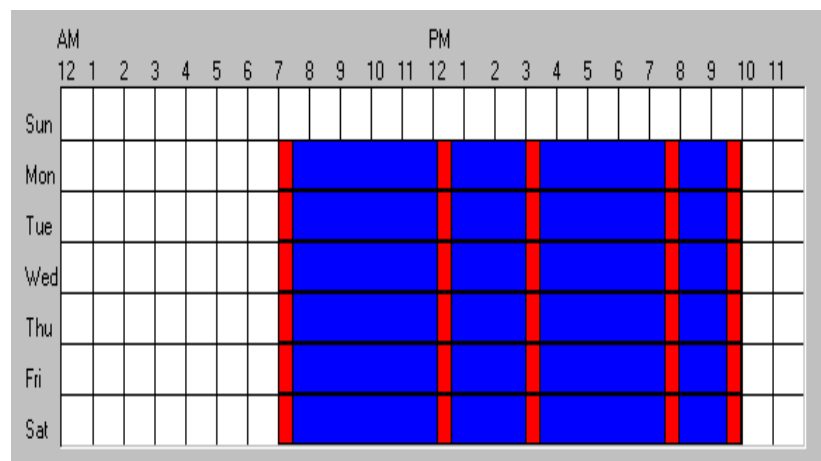


FIGURA 3.10 ASIGNACIÓN DE HORARIO DE TRABAJO  
PARA LA MÁQUINA TREFILADORA

### 3.3.8. Programación del Modelo

En la programación se describe la ruta y las actividades que siguen las entidades en las diferentes locaciones, así como los tiempos de procesamiento y recursos que se emplearán.

En el *Apéndice 2* se encuentra el detalle de la programación.

### 3.3.9. Características Relevantes del Proceso

Al realizar la programación del modelo, existieron ciertas actividades de la vida real del proceso que necesitaron de una programación especial más elaborada, para poder representar de una manera más exacta el desarrollo de las mismas. Cinco actividades especiales se detallan a continuación:

#### ■ **Actividad especial 1: Separación y agrupación de hileras en el WIP de Corte**

La entidad que en realidad sale de las cortadoras, se almacena en el WIP de corte y entra a la máquina extrusora, es la “caja”; pero en la simulación, cuando la caja entra en el WIP de corte, ésta se convierte en la entidad “hilera”. Esto se lo realizó para poder programar mejor la actividad de extrusión, debido a que en esta



máquina la entidad que sale es la hilera, pero esta puede ser de tipo: hilera 90 ó hilera120. Entonces en la locación “WIP corte” dependiendo del atributo “Tipo\_caja” que sigue una distribución de probabilidad pre-establecida, se crean 3 ó 4 hileras (valores sacados de acuerdo a estudios de la empresa), luego en las locaciones siguientes: Hileras90, Hileras120 y Desagrupar, lo que se hace es separar a las hileras por tipo y luego agruparlas, para que al salir de la extrusora se formen rumas puras (rumas son un conjunto de hileras del mismo tipo).

■ **Actividad especial 2: Dependencia de las actividades de las máquinas tochera y extrusora**

La máquina extrusora es abastecida por la máquina tochera, lo que significa que si la tochera no da producto suficiente o a tiempo, la extrusora no puede funcionar y fue lo que se quiso dar a notar en la simulación. Para esto se usaron variables y locaciones ficticias que dieran soporte a la programación lógica que se hizo especialmente para este caso. Antes de la máquina extrusora se colocó una locación llamada Espera\_Hilera, la cual trabaja mediante la señal de una variable que

simula a manera de puerta de ingreso la entrada de las hileras a la máquina dependiendo si hay disponibilidad de tochos o no; no se permite la entrada de hileras mientras la extrusora esté cargándose con tochos o esté esperando la llegada de los mismos. La señal de la variable antes mencionada se la obtiene a partir de los datos de las variables que se encuentran en las locaciones: Espera\_Tochos, Carga\_Tochos, Uso\_Tochos y Salida\_Tochos; en estas locaciones se realizan las operaciones de carga y uso de los tochos en la extrusora.

■ **Actividad especial 3: Asignación de nuevo atributo al salir de la extrusora**

Antes que las hileras sean procesadas en la extrusora, a éstas se les adhirió el atributo “Tipo\_caja” (como se explicó anteriormente), una vez que estas entidades salen de la máquina, son agrupadas como “rumas” y pierden el atributo que poseían cuando eran una sola entidad. Debido a que es necesario diferenciar a estas entidades de acuerdo a su atributo para ser procesadas en las siguientes actividades, se creó un artificio para guardar el valor del atributo de la hilera.

Cuando la última hilera de una ruma entra en la locación “Armado\_Ruma”, el valor del atributo de ésta se le asigna a la variable “VAT”, luego de que se han agrupado las hileras, a esta nueva entidad “ruma” se le asigna un nuevo atributo llamado “ATRUMA”, el cual previamente ha sido igualado al valor que guarda la variable VAT.

#### ■ **Actividad especial 4: Funcionamiento del horno**

El horno generalmente es utilizado 2 veces al día para realizar sus actividades cuando se trabaja con el tipo de electrodo C13. Para poder controlar esta restricción se usaron tres variables: AA, Entrada\_horno y VAR, las cuales fueron colocadas en las locaciones anteriores y después del horno para impedir la entrada de rumas que sobrepasen el número establecido.

#### ■ **Actividad especial 5: Horarios de empacado**

El proceso de empacado solo cuenta con un turno de trabajo al día, pero podría ser dividido en dos etapas: cuando trabaja un empacador y cuando trabajan dos empacadores en cada estación. Lo normal es que solo haya un operador por cada mesa de trabajo pero a partir

de las 11h30 cuando entran todos los trabajadores del segundo turno, algunos son enviados a que trabajen unas horas en empaclado hasta que se acabe el turno de esta área.

Esto se simuló usando el comando "CALLHOUR()" ya que éste solo toma en cuenta las horas para el día de simulación que se esté corriendo. Y de esta manera se programaron los diferentes tiempos de empaque dependiendo del horario y del tipo de ruma que se esté utilizando.

### **3.4. Validación del Modelo de Simulación**

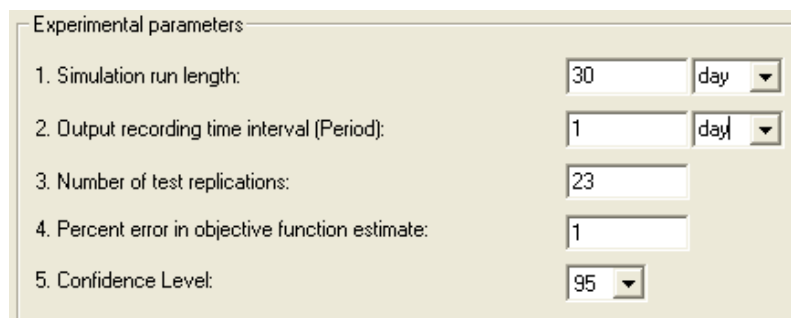
Luego de hacer la programación del modelo, se debe constatar que lo simulado represente las circunstancias reales del proceso, para ello se medirá, durante varios días normales de producción, los diferentes indicadores de validación y se los comparará con los resultados que arroje el modelo de ProModel.

Antes de realizarse la validación, se debe aclarar que esta simulación es definida como un Modelo de Simulación NO Terminal, debido a que normalmente cuando se acaba un día de producción, quedan productos en proceso (WIP) en la línea, que serán necesarios para

poder arrancar con el proceso del siguiente día de trabajo. Luego de identificada esta situación, se debe conocer cual es el tiempo de “warm up”, es decir, el tiempo en que la línea se llena y estabiliza una vez que ha empezado el proceso; también se debe conocer el número de réplicas o veces que se debe correr el programa para poder obtener resultados estadísticamente válidos; para esto se utilizó el programa “SimRunner”.

#### 3.4.1. Cálculo del Tiempo Warm Up del Proceso y Número de Réplicas

En SimRunner, el análisis empieza seleccionando el parámetro “salidas totales de cajas empacadas”, después se colocan ciertos datos de entrada necesarios como se muestra en la figura 3.11, luego de lo cual el programa arrojará una curva con la que se calculará el tiempo warm up.



Experimental parameters	
1. Simulation run length:	30 day
2. Output recording time interval (Period):	1 day
3. Number of test replications:	23
4. Percent error in objective function estimate:	1
5. Confidence Level:	95

FIGURA 3.11 DATOS DE ENTRADA EN SIMRUNNER

La curva que se obtiene se muestra a continuación:

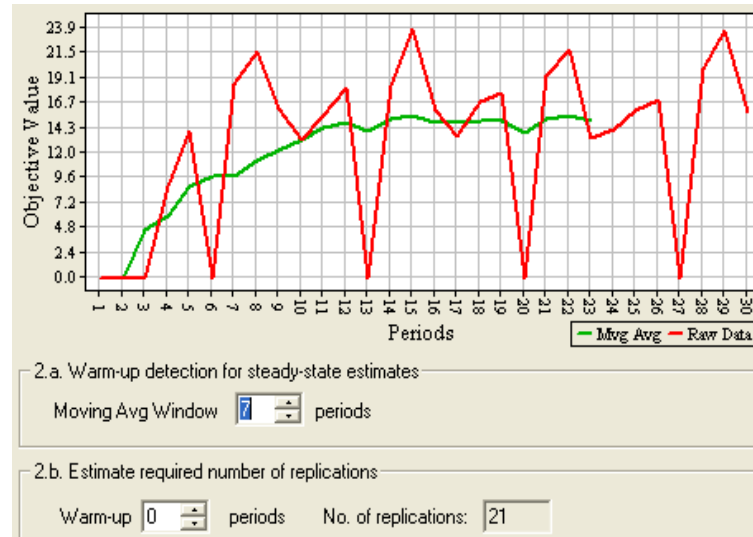


FIGURA 3.12 CÁLCULO DEL TIEMPO WARM UP DEL PROCESO

Cuando la curva verde se estabiliza, es decir comienza a tomar una forma estable, se dice que finaliza el tiempo warm up. Para el presente caso, la curva verde aproximadamente se estabiliza a los 18 días pero consideraremos un warm up de un mes para obtener resultados más confiables.

Respecto al número de réplicas el cálculo fue el siguiente: primero se hicieron 10 corridas iniciales y se midieron los parámetros arrojados por ProModel de la cantidad promedio

de entidades dentro de todas las locaciones y el tiempo promedio de estadía de cada entidad dentro de las estaciones. Luego con ayuda de la fórmula del tamaño de muestra (n), se determinó el tamaño requerido para cada elemento y se escogió el n mayor, el cual fue de 23 réplicas. Adicionalmente, SimRunner aconseja que se realicen 21 réplicas, cantidad muy parecida a la obtenida mediante la fórmula.

#### **3.4.2. Parámetros de Comparación**

Los indicadores que se utilizaron para la validación fueron:

- Número de cajas empacadas (producto terminado)
- Tiempo en formarse una ruma (de los tipos 90 y 120)
- Tiempo total de pre-secado
- Número de rumas producidas (de los tipos 90 y 120)
- Número de contenedores de masa producidos

Estos indicadores fueron seleccionados debido a que se consideran representativos en el proceso, es decir, el desempeño de los mismos repercutirá directamente en los niveles de productividad y eficiencia de la línea de electrodos.

### 3.4.3. Comparación de los Parámetros basados en Datos Reales y Datos de ProModel

Los valores de los indicadores según datos reales y los datos de ProModel, se presentan a continuación en forma de intervalos de confianza (se muestra un valor máximo y un valor mínimo de cada parámetro) considerando un nivel de confianza del 95%. Para cada intervalo, el color más fuerte representa los datos reales y el color más claro los datos del programa.

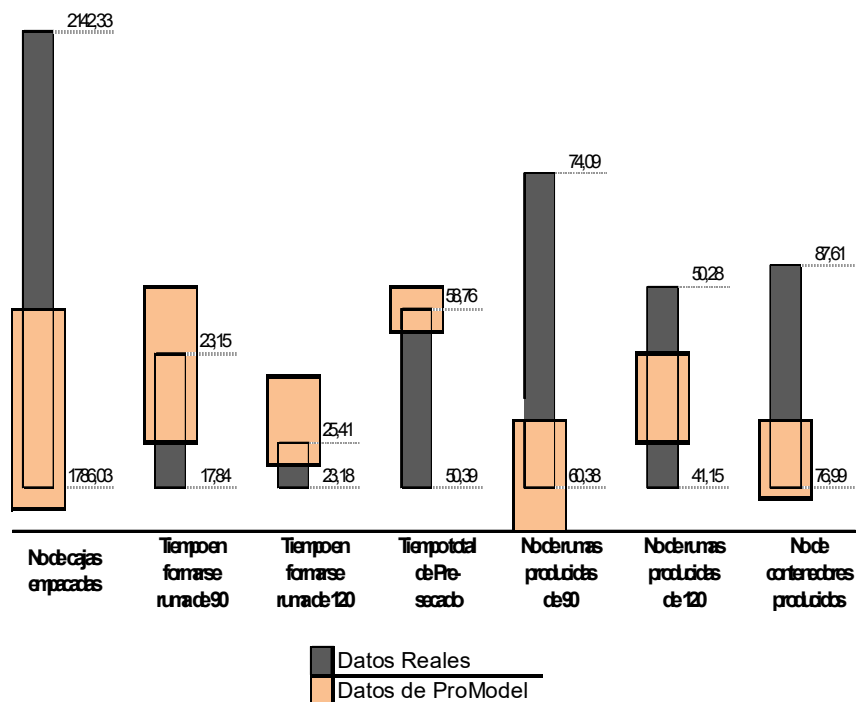


FIGURA 3.13 COMPARACIÓN DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA BASADOS EN DATOS REALES Y PROMODEL



Como se aprecia en la figura 3.13, para todos los indicadores seleccionados en la validación, sus intervalos tanto de valores reales como de valores obtenidos por medio de la simulación se interceptan, con lo que se comprueba que el modelo representa de una manera aceptable la situación actual de la empresa.

### 3.5. Condiciones Actuales del Proceso

En la siguiente tabla se muestra la condición actual de la empresa en base a los parámetros más importantes que se destacan. Los intervalos de confianza de cada valor están considerados con un 95% de confianza.

TABLA 8

#### SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO

Parámetros		[ L.S.	Valor ( $\mu$ )	L.I.]	Unidades
TH	Throughput total	8415,7	8326,1	8236,5	cajas/mes
CTa	Tiempo de ciclo en formarse una ruma (desde trefilación hasta extrusión)	5,99	5,92	5,84	horas
CTb	Tiempo de ciclo de Presecado	55,14	54,78	54,42	horas
CTh	Tiempo de ciclo de Horno	2,61	2,57	2,53	horas
WIPprs	Cantidad de WIP en Presecado	37,41	36,90	36,39	rumas
Uh	Utilización del Homo	70,68	69,73	68,77	%

# CAPÍTULO 4

## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

### 4.1. Elección de la Técnica de Mejora

En el capítulo 2 se detallaron los cuatro modelos de sistemas de control de producción más destacados en el medio manufacturero, los cuales son: Kanban, CONWIP, DBR y MRP. Como se mencionó en esa sección, cada sistema posee su propia lógica y características que lo hace potencialmente bueno en ciertos casos, así como en otros, pudiera suceder que la implementación sea muy complicada o riesgosa.

Recordando, la forma de producción de la empresa en estudio es *make to stock*. Actualmente no se posee un sistema de control de producción definido, sin embargo se lo considera como Push (MRP), debido que a través de órdenes de producción, basadas en

pronósticos de demandas pre-establecidos, se ejecuta la fabricación de los electrodos.

