



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“EVALUACIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA  
MEDIANTE SIMULACIÓN”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A N:**  
**THALÍA ANAID CASTAÑEDA SÁNCHEZ**  
**VÍCTOR GÓMEZ RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR:**  
**M.I. SUSANA CASY TÉLLEZ BALLESTEROS**



**MÉXICO, D.F.**

**2013**

## **Agradecimientos, Thalía**

*A mi madre, Rocío Sánchez, que con amor me ha guiado por el buen camino para convertirme en una buena persona. Por procurar que nunca me falte nada, y por siempre poner de frente nuestro bienestar. Por siempre confiar en mí sin importar cuál fuera mi vocación. Porque me has enseñado con tu ejemplo a ser fuerte y a tener fe a pesar de las adversidades. Te amo mami, eres la persona más importante en mi corazón.*

*A mis hermanas Rocío y Diana Sofía, por enseñarme a compartir y a convivir. Porque siempre encuentran la manera de alegrarme el día, a pesar de cualquier disgusto. Por compartir el tiempo juntas desde el inicio de nuestras vidas, en las buenas y en las malas. Agradezco infinitamente el hecho de tener unas hermanas tan maravillosas. Las amo hermanitas.*

*A mi tío Jorge Sánchez, quien a pesar de la distancia ha sido como un padre para mí. Por procurarnos siempre y dar muy buenos consejos. Por siempre cuidar de nosotras y hacernos reír. Eres un tío genial, te quiero mucho.*

*A Maricela Hernández, a quien considero mi tercera hermana. Porque hemos compartido muchos momentos juntas, sobre todo divertidos. Siempre tienes algo que decir o preguntar, y de eso he aprendido para ser una mejor persona. Porque con pocas personas me he divertido tanto como contigo. Te quiero mucho y espero que tengas gran felicidad en la vida.*

*A mi tía Mireya Jiménez, por ser un gran ejemplo y por darme una sonrisa siempre. Por estar presente en los momentos importantes, a pesar de la distancia.*

*A Josefina Luna, por cuidar de mí desde pequeña. Porque de muchas maneras nos has ayudado, en los momentos más críticos. Por siempre acompañaste a mi mamá y la defendiste en varias ocasiones.*

*A doña Nadia, por tener siempre ese instinto maternal y voz fuerte sin importar de quién se trate. Por tener siempre un espacio en su mesa para nosotras.*

*A mis hermanos de carrera, Benazir, Crisalia, Lina, David, Nancy, Cice, Guadalupe y Ricardo. Por compartir esta experiencia de ser universitario, por las noches de desvelo de tareas y proyectos. Por los momentos de éxito y también por los estresantes. Porque de ustedes he aprendido mucho, y una parte de ustedes se ha quedado conmigo para ser mejor.*

*A Víctor Gómez, por ser el mejor colega, por terminar esta tesis juntos. Porque el trabajo en equipo nunca es sencillo, pero contigo no es la ocasión. Porque a pesar de las dificultades, siempre encontramos la solución más simple y eficiente. Somos un gran equipo, no lo olvides primo.*

*A la maestra Susana Téllez y al maestro Ricardo Torres, por ayudarnos a hacer posible este trabajo de tesis. Muchas gracias por sus enseñanzas.*

## **Agradecimientos, Víctor**

*A mi madre, por ser mi apoyo, mi inspiración y la persona que me motiva a crecer, sin duda alguna la mejor madre que pude tener y mi persona más importante. Te amo*

*A mi padre que siempre soñó con verme estudiar una carrera universitaria, gracias padre porque los 15 años que estuviste conmigo fui una persona feliz, no cabe duda que tengo mucho de ti, heredé parte de tu carácter.*

*A mis hermanitas Brenda y Verónica, a las cuales he visto crecer, mis mujercitas, gracias por regalarme siempre esas sonrisas y abrazos cuando llego a casa.*

*A mi abuelita Macaria, que siempre me apoyó, me dio asilo incontables noches y siempre estuvo procurándome, sin pedir nada a cambio y entregándome todo su amor.*

*A mis tíos, Angelina y Juan Carlos, por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí, no me alcanzan las palabras para agradecerles lo bien que me tratan. Saben que son como unos padres para mí, y que Juanca, Sonia, Carlita y Cecy son mis hermanos, los estimo.*

*A mi familia Gómez y a mi familia Rodríguez, gracias por todo el apoyo en los momentos más difíciles, son la mejor familia, abuelitas, primos, tíos, los quiero.*

*A Thalía Castañeda, la mejor compañera que pude tener en este trabajo, fue un placer enorme para mí compartir esfuerzos y desvelos contigo. Mil gracias hija. Te quiero mucho y te admiro más.*

*A Nancy Paz, porque este trabajo también es tuyo amiga, siempre has tenido un lugar muy importante dentro de mi corazón. Te quiero y gracias por contribuir tanto con nosotros.*

*A Benazir por ser mi confidente, mi apoyo y un ejemplo para mí de superación, te quiero Beny; a Eunice que siempre me ha apoyado, que me ha llevado por caminos y lugares que nunca me imagine pisar, eres de mi familia, mi sentidita; a Estibaliz por ser una muy buena amiga y siempre confiar en mí; a Paty, por enseñarme que siempre me puedo superar, te lo dije y te lo repito “eres la mejor ingeniera que conozco”; a David, el todólogo, a quién cualquier ingeniero envidiaría por sus habilidades, eres un gran amigo; a Cris, mi sincera amiga CCHera; a Ivonne, Guadalupe, Paulina, Jesús, Héctor L., Héctor H., Miguel, Angie A. y a todos los compañeros de la facultad, con los que pude trabajar y de los cuales aprendí mucho.*

*A Isabel porque tu compañía me relaja y me hace mejor persona, te quiero y te agradezco los momentos y experiencias a tu lado.*

*Al Ingeniero Alejandro Tirado por las facilidades para realizar este trabajo.*

*A la Ingeniera Susana Téllez y al Ingeniero Ricardo Torres por sus enseñanzas y siempre ser grandes guías.*

## Contenido

Resumen.....	5
Abstract .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
PROTOCOLO .....	8
a) Antecedentes .....	8
b) Objetivo .....	8
c) Hipótesis .....	8
d) Metodología .....	8
e) Descripción del contenido .....	8
<b>Capítulo 1: Descripción de las condiciones de operación actual .....</b>	<b>10</b>
1.1    Objetivos.....	10
1.2    Descripción de la empresa .....	10
1.3    Maquinaria y equipo .....	10
1.4    Áreas existentes .....	11
1.5    Mapeo de Procesos .....	12
1.6    Conclusiones.....	15
<b>Capítulo 2: Distribución de planta .....</b>	<b>16</b>
2.1    Objetivos .....	16
2.2    Definición de distribución de planta .....	16
2.3    Tipos de distribución de planta.....	17
2.4    Selección de la distribución .....	18
2.5    Metodología S. L. P. (Systematic Layout Planning).....	18
2.6    Distribución de planta actual .....	19
2.7    Planeación de propuestas .....	27
2.8    Propuesta 1.....	30
2.9    Propuesta 2.....	32
2.10   Conclusiones.....	36
<b>Capítulo 3: Simulación con ProModel .....</b>	<b>37</b>
3.1    Objetivos .....	37
3.2    Introducción a la simulación.....	37
3.3    Planeación del estudio.....	38

3.4	Definición del sistema.....	41
3.5	Construcción del Modelo.....	45
3.6	Conducir Experimentos .....	47
3.7	Indicadores .....	49
3.8	Conclusiones.....	50
<b>Capítulo 4: Generación del modelo de simulación.....</b>		<b>51</b>
4.1	Objetivos .....	51
4.2	Modelo de operación actual.....	51
4.2.1	Recolección de Datos.....	51
4.2.2	Pruebas de independencia.....	51
4.2.3	Ajuste a la distribución.....	56
4.2.4	Construcción del modelo.....	59
4.3	Modelo propuesta 1.....	77
4.4	Modelo Propuesta 2 .....	81
4.5	Conclusiones.....	84
<b>Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones .....</b>		<b>85</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>88</b>
	Anexo 1 Datos obtenidos en la recolección .....	88
	Anexo 2 Pruebas de Independencia.....	90
	Anexo 3 Ajuste a distribución.....	93

## **Resumen**

En una empresa dedicada a la inyección de plásticos se desea trasladar el proceso de cepillería a una nueva ubicación. Es necesario conocer si la nueva distribución de planta resulta más productiva que la actual. Para esto se diseñó un sistema de simulación que evalúe las alternativas de distribución de planta. Se llevó a cabo el mapeo de procesos, una vez descritos los procesos se elaboró el layout actual.

Se realizaron las propuestas de layout, una en la que solo se incluyó la planta baja (propuesta 1) y otra que ocupa también el primer piso (propuesta 2); posteriormente se compararon con la actual usando indicadores de desempeño, trabajo en proceso y producto terminado.

Para la construcción del modelo se recolectaron datos del proceso (tiempos y distancias), se analizaron haciendo pruebas de independencia y de bondad de ajuste para conocer su distribución. Para representar las propuestas se construyeron dos modelos de simulación, y uno para la distribución actual. Se introdujeron en el programa las distribuciones probabilísticas, recorridos, lotes y variables globales (TEP, PT); se corrieron 20 replicaciones con una duración de 10 horas.

En los resultados se observó en la propuesta 1 se tuvo el mayor valor promedio de PT y un valor mayor de TEP, aunque comparando, el PT casi triplicó al valor de la distribución actual y a la propuesta 2.

De acuerdo con el estudio de simulación, la propuesta 1 brinda mejores resultados, ya que se tiene un alto nivel de PT y nivel estable de TEP.

**PALABRAS CLAVE:** Distribución de planta, layout, simulación, TEP (trabajo en proceso), PT (producto terminado).

## **Abstract**

A company dedicated to the plastic injection process wants to move the “Brushes Area” to a new location. It is necessary to know if the new layout distribution results more productive than the current one. To make this possible a simulation system was designed, which evaluated the layout alternatives. The process mapping was elaborated, once the process was described, the current layout was built.

The layout alternatives were performed, one only using the ground floor (alternative 1) and another one including the first floor (alternative 2); later this alternatives were compared with the current one using the performance indicators, work in process and finished product.

Process data (times and distance) were collected for the model construction; the data was analyzed using tests of independence and goodness-of-fit tests to know its distribution. For the alternatives representation two simulation models were built, and another one for the current distribution. The probabilistic distributions were introduced in the program, also the distance, badges and global variables (WIP, FP); 20 replications were run with a period of time of 10 hours.

In the results was observed that the alternative 1 had the higher mean value of FP and a higher value of WIP, but by comparison, the FP almost triplicated the current distribution and the alternative 2 value.

According to this simulation study, the alternative 1 gives better solutions, since a high level of FP and a stable level of WIP are given.