Para poder escoger la técnica de mejora, en cuanto a la implementación del nuevo sistema de producción, primero se observaron las limitaciones o complicaciones que presenta el proceso. Las principales son:

- ✦ Las máquinas a lo largo del proceso no siempre tratan con una entidad en común, es decir, primero se procesan rollos, luego varillas, luego las rumas.
- ✦ No se tiene capacidad para detectar la demanda instantánea.
- ✦ Se conoce que la demanda es muy variable e inestable.

De acuerdo a investigaciones realizadas por expertos<sup>3</sup> se conoce que con los sistemas Pull se obtienen mayores beneficios, comparándolo con los demás sistemas. Pero en este caso específico, la implementación de un sistema Pull puro en toda la línea de producción y manejado por Kanbans, resulta demasiado arriesgado debido a las limitaciones del proceso descritas anteriormente.

---

<sup>3</sup> GUTIÉRREZ, C., "Comparación de sistemas de control de piso en presencia de recursos de capacidad limitada mediante simulación con redes de Petri"

Como segunda opción, la idea de implementar un sistema CONWIP en el proceso de electrodos podría ser factible, aprovechando el hecho que la línea prácticamente está dedicada a un solo producto y además, de que de esta forma será posible reducir, los altos niveles de inventarios, que es uno de los problemas más importantes,

Con respecto a DBR, esta técnica sugiere como medida de implementación la inclusión de un buffer antes del cuello de botella, en nuestro caso identificado como el Horno, pero como se observó en el modelo de simulación inicial, precisamente antes de esta locación es donde se concentra la mayor cantidad de producto en proceso, y el objetivo esencial de implementar un nuevo sistema es reducir ese inventario retenido; es por esta razón que no se consideró aplicar esta opción.

#### **4.2. Planteamiento de las Mejoras**

Además de la implementación del sistema de control de producción sugerido, CONWIP, el cual se detallará posteriormente, se recomiendan las siguientes mejoras:

■ **Mejora 1: Reducción del Tiempo de Permanencia de las Rumas dentro del Horno**

A) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Actualmente, en el horno se realizan dos actividades: horneado y enfriamiento. El grupo de 8 rumas que entra siempre al horno, se toma aproximadamente entre 152 y 157 minutos para cumplir las dos actividades y estar listo para el proceso de empaque. Mientras que según datos del departamento de Calidad, tan sólo se necesitan de 60 minutos para cumplir con el proceso de horneado para este tipo de electrodo. Si estas dos actividades fueran separadas y dentro del horno solamente se realizará la actividad de horneado puro, el tiempo restante las rumas podrían cumplir su etapa de enfriamiento fuera, permitiendo al horno un incremento en su capacidad productiva sin verse afectada la calidad del producto.

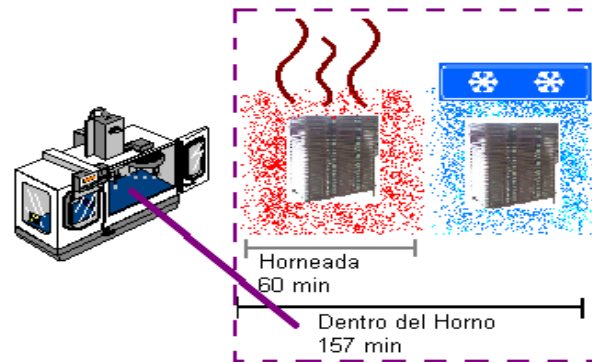


FIGURA 4.1 TIEMPOS DENTRO DEL HORNO

Al horno se lo considera como un cuello de botella “obligado”, ya que la empresa de electrodos limita su operación debido a un Plan de ahorro de energía eléctrica, que consiste en disminuir al mínimo la cantidad de consumo en las noches para no ganar la penalización de la Empresa Eléctrica. Como el horno es la máquina que necesita de mayor electricidad para su funcionamiento, se obliga a que ésta solo trabaje dentro del horario de 07h00 hasta las 15h00 horas como máximo. Y de acuerdo a como se desarrollan actualmente las actividades dentro del proceso y al horario de trabajo establecido, únicamente en el mejor caso se realizan 3 horneadas al día.

B) MEJORA PROPUESTA:

El horno actualmente está limitando el TH debido a que por mal aprovechamiento no se pueden realizar más horneadas al día.

Se recomienda separar las actividades de horneado y enfriamiento. El enfriamiento se lo debe hacer fuera del horno, con esa mejora se reduce el tiempo de permanencia de las rumas en el horno, en casi 62%, reduciendo también el CT total; esto además podría repercutir en un aumento del TH.

En el modelo de simulación, al horno se le programará sólo una hora de proceso que corresponderá únicamente a la actividad de horneado propiamente dicho; el tiempo necesario para enfriamiento se lo hará en una locación fuera del horno.

## ■ **Mejora 2: Sistema CONWIP**

### A) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Dentro de la línea de producción se observan grandes cantidades de producto en proceso como se aprecia en la figura 4.2, donde claramente se destaca que el sector más crítico es la estación de PreSecado, esto se debe a que las rumas precisan de un tiempo bastante prolongado, de mínimo de 24 horas, para cumplir su permanencia en esta área, considerándose así esta operación como un cuello de botella. El enfoque del sistema CONWIP estará centrado en mejorar esta área.

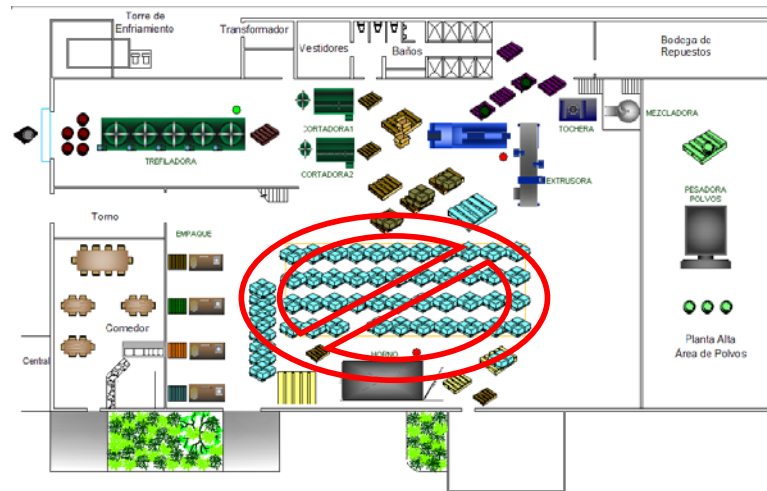


FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE CANTIDADES DE WIP

B) MEJORA PROPUESTA:

Para no cambiar el concepto de la producción actual, make to stock, se implementará un CONWIP parcial, es decir, se dividirá al proceso en dos grandes áreas:

**Área A:** CONWIP, desde trefilación hasta el horno.

**Área B:** PUSH, sólo proceso de empaque.

Esta división también se realizó, debido a que en el área A es donde se concentra la mayor cantidad de inventarios retenidos, el mayor tiempo de ciclo y también es donde se encuentra el cuello de botella más importante, que es el proceso de PreSecado. Las otras etapas de empaque “aguas abajo”, no representan ningún problema al sistema.



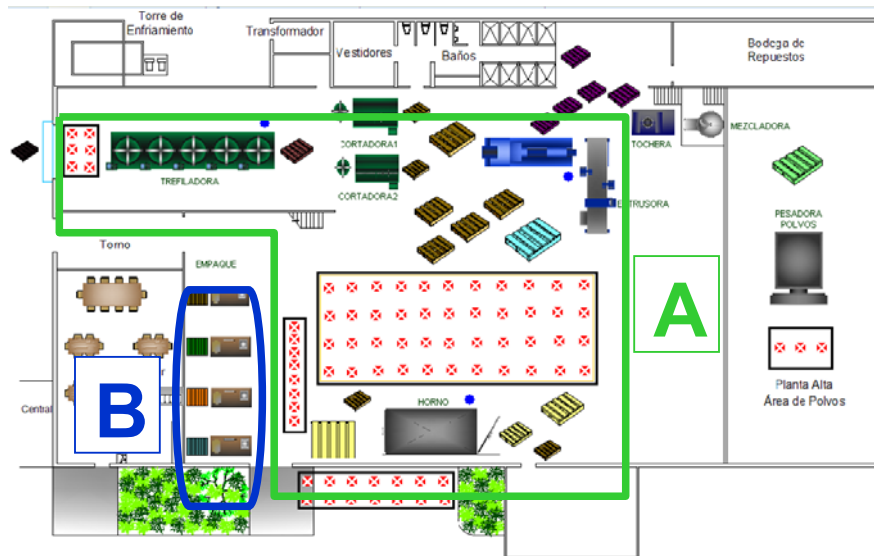


FIGURA 4.3 DIAGRAMA CONWIP-PUSH DENTRO DE PLANTA

Dentro del área A, el sistema CONWIP usará como herramienta de apoyo las tarjetas kanban que se usan en los sistemas PULL puros pero el manejo de éstas no será precisamente el mismo. Nuestro nuevo sistema funcionará de la siguiente forma: las entidades que se fabrican en los procesos de trefilación, corte, extrusión y presecado fluirán de forma PUSH, mas sólo se empezará a producir cuando llegue una tarjeta kanban a la estación de trefilado; este kanban acompañará siempre a un grupo de 8 rumas, y en el momento en que este grupo de rumas entren al horno, se les desprenderá la tarjeta para que ésta inicie su recorrido nuevamente y su activación de la producción, toda

esta explicación se ilustra de mejor manera en el siguiente diagrama.

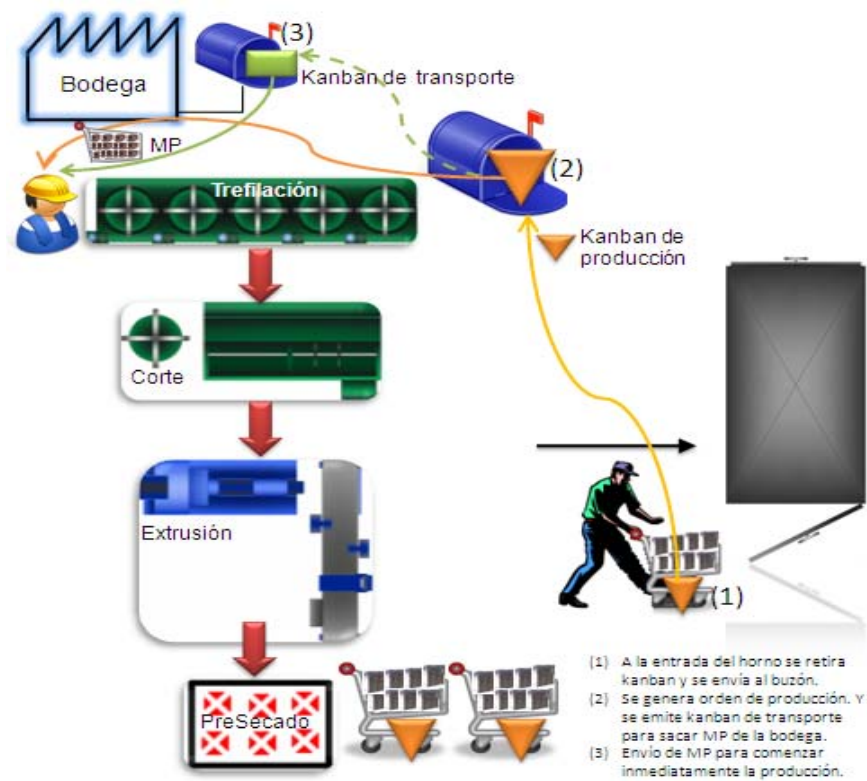


FIGURA 4.4 DIAGRAMA CONWIP

Una vez esbozada la implementación del nuevo sistema, se realizaron algunos análisis dentro del proceso para poderlo simular en ProModel, los cuales se detallarán en el punto 4.3.

### C) IMPLEMENTACIÓN:

El sistema CONWIP en similitud al sistema Kanban requiere de un flujo de información para la activación del proceso productivo, en este sentido para su implementación se tomarán en cuenta algunas sugerencias establecidas por Gross<sup>4</sup>. Cuando se piensa en el diseño de la herramienta kanban se necesita pensar a cerca de tres aspectos importantes:

- Selección del mecanismo de señalización para el kanban
- Implantación de reglas para las operaciones kanban
- Creación de un plan de manejo visual para el kanban

Cabe recalcar que cada vez que me refiero a la palabra kanban, no hago relación al sistema kanban completo sino más bien a las tarjetas kanban propiamente dichas que viajan dentro del procesos de acuerdo al sistema CONWIP propuesto.

### SELECCIÓN DEL MECANISMO DE SEÑALIZACIÓN

Como instrumento de señalización se usarán tarjetas del material de las pizarras. Se identificaran dos kanban diferentes, uno será de producción y el otro de transporte.

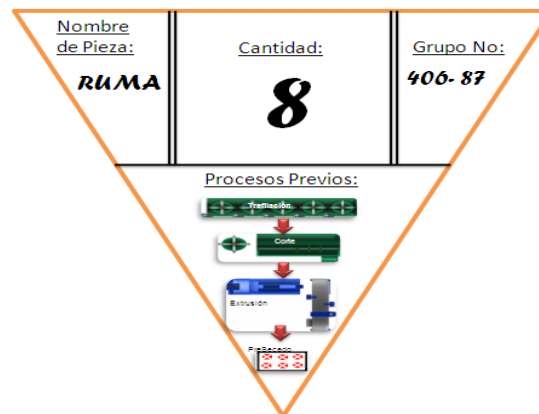
---

<sup>4</sup> GROSS J., MCINNI K., *KANBAN, MADE SIMPLE*, AMACON, NUEVA YORK, USA, 2003.

El kanban de producción acompañará siempre a un grupo de 8 rumas durante el proceso de fabricación y será el encargado de activar la producción de estas entidades. Esta tarjeta tendrá forma triangular como se muestra en la figura 4.5.

El kanban de transporte será activado cuando un kanban de producción se active, esta tarjeta tendrá forma cuadrangular y servirá para accionar la orden de retirar de la bodega de materia prima los elementos necesarios para cumplir con el kanban de producción, el modelo se ilustra a continuación.

#### A) Kanban de Producción



## B) Kanban de Transporte

Lugar anterior:	 Bodega	Cantidad requerida:  <b>16</b>
Nombre de artículos:	<b>ROLLOS</b>	
Código de artículos:	<b>Desde GH 456 hasta GH 478</b>	

FIGURA 4.5 SEÑALES KANBAN

REGLAS KANBAN

Las reglas que se implementen para el sistema kanban serán las que dirijan el proceso y servirán de guía para que los operarios puedan controlar la producción. Un dicho común dice que “Si quieres que algo ocurra, entonces debe ponérselo como regla”.

**Regla 1.-** El proceso posterior (Horno) recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas del lugar y momento oportuno.

**Corolario 1,** se prohíbe cualquier retirada de rumas o rollos sin utilización de kanban.

**Corolario 2,** se prohíbe cualquier retirada de rumas o rollos en cantidades mayores o menores de lo que indica la tarjeta kanban.

**Corolario 3,** un kanban deberá siempre adherirse a una entidad física.

**Regla 2.-** Se deben mantener organizados todos los procesos y las tareas deben estar debidamente estandarizadas.

**Regla 3.-** El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.

**Corolario 1,** se prohíbe una producción mayor que el número de fichas kanban.

**Regla 4.-** Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.

**Regla 5.-** El número de kanban debe minimizarse.

**Regla 6.-** El kanban habrá de utilizarse para lograr la adaptación de pequeñas fluctuaciones de la demanda.

**Corolario 1**, en algún caso extraordinario de que llegase a haber escasez de material de rumas se emitirá inmediatamente un “kanban urgente” para cubrir el déficit de producción.

**Corolario 2**, el kanban urgente tiene prioridad suprema.

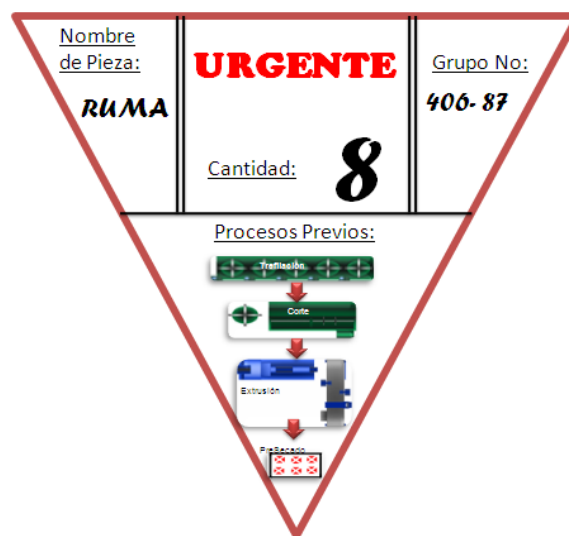


FIGURA 4.6 KANBAN URGENTE

**Regla 7.-** Se debe mantener una mejora continua, capacitando siempre a todo el personal y buscando formas de mejorar el sistema de producción [10].

### PLAN DE MANEJO VISUAL PARA KANBAN

El objetivo principal del plan de manejo es que cualquier trabajador dentro de la planta, sea o no sea el encargado responsable de alguna actividad kanban, sea capaz de percibir el estado de la producción en ese momento y que si por alguna razón se llegase a presentar una emergencia, sea capaz de notarla y tomar acción inmediata.

La opción que mejor se encontró para la fábrica de electrodos es la que se conoce como "Look-see", la cual menciona que el mejor sensor que se puede tener en la planta son los ojos de los trabajadores. Para el presente caso específico, se considerarán marcas en el piso en el **sector** destinado a PreSecado, a este sector se lo dividirá en 3 partes ya que se considera que esa es la cantidad de kanbans, cada parte tendrá capacidad para acomodar 24 rumas.

La lógica será la siguiente:

- Si los **3** espacios están ocupados entonces significa que nos encontramos en la **Zona Verde** y no se realizará ninguna acción.



- Si sólo **2** espacios están ocupados entonces significa que nos encontramos en la **Zona Amarilla** y se debe enviar a producir las rumas necesarias.
- Si tan sólo **1** espacio está ocupado entonces significa que nos encontramos en la **Zona Roja** y se debe tomar inmediatamente una acción para recuperar las rumas que hacen falta y evitar el desabastecimiento.

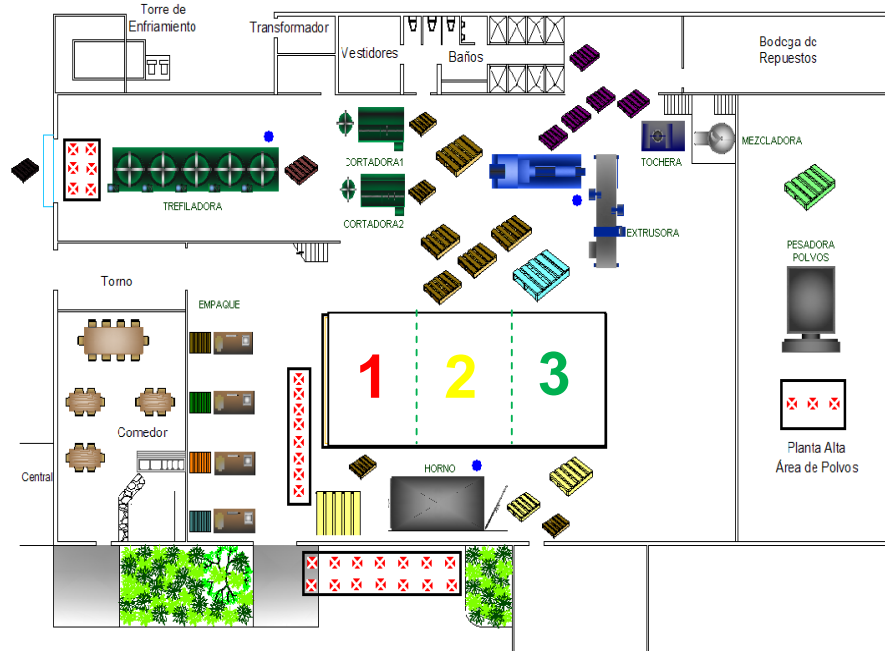


FIGURA 4.7 SISTEMA LOOK-SEE

### 4.3. Modelación del Proceso Mejorado

#### 4.3.1. Cambios Incorporados en el Modelo de Simulación

Para lograr una óptima simulación CONWIP se requieren hacer algunos cambios en la programación del proceso, pero antes es preciso conocer en especial dos nuevos datos: cantidad que el kanban demande para producir y el número de kanbans.

##### ► Cantidad que el kanban demande para producir

Se considera que la entidad RUMA8 (grupo de 8 rumas) será la entidad a la cual se le adjuntará un kanban de producción, es decir, cada vez que se envíe una tarjeta al buzón, la orden que ésta traerá consigo será la de producir 8 nuevas rumas. Pero ya que en la estación inicial de trefilado no se trabaja con la entidad “ruma” sino como la entidad “rollo”, con la ayuda de la figura 3.2 donde se muestran las equivalencias entre las entidades, se conoce que:



Entonces, cada vez que una tarjeta kanban de producción dispare una orden, significará que la estación de trefilación tendrá que procesar 16 rollos, este dato lo manejará el kanban

de transporte que se mostró en la figura 4.5, ya que éste será el encargado de comunicar cuanta materia prima sacar de la bodega y llevar al proceso de trefilado.

En ProModel a esta acción se la programó con la ayuda del comando “send”, como se muestra en el siguiente extracto del “Processing”.

```

***** Processing *****
*****
RUMAS      GROUP_PRESECADO INC CONTROLS,1      1      RUMAS      LOCP1      FIRST 1
RUMAS      LOCP1          //DISPLAY "1. VAR: "$VAR$" - EH: "$ENTRADA_HORNO$" - AA: "$AA
RUMAS      PUERTA_HORNO  WAIT UNTIL VAR=0      1      RUMAS      PUERTA_HORNO  FIRST 1
RUMAS      PUERTA_HORNO  VAR=1
RUMAS      PUERTA_HORNO  //DISPLAY "PUERTA CERRADA"
RUMAS      HORNO          SEND 16 ROLLO_TREFILADO TO TREFILADORA
RUMAS      HORNO          IF AA<>CALDAY() THEN ENTRADA_HORNO=0
RUMAS      HORNO          INC ENTRADA_HORNO
RUMAS      HORNO          //DISPLAY "2. ENTRADA_HORNO: "$ENTRADA_HORNO$" - AA: "$AA
RUMAS      HORNO          WAIT B(1.4158, 1.7353, 132, 180)
RUMAS      LOCP2          AA=CALDAY()      1      RUMAS      LOCP2      FIRST 1
RUMAS      LOCP2          VAR=0
RUMAS      LOCP2          //DISPLAY "PUERTA ABIERTA"
RUMAS      HORNO_ESPERA  1      RUMAS      HORNO_ESPERA  FIRST 1
RUMAS      HORNO_ESPERA  UNGROUP

```

FIGURA 4.8 PROCESSING CONWIP 1

#### ► Número de kanbans

En primer lugar, para simplificar el análisis, todas las operaciones con flujo PUSH fueron consideradas como una sola estación de trabajo llamada “M”. Entre esta nueva estación M y el horno se consideró un buffer ficticio, para el cual se calculó una cantidad inicial de rumas en proceso (X) para que desde el inicio se permita a la línea de producción

trabajar sin que alguna máquina sufra de desabastecimiento de material.

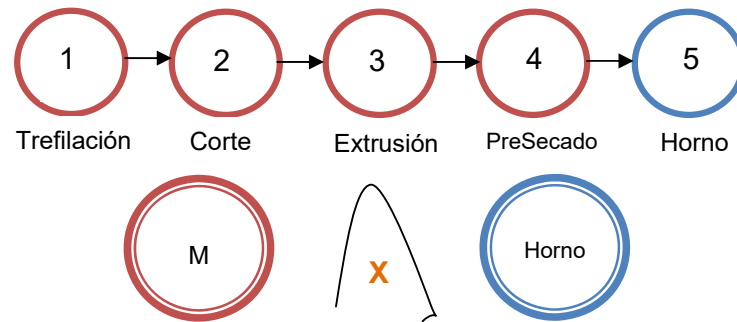


FIGURA 4.9 DIAGRAMA OPERACIONAL CONWIP

Para poder realizar el respectivo cálculo se necesita conocer de antemano datos como: la demanda diaria de rumas ( $D$ ), la tasa de producción de  $M$  ( $r_{eM}$ ) que es igual a la tasa de arribo de material al horno ( $r_a$ ) y la tasa de producción del horno ( $r_e$ ).

► Demanda diaria de rumas ( $D$ )

Previamente se conoce que la demanda diaria de rumas está limitada al tiempo de funcionamiento del horno, esta máquina realiza sólo 2 paradas de producción al día, es decir, diariamente se obtienen 16 rumas.

► Tasa de producción de M (reM)

La tasa de producción de la operación M se la calculó con ayuda de un artificio dentro de la programación de ProModel, ya que la empresa no poseía estos datos.

Para poder calcular este valor fueron necesarios los comandos “write” y “writeline” los cuales funcionan con la ayuda de archivos de Excel para guardar datos de tiempo, en este caso cada vez q entraban dos rollos al proceso de trefilado se tomaba ese dato de tiempo en minutos y se exporta a una de las celdas del archivo.

```

*****
Processing
*****
ROLLO_TREFILADO TREFILADORA // *****
// INICIA CONTEO DE TIEMPO DE FORMACION DE LA ENTIDAD RUMAS
// *****

IF TIPO=1 THEN
BEGIN
INC contador901,1
IF contador901=2 THEN
BEGIN
WRITE INICIO90, "Tiempo inicia 90"
WRITELINE INICIO90, CLOCK(MIN)
contador901=0
END
END

IF TIPO=2 THEN
BEGIN
INC contador1201,1
IF contador1201=2 THEN
BEGIN
WRITE INICIO120, "Tiempo inicia 90"
WRITELINE INICIO120, CLOCK(MIN)
contador1201=0
END
END

```

FIGURA 4.10 PROCESSING CONWIP 2

Luego para tomar los tiempos finales, se utilizaron los mismos comandos pero se los colocó en la estación de “Armado\_Rumas”, la cual se encuentra antes de PreSecado.

```

*****
Processing
*****
RUMA      ARMADO_RUMAS

          ATRUMA=VAT
          //DISPLAY VAT
          PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=0
          //DISPLAY ATRUMA

          IF CLOCK(>)>10080 THEN
          BEGIN
            IF ATRUMA=90 THEN INC CONT_RUMA90
            IF ATRUMA=120 THEN INC CONT_RUMA120
          END

          IF ATRUMA=90 THEN
          BEGIN
            WRITE FIN90, "Tiempo fin 90"
            WRITELINE FIN90, CLOCK(MIN)
          END

          IF ATRUMA=120 THEN
          BEGIN
            WRITE FIN120, "Tiempo fin 120"
            WRITELINE FIN120, CLOCK(MIN)
          END

RUMA      PRE_SECADO
          TEP=CLOCK(MIN)
          //DISPLAY ATRUMA
          //IF CLOCK(>)>10080 THEN INC CONTRUMA
          //WAIT B(0.9945, 1.6689, 1590, 6798.6)
          WATT 74 HR      1      RUMA      GROUP PRESECADO FTRST 1

```

FIGURA 4.11 PROCESSING CONWIP 3

Luego de obtener todos los datos en los archivos de Excel, se los ordenó de manera ascendente como se muestra en la figura 4.12 y manualmente se procedió a calcular el tiempo de ciclo entre las operaciones de trefilación y extrusión de un grupo de 8 rumas. Como ejemplo, para el caso del primero grupo de 8 rumas q se formó, el primer rollo entró a trefilación en el minuto 17,65 y salió transformada en ruma en el minuto

121,46; el final del procesamiento de este primer grupo se cierra cuando la octava ruma sale en el minuto 387,05 del proceso de extrusión, dando como resultado un valor total de CT de 369,4 minutos.

	TIEMPO DE INICIO		TIEMPO FINAL		Cycle time 8
1er Grupo de 8 rumas	17,65	90	121,46	90	
	35,38	120	141,91	120	
	108,04	90	206,65	90	
	124,12	120	231,82	120	
	196,3	90	289,81	90	
	215,3	120	301,23	90	
	283,72	90	317,3	120	
	298,29	120	387,05	90	369,4
2do Grupo de 8 rumas	372,69	90	406,48	120	
	386,73	120	465,35	90	
	455,07	90	495,02	120	
	476,41	120	553,31	90	
	546,96	90	563,64	90	
	564,51	120	578,9	120	
	630,12	90	643,86	90	
	641,7	120	663,34	120	365,05
3er Grupo de 8 rumas	720,14	90	730,54	90	
	738,07	120	755,16	120	
	805,16	90	811,92	90	
	822,91	120	823,76	90	
	897,9	90	839,77	120	
	912,73	120	910,95	90	
	979,1	90	931,32	120	
	1000,14	120	990,47	90	360,35

FIGURA 4.12 DATOS PARA CÁLCULO DE CT

Luego de analizar estos datos se obtuvo que en promedio ocho rumas se forman en 355,03 min, es decir, aproximadamente 6 horas, pero este valor solo corresponde hasta el proceso de extrusión. Se conoce que el proceso de PreSecado toma alrededor de 30 horas para cumplir con esta actividad.

$$CT = CT_{tre-ext} + CT_{presecado}$$

$$CT = 6 \text{ horas} + 30 \text{ horas}$$

$$CT = 36 \text{ horas} \approx 1,5 \text{ días}$$

Entonces se puede concluir que un grupo de 8 rumas toma aproximadamente 1,5 días en promedio hasta cumplir con el proceso de PreSecado, entonces la tasa de producción de la operación M es de  $reM = \frac{8rumas}{1,5días}$ , para efecto de los análisis del sistema CONWIP este valor será considerado como la tasa de arribo al horno ( $r_a$ ).

► Tasa de producción del horno ( $re$ )

Según los datos de la toma de tiempos, un grupo de 8 rumas se demora en promedio 154,12 min, que es igual a 2,57 horas, es decir, la tasa de producción del horno es igual a

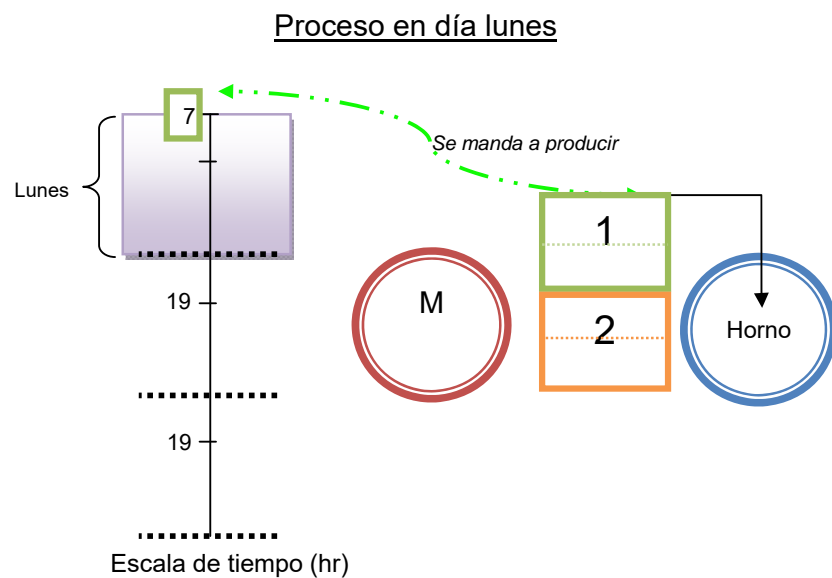
$$reH = \frac{8rumas}{2,57horas}$$

En la figura 4.13 se muestran los datos calculados.