**KEY WORDS:** Layout distribution, simulation, WIP (work in process), FP (finished product).

## INTRODUCCIÓN

Una de las mayores problemáticas a la que se enfrentan las pequeñas y medianas empresas en nuestro país es a no tener claro cuánto pueden crecer con el paso del tiempo.

Muchas veces estas empresas comienzan su vida productiva en un pequeño taller, en un local o incluso en el hogar de los dueños; conforme van creciendo y las necesidades de espacio, seguridad, capacidad productiva, maquinaria y personal demandan una expansión o reubicación, se debe planear cuidadosamente lo que se realizará.

Cuando se decide redistribuir o cambiar la ubicación de una planta de producción se deben realizar estudios, no importando el giro ni el tamaño de la empresa, que comprueben que la nueva distribución realmente cubrirá las necesidades actuales y futuras.

Este estudio se concentra precisamente en evaluar la nueva distribución del área de cepillería de una planta de inyección de plásticos, para elevar la productividad actual y evitar gastos innecesarios. Lo anterior mediante un modelo de simulación en el software Promodel 7.5, versión estudiantil.

Se utilizaron herramientas de Ingeniería Industrial, tales como la “Planeación Sistemática de la Distribución”, también conocida como la metodología “SLP” por sus siglas en inglés (*Systematic Layout Planning*); el mapeo de procesos, pruebas estadísticas de independencia, pruebas de bondad de ajuste y el software de simulación Promodel 7.5.

En este escrito se presentan 2 nuevas propuestas de distribución en la nueva planta, se elige la mejor según el modelo de simulación y se hacen recomendaciones.

## **PROTOCOLO**

### **a) Antecedentes**

Una empresa dedicada a la inyección de plásticos desea transferir el proceso de cepillería a una nueva ubicación. Se quiere conocer si la nueva distribución de planta resultará ser mejor que la que se tiene en las instalaciones actuales.

### **b) Objetivo**

Diseñar un modelo de simulación para evaluar alternativas de distribución de planta.

### **c) Hipótesis**

Si se evalúan las propuestas de distribución de planta a través de los indicadores de desempeño se podrá reducir el costo y aumentar la productividad.

### **d) Metodología**

1. Descripción de los procesos a través del mapeo de procesos
2. Elaboración de Layout
3. Establecer la capacidad de la distribución actual
4. Caracterizar la capacidad del área disponible
5. Hacer propuesta inicial
6. Recolección y análisis de datos
7. Utilizar software de simulación para representar la propuesta
8. Evaluar la propuesta con los indicadores de desempeño TEP (trabajo en proceso) y PT (producto terminado).

### **e) Descripción del contenido**

Capítulo 1: Descripción de las condiciones de operación actual

En este capítulo se describió de manera breve a la empresa, cuáles son los productos que fabrica, y en cuáles se enfocó este análisis. Se enlistaron los equipos y materia prima involucrados en el proceso de los productos elegidos, así como las distintas áreas que lo conforman.

Se definió en qué consiste un mapeo de proceso y posteriormente se mostró el mapeo del cepillo insertado (pocket) y del cepillo doble con esponja (torcido) para visualizar el flujo de trabajo.

## Capítulo 2: Distribución de planta

Se dio una definición de distribución de planta y se mencionaron los tipos de distribución de planta que se utilizan generalmente en las empresas. A partir de esta descripción se identificó el tipo de distribución de planta que actualmente opera y se llevó a cabo la selección del tipo de distribución para las propuestas.

Se hace una breve introducción a la metodología SLP (Systematic Layout Planning), en la cual se basó la elaboración de las propuestas. Se elaboró el layout actual y los de las dos propuestas de distribución.

## Capítulo 3: Simulación con ProModel

Se presentó un enfoque general de lo que implica un proyecto de simulación, como conocer el alcance, el nivel de detalle y las habilidades requeridas para el proyecto.

Se dio una definición de indicador de desempeño y se describieron los indicadores que se utilizaron en la simulación de los modelos.

## Capítulo 4: Generación del modelo de simulación para cepillo insertado (pocket)

Se recolectaron los datos de las actividades dentro de los procesos, se realizaron pruebas de independencia y pruebas de bondad de ajuste para identificar a qué distribución conocida se ajustan estos datos.

Se describió paso a paso la construcción del modelo actual y de las propuestas, se identificaron las locaciones, variables globales, entidades y arribos. Se introdujo la programación del processing para que la simulación corriera correctamente. Se mostró los resultados de la simulación.

## Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Se mostró a manera de resumen un cuadro comparativo con los resultados obtenidos a partir de las variables globales que fungieron como los indicadores de desempeño (PT y TEP). Se analizó cuál de las propuestas es mejor, y las razones por las cuales es más viable.

## Capítulo 1: Descripción de las condiciones de operación actual

### 1.1 Objetivos

- ✓ Describir de manera general cómo opera la empresa, el giro, los productos, la maquinaria y la materia prima.
- ✓ Visualizar, a partir del mapeo de proceso el flujo de trabajo, qué es importante para las propuestas de distribución e identificar claramente las locaciones que se utilizarán en la simulación.

### 1.2 Descripción de la empresa

La empresa a estudiar se dedica a la inyección y el soplado de plásticos, entre los numerosos artículos que fabrican se encuentran los cepillos insertados y torcidos, recipientes para cosméticos, artículos de papelería y artículos promocionales (llaveros, memorias USB, etc.).

Actualmente la planta cuenta con tres niveles, la planta baja está conformada por el área de inyección y soplado, además de las operaciones de los procesos de cepillería (insertado y torcido) y un taller mecánico. En el primer piso se encuentra el área de papelería. El segundo piso está conformado por oficinas.

Cepillería es el área de mayor crecimiento para la empresa en los últimos años, y se planteó la posibilidad de trasladar los procesos que utiliza ésta a una nueva planta (misma que está en obra negra y las instalaciones se encuentran a un lado de la planta actual). Por lo anterior se eligió el área de cepillería de la empresa para ser estudiada.

Los cepillos tipo *pocket* (cepillo insertado) y *doble esponja* (cepillo torcido) son representativos del área de cepillería y son los elegidos para el diseño de la nueva distribución. El cepillo *pocket* será evaluado con simulación.

Es de vital importancia evaluar cuánto se está produciendo con la capacidad instalada actualmente para saber si es rentable cambiarse y expandirse a futuro en la nueva planta.

### 1.3 Maquinaria y equipo

A continuación se da una breve descripción de la maquinaria y equipo que usa el área de cepillería.

- *Inyectoras*: Usan los pellets para inyectar los mangos para los cepillos.

- *Torcedoras*: Usan como materia prima el alambre y las cerdas. Las máquinas tuercen el alambre con las cerdas para dar forma a la parte superior del cepillo doble con esponja.
- *Insertadoras*: Hacen los orificios a los mangos para después insertar las cerdas.
- *Troqueladora*: Corta las series de alambre con cerdas torcidas por la torcedora manual.
- *Enmangadoras*: Une mediante calor el alambre torcido con el mango de plástico.
- *Dobladoras*
- *Dobladoras portátiles*: Se usan para hacer el doblez del alambre para el cepillo torcido pequeño (para limpiar biberones).

#### **1.4 Áreas existentes**

Para la fabricación de los cepillos, la planta se divide en cinco áreas:

1. *Área de Inyección*: En esta área se encuentran las máquinas inyectoras (siete en total) y sopladoras de plástico, para la fabricación de los mangos de los cepillos se ocupa únicamente la inyectora 4.
2. *Área de Torcido*: Cuenta con dos máquinas torcedoras (una automática y otra manual), una troqueladora que corta el alambre, dos máquinas dobladoras, dos enmangadoras, una dobladora neumática y una mesa de doblado.
3. *Área de Insertado y Rebabeo*: En esta área se tienen tres máquinas insertadoras, dos mesas para hacer el rebabeo (manual), un taladro, una máquina donde se insertan las esponjas y otros equipos que no se utilizan con frecuencia.
4. *Área de empaque*: Se encuentran todas las mesas donde los trabajadores empaican en cajilla los cepillos para posteriormente almacenarlos en cajas grandes que sacan a pasillo para su inspección final.
5. *Área de emblistado*: Cuenta con una máquina emblistadora para empaicar el cepillo insertado con peine, y mesas de trabajo para empaicarlos en cajas grandes.

## 1.5 Mapeo de Procesos

Un mapeo de procesos consiste en una descripción gráfica de los pasos en un proceso. Ayuda a solucionar problemas debido a que:

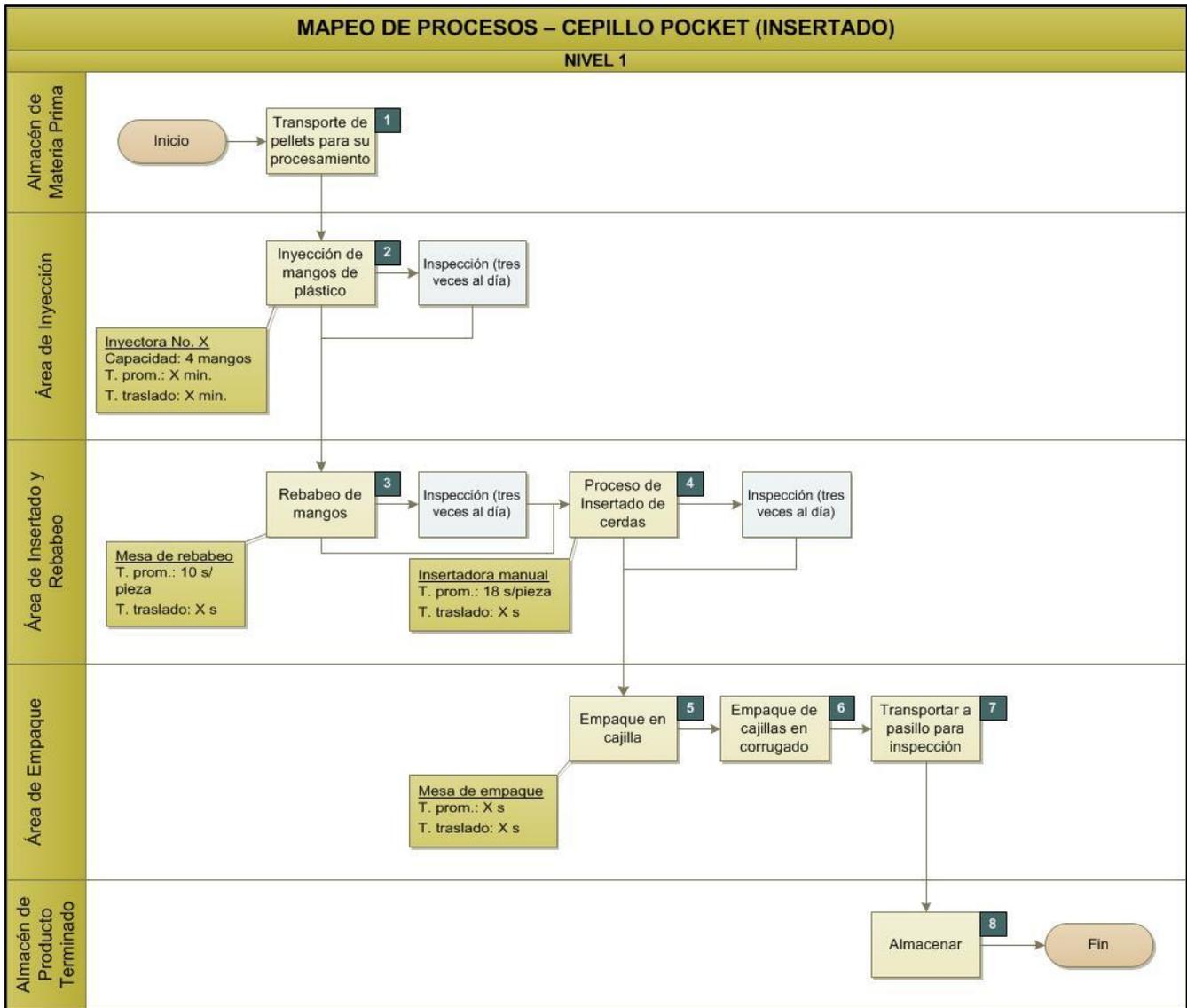
- Determina la secuencia de eventos.
- Muestra la complejidad, redundancias, re-trabajos y puntos de control en el proceso.
- Permite observar las actividades que impactan en el desempeño.
- Identifica áreas donde se pueden obtener datos.