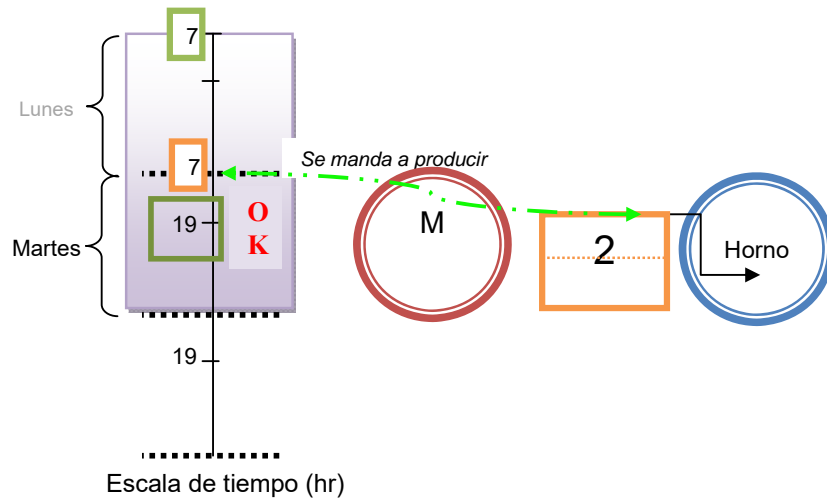




Haciendo otro análisis, suponiendo que una jornada de trabajo comienza a las 7h00 del día lunes y no se encuentra ningún producto en proceso. Para que un grupo de 8 rumas estén debidamente fabricadas y listas para entrar al horno se necesita que pasen 36 horas de trabajo, es decir, a las 19h00 del día martes recién se tendrían disponible estas rumas para ser horneadas, pero como el final de la jornada de trabajo del horno es a las 15h00, estas tendrán que esperar a ser utilizadas a primera hora del día siguiente, es decir, 7:00 del día miércoles como se ejemplifica en las siguientes imágenes.



Proceso en día martes



Proceso en día miércoles

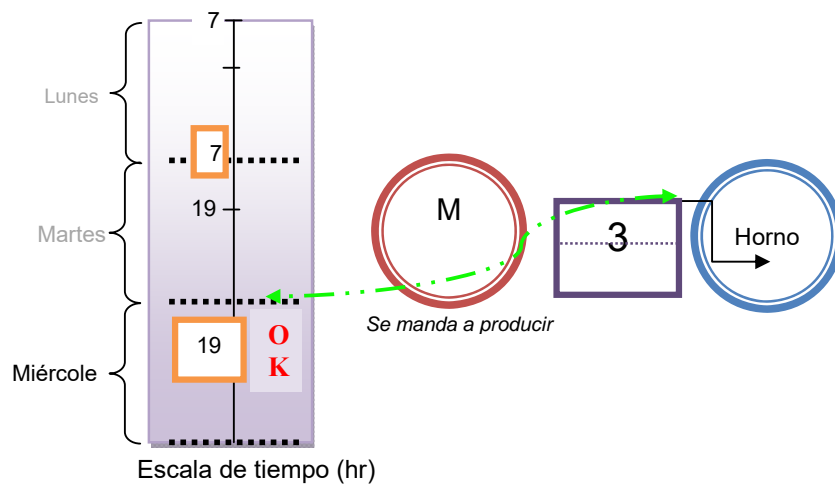
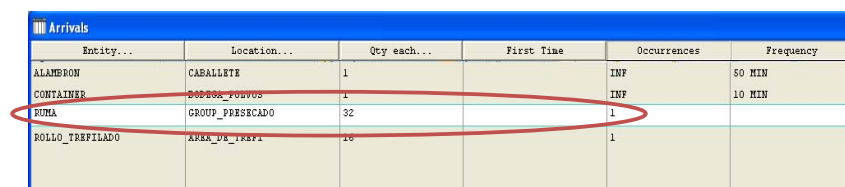


FIGURA 4.14 DIAGRAMA DE CONSUMO DE CANTIDAD DE RUMAS INICIALES (x)

Mediante estos cálculos, determinados bajo un análisis sistemático, se puede mencionar que el nivel de X necesario es de 32 rumas, esta cantidad sirve para mantener abastecido al horno por dos días desde que comienza la simulación. Este valor es el mismo al obtenido aplicando la fórmula de kanban, es por esto que será considerado para programar en ProModel un arribo inicial de esta entidad ruma a la operación de PreSecado.



Entity...	Location...	Qty each...	First Time	Occurrences	Frequency
ALAMBRO	CABALLETE	1		INF	50 MIN
CONTAINER	GROUP_PORVOS	1		INF	10 MIN
RUMA	GROUP_PRESSEADO	32		1	
BOLLO_TREFILADO	AREA_PA_TREFI	10		1	

FIGURA 4.15 DATO DE ARRIBO A SIMULACIÓN  
MEJORADA

Luego de calcular todos los datos necesarios el sistema CONWIP luciría de la siguiente forma:

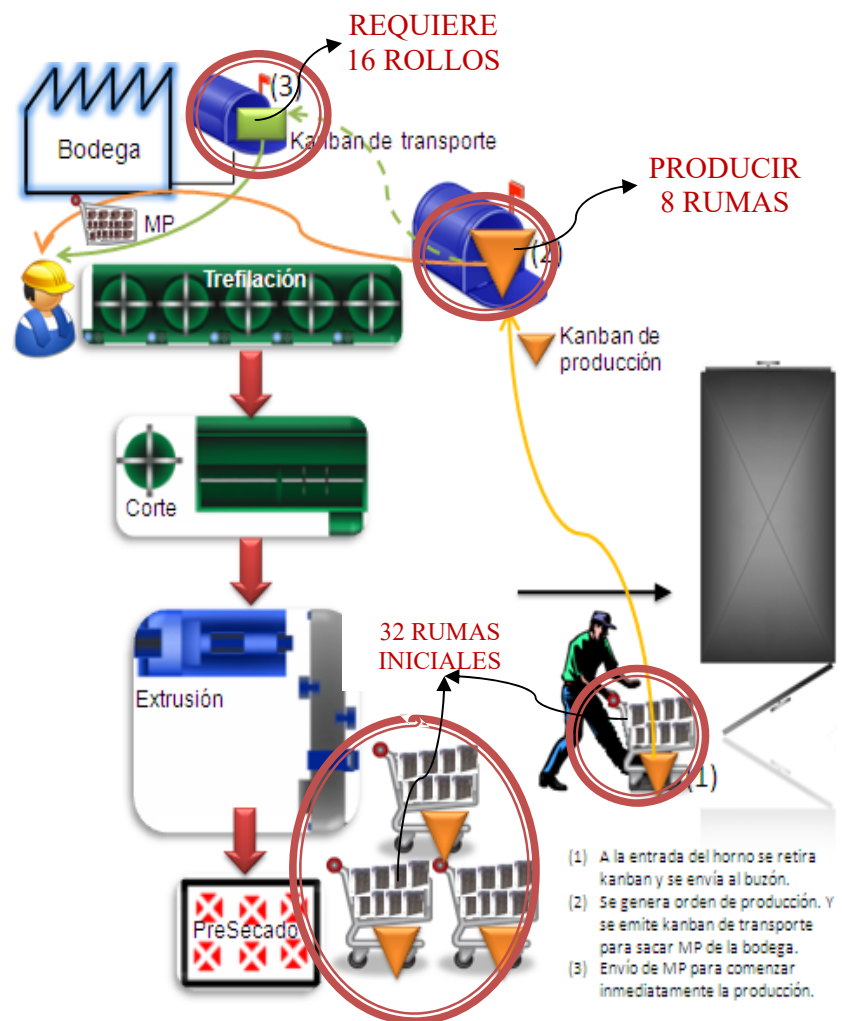


FIGURA 4.16 DIAGRAMA CONWIP CON DATOS

#### **4.3.2. Características Relevantes del Modelo basado en las Propuestas de Mejoras**

Las cinco características relevantes que se explicaron en el punto 3.3.9 sobre el modelo inicial se mantienen en la programación del modelo mejorado.

En el punto anterior se describieron los cambios realizados respecto al sistema CONWIP y en el *Apéndice 3* se muestra la programación completa de esta nueva simulación.

##### **■ Actividad especial: Nuevo funcionamiento del horno**

Al horno se le programará un tiempo de proceso equivalente solo al tiempo que necesitan las rumas para hornearse, este tiempo promedio es de 1,8 horas y está determinado por la distribución de probabilidad: Gamma (339.91, 0.3173). Una vez que se haya completado este tiempo, las rumas serán inmediatamente retiradas para cumplir el resto de proceso, de enfriamiento, fuera del horno y permitir que aumente el nivel de uso de este equipo.

#### 4.3.3. Cálculo del Tiempo Warm Up del Proceso y Número de Réplicas

Se mantiene el mismo tiempo de warm up y el mismo número de réplicas que se emplearon para el análisis del modelo inicial y de esta forma permitir una mejor comparación entre los parámetros a estudiar de los dos modelos propuestos. Recordando, se estableció un tiempo de warm up de 1 mes y se realizaron 23 réplicas al modelo.

#### 4.4. Evaluación de Resultados y comparación con la situación inicial

Para poder analizar el impacto de las dos mejoras propuestas se simularon estas dos juntas y también cada una por separado, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 9

#### COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MEJORAS

Parámetros		INICIAL	MEJORA 1	MEJORA 2	MEJORAS 1 Y 2
TH (cajas/sem)	Throughput total	8416	8379	8445	8410
		<b>8326</b>	<b>8304</b>	<b>8378</b>	8313
		8236	8230	8312	8216
WIPprs (rumas)	Cantidad de rumas en proceso en PreSecado	37,41	37,31	15,41	15,45
		<b>36,90</b>	<b>36,99</b>	<b>15,30</b>	15,31
		36,39	36,68	15,18	15,17
CTprs (min)	Tiempo en que permanecen las rumas en PreSecado	3308,69	3302,05	1385,76	1381,79
		<b>3286,90</b>	<b>3279,18</b>	<b>1381,50</b>	1375,27
		3265,12	3256,31	1377,24	1368,75
CTh (hr)	Tiempo de ciclo de Horno	2,61	1,82	2,61	1,82
		<b>2,57</b>	<b>1,80</b>	<b>2,57</b>	<b>1,80</b>
		2,53	1,78	2,53	1,78
Uh (%)	Utilización del Horno	70,68	50,46	69,54	50,89
		<b>69,73</b>	<b>49,97</b>	<b>68,77</b>	50,27
		68,77	49,47	67,99	49,66
Eth (rumas)	Total de rumas que entran en el horno	60,9	60,30	61,26	61,44
		<b>60,3</b>	<b>59,74</b>	<b>60,91</b>	60,70
		59,7	59,18	60,57	59,95

Como se puede observar en la tabla, cuando se aplica la Mejora 1 ya sea sola o en conjunto con la otra mejora, los resultados que se obtienen se mantienen estadísticamente iguales a la situación inicial (comparándose los intervalos de confianza), incluyendo un nivel constante de electrodos producidos. En el *Apéndice 4* se muestran otras comparaciones entre las mejoras establecidas.

Por otro lado, comparando los casos de la situación inicial con la situación luego de implementarse la Mejora 2, se notan claras diferencias positivas en algunos indicadores.

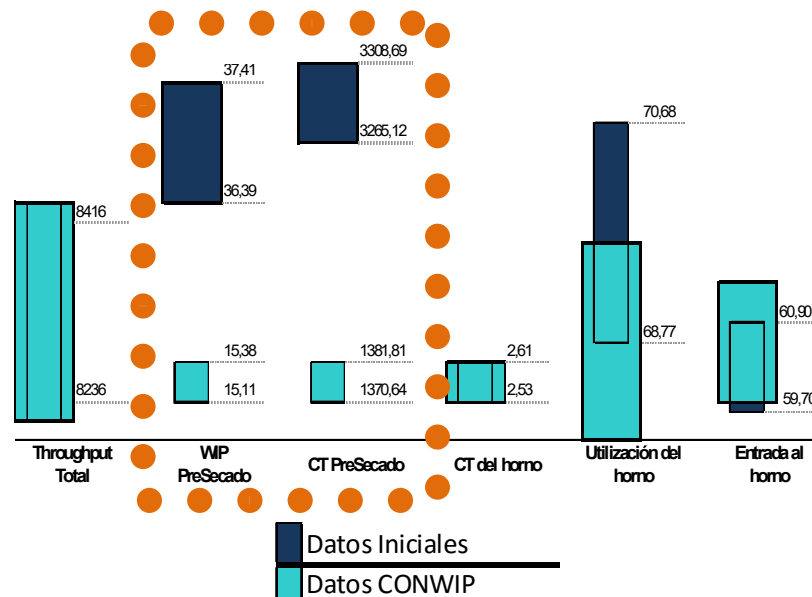


FIGURA 4.17 SITUACIÓN INICIAL VS CONWIP



En los intervalos de confianza resaltados en la figura 4.17, los cuales representan los parámetros de WIP y CT de la estación de PreSecado, se presenta una diferencia bastante significativa entre los resultados obtenidos luego de la mejora (color celeste) y antes de la misma (color azul), concluyendo con un 95% de confianza que el sistema CONWIP ayuda a obtener un mejor aprovechamiento de la línea. Mientras que los intervalos de los demás parámetros se mantienen estadísticamente iguales, al intercalarse sus valores máximos y mínimos.

Las mejoras logradas en la estación de PreSecado son de muchísima importancia ya que mejoraron los niveles de WIP y CT sin perjudicar los niveles de TH:

- ✓ Nivel de WIP de rumas en este proceso **disminuyó en 59%**.
- ✓ Tiempo de ciclo en esta estación también **disminuyó en 58%**.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- 1) Cada uno de los Sistemas de Control de Producción y Flujos de Materiales, pueden otorgar potenciales beneficios a la hora de su implementación, así como también generar serios inconvenientes; todo dependerá de saber reconocer el entorno y las condiciones actuales del proceso para poder escoger la mejor opción.
  
- 2) Los sistemas de administración de la producción estudiados en la presente tesis precisan de condiciones básicas para su aplicación, como las siguientes: para implementar el sistema PULL puro se requieren bajos tiempos de set ups, mínimas fluctuaciones de la demanda, conocer la demanda con anticipación, implementar con anterioridad sistemas de

disminución de variabilidad como el Poka Yoke. Un sistema CONWIP no responde bien ante cambios en el volumen o mezcla de productos, por lo tanto requiere que la línea de producción esté dedicada a pocos o sólo un producto, los cuellos de botella deben ser constantes y definidos. Y por último, el sistema DBR menciona que una hora perdida en el cuello de botella, equivale a una hora perdida de todo el sistema, por lo tanto todas las demás máquinas deben trabajar para que el cuello de botella nunca pare e incluso se deben colocar buffers antes de éste para garantizar que siempre se tenga material con que trabajar.

- 3) Se recomendó la implementación del sistema CONWIP para la administración de los procesos desde Trefilación hasta PreSecado, ya que este sistema se ajusta a las características actuales del proceso y además, el proceso cumple con algunos requisitos fundamentales del sistema, como: la línea de producción se dedica prácticamente a la fabricación de un sólo producto y se poseen cuellos de botella constantes.
- 4) La simulación es una gran herramienta a la hora de conocer como funciona un proceso productivo e implementar mejoras a los mismos, ya que nos ayuda a ahorrar dos grandes recursos:

tiempo y dinero. En el presente estudio, la simulación facilitó la construcción de los mecanismos para implementar un sistema CONWIP.