Para iniciar con los mapas es importante:

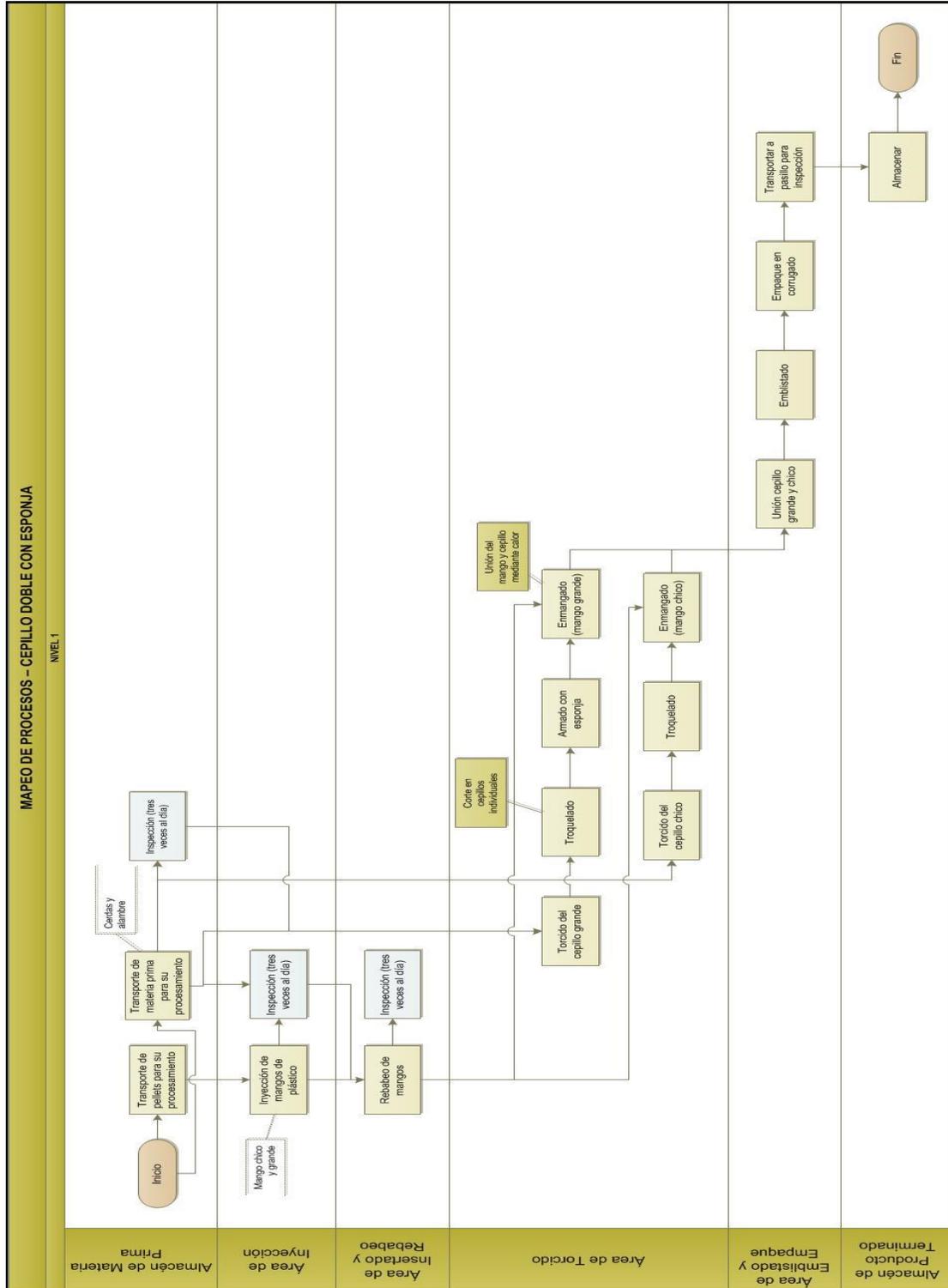
- Definir las fronteras del proceso (inicio y fin).
- Identificar al cliente.
- Establecer la necesidad que se desea atacar.
- Nombrar el proceso.

El mapeo de cada uno de los procesos de los cepillos ayudará a conocer el flujo de trabajo, mismo que es una herramienta fundamental para las propuestas de la distribución. En el caso de la simulación, los mapeos permitirán identificar las locaciones y entidades.

A continuación se muestran los mapeos para el proceso del cepillo insertado y el cepillo doble con esponja, donde se describe desde la entrada de materia prima, su transformación en producto terminado, hasta su almacenamiento.



**Fig. 1.1 Mapeo de procesos, Cepillo Insertado Pocket  
(Microsoft Visio, elaboración propia).**



**Fig. 1.2 Mapeo de proceso, Cepillo Torcido Doble Esponja (Microsoft Viso, elaboración propia).**

## 1.6 Conclusiones

- ✓ La descripción de los elementos de la empresa permite discernir cuáles de estos se emplearán para alcanzar los objetivos planteados para el presente proyecto. Además de esto, se tiene una idea más específica del propósito de este análisis.
- ✓ Con el mapeo de procesos se pudo observar el flujo que sigue la materia prima hacia su transformación en producto terminado, el nivel de complejidad de los procesos y las actividades que impactan en el desempeño del sistema a partir de sus tiempos de operación mostrados en el mapeo. A partir de estos puntos será posible llevar a cabo las propuestas de distribución.
- ✓ Se identificaron las fronteras del proceso que se establecerán para la creación del modelo de simulación, y así facilitar su formulación y ejecución, y que al mismo tiempo sea una representación fiel del sistema real.

## Capítulo 2: Distribución de planta

### 2.1 Objetivos

- ✓ Identificar el tipo de distribución de planta que actualmente opera.
- ✓ Utilizar parte de la metodología SLP (Systematic Layout Planning) para realizar las propuestas de distribución en la nueva planta.
- ✓ Elaborar el Layout actual y el de las dos propuestas, a través del uso del software Microsoft Visio.

### 2.2 Definición de distribución de planta

Implica la ordenación de espacios necesarios para movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, etc.



**Figura 2.1 Elementos a considerar en la distribución de planta.**

La necesidad de redistribuir la planta viene precedida de:

- Congestionamiento de materiales
- Utilización no eficiente del espacio
- Grandes cantidades de material en proceso
- Cuellos de botella
- Distancias muy largas en el flujo de trabajo
- Retraso en las entregas
- Dificultad en el mantenimiento

### **2.3 Tipos de distribución de planta**

Dependiendo fundamentalmente del tipo de producción de la empresa, la distribución adoptada podrá pertenecer a uno de los siguientes tipos descritos a continuación (Trueba Jainaga, J. I., 1997):

#### **I. Distribución basada en el producto o línea**

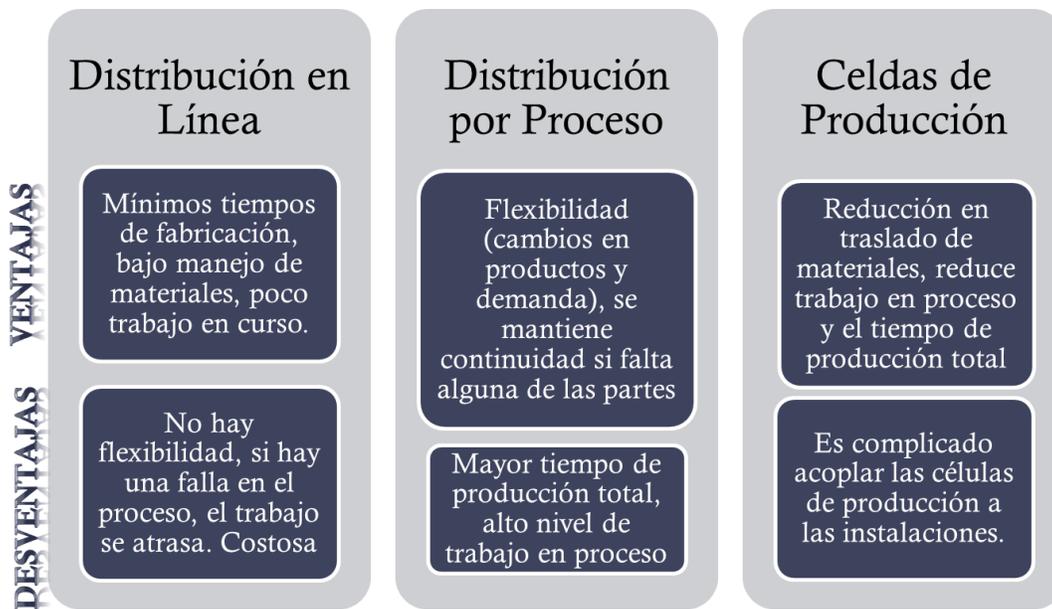
Se utiliza en procesos de producción en los cuales la maquinaria y los servicios auxiliares se disponen unos a continuación de otros de forma que los materiales fluyen directamente desde una estación de trabajo a la siguiente, de acuerdo con la secuencia de proceso del producto, es decir, en el mismo orden que marca la propia evolución del producto a lo largo de la cadena de producción. Dicha distribución resulta adecuada para aquellos productos con niveles de producción elevados.

#### **II. Distribución basada en el proceso o departamento**

En este tipo de producción la maquinaria y los servicios se agrupan según sus características funcionales. Esta distribución se emplea principalmente cuando existe un bajo volumen de producción de numerosos productos desiguales, así como cuando ocurren frecuentes cambios en la composición o volumen a producir, o cuando ni la distribución de grupo o la de producto son factibles. Dos características que definen la distribución basada en el proceso son un pequeño volumen de producción y la necesidad de mano de obra calificada.

#### **III. Distribución por grupo o celda de producción**

Consiste en una combinación entre la distribución orientada al proceso y orientada al producto. Es un taller organizado en diversos subtalleres, cada uno de los cuales puede funcionar con cierta independencia. Los productos se clasifican en grupos homogéneos desde el punto de vista del proceso para asignarle una celda de fabricación. Esta distribución se emplea si se requiere un sistema con flexibilidad y que permita obtener menores tiempos de producción.



**Fig. 2.2** Tabla comparativa de los tipos de distribución de planta (Quintana, Salas y León, 2008)

#### 2.4 Selección de la distribución

El tipo de distribución a la que se adecua la distribución actual se compara con la distribución por proceso, donde se agrupan en una sola área la misma maquinaria especializada para una actividad. Como se observará más adelante en el layout de la distribución actual, esta distribución no resulta ser la adecuada para el proceso de fabricación de los cepillos, se requiere un alto volumen de producción para cubrir la demanda. Tomando en cuenta que se desea aprovechar la flexibilidad del sistema y a la vez reducir los recorridos, la distribución que conviene adecuar al sistema es la distribución por grupo o célula de fabricación.

#### 2.5 Metodología S. L. P. (Systematic Layout Planning)

El método Planeación Sistemática de la Distribución de Planta (Les Hales, Knut Haganas, John A. White, Richart Meyer, et al.), es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución y está constituida por cuatro fases, en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas de la mencionada planeación.

Esta técnica, incluyendo el método simplificado, puede aplicarse a oficinas, laboratorios, áreas de servicio, almacén u operaciones manufactureras y es igualmente aplicable a mayores o menores readaptaciones que existan, nuevos edificios o en el nuevo sitio de planta planeado.

✓ Pasos de la Planeación Sistemática de la Distribución de Planta

Como cualquier proyecto de organización, arranca desde un objetivo inicial establecido hasta la realidad física instalada, pasa a través de cuatro pasos de plan de organización.

I. Localización: Aquí debe decidirse donde va a estar el área que va a ser organizada, este no es necesariamente un problema de nuevo físico. Muy comúnmente es uno de los determinados, si la nueva organización o reorganización es en el mismo lugar que está ahora, en un área de almacenamiento actual que puede estar hecha gratis para el propósito, en un edificio recientemente adquirido o en un tipo similar de un área potencialmente disponible.

II. Planear la organización general completa: Establece el patrón o patrones básicos de flujo para el área que va a ser organizada. Esto también indica el tamaño, relación y configuración de cada actividad mayor, departamento o área.

III. Preparación en detalle: Se prepara el plan de organización e incluye planear dónde va a ser localizada cada pieza de maquinaria o equipo.

IV. Instalación: Esto envuelve ambas partes, planear la instalación y hacer físicamente los movimientos necesarios. Indica los detalles de la distribución y se realizan los ajustes necesarios conforme se van colocando los equipos.

Para este proyecto se contemplaron los pasos II y III, en primer lugar, porque la localización de la planta ya había sido determinada con anterioridad; en segundo lugar, porque la instalación se tiene contemplada aplicarse dentro de uno o dos años, ya que el terreno se encuentra en obra negra.

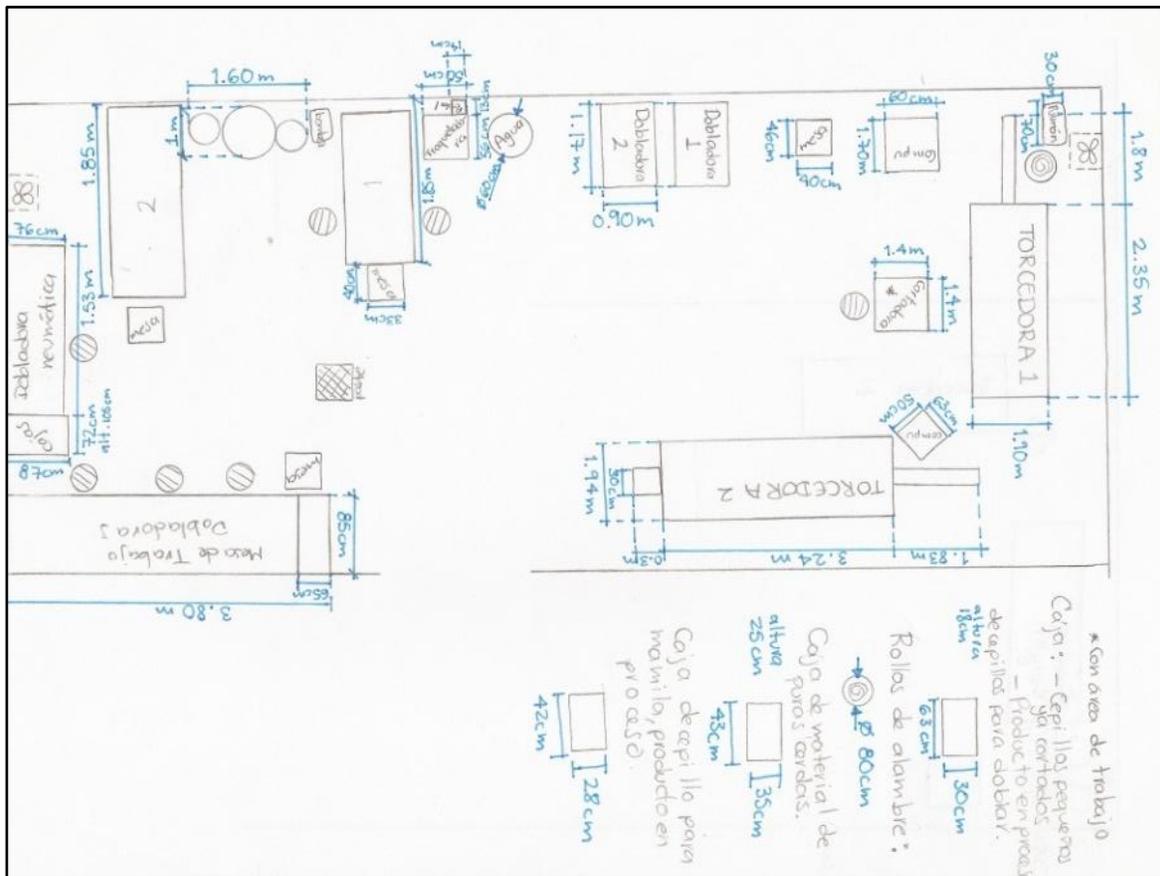
## **2.6 Distribución de planta actual**

✓ Medición de los equipos y áreas de trabajo

Para la elaboración de los layouts, se tomaron las medidas de las áreas de trabajo y de las máquinas y equipos involucrados en los procesos de ambos tipos de cepillos. A

partir de estas mediciones se trazaron los bocetos para realizar el layout de la distribución actual.

A continuación se muestran los bocetos que se elaboraron a partir de la medición de las áreas involucradas en el proceso y sus correspondientes componentes.



**Fig. 2.3 Boceto del layout actual  
Área de torcido (Elaboración propia).**



LAYOUT - DISTRIBUCIÓN ACTUAL CORRESPONDIENTE A LOS PROCESOS DE CEPILLERÍA

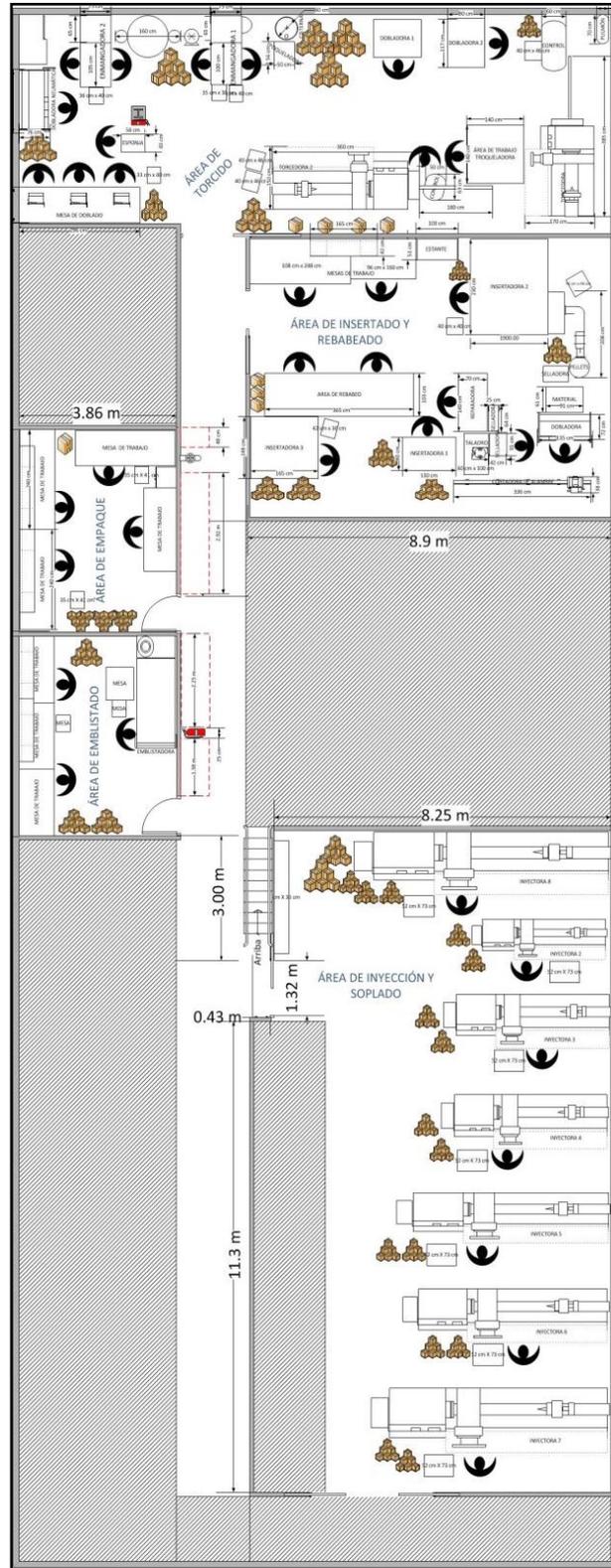


Fig. 2.5 Layout de la distribución actual

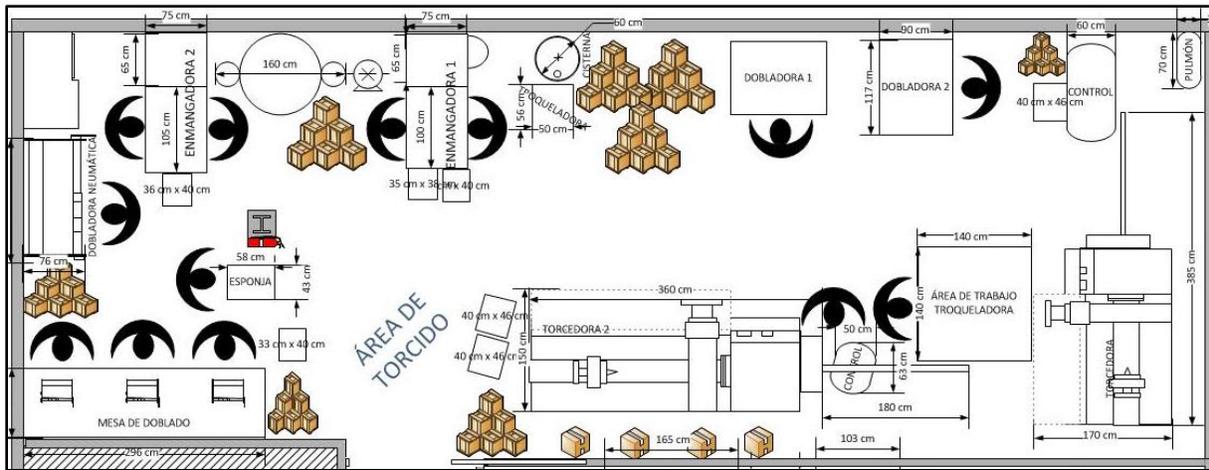


Fig. 2.5.1 Área de torcido de la distribución actual (elaboración propia).