- 5) Al implementar como mejora un sistema CONWIP se obtuvieron grandes beneficios., especialmente en la estación de PreSecado, la cual era considerada como la estación de trabajo con la mayor cantidad de WIP retenido. Se obtuvo un disminución del 59% en la cantidad de rumas en proceso, asimismo se disminuyó en un 58% el tiempo de ciclo que un grupo de rumas se toman en atravesar esta actividad; y todo esto sin verse perjudicada la tasa de producción.
- 6) A pesar de que el sistema CONWIP estuvo más enfocado a disminuir el WIP en la estación PreSecado y cerca del horno, se obtuvieron adicionalmente mejoras pequeñas en otras locaciones.
- 7) En cuanto a la mejora propuesta por uno de los jefes de la empresa, la cual fue de minimizar el tiempo de permanencia de las rumas en el horno, los resultados mostraron que no existe una diferencia significativa en la mayoría de los indicadores de

producción y es más, hasta el nivel de TH de la línea se mantiene constante.

- 8) La herramienta de tarjetas kanban propuesta como apoyo para el desarrollo del sistema CONWIP ayudará a mantener controlada la producción, bajo niveles mínimos de inventario en proceso. Se deberán cumplir las reglas kanban propuestas y mantener siempre al personal capacitado.

## **5.2.Recomendaciones**

- 1) Antes de la implementación, todas las operaciones y actividades deben estar absolutamente estandarizadas. La empresa posee manuales de trabajo pero estos son archivados y la mayoría no los conoce; es necesario especialmente en las estaciones de corte y de empacado, que los operadores realicen las actividades de la misma forma ya que es en esta etapa donde se pueden obtener más pérdidas de tiempo e ineficiencias.
- 2) Se podría realizar a futuro un estudio de control de inventarios en las bodegas de materia prima y producto terminado; en primer lugar para mejorar las entregas de material a la fábrica, y también

para disminuir el exceso permanente de inventario de ciertos tipos de electrodos, así como el desabastecimiento de otros.

# APÉNDICES

**APÉNDICE 1.- Tabla de distribuciones de fallas de las maquinarias**

ESTACIÓN	ACTIVIDAD	FORMATO EN PROMODEL
Trefiladora	Tiempo de falla (mtrr)	E(123)
	Tiempo entre fallas (mtbf)	G(0.8912, 5059.4)
	Tiempo en cambio de dado	G(3.6173, 15.162)
	Tiempo entre cambios de dado	W(1.4771, 2953.8)
	Tiempo de falla de equipos	W(2.1883, 43.992)
	Tiempo entre falla de equipos	W(1.3587, 12550)
Cortadora SDR (1)	Tiempo de falla (mtrr)	L(6.0748, 0.5774)
	Tiempo entre fallas (mtbf)	E(69842.1567)
	Tiempo de cambio de utilaje	T(28.945, 45, 65.063)
	Tiempo entre cambio de utilaje	W(1.1305, 7826.9)
Cortadora REL (2)	Tiempo de falla (mtrr)	W(1.7424, 251.6)
	Tiempo entre fallas (mtbf)	W(0.92082, 49404)
	Tiempo de cambio de utilaje	G(3.9177, 12.668)
	Tiempo entre cambio de utilaje	W(0.9898, 6618.2)
Extrusión	Tiempo de falla (mtrr)	E(228.833)
	Tiempo entre fallas (mtbf)	W(1.3531, 4190.4)
Mezcla	Tiempo de falla (mtrr)	W(0.88218, 427.59)
	Tiempo entre fallas (mtbf)	W(1.1975, 24301)
	Tiempos muertos	W(1.6052, 185.96)
	Entre tiempos muertos	B(0.34691, 0.96914, 1440, 61920)



## APÉNDICE 2.- Programación del modelo, Situación Actual

```

.....
Formatted Listing of Model:
C:\Documents and Settings\nataly\My Documents\MI TESIS\modelo Prueba7\Copia de fabrica de Electrodo.moo *
.....

Time units:           Minutes
Distance units:      Feet
Initialization Logic: RESET INICIO00
                    RESET FIN00
                    RESET INICIO20
                    RESET FIN20
.....

Location
.....

Name      Cap units  Stats      Rules      Cost
-----
CARALLETE 1 1 Time Series Oldest
AREA_DE_TREFI 6 1 Time Series Oldest
TREFILADORA 1 1 Time Series Oldest
WEP_TREFI 2NF 1 Time Series Oldest
CORTADORA1 1 1 Time Series Oldest
CORTADORA2 1 1 Time Series Oldest
GROUP_CAJAS1 2 1 Time Series Oldest
GROUP_CAJAS2 2 1 Time Series Oldest
WEP_CORTE 2NF 1 Time Series Oldest
EXTRUSORA 1 1 Time Series Oldest
ARMADO_BUMAS 1 1 Time Series Oldest
PAC_SECADO 2NF 1 Time Series Oldest
HORNO 1 1 Time Series Oldest
AREA_DE_EMPAQUE 6 1 Time Series Oldest
ESTACION1 1 1 Time Series Oldest
ESTACION2 1 1 Time Series Oldest
ESTACION3 1 1 Time Series Oldest
GROUP_PRESECCO 2NF 1 Time Series Oldest
GROUP_PALLET1 100 1 Time Series Oldest
GROUP_PALLET2 100 1 Time Series Oldest
GROUP_PALLET3 100 1 Time Series Oldest
GROUP_PALLET4 100 1 Time Series Oldest
ESPERA_TOCHOS 1 1 Time Series Oldest
TOCHERA 1 1 Time Series Oldest
MECLADORA 1 1 Time Series Oldest
RESADORA_POLVOS 1 1 Time Series Oldest
BOGGA_POLVOS 2NF 1 Time Series Oldest
WEP_MELLA 1 1 Time Series Oldest
GROUP_TOCHOS 6 1 Time Series Oldest
HELEBRASO 2NF 1 Time Series Oldest
HELEBRASO2 2NF 1 Time Series Oldest
DETAGRAPAR 2NF 1 Time Series Oldest
AREA_DE_CERRA 2NF 1 Time Series Oldest
HORNO_ESPERA 1 1 Time Series Oldest
CARGA_TOCHOS 1 1 Time Series Oldest
BOL_TOCHOS 1 1 Time Series Oldest
SALIDA_TOCHOS 1 1 Time Series Oldest
PUERTA_HORNO 1 1 Time Series Oldest
ESPERA_MELLA 1 1 Time Series Oldest
EMPAQUE 1 1 Time Series Oldest
LOCP2 1 1 Time Series Oldest
LOCP1 1 1 Time Series Oldest
.....

Class definitions for Locations
.....

Loc      Frequency      first time      Priority      Scheduled Disable Logic
-----
TREFILADORA 0(0.8611, 509.4) 99 NO NO WAIT 0(111)// TIEMPO DE FALLA
WCL4771, 2993.85 (nuT) 99 YES NO WAIT 0(1.617), 11.162// CAMBIO DE CARGOS
WCL3187, 21300 (nuT) 99 NO NO WAIT W(2.186), 41.992// FALLA DE EQUIPOS (MONTACARGAS Y SOLDADORA)
CORTADORA1 0(0.8642, 147) 99 NO NO WAIT L(0.0748, 0.5774)// TIEMPO DE FALLAS
WCL1185, 7526.65 (nuT) 99 NO NO WAIT T(18.943, 45.43.063)// CAMBIO DE UTILLAJE
CORTADORA2 0(0.8088, 49464) 99 NO NO WAIT WCL7424, 211.6// TIEMPO DE FALLAS
W(0.99981, 9614.2) (nuT) 99 YES NO WAIT 0(3.9177), 11.968// CAMBIO DE UTILLAJE
EXTRUSORA 0(0.8642, 4350.43) 99 NO NO WAIT 0(124.833)// TIEMPO DE FALLAS
WCL1187, 24301 99 NO NO WAIT W(0.88218, 427.15)// TIEMPO DE FALLAS
MECLADORA 0(0.84681, 0.96521, 1440, 82320) (nuT) 99 NO NO WAIT WCL4012, 187.961// TIEMPOS MUERTOS POR PROBLEMAS VARIOS
.....

Entry definitions for Locations
.....

Loc      Frequency      first occurrence      Logic
-----
TREFILADORA 1 WAIT W(2.259, 7.959) // TIEMPO DE SACADO DE LA MASA (1)
CORTADORA1 6 WAIT 0(0.48374, 0.58224, 9.14, 24.15)// TIEMPO EN SOLDAR Y PREPARAR
CORTADORA2 1 WAIT W(2.189, 8.1602) // TIEMPO EN SOLDAR Y PREPARAR
TOCHERA 2 WAIT W(1.9828, 7.6787) // TIEMPO EN SOLDAR Y PREPARAR
MECLADORA 1 WAIT L(0.2212, 0.0612) // LIMPIEZA ENTRE PARADAS DE MASA
WAIT 0(3.1286, 0.9489)//CAE TODO EL POLVO DE LA OLLA
.....

Entities
.....

Name      Speed (fpm)  Stats      Cost
-----
ALAMBRO 1.50 Time Series
SOLLO_TREFILASO 1.50 Time Series
CAJA 1.50 Time Series
MELLA 1.50 Time Series
M.M. 1.50 Time Series
CAJAS_MELLA 1.50 Time Series
PALLETES 1.50 Time Series
CONTAINER 1.50 Time Series
TOCHOS 1.50 Time Series
TOCHOS2 1.50 Time Series
GRIPADO 1.50 Time Series
GRIPADO 1.50 Time Series
ELITE 1.50 Time Series
.....

```

\*\*\*\*\*  
 RESOURCE  
 \*\*\*\*\*

NAME	UNITS	STATUS	RES	EXT	SEARCH	SEARCH	PATH	LOCATION	COST
CASAS	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	
AQUILAR	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	
TECLER	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	
REVAS	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	
LINEAO	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	
PUNTE_GHUA	1	BY UNIT	NONE	OLDEST				DEPT: 150 fpm FULL: 150 fpm	

\*\*\*\*\*  
 PROCESSING  
 \*\*\*\*\*

Entity	Location	Process	ST	Output	Destination	Route	Move Logic
ALAMBON	CADALLETE		1	ALAMBON	AREA_DE_TREFI	FIRST 1	
ALAMBON	AREA_DE_TREFI	CREATE 6 AS ROLLO_TREFILADO	1	ALAMBON	EXIT	FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	AREA_DE_TREFI	<pre> INC CONTROLLO,1 IF CONTROLLO=1 THEN TIPO=1 IF CONTROLLO=2 THEN BEGIN TIPO=2 CONTROLLO=0 END </pre>					
ROLLO_TREFILADO	TREFILADORA	<pre> //***** // INICIA CONTEO DE TIEMPO DE FORMACION DE LA ENTIDAD NUMER //***** IF TIPO=1 THEN BEGIN INC CONTABF901,1 IF CONTABF901=1 THEN BEGIN WRITE INICIO901, "Tiempo inicio 90" WRITELINE INICIO901, CLOCK(MIN) CONTABF901=0 END IF TIPO=2 THEN BEGIN INC CONTABF1201,1 IF CONTABF1201=1 THEN BEGIN WRITE INICIO121, "Tiempo inicio 90" WRITELINE INICIO121, CLOCK(MIN) CONTABF1201=0 END </pre>	1	ROLLO_TREFILADO TREFILADORA	FIRST 1		
ROLLO_TREFILADO	WEP_TREFI	<pre> WAIT W(18.07), 17.806 // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO WEP_TREFI		FIRST 1	GET TECLER AND AQUILAR MOVE FOR W(1.139), 1.1466) FREE TECLER FREE AQUILAR
ROLLO_TREFILADO	CORTADORA2	<pre> IF TIPO=1 THEN ROUTE 1 ELSE ROUTE 2 </pre>	1	ROLLO_TREFILADO CORTADORA2		FIRST 1	GET TECLER AND REVAS MOVE FOR L(0.786), 0.4264) FREE TECLER FREE REVAS
ROLLO_TREFILADO	CORTADORA2		2	ROLLO_TREFILADO CORTADORA2		FIRST 1	GET TECLER AND REVAS MOVE FOR L(0.786), 0.4264) FREE TECLER FREE REVAS
ROLLO_TREFILADO	GRUP_CASAS	<pre> WAIT W(14.19), 41.818 // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO GRUP_CASAS		FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	GRUP_CASAS	<pre> WAIT W(11.19), 41.287 // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO GRUP_CASAS		FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	CASA	<pre> GROUP 1 AS CASA GROUP 2 AS CASA TIPO_CASA=0 </pre>	1	CASA	WEP_CORTE	FIRST 1	GET PUNTE_GHUA MOVE FOR G(3.024), 0.1423) FREE PUNTE_GHUA
CASA	GRUP_CASAS	<pre> TIPO_CASA=120 </pre>	1	CASA	WEP_CORTE	FIRST 1	GET PUNTE_GHUA MOVE FOR G(3.024), 0.1423) FREE PUNTE_GHUA
CASA	WEP_CORTE	<pre> //TIPO_CASA=NO_CASA() IF TIPO_CASA=0 THEN BEGIN CREATE 4 AS HELESA END IF TIPO_CASA=120 THEN BEGIN CREATE 3 AS HELESA END </pre>					
HELESA	WEP_CORTE	<pre> WAIT 1 HR IF TIPO_CASA=0 THEN ROUTE 1 ELSE ROUTE 2 </pre>	1	HELESA	HELESA90	FIRST 1	
HELESA	HELESA90	<pre> GROUP 12 AS GRUP90 </pre>	1	HELESA	HELESA120	FIRST 1	
HELESA	HELESA120	<pre> UNGROUP GROUP 3 AS GRUP120 </pre>	1	HELESA	DESAGURAR	FIRST 1	
HELESA	HELESA120	<pre> UNGROUP </pre>	1	HELESA	DESAGURAR	FIRST 1	
HELESA	ESPERA_HELESA	<pre> WAIT UNTIL CONT_USO_PUERTA = 1 </pre>	1	HELESA	ESPERA_HELESA	FIRST 1	
HELESA	EXTRUSORA	<pre> WAIT UNTIL CONT_USO_PUERTA = 1 //DISPLAY "ENTRA HELESA (USD=1)" INC WPEDET INC CA IF CA=1 THEN BEGIN IF TIPO_CASA=0 THEN BEGIN V90=CLOCK(MIN) //DISPLAY "V90: ", V90 END </pre>	1	HELESA	EXTRUSORA	FIRST 1	

```

IF TIPO_CAJA=320 THEN
BEGIN
V320=CLOCK(MIN)
//DISPLAY "V320: ", V320
END
END
IF CM=3 THEN
BEGIN
PUERTA_TIEMPO_APRND=
CM=0
END
//DISPLAY "ATRIBUTO", TIPO_CAJA
IF TIPO_CAJA=90 THEN
BEGIN
WAIT M(1,876, 0.33)
INC CONTM90
//DISPLAY "PROCESO EXTRUSORA HILERA 90 #",CONTM90
//TIEMPO DE PROCESO DE UNA HILERA
END
ELSE
BEGIN
WAIT M(7,8021, 5.5296)
INC CONTM20
//DISPLAY "PROCESO EXTRUSORA HILERA 20 #",CONTM20
//TIEMPO DE PROCESO DE UNA HILERA
END
IF CONTM90=4 THEN
BEGIN
CONTM90=0
//DISPLAY "NIVEL DE CONTM90"
END
IF CONTM20=3 THEN
BEGIN
CONTM20=0
//DISPLAY "NIVEL DE CONTM20"
END
WAIT UNTIL PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=0
1 HILERA APRND_RUMAS FIRST 1 DEC 48507
INC CONTM
//DISPLAY "M # CONT # " - ATRIBUTO # TIPO_CAJA
IF CONTM = 3 THEN
BEGIN
PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=
IF TIPO_CAJA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "NORA 90: ", CLOCK()
TIEMPO_RUMAS=CLOCK()-V90
END
IF TIPO_CAJA=320 THEN
BEGIN
//DISPLAY "NORA 20: ", CLOCK()
TIEMPO_RUMAS=CLOCK()-V320
END
PUERTA_TIEMPO_APRND=
//DISPLAY "RUMA: " & TIPO_CAJA & " - CONT: " & CONTM
MKT(TIPO_CAJA)
CONTM=0
//GROUP 1 AS RUMA
END
GROUP 1 AS RUMA
RUMA APRND_RUMAS
ATRUMA=V90
//DISPLAY V90
PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=0
//DISPLAY ATRUMA
IF CLOCK()-10000 THEN
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN INC CONT_RUMAS90
IF ATRUMA=20 THEN INC CONT_RUMAS20
END
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
WRITE F190, "Tiempo Pto 90"
WRITELINE F190, CLOCK(MIN)
END
IF ATRUMA=20 THEN
BEGIN
WRITE F120, "Tiempo Pto 20"
WRITELINE F120, CLOCK(MIN)
END
TEMP=CLOCK(MIN)
//DISPLAY ATRUMA
//IF CLOCK()-10000 THEN INC CONT_RUMA
WAIT M(0,9941, 1.4669, 1590, 4796.6)
1 RUMA GROUP_PRESICADO FIRST 1
RUMA GROUP_PRESICADO GROUP 8 AS RUMAS
//DISPLAY "MAP ", CONTENTS(GROUP_PRESICADO, RUMA)
LOG "TIEMPO ESPERA PRESICADO", TEMP
RUMAS GROUP_PRESICADO INC CONTM90 1 RUMAS LOOP1 FIRST 1 DEC CONTM90,1
RUMAS LOOP1 //DISPLAY "L VARI: 'ENTR' - EN: 'ENTRADA_HORNOS' - AA: 'SAA"
WAIT UNTIL V90=0 1 RUMAS PUERTA_HORNO FIRST 1
RUMAS PUERTA_HORNO V90=
//DISPLAY "PUERTA CERRADA"
***** 1 RUMAS HORNO FIRST 1 MOVE FOR M(6,1981, 7.9504)//MOVE RUMAS AL HORNO
IF AB=CALCULO() THEN ENTRADA_HORNO=0
INC ENTRADA_HORNO
//DISPLAY "I. ENTRADA_HORNO: 'ENTRADA_HORNOS' - AA: 'SAA"
WAIT M(1,4158, 1.7311, 132, 180)
//AACT 24 99
AA=CALCULO()
1 RUMAS LOOP1 FIRST 1
RUMAS LOOP1 //DISPLAY "PUERTA ABIERTA"
RUMAS HORNO_ESPERA 1 RUMAS HORNO_ESPERA FIRST 1 MOVE FOR T(2,2209, 6.93, 30.655)
RUMAS HORNO_ESPERA UNGROUP
RUMAS AREA_DE_EMPAQUE FIRST 1
RUMAS AREA_DE_EMPAQUE 1 RUMAS ESTACION4 0.130000 1
RUMAS ESTACION5 0.130000
RUMAS ESTACION2 0.130000
RUMAS ESTACION1 0.130000
RUMA ESTACION1
IF CALHOR()-12 THEN
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E1: 1 EMP - RUMA 90 - ",CLOCK()
WAIT M(31,208, 0.90741)// ON EMPACADOR RUMAS90
CREATE 11 AS CABA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E1: 1 EMP - RUMA 20 - ",CLOCK()
WAIT M(279,93, 138.73, -121.91, 157.48)// ON EMPACADOR RUMAS20
CREATE 20 AS CABA_EMPACADA
END
END
ELSE
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E1: 2 EMP - RUMA 90 - ",CLOCK()
WAIT M(328,578, 0.90741)// DOS EMPACADORES RUMAS90
CREATE 11 AS CABA_EMPACADA