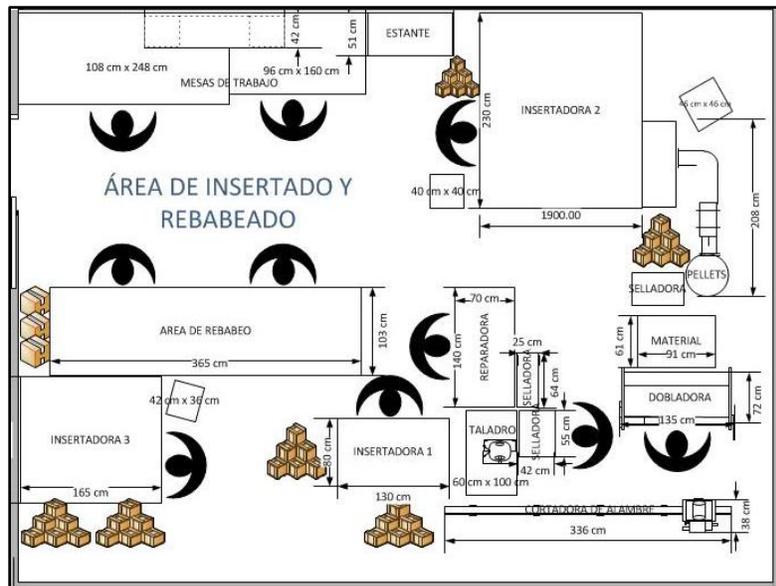


Fig. 2.5.2 Área de insertado y rebabeo de la distribución actual (elaboración propia).

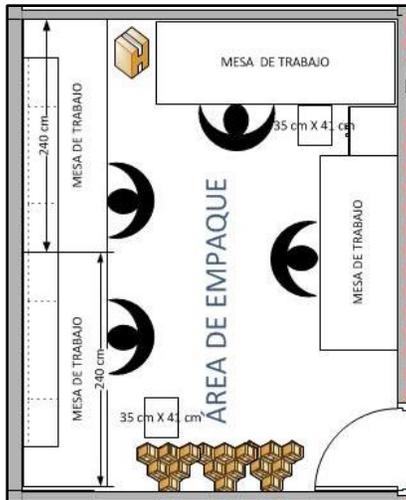


Fig. 2.5.3 Área de empaque de la distribución actual (elaboración propia).



Fig. 2.5.4 Área de emblistado de la distribución actual (elaboración propia).

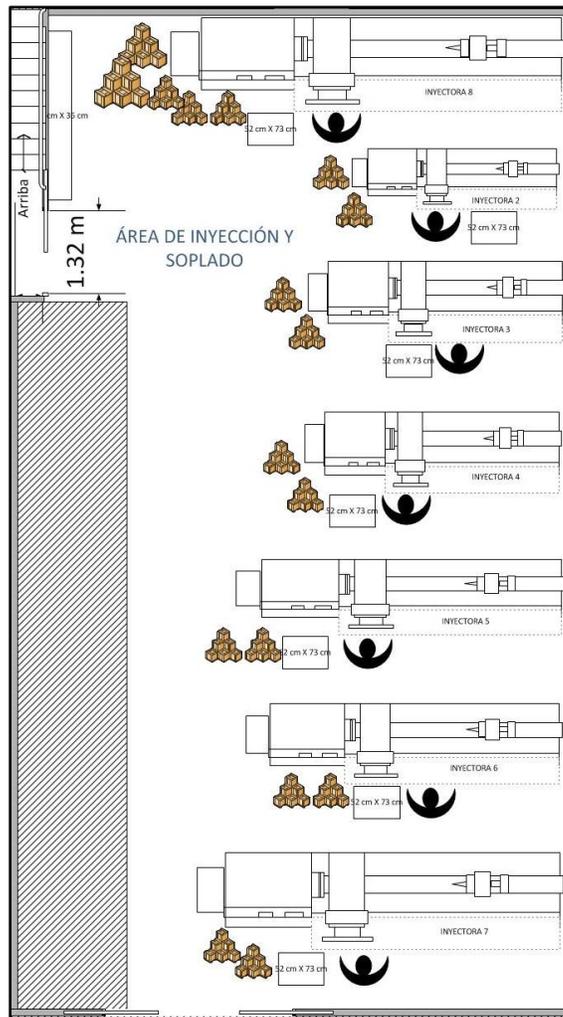


Fig. 2.5.5 Área de inyección de la distribución actual (elaboración propia).

Tomando como base el mapeo de procesos, las mediciones y los diagramas de flujo de los procesos se elaboraron los recorridos (diagramas de espagueti) del cepillo doble con esponja y del cepillo insertado.

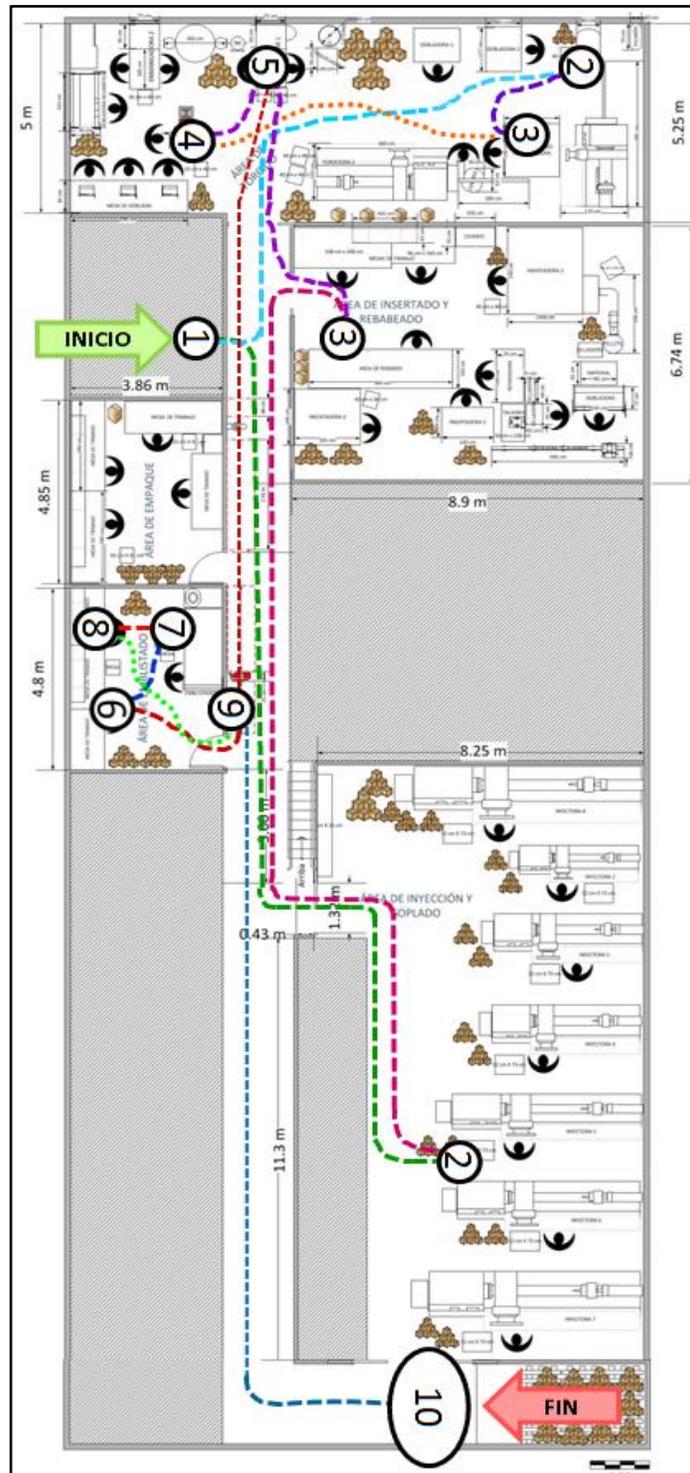


Fig. 2.6 Recorrido actual del proceso Cepillo doble con esponja (elaboración propia).

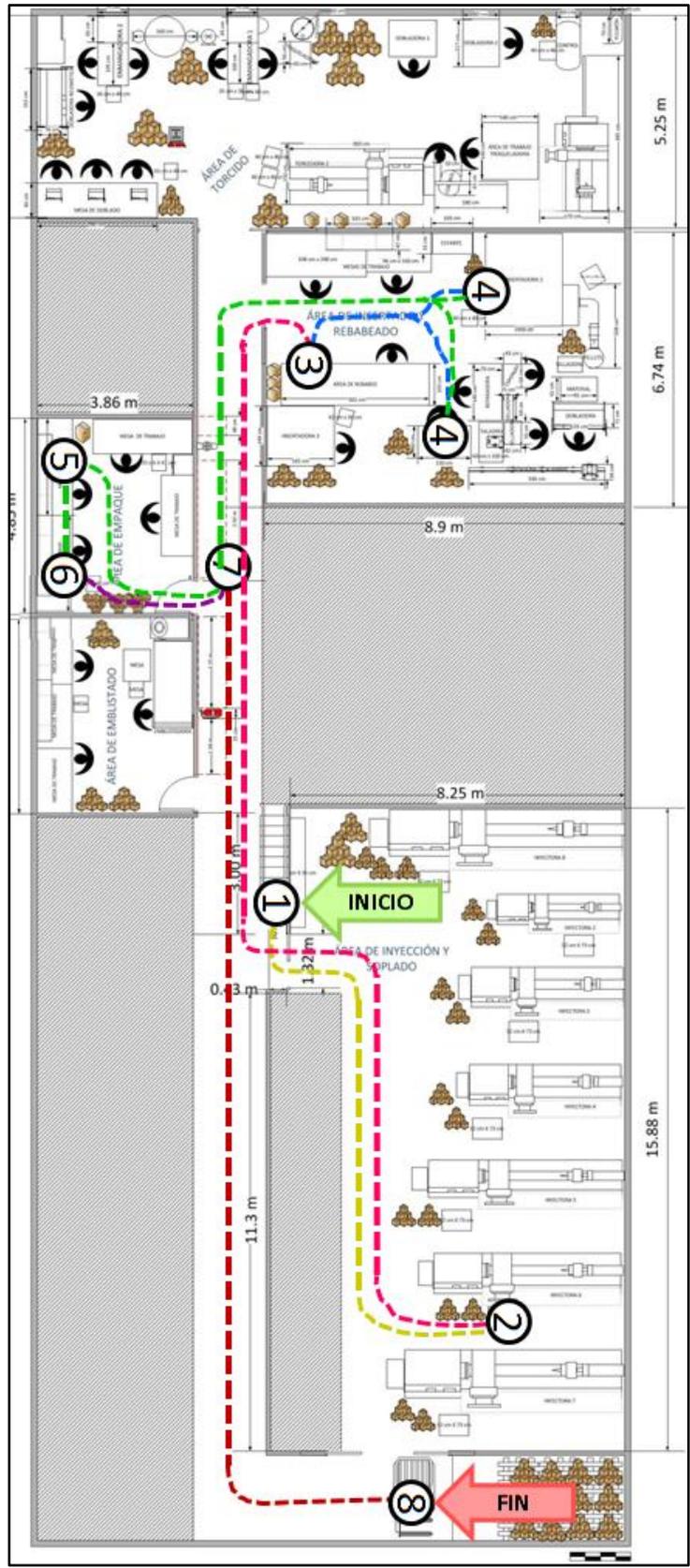


Fig. 2.7 Recorrido del proceso  
Cepillo insertado pocket (elaboración propia).

Al observar los diagramas de recorridos de ambos procesos se comprobó que los recorridos son bastante largos, las actividades no se encuentran cercanas una de otra, por lo que se pierde mucho tiempo en traslados de lotes de producción, dando como resultado que se acumule gran cantidad de inventario en proceso. El inventario excesivo no solo afecta los costos de transporte sino que también pone en riesgo la seguridad de los trabajadores, pues las cajas apiladas ocupan espacio importante en los pasillos y cerca de las máquinas, obstruyendo el paso.

## **2.7 Planeación de propuestas**

Después de analizar qué máquinas son las más requeridas en el proceso, se llevaron a cabo tres sesiones de juntas de seguimiento. En estas se analizó junto con el ingeniero encargado del proyecto de traslado, el ingeniero encargado de la producción y la encargada de procesos, los requerimientos específicos de instalación y maquinaria. Cabe mencionar que se presentó una propuesta inicial, y por medio de un modelo a escala donde se puede cambiar la organización de los elementos del layout. Se aplicaron los siguientes cambios a la propuesta inicial:

- Se movieron las inyectoras para tener un espacio disponible de 1.5 m entre la Inyectora 8 y el estante donde se guardan los moldes. Este espacio es necesario incluirlo porque los moldes son de tamaño considerablemente grande, por consiguiente el espacio para sacarlos.
- Se reubicó el área de emblistado, para que esta quede en cuarto cerrado, ya que así lo requiere.
- Se ocupó el área que estaba contemplada para el taller mecánico, para el área de insertado y tendrá sus mesas propias del proceso para rebabeo.
- Las enmangadoras se reubicaron donde pasará la instalación eléctrica.
- Las dobladoras se cambiaron cerca de las enmangadoras, donde está la instalación de la tubería de vapor, como es requerido.

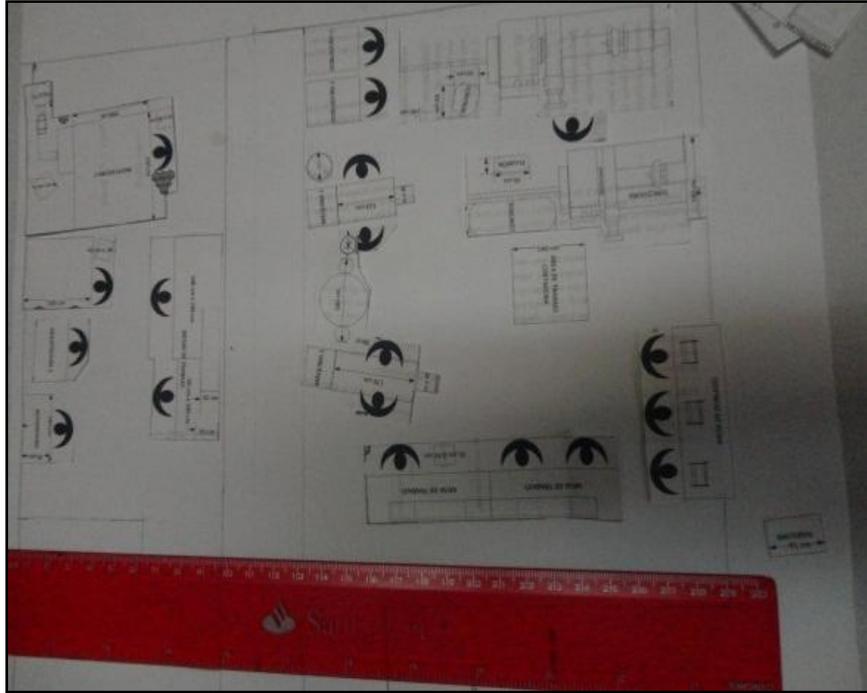


Fig. 2.8.1 Planeación de propuestas a.

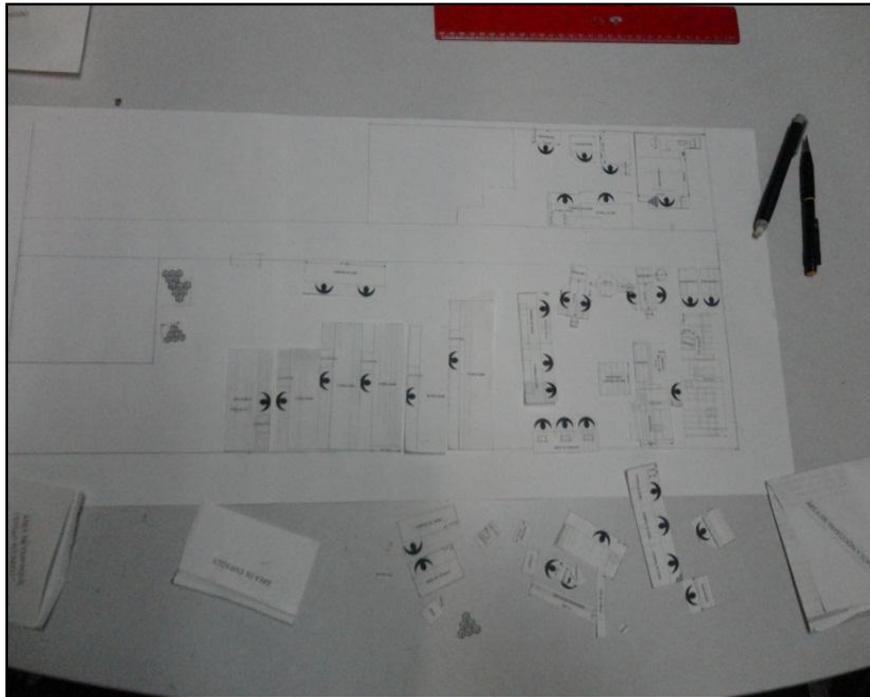


Fig. 2.8.2 Planeación de propuestas b.

Se solicitó elaborar dos propuestas de distribución que se muestran en los siguientes dos apartados.

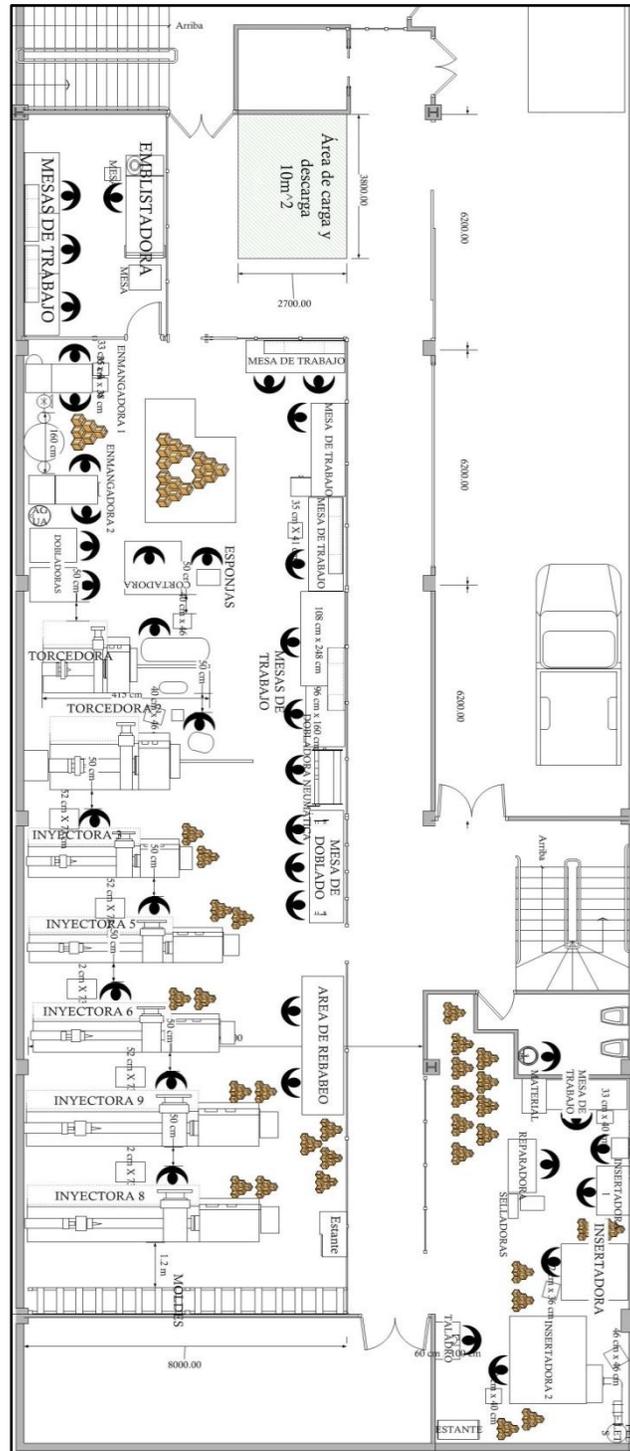


Fig. 2.9 Planta baja de la nueva planta (elaboración propia).