```

```

END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E1: 2 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(9.111, 529.17, 11.96, 1337.1)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
CAJA_EMPACADA ESTACIONE
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJAS EXIT FIRST 1
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJA
CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET1 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET1
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET
PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACIONE
IF CALHOUR()< 12 THEN
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E1: 1 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(11.208, 0.99741)// UN EMPACADOR RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E1: 1 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(229.05, 118.73, -121.91, 157.48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E2: 2 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(18.179, 0.66741)// DOS EMPACADORES RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E2: 2 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(9.111, 529.17, 11.96, 1337.1)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
CAJA_EMPACADA ESTACIONE
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJAS EXIT FIRST 1
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJA
CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET2 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET2
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET
PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACIONE
IF CALHOUR()< 12 THEN
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E3: 1 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(11.208, 0.99741)// UN EMPACADOR RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E3: 1 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(229.05, 118.73, -121.91, 157.48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E4: 2 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(18.179, 0.66741)// DOS EMPACADORES RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E4: 2 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(9.111, 529.17, 11.96, 1337.1)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
CAJA_EMPACADA ESTACIONE
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJAS EXIT FIRST 1
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJA
CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET3 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET3
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET
PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACIONE
IF CALHOUR()< 12 THEN
BEGIN
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E5: 1 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(11.208, 0.99741)// UN EMPACADOR RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E5: 1 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(229.05, 118.73, -121.91, 157.48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY 'E6: 2 EMP - RUMA 90 - ',clock()
WAIT 8(18.179, 0.66741)// DOS EMPACADORES RUM90
CREATE 13 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY 'E6: 2 EMP - RUMA 120 - ',clock()
WAIT 8(9.111, 529.17, 11.96, 1337.1)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
CAJA_EMPACADA ESTACIONE
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJAS EXIT FIRST 1
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_CAJA
CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET4 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA
WAIT 2 HR// TIEMPO EN HACER PRUEBAS DE SOLDADURA
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET4
IF CLOCK()>1000 THEN INC CONT_PALLET
PALLET_FINAL EXIT FIRST 1

```

```

CONTAINER BODEGA_POLVOS 1 CONTAINER PESADORA_POLVOS FIRST 1
CONTAINER PESADORA_POLVOS WAIT G(2.0489, 0.2945) // PREPARACION ANTES DE PESAR
WAIT G(22.401, 0.3215) // SELECCION DE POLVOS Y PESAJE
CONTAINER WIP_MEZCLA 1 CONTAINER WIP_MEZCLA FIRST 1
CONTAINER MEZCLADORA 1 CONTAINER MEZCLADORA FIRST 1
CONTAINER MEZCLADORA WAIT W(4.7109, 0.7495) // COGER CONTENEDOR Y LLENARLO
WAIT W(10.573, 13.372) // MEZCLA 1
WAIT B(0.4043, 0.9543, 1.57, 1.13) // LIMPIEZA
WAIT W(4.9486, 11.1983) // MEZCLA 2
CONTAINER TOCHERA CREATE I1 AS TOCHOS 1 CONTAINER TOCHERA FIRST 1
TOCHO TOCHERA WAIT W(3.1562, 0.5942) // TIEMPO DE HACER UN TOCHO FIRST 1
TOCHO GROUP_TOCHOS GROUP 7 AS TOCHOS 1 TOCHO GROUP_TOCHOS FIRST 1
TOCHOS GROUP_TOCHOS IF CLOCK()>10000 THEN
BEGIN
INC CONT_TOCHOS
//DISPLAY CONT_TOCHOS
//DISPLAY "ENTRA TOCHO A CARGAR (CARGA=0)"
TOCHOS CARGA_TOCHOS FIRST 1
TOCHOS CARGA_TOCHOS CONT_CARGA_TOCHOS + 1
//DISPLAY "se CIERRA entrada de TOCHO (CARGA=1)"
//WAIT G(1.9042, 1.5495) // TIEMPO DE CARGA DE TOCHOS "NO ES"
WAIT B(0.34824, 0.59605, 1.92, 6.92) // TIEMPO DE CARGA DE TOCHOS
TOCHOS USO_TOCHOS FIRST 1
TOCHOS USO_TOCHOS CONT_USO_TOCHOS + 1
//DISPLAY "se ABRE entrada de HILERA (USO=1)"
WAIT UNTIL WIPEND=1
WAIT B(0.9422, 0.40339, 1.4, 1.37) //TIEMPO QUE TRABAJA ENTRUSERA
//DISPLAY "CAMBIO DE TOCHO"
TOCHOS SALIDA_TOCHOS FIRST 1
TOCHOS SALIDA_TOCHOS CONT_CARGA_TOCHOS = 0
//DISPLAY "se CIERRA entrada de HILERA (USO=0)"
CONT_USO_TOCHOS = 0
//DISPLAY "se ABRE entrada de TOCHO (CARGA=0)"
IF CLOCK()>10000 THEN INC CONT_TOCHOS_USADOS
TOCHOS EXIT FIRST 1

```

\*\*\*\*\* attributes \*\*\*\*\*

Entity	Location	Qty each	First	Time	occurrences	Frequency	Logic
ALAMBRO	CABALLETE	1	IMP	50	MIN		
CONTAINER	BODEGA_POLVOS	1	IMP	10	MIN		

\*\*\*\*\* Shift Assignments \*\*\*\*\*

Locations	Resources	Shift	PTas	W/PTas	Disable	Logic
CABALLETE		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
MEZCLADORA		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
CORTADORA1		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
CORTADORA2		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
ENTRUSERA		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
HORNO		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
PUERTA_HORNO		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
ESTACION1		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
ESTACION2		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
ESTACION3		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
ESTACION4		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
PESADORA_POLVOS		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
MEZCLADORA		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	
TOCHERA		D:\My Documents\ESPOL\testitas	99,99,99,99	99,99,99,99	NO	

\*\*\*\*\* Attributes \*\*\*\*\*

ID	Type	Classification
TIPO_CAJA	Integer	Entity
TIPO	Real	Entity
ATRIBUTO	Integer	Entity
TIPO	Integer	Entity
ATIL	Integer	Entity

\*\*\*\*\* variables (global) \*\*\*\*\*

ID	Type	Initial	Value	State
CONT_USO_TOCHOS	Integer	0		Time Series
CONT_CARGA_TOCHOS	Integer	0		Time Series
CONT_RUMANO	Integer	0		Time Series
CONT_RUMAS20	Integer	0		Time Series
VAT	Integer	0		Time Series
CU	Integer	0		Time Series
CONTH	Integer	0		Time Series
PUERTA_TIEMPO_RUMA	Integer	0		Time Series
PUERTA_ATRIBUTO_RUMA	Integer	0		Time Series
VPO	Real	0		Time Series
VLEO	Real	0		Time Series
TIEMPO_RUMANO	Real	0		Time Series
TIEMPO_RUMAS20	Real	0		Time Series
CONT_CAJA	Integer	0		Time Series
CONT_CAJA1	Integer	0		Time Series
CONT_CAJA2	Integer	0		Time Series
CONT_CAJA3	Integer	0		Time Series
CONT_CAJA4	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY1	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY2	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY3	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY4	Integer	0		Time Series
CONT_PALLEY5	Integer	0		Time Series
CONT_TOCHOS	Integer	0		Time Series
CONT_TOCHOS_USADOS	Integer	0		Time Series
AB	Integer	1		Time Series
ENTRADA_HORNO	Integer	0		Time Series
VAN	Integer	0		Time Series
CONTRNO	Integer	0		Time Series
CONTRL20	Integer	0		Time Series
WIPEND	Integer	0		Time Series
CONTROLLO	Integer	0		Time Series
CONTROLF001	Integer	0		Time Series
CONTROLF100	Integer	0		Time Series
CONTROLB	Integer	0		Time Series

\*\*\*\*\*  
 NACROS \*\*\*\*\*

ID ----- Text  
 ABC

\*\*\*\*\*  
 User Distributions \*\*\*\*\*

ID	Type	Cumulative	Percentage	Value
NO_CAJA	Discrete	no	51	90
TIPO_ROLLO	Discrete	no	49	120
			51	90
			49	120

\*\*\*\*\*  
 External Files \*\*\*\*\*

ID	Type	File Name	PROFIT
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\caballote.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\trfflador92.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\cartabera.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\extrusora.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\horco.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\empaque.sft	
(n011)	shfpe	D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Montca Runloc\MMI_nbsp_-_nbsp_comerp_umm = conwzpl\pasta9.sft	
INIC090	general write	C:\documents and settings\natha\avis documentos\af tests\modelo procode1\tempo inicio 90.xls	
FIN90	general write	C:\documents and settings\natha\avis documentos\af tests\modelo procode1\tempo fin 90.xls	
INIC0120	general write	C:\documents and settings\natha\avis documentos\af tests\modelo procode1\tempo inicio 120.xls	
FIN120	general write	C:\documents and settings\natha\avis documentos\af tests\modelo procode1\tempo fin 120.xls	



```

AGUILAR 1 By UNIT none oldest empty: 150 fpa
Full: 110 fpa
TECLEE 1 By UNIT none oldest empty: 150 fpa
Full: 130 fpa
RIVAS 1 By UNIT none oldest empty: 150 fpa
Full: 130 fpa
LINDAO 1 By UNIT none oldest empty: 150 fpa
Full: 130 fpa
FUENTE_GRUJA 1 By UNIT none oldest empty: 150 fpa
Full: 130 fpa

```

```

*****
***** Processing *****
*****

```

Entity	Location	Process	Rate	Output	Destination	Route	Move Logic
ALAMBROS	CABALLETE	CREATE 6 AS ROLLO_TREFILADO	1	ALAMBROS	AREA_DE_TREFI	FIRST 1	
ALAMBROS	AREA_DE_TREFI	CREATE 6 AS ROLLO_TREFILADO	1	ALAMBROS	EXIT	FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	AREA_DE_TREFI	<pre> INC CONTROLLO; IF CONTROLLO=1 THEN TIPO=1 IF CONTROLLO=2 THEN BEGIN TIPO=2 CONTROLLO=0 END </pre>					
ROLLO_TREFILADO	TREFILADORA	<pre> ***** ***** INICIA CORTEO DE TIEMPO DE FORMACION DE LA ENTIDAD HUMAS ***** ***** IF TIPO=1 THEN BEGIN INC CONTADOR901; IF CONTADOR901=2 THEN BEGIN WRITE INICIO90, "Tiempo inicia 90" WRITE LINE INICIO90, CLOCK(MIN) CONTADOR901=0 END END IF TIPO=2 THEN BEGIN INC CONTADOR120; IF CONTADOR120=2 THEN BEGIN WRITE INICIO120, "Tiempo inicia 90" WRITE LINE INICIO120, CLOCK(MIN) CONTADOR120=0 END END </pre>	1	ROLLO_TREFILADO TREFILADORA	SEND 1		
ROLLO_TREFILADO	WEP_TREFI	<pre> WAIT W(10.073, 17.806) // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO WEP_TREFI		FIRST 1	GET TECLEE AND AGUILAR MOVE FOR W(1.5199, 2.5466) FREE TECLEE FREE AGUILAR
ROLLO_TREFILADO	WEP_TREFI	<pre> IF TIPO=1 THEN ROUTE 1 ELSE ROUTE 2 </pre>	1	ROLLO_TREFILADO CORTADORA2		FIRST 1	GET TECLEE AND RIVAS MOVE FOR L(0.7966, 0.6264) FREE TECLEE FREE RIVAS
ROLLO_TREFILADO	WEP_TREFI		2	ROLLO_TREFILADO CORTADORA2		FIRST 1	GET TECLEE AND RIVAS MOVE FOR L(0.7966, 0.6264) FREE TECLEE FREE RIVAS
ROLLO_TREFILADO	CORTADORA1	<pre> WAIT W(14.196, 43.818) // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO GRUPO_CAJAS1		FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	CORTADORA2	<pre> WAIT W(11.193, 41.287) // TIEMPO DE PROCESO </pre>	1	ROLLO_TREFILADO GRUPO_CAJAS2		FIRST 1	
ROLLO_TREFILADO	GRUPO_CAJAS1	GROUP 2 AS CAJA	1	CAJA	WEP_CORTE	FIRST 1	GET PUENTE_GRUJA MOVE FOR G(3.6024, 0.5423) FREE PUENTE_GRUJA
ROLLO_TREFILADO	GRUPO_CAJAS2	GROUP 2 AS CAJA	1	CAJA	WEP_CORTE	FIRST 1	GET PUENTE_GRUJA MOVE FOR G(3.6024, 0.5423) FREE PUENTE_GRUJA
CAJA	GRUPO_CAJAS2	TIPO_CAJA=120	1	CAJA	WEP_CORTE	FIRST 1	GET PUENTE_GRUJA MOVE FOR G(3.6024, 0.5423) FREE PUENTE_GRUJA
CAJA	WEP_CORTE	<pre> //TIPO_CAJA=NO_CAJA() IF TIPO_CAJA=90 THEN BEGIN CREATE 4 AS HILERA END IF TIPO_CAJA=120 THEN BEGIN CREATE 3 AS HILERA END </pre>					
HILERA	WEP_CORTE	<pre> WAIT 1 HR IF TIPO_CAJA=90 THEN ROUTE 1 ELSE ROUTE 2 </pre>	1	HILERA	HILERAS90	FIRST 1	
HILERA	WEP_CORTE		2	HILERA	HILERAS120	FIRST 1	
HILERA	HILERAS90	GROUP 12 AS GRUPO90	1	GRUPO90	DESAGRUPAR	FIRST 1	
GRUPO90	HILERAS90	UNGROUP	1	GRUPO90	DESAGRUPAR	FIRST 1	
HILERA	HILERAS120	GROUP 3 AS GRUPO120	1	GRUPO120	DESAGRUPAR	FIRST 1	
GRUPO120	HILERAS120	UNGROUP	1	GRUPO120	DESAGRUPAR	FIRST 1	
HILERA	DESAGRUPAR	WAIT UNTIL PUERTA_TIEMPO_HUMAS=0	1	HILERA	ESPERA_HILERA	FIRST 1	
HILERA	DESAGRUPAR		1	HILERA	ESPERA_HILERA	FIRST 1	
HILERA	EXTRUSORA	<pre> WAIT UNTIL COMF_USO_TOCHOS = 1 //DISPLAY "ENTRA HILERA (USO=1)" INC WIPEXT INC CH IF CH=1 THEN BEGIN IF TIPO_CAJA=90 THEN BEGIN V90=CLOCK(MIN) //DISPLAY "V90: ", V90 END IF TIPO_CAJA=120 THEN BEGIN V120=CLOCK(MIN) //DISPLAY "V120: ", V120 END END </pre>					



```

IF CH=3 THEN
BEGIN
  PUERTA_TIEMPO_RUMA=1
  CH=0
END

//DISPLAY "ATRIBUTO", TIPO_CAJA
IF TIPO_CAJA=90 THEN
BEGIN
  WAIT M(3.876, 0.33)
  INC CONTH90
  //DISPLAY "PROCESO EXTRUSORA HILERA 90 #",CONTH90
  //TIEMPO DE PROCESO DE UNA HILERA
END
ELSE
BEGIN
  WAIT M(7.8011, 1.6200)
  INC CONTH120
  //DISPLAY "PROCESO EXTRUSORA HILERA 120 #",CONTH120
  //TIEMPO DE PROCESO DE UNA HILERA
END

IF CONTH90=4 THEN
BEGIN
  CONTH90=0
  //DISPLAY "RESTEO DE CONTH90"
END
IF CONTH120=3 THEN
BEGIN
  CONTH120=0
  //DISPLAY "RESTEO DE CONTH120"
END

WAIT UNTIL PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=0
                1 HILERA                ARMADO_RUMAS  FIRST 1  DEC WEPENT

INC CONTH

//DISPLAY "#" $ CONTH $ " - ATRIBUTO: " $ TIPO_CAJA
IF CONTH = 1 THEN
BEGIN
  PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=1
  IF TIPO_CAJA=90 THEN
  BEGIN
    //DISPLAY "HORA 90: ", CLOCK()
    TIEMPO_RUMAG=CLOCK()-V90
  END
  IF TIPO_CAJA=120 THEN
  BEGIN
    //DISPLAY "HORA 120: ", CLOCK()
    TIEMPO_RUMAL20=CLOCK()-V120
  END
  PUERTA_TIEMPO_RUMA=0

  //DISPLAY "RUMA: " $ TIPO_CAJA $ " - CONTA: " $ CONTH
  VAT=TIPO_CAJA
  CONTH=0
  //GROUP 1 AS RUMA
END
GROUP 1 AS RUMA

RUMA ARMADO_RUMAS

ATRUMA=VAT
//DISPLAY VAT
PUERTA_ATRIBUTO_RUMA=0
//DISPLAY ATRUMA

IF CLOCK()-10000 THEN
BEGIN
  IF ATRUMA=90 THEN INC CONT_RUMAG0
  IF ATRUMA=120 THEN INC CONT_RUMAL20
END

IF ATRUMA=90 THEN
BEGIN
  WRITE FIARG, "Tiempo Fin 90"
  Writeln FIARG, CLOCK(0:0)
END

IF ATRUMA=120 THEN
BEGIN
  WRITE FIARG20, "Tiempo Fin 90"
  Writeln FIARG20, CLOCK(0:0)
END

RUMA PRE_SEGADO
TIME=CLOCK(MIN)
//DISPLAY ATRUMA
//IF CLOCK()-10000 THEN INC CONT_RUMA
//WAIT B(0.944, 1.6689, 1590, 6798.6)
WAIT 24 90 1 RUMA GROUP_PRESSECADO FIRST 1
RUMA GROUP_PRESSECADO //DISPLAY "HAY ", CONTENTS(GROUP_PRESSECADO, RUMA)
LOOP "TIEMPO ESPERA PRESECADO", TEP
GROUP 9 AS RUMAS
RUMAS GROUP_PRESSECADO INC CONTROL9,1
RUMAS LOOP1 //DISPLAY "1. VAR: " $VAR$ " - CH: "ENTRADA_HORNO$ " - AA: "AA
RUMAS WAIT UNTIL VAR=0 1 RUMAS PUERTA_HORNO FIRST 1
RUMAS //DISPLAY "PUERTA CERRADA"
RUMAS //SINO SE ROLLO,TREFILADO TO TREFILADORA HORNO FIRST 1 MOVE FOR W(0.5983, 7.8504)//MOVER RUMAS AL HORNO

IF AA=CALDAY() THEN ENTRADA_HORNO=0
INC ENTRADA_HORNO
//DISPLAY "1. ENTRADA_HORNO: "ENTRADA_HORNO$ " - AA: "AA
WAIT B(1.4518, 1.7333, 132, 180)

RUMAS LOOP2
AA=CALDAY() 1 RUMAS LOOP2 FIRST 1
VAR=0
//DISPLAY "PUERTA ABIERTA"
1 RUMAS HORNO_ESPERA FIRST 1 MOVE FOR T(2.2209, 8.05, 10.656)
RUMAS HORNO_ESPERA UNGROUP
RUMA //DISPLAY ATRUMA 1 RUMA AREA_DE_EMPAQUE FIRST 1
RUMA AREA_DE_EMPAQUE 1 RUMA ESTACION4 0.250000
RUMA ESTACION3 0.250000
RUMA ESTACION2 0.250000
RUMA ESTACION1 0.250000

RUMA ESTACION1
IF CALHOUR()=12 THEN
BEGIN
  IF ATRUMA=90 THEN
  BEGIN
    //DISPLAY "E1: 1 DND - RUMG 90 - ",CLOCK()
    WAIT G(31.208, 0.99743)// UN EMPACADOR RUMAG0
    CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
  END
  ELSE
  BEGIN
    //DISPLAY "E1: 1 DND - RUMG 120 - ",CLOCK()
    WAIT G(29.05, 158.73, -311.91, 157.48)// UN EMPACADOR RUMAL20
    CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
  END
  END
  ELSE
  BEGIN
    IF ATRUMA=90 THEN
    BEGIN
      //DISPLAY "E1: 2 DND - RUMG 90 - ",CLOCK()
      WAIT G(38.578, 0.06743)// DOS EMPACADORES RUMAG0
      CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
    END
  END

```

```

ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E1: 2 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(9,331, 579,57, 11,96, 1337,3)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
1 RUMA EXIT FIRST 1
CAJA_EMPACADA ESTACION1 IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA1
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA
1 CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET1 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
1 PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA FIRST 1
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET1
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET
1 PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACION2 IF CALHOUR()= 12 THEN
BEGIN
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E2: 1 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(1,208, 0,99743)// UN EMPACADOR RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E2: 1 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(279,01, 338,73, -121,91, 137,48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
END
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E2: 2 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(18,178, 0,96743)// DOS EMPACADORES RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E2: 2 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(9,331, 579,57, 11,96, 1337,3)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
1 RUMA EXIT FIRST 1
CAJA_EMPACADA ESTACION2 IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA2
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA
1 CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET2 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
1 PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA FIRST 1
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET2
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET
1 PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACION3 IF CALHOUR()= 12 THEN
BEGIN
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E3: 1 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(1,208, 0,96743)// UN EMPACADOR RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E3: 1 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(279,01, 338,73, -121,91, 137,48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
END
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E3: 2 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(18,178, 0,96743)// DOS EMPACADORES RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E3: 2 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(9,331, 579,57, 11,96, 1337,3)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
1 RUMA EXIT FIRST 1
CAJA_EMPACADA ESTACION3 IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA3
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA
1 CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET3 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
1 PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA FIRST 1
WAIT 2 HR
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET3
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET
1 PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
RUMA ESTACION4 IF CALHOUR()= 12 THEN
BEGIN
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E4: 1 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(1,208, 0,96743)// UN EMPACADOR RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E4: 1 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(279,01, 338,73, -121,91, 137,48)// UN EMPACADOR RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
END
IF ATURMA=90 THEN
BEGIN
//DISPLAY "E4: 2 EMP - RUMA 90 - ",clock()
WAIT @C(18,178, 0,96743)// DOS EMPACADORES RUMAD0
CREATE 15 AS CAJA_EMPACADA
END
ELSE
BEGIN
//DISPLAY "E4: 2 EMP - RUMA 120 - ",clock()
WAIT @C(9,331, 579,57, 11,96, 1337,3)// DOS EMPACADORES RUMAL20
CREATE 20 AS CAJA_EMPACADA
END
END
1 RUMA EXIT FIRST 1
CAJA_EMPACADA ESTACION4 IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA4
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_CAJA
1 CAJA_EMPACADA GROUP_PALLET4 FIRST 1
GROUP 100 AS PALLET_FINAL
1 PALLET_FINAL AREA_DE_ESPERA FIRST 1
WAIT 2 HR// TIEMPO EN HACER PUEBROS DE SOLDADURA
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET4
IF CLOCK()>10080 THEN INC CONT_PALLET
1 PALLET_FINAL EXIT FIRST 1
CONTAINER BODGA_POLVOS WAIT @C(2,0408, 0,2041)// PREPARACION ANTES DE RESA
CONTAINER PEGADORA_POLVOS WAIT @C(22,401, 0,2113)// SELECCION DE POLVOS Y RESAJE
1 CONTAINER MFP_MEZCLA FIRST 1
1 CONTAINER MEZCLADORA FIRST 1
MOVE FOR T(-0,0077, 0,17, 0,7342)

```

```

CONTAINER  RECICLADORA  WAIT W(4.7208, 0.7496)// COGER CONTENEDOR Y LLENARLO
                WAIT W(10.873, 13.272)// RECICLA 1
                WAIT B(0.4085, 0.9543, 1.57, 1.33)// LIMPIEZA
                WAIT W(4.8466, 11.198)// RECICLA 2
CONTAINER  TOCHERA  CREATE 21 AS TOCHO 1 CONTAINER  TOCHERA  FIRST 1  MOVE FOR W(1.7319, 1.0528)
TOCHO  TOCHERA  WAIT W(3.1562, 0.5942) // TIEMPO EN HACER UN TOCHO  EXIT  FIRST 1
TOCHO  GROUP_TOCHOS  GROUP P AS TOCHOS55 1 TOCHO  GROUP_TOCHOS  FIRST 1
TOCHOS55  GROUP_TOCHOS  IF CLOCK()>18080 THEN
                BEGIN
                INC CONT_FTOCHOS
                //DISPLAY CONT_FTOCHOS
                END 1 TOCHOS55  ESPERA_TOCHOS  FIRST 1
TOCHOS55  ESPERA_TOCHOS  WAIT UNTIL CONT_CARGA_TOCHOS = 0
                //DISPLAY "ENTRA TOCHO A CARGAR (CARGA=0)"
                TOCHOS55  CARGA_TOCHOS  FIRST 1
TOCHOS55  CARGA_TOCHOS  CONT_CARGA_TOCHOS = 1
                //DISPLAY "se CIERRA entrada de TOCHO (CARGA=1)"
                //WAIT G(1.9842, 1.6495)// TIEMPO DE CARGA DE TOCHOS "NO ES"
                WAIT B(0.34824, 0.53665, 1.91, 5.92)// TIEMPO DE CARGA DE TOCHOS
                TOCHOS55  USO_TOCHOS  FIRST 1
TOCHOS55  USO_TOCHOS  CONT_USO_TOCHOS = 1
                //DISPLAY "se ABRE entrada de HILERA (USO=1)"
                WAIT UNTIL MDEPRK=1
                WAIT B(0.9423, 0.40538, 1.4, 3.57)//TIEMPO QUE TRABAJA EXTRUSORA
                //DISPLAY "CAMBIO DE TOCHO"
                TOCHOS55  SALIDA_TOCHOS  FIRST 1
TOCHOS55  SALIDA_TOCHOS  CONT_CARGA_TOCHOS = 0
                //DISPLAY "se CIERRA entrada de HILERA (USO=0)"
                CONT_USO_TOCHOS = 0
                //DISPLAY "se ABRE entrada de TOCHO (CARGA=0)"
                IF CLOCK()>18080 THEN INC CONT_FTOCHOS_USADOS
                1 TOCHOS55  EXIT  FIRST 1

```

```

.....
Arrivals
.....
Entity      Location  Qty each  First Time Occurrences Frequency Logic
-----
ALAMBROS    CABALLETE 1          INF          10 MIN
CONTAINER   BOBINA_PULVOS 1          INF          10 MIN
RUINA       GROUP_PRESECADO 10         1
ROLLO_TREFILADO AREA_DE_TREFI 10         1

```

```

.....
Shift assignments
.....
Location    Resource  Shift files  Shiftfiles  Disable logic
-----
CABALLETE   0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
TREFILADORA 0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
CORTADORAS 0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
CORTADORAS
EXTRUSORA   0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
MORNO       0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
PUERTA_MORNO
ESTACIONE   0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
ESTACIONE
ESTACIONE
ESTACIONE
RESADORA_PULVOS 0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
RECICLADORA 0:\My documents\ESPOL\tesfistas 99,99,99,99  NO
TOCHERA

```

```

.....
Attributes
.....
ID      Type      Classification
-----
TIPO_CASA Integer  Entity
TEP     Real     Entity
ATRUINA Integer  Entity
TIPO   Integer  Entity
ATT1   Integer  Entity