## 2.8 Propuesta 1

La propuesta 1 toma en cuenta que se ocupa solamente la planta baja para cepillería, donde se usarán 5 inyectoras, que es el número mínimo de inyectoras necesario para cubrir los pedidos. A continuación se muestran los recorridos de los cepillos torcidos tipo *doble esponja* e insertado tipo *pocket*.

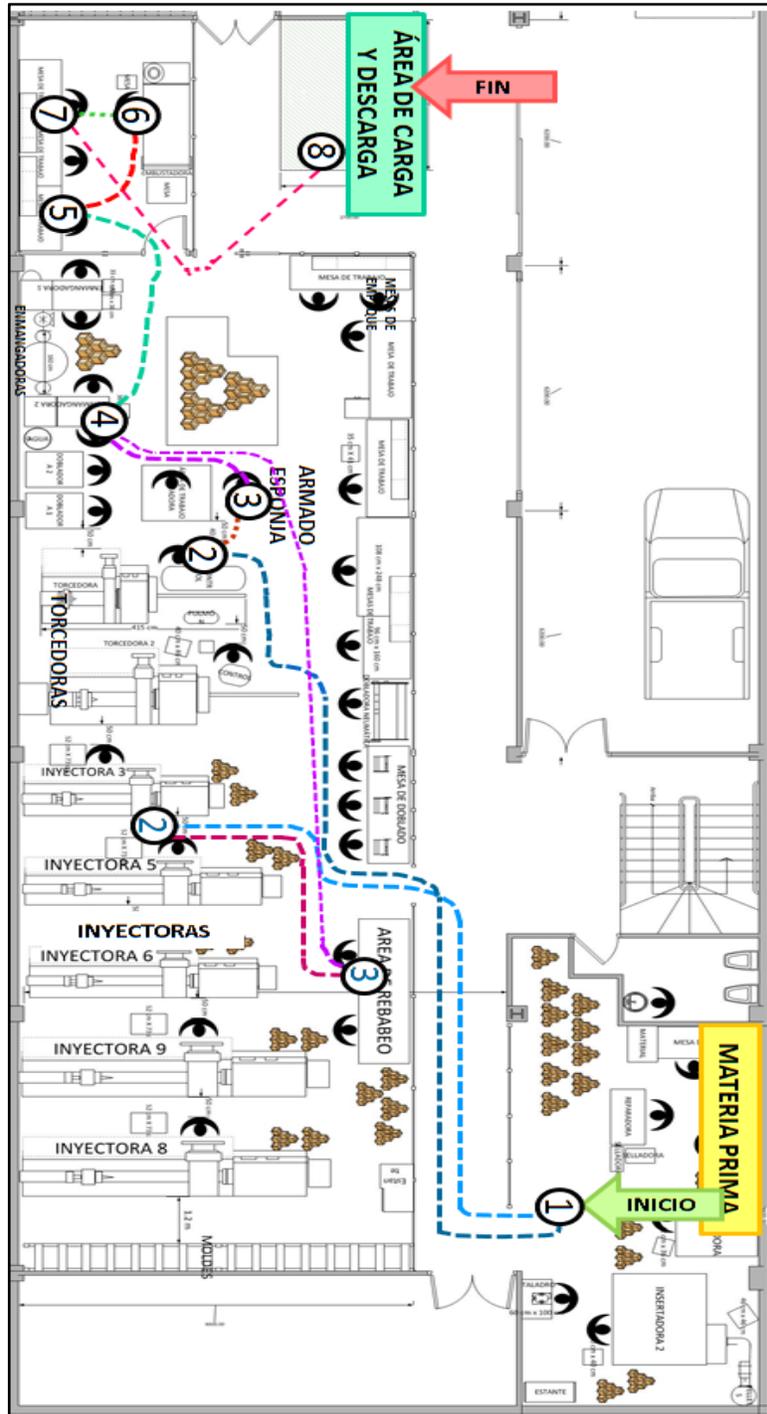


Fig. 2.10.1 Recorrido de cepillo de doble esponja, propuesta 1 (elaboración propia)

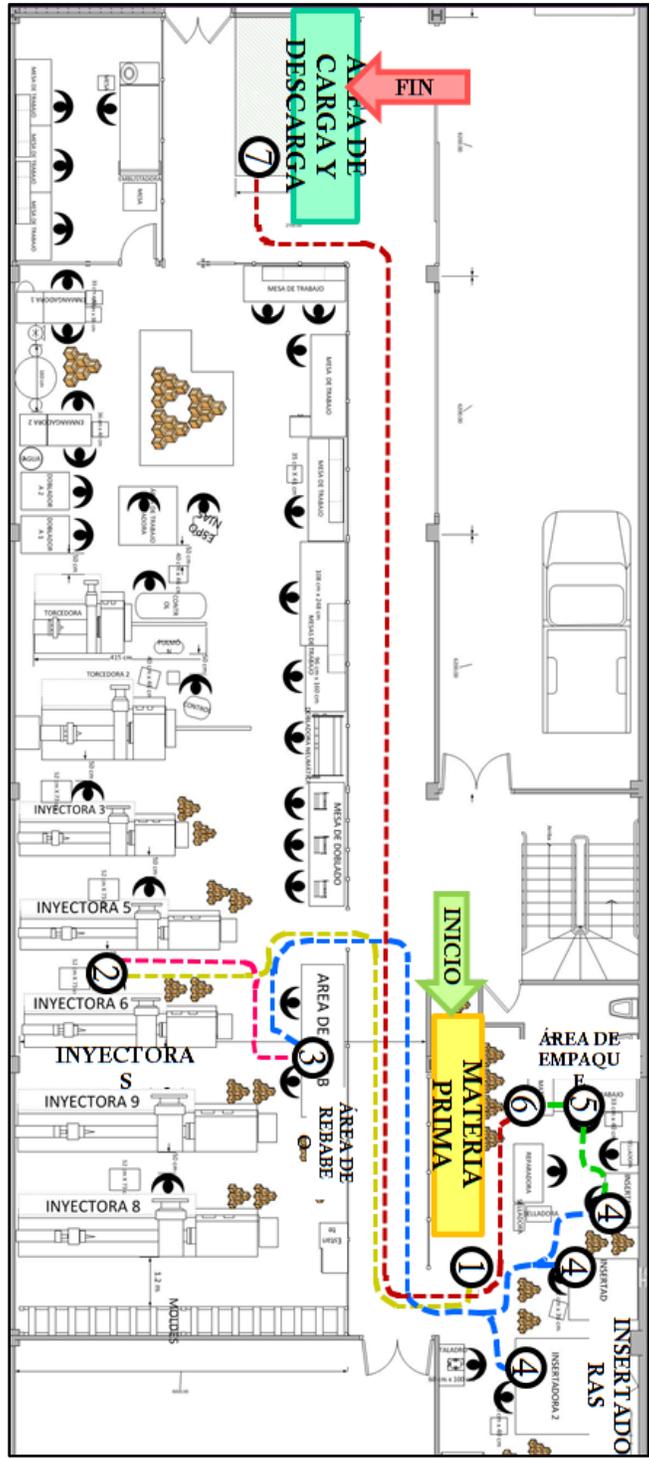


Fig. 2.10.2 Recorrido del cepillo insertado tipo pocket. Propuesta 1 (elaboración propia).

## 2.9 Propuesta 2

La segunda propuesta se planeó usando la planta baja para el área de inyección y soplado (no forma parte del proceso), y un almacén de materia prima para los pellets y colorantes.

Se ocupará el primer piso para el resto de las actividades y un almacén de materia prima para la fibra, el alambre, las cajas y cajillas. Con esta propuesta se tiene suficiente espacio para tener 7 inyectoras, dando oportunidad a la empresa de crecer. Se consideró de igual manera el espacio destinado para el producto en proceso.

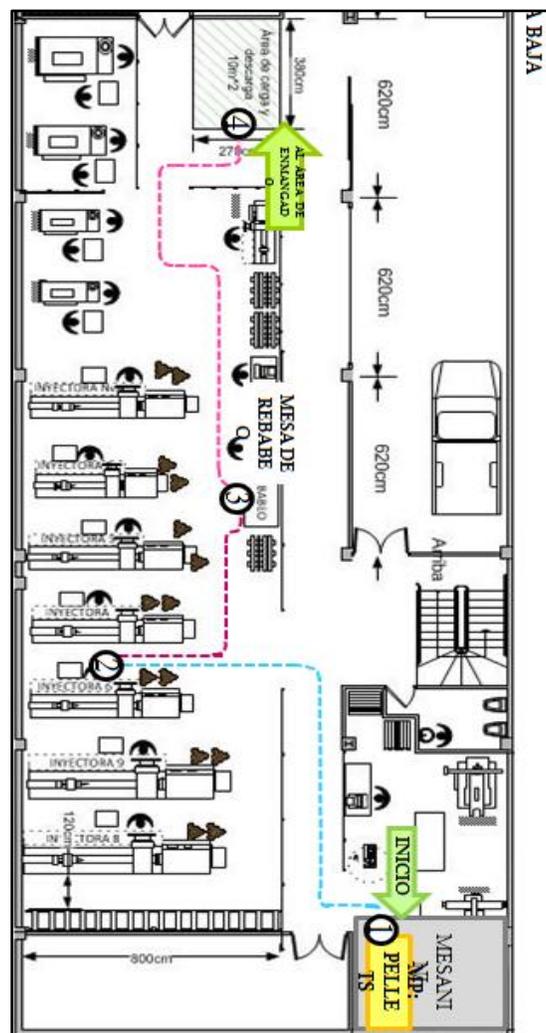


Fig. 2.11.1 Recorrido del cepillo doble esponja, PB  
Propuesta 2 (elaboración propia).