```

```

.....
Variables (global)
.....
ID      Type      Initial value  Stats
-----
CONT_USO_TOCHOS Integer  0              Time Series
CONT_CARGA_TOCHOS Integer  0              Time Series
CONT_SUMARS Integer  0              Time Series

```

```

CONT_RUMALZO Integer 0 Time Sat'00
VAT Integer 0 Time Sat'00
CR Integer 0 Time Sat'00
CONTH Integer 0 Time Sat'00
RUBETA_TIDMRO_RUMA Integer 0 Time Sat'00
RUBETA_ATRIBUTO_RUMA Integer 0 Time Sat'00
VFO Real 0 Time Sat'00
VLZO Real 0 Time Sat'00
TIDMRO_RUMAZO Real 0 Time Sat'00
TIDMRO_RUMALZO Real 0 Time Sat'00
CONT_CASA Integer 0 Time Sat'00
CONT_CA3A1 Integer 0 Time Sat'00
CONT_CA3A2 Integer 0 Time Sat'00
CONT_CA3A3 Integer 0 Time Sat'00
CONT_CA3A4 Integer 0 Time Sat'00
CONT_PALLE1 Integer 0 Time Sat'00
CONT_PALLE2 Integer 0 Time Sat'00
CONT_PALLE3 Integer 0 Time Sat'00
CONT_PALLE4 Integer 0 Time Sat'00
CONT_TTOCHOS Integer 0 Time Sat'00
CONT_TTOCHOS_USADOS Integer 0 Time Sat'00
AA Integer 1 Time Sat'00
ENTRADA_HORNO Integer 0 Time Sat'00
VAB Integer 0 Time Sat'00
CONTRNO Integer 0 Time Sat'00
CONTRZO Integer 0 Time Sat'00
WPEDET Integer 0 Time Sat'00
CONTACLLD Integer 0 Time Sat'00
CONR400F01 Integer 0 Time Sat'00
CONR400F201 Integer 0 Time Sat'00
CONTROLB Integer 0 Time Sat'00

```

```

*****
***** PROLOG *****
*****
ID ----- TEXT -----
ABC
*****

```

```

*****
*****
*****
ID Type Cumulative Percentage Value
-----
NO_CASA discrete No 51 90
TIPO_ROLLO discrete No 49 120
*****

```

```

*****
***** External Files *****
ID Type File name
-----
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\caballate.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\craftadnra2.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\cartador4.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\extrusora.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\horno.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\empaque.sft
(0u11) SHITE D:\My Documents\ESPOL\testistas\tests Monica Muñoz\VMW_nbisp_-_nosp_comncp_VMW - CONWIP\psaj6.sft
IND1090 general write C:\documents and settings\nathaly\art documents\art tests\envio de lng\tempo infic0 90.xls
FIN90 general write C:\documents and settings\nathaly\art documentos\art tests\envio de lng\tempo fin 90.xls
IND10120 general write C:\documents and settings\nathaly\art documentos\art tests\envio de lng\tempo infic0 120.xls
FIN120 general write C:\documents and settings\nathaly\art documentos\art tests\envio de lng\tempo fin 120.xls

```

#### **APÉNDICE 4.- Comparaciones entre las mejoras establecidas**

Name/ Avg Contnts	<b>ACTUAL</b>	<b>MEJORA 2</b>	R/	<b>MEJORAS 1 Y 2</b>	R/	<b>MEJORA 1</b>	R/
CABALLETE - avg	<b>0,92</b>	0,92	0,00	0,922	0,00	0,92	0,00
CABALLETE - 95% low	<b>0,92</b>	0,92		0,920		0,92	
CABALLETE - 95% high	<b>0,93</b>	0,92		0,924		0,93	
AREA DE TREFI	<b>6,00</b>	6,00	0,00	6,000	0,00	6,00	0,00
AREA DE TREFI	<b>6,00</b>	6,00		6,000		6,00	
AREA DE TREFI	<b>6,00</b>	6,00		6,000		6,00	
TREFILADORA	<b>0,68</b>	0,69	0,00	0,684	0,00	0,68	0,00
TREFILADORA	<b>0,68</b>	0,68		0,679		0,68	
TREFILADORA	<b>0,69</b>	0,69		0,689		0,69	
WIP TREFI	<b>1,27</b>	1,49	-0,22	1,356	-0,08	1,43	-0,15
WIP TREFI	<b>1,10</b>	1,23		1,225		1,28	
WIP TREFI	<b>1,45</b>	1,76		1,487		1,57	
CORTADORA1	<b>0,82</b>	0,82	0,00	0,824	0,00	0,82	0,00
CORTADORA1	<b>0,81</b>	0,82		0,818		0,82	
CORTADORA1	<b>0,83</b>	0,83		0,830		0,83	
CORTADORA2	<b>0,77</b>	0,77	-0,01	0,773	0,00	0,77	0,00
CORTADORA2	<b>0,76</b>	0,77		0,767		0,77	
CORTADORA2	<b>0,77</b>	0,78		0,779		0,78	
CROUP CAJAS1	<b>0,50</b>	0,50	-0,01	0,506	-0,01	0,50	0,00
CROUP CAJAS1	<b>0,47</b>	0,49		0,484		0,48	
CROUP CAJAS1	<b>0,52</b>	0,52		0,528		0,52	
GROUP CAJAS2	<b>0,51</b>	0,49	0,02	0,517	0,00	0,48	0,04
GROUP CAJAS2	<b>0,49</b>	0,47		0,489		0,45	
GROUP CAJAS2	<b>0,54</b>	0,51		0,544		0,50	
WIP CORTE	<b>0,55</b>	0,55	0,00	0,551	0,00	0,55	0,00
WIP CORTE	<b>0,55</b>	0,55		0,547		0,55	
WIP CORTE	<b>0,55</b>	0,56		0,556		0,56	
EXTRUSORA	<b>0,61</b>	0,62	-0,01	0,633	-0,02	0,62	-0,01
EXTRUSORA	<b>0,58</b>	0,60		0,612		0,60	
EXTRUSORA	<b>0,64</b>	0,65		0,654		0,64	
ARMADO RUMAS	<b>0,53</b>	0,55	-0,03	0,563	-0,04	0,51	0,01
ARMADO RUMAS	<b>0,48</b>	0,51		0,529		0,46	
ARMADO RUMAS	<b>0,57</b>	0,59		0,597		0,56	
PRE SECADO	<b>36,90</b>	15,30	21,60	15,310	21,59	36,99	-0,09
PRE SECADO	<b>36,39</b>	15,18		15,175		36,68	
PRE SECADO	<b>37,41</b>	15,41		15,446		37,31	
HORNO	<b>0,70</b>	0,69	0,01	0,503	0,19	0,50	0,20
HORNO	<b>0,69</b>	0,68		0,497		0,49	
HORNO	<b>0,71</b>	0,70		0,509		0,50	
AREA DE EMPAQUE	<b>2,84</b>	3,44	-0,59	2,190	0,65	2,02	0,83
AREA DE EMPAQUE	<b>2,69</b>	3,25		1,990		1,83	
AREA DE EMPAQUE	<b>3,00</b>	3,62		2,391		2,20	
ESTACION4	<b>0,35</b>	0,35	0,01	0,353	0,00	0,35	0,01
ESTACION4	<b>0,34</b>	0,33		0,342		0,33	
ESTACION4	<b>0,37</b>	0,36		0,363		0,36	
ESTACION3	<b>0,35</b>	0,34	0,01	0,350	0,00	0,36	-0,01
ESTACION3	<b>0,34</b>	0,33		0,340		0,35	
ESTACION3	<b>0,36</b>	0,35		0,361		0,37	
ESTACION2	<b>0,35</b>	0,35	0,00	0,335	0,01	0,34	0,00
ESTACION2	<b>0,33</b>	0,33		0,321		0,33	
ESTACION2	<b>0,36</b>	0,36		0,348		0,36	
ESTACION1	<b>0,34</b>	0,35	-0,01	0,344	0,00	0,35	-0,01
ESTACION1	<b>0,33</b>	0,34		0,336		0,34	

ESTACION1	<b>0,36</b>	0,36		0,353		0,36	
GROUP PRESECADO	<b>6,17</b>	5,23	0,94	5,168	1,00	5,73	0,44
GROUP PRESECADO	<b>5,87</b>	4,99		5,005		5,57	
GROUP PRESECADO	<b>6,47</b>	5,46		5,330		5,89	
GROUP PALLET1	<b>48,02</b>	47,84	0,18	49,077	-1,06	46,65	1,37
GROUP PALLET1	<b>45,80</b>	45,64		47,844		44,47	
GROUP PALLET1	<b>50,23</b>	50,04		50,310		48,83	
GROUP PALLET2	<b>48,88</b>	47,87	1,01	46,512	2,36	48,03	0,84
GROUP PALLET2	<b>47,14</b>	45,95		44,347		46,47	
GROUP PALLET2	<b>50,61</b>	49,79		48,677		49,60	
GROUP PALLET3	<b>47,58</b>	46,88	0,70	49,307	-1,73	45,04	2,54
GROUP PALLET3	<b>45,81</b>	44,93		47,280		43,10	
GROUP PALLET3	<b>49,35</b>	48,83		51,334		46,98	
GROUP PALLET4	<b>47,44</b>	48,30	-0,86	48,683	-1,24	47,89	-0,45
GROUP PALLET4	<b>44,76</b>	45,90		45,853		46,19	
GROUP PALLET4	<b>50,13</b>	50,70		51,513		49,59	
ESPERA TOCHOS	<b>0,79</b>	0,78	0,01	0,794	0,00	0,78	0,01
ESPERA TOCHOS	<b>0,76</b>	0,75		0,768		0,76	
ESPERA TOCHOS	<b>0,82</b>	0,82		0,821		0,80	
TOCHERA	<b>0,77</b>	0,75	0,02	0,754	0,01	0,76	0,01
TOCHERA	<b>0,75</b>	0,73		0,739		0,75	
TOCHERA	<b>0,78</b>	0,77		0,768		0,77	
MEZCLADORA	<b>0,96</b>	0,96	0,00	0,954	0,01	0,96	0,00
MEZCLADORA	<b>0,95</b>	0,95		0,948		0,96	
MEZCLADORA	<b>0,97</b>	0,96		0,959		0,97	
PESADORA POLVOS	<b>1,00</b>	1,00	0,00	1,000	0,00	1,00	0,00
PESADORA POLVOS	<b>1,00</b>	1,00		1,000		1,00	
PESADORA POLVOS	<b>1,00</b>	1,00		1,000		1,00	
BODEGA POLVOS	<b>6229,40</b>	6231,59	-2,20	6233,147	-3,75	6231,34	-1,94
BODEGA POLVOS	<b>6226,10</b>	6226,86		6230,181		6228,71	
BODEGA POLVOS	<b>6232,69</b>	6236,33		6236,113		6233,97	
WIP MEZCLA	<b>0,99</b>	0,99	0,00	0,991	0,00	0,99	0,00
WIP MEZCLA	<b>0,98</b>	0,99		0,990		0,99	
WIP MEZCLA	<b>0,99</b>	0,99		0,991		0,99	
GROUP TOCHOS	<b>5,31</b>	5,18	0,13	5,200	0,11	5,16	0,15
GROUP TOCHOS	<b>5,09</b>	4,91		5,008		4,97	
GROUP TOCHOS	<b>5,53</b>	5,44		5,393		5,36	
HILERSAS90	<b>3,92</b>	4,01	-0,09	4,030	-0,11	4,08	-0,16
HILERSAS90	<b>3,80</b>	3,88		3,896		3,94	
HILERSAS90	<b>4,04</b>	4,15		4,163		4,21	
HILERSAS120	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
HILERSAS120	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
HILERSAS120	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
DESAGRUPAR	<b>2,57</b>	2,68	-0,11	2,717	-0,15	2,46	0,11
DESAGRUPAR	<b>2,24</b>	2,25		2,147		2,24	
DESAGRUPAR	<b>2,90</b>	3,12		3,287		2,67	
AREA DE ESPERA	<b>0,22</b>	0,22	0,00	0,218	0,00	0,22	0,00
AREA DE ESPERA	<b>0,22</b>	0,22		0,216		0,22	
AREA DE ESPERA	<b>0,22</b>	0,22		0,221		0,22	
HORNO ESPERA	<b>0,02</b>	0,03	-0,01	0,011	0,01	0,03	-0,01
HORNO ESPERA	<b>0,01</b>	0,02		0,005		0,03	
HORNO ESPERA	<b>0,03</b>	0,04		0,017		0,04	
CARGA TOCHOS	<b>0,09</b>	0,09	0,00	0,089	0,00	0,09	0,00
CARGA TOCHOS	<b>0,09</b>	0,09		0,088		0,09	
CARGA TOCHOS	<b>0,09</b>	0,09		0,090		0,09	
USO TOCHOS	<b>0,79</b>	0,79	0,00	0,790	0,00	0,78	0,01
USO TOCHOS	<b>0,76</b>	0,76		0,772		0,76	

USO TOCHOS	<b>0,81</b>	0,82		0,809		0,80	
SALIDA TOCHOS	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
SALIDA TOCHOS	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
SALIDA TOCHOS	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
PUERTA HORNO	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
PUERTA HORNO	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
PUERTA HORNO	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
ESPERA HILERA	<b>0,81</b>	0,82	-0,01	0,823	-0,01	0,82	0,00
ESPERA HILERA	<b>0,80</b>	0,81		0,813		0,81	
ESPERA HILERA	<b>0,83</b>	0,83		0,833		0,82	
EMPAQUE	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
EMPAQUE	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
EMPAQUE	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
LOCP2	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
LOCP2	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
LOCP2	<b>0,00</b>	0,00		0,000		0,00	
LOCP1	<b>0,60</b>	0,44	0,16	0,403	0,20	0,54	0,07
LOCP1	<b>0,59</b>	0,42		0,386		0,52	
LOCP1	<b>0,62</b>	0,47		0,419		0,55	

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ----, "Historia", ESAB Soldadura y Corte, [www.esabna.com](http://www.esabna.com), Julio 2007.
  
- [2] ----, "Soldadura TIG", Wikimedia Foundation Inc., [es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org), Julio 2007.
  
- [3] VIVAR, Z., "Kanban", Monografías.com, [www.monografias.com/trabajos37/kanban/kanban.shtml](http://www.monografias.com/trabajos37/kanban/kanban.shtml), Enero 2008.
  
- [4] BLANCO, L., MOTTA, E., PÁEZ, J., "CONWIP, Un sistema de control de producción", Paper, Puerto Rico, 2006.
  
- [5] SPEARMAN, M., WOODRUFF, D., HOPP, W., "CONWIP, a pull alternative to kanban", Paper, 1990.
  
- [6] ----, "Material requirements planning", Wikimedia Foundation Inc., [en.wikipedia.org/wiki/Material\\_requirements\\_planning](http://en.wikipedia.org/wiki/Material_requirements_planning), Enero 2008.



- [7] BARRAGÁN, M., “TOC: de lo complejo a lo sencillo”, Monografías.com, [www.monografias.com/trabajos13/cosen/cosen.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/cosen/cosen.shtml), Enero 2008.
- [8] GOLDRATT, E., COX, J., *La Meta*, Ediciones Castillo S.A., Monterrey, México, 2002.
- [9] GUTIÉRREZ, C., “Comparación de sistemas de control de piso en presencia de recursos de capacidad limitada mediante simulación con redes de Petri”, Trabajo de grado, Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, 2005.
- [10] GROSS J., MCINNI K., *KANBAN, MADE SIMPLE*, AMACON, Nueva York, Estados Unidos, 2003.
- [11] MONDEN, Y., *EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA*, Ediciones Macchi, Buenos Aires, Argentina, 1990.
- [12] Promodel Corporation, User Guide Versión 7, 2006.