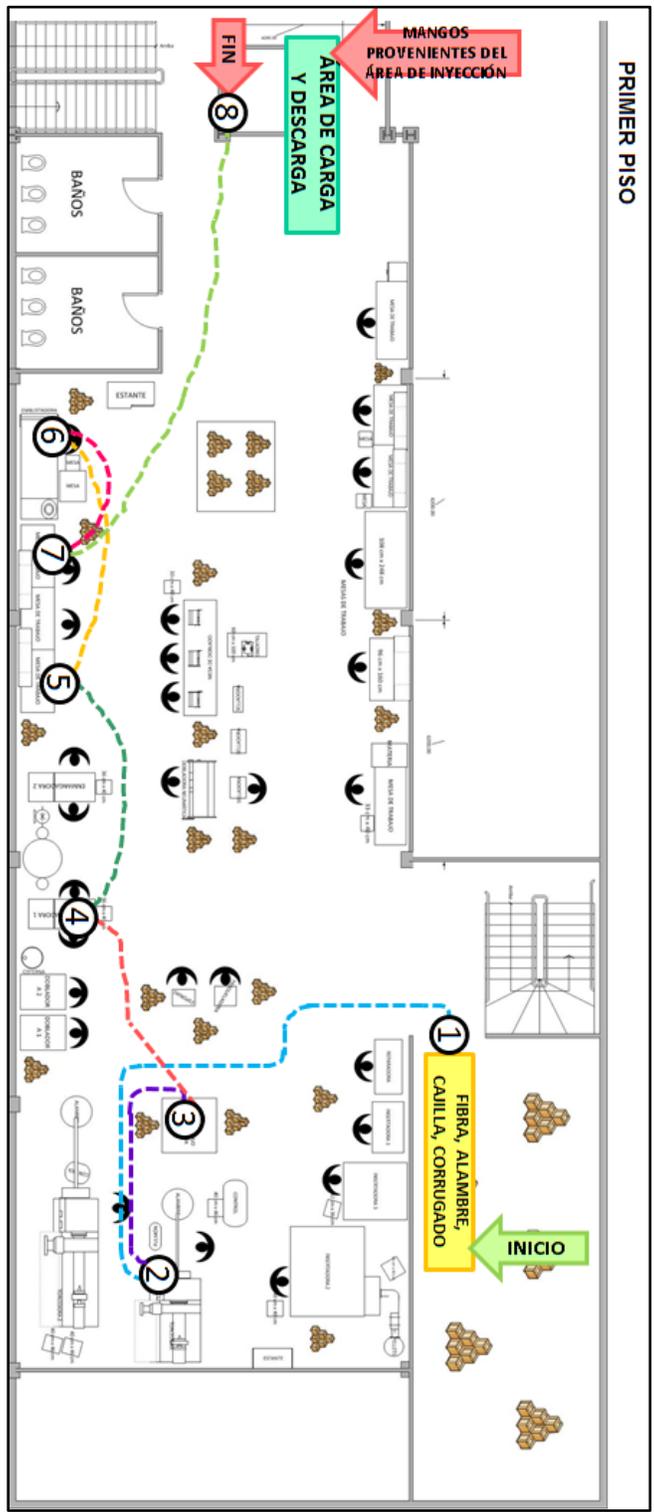


Fig. 2.11.2 Recorrido del cepillo doble esponja, primer piso  
Propuesta 2 (elaboración propia).

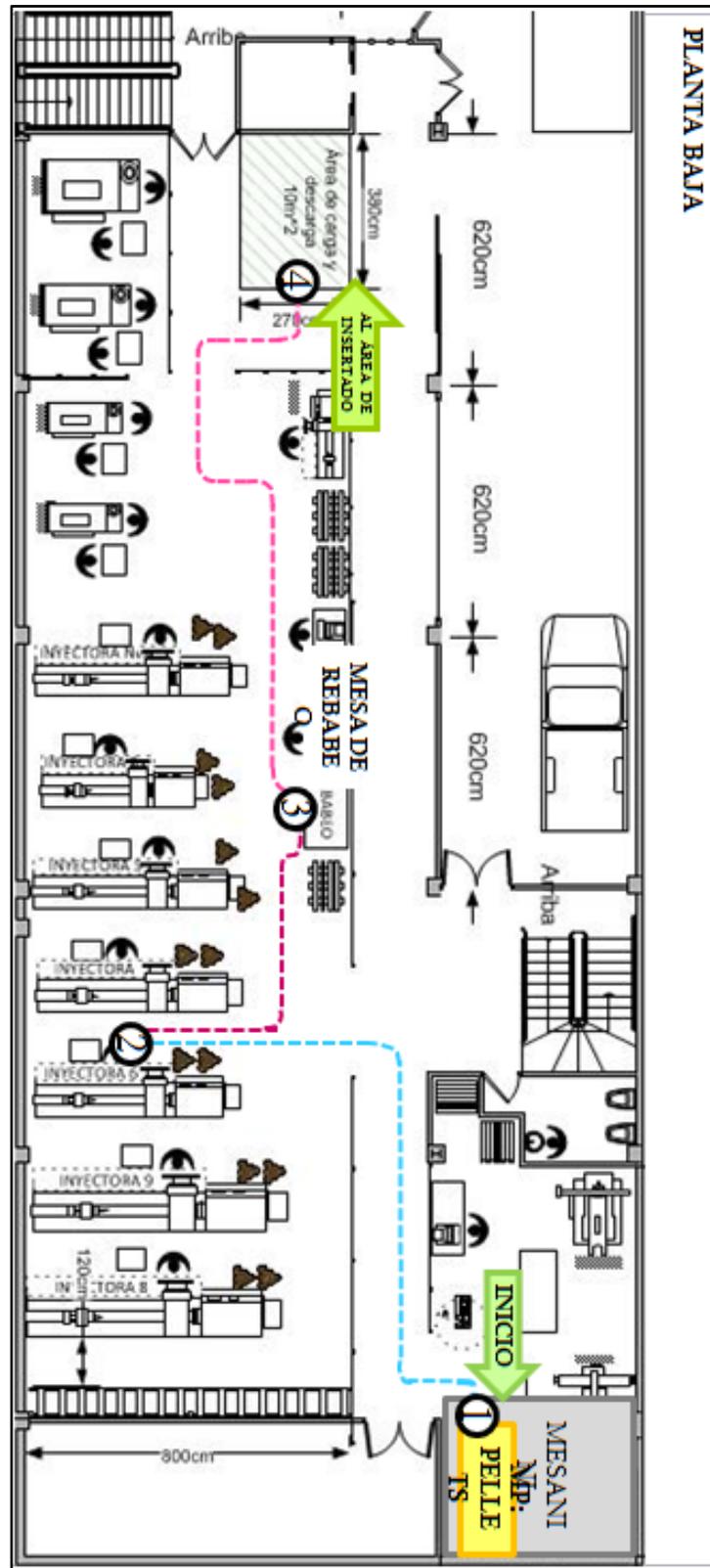


Fig. 2.12.1 Recorrido del cepillo tipo pocket, PB Propuesta 2 (elaboración propia).

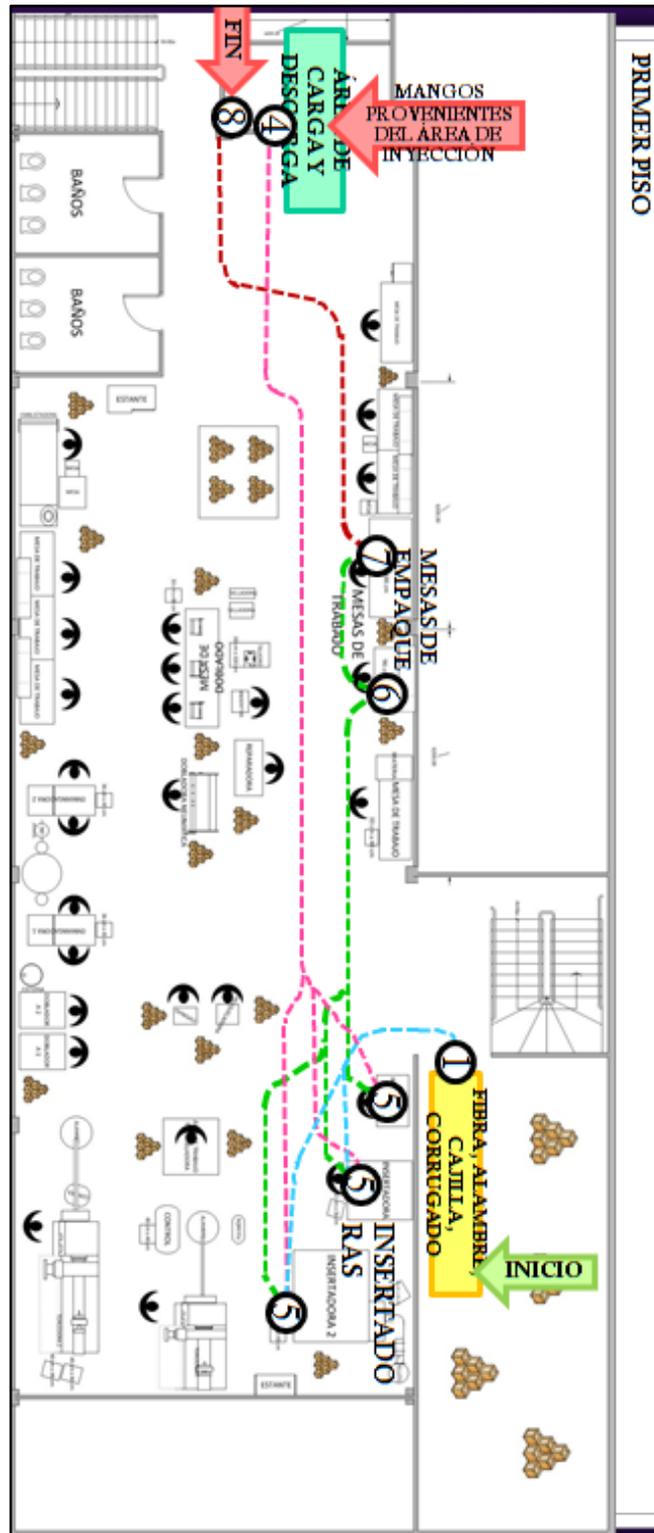


Fig. 2.12.2 Recorrido del cepillo tipo pocket, primer piso  
Propuesta 2 (elaboración propia).

## 2.10 Conclusiones

- ✓ El tipo de distribución de planta que actualmente opera es la distribución por “proceso” o “departamento”, en ésta se agrupa la maquinaria especializada para alguna actividad en un área específica de la planta.
- ✓ Se siguieron los pasos II y III de la metodología SLP, para conocer la organización general del proceso, los flujos y la maquinaria, y con ello preparar a detalle donde serán localizadas las áreas de trabajo.
- ✓ Se trabajaron 2 propuestas, tomando en cuenta los planos de la nueva planta, además de las instalaciones de agua y aire comprimido. La primera de las propuestas contempla la maquinaria con la que actualmente se cuenta. La segunda propuesta tiene en cuenta una posible expansión.
- ✓ Las propuestas de distribución se hicieron buscando reducir distancias entre operaciones, cruces y tiempos de traslados, con resultados favorables.

## Capítulo 3: Simulación con ProModel

### 3.1 Objetivos

- ✓ Presentar un enfoque general de lo que implica un proyecto de simulación, conocer qué es el alcance, el nivel de detalle y las habilidades que se requieren para que el proyecto salga adelante.
- ✓ Describir los indicadores de desempeño que se van a utilizar en la simulación: trabajo en proceso (TEP) y producto terminado (PT).

### 3.2 Introducción a la simulación

Realizar un proyecto de simulación requiere más que saber cómo usar un paquete o producto de simulación. Al igual que cualquier proyecto, el proyecto de simulación requiere de una serie de tareas que deben ser completadas y recursos para concretarlas. Pueden existir errores si se brincan los pasos básicos de la simulación sin antes tomar en cuenta el tiempo y dejar hacer un plan de seguimiento para cumplirlos.

Diseñar un modelo de simulación requiere de habilidades analíticas, estadísticas, de comunicación, organizacionales e ingenieriles. Se debe conocer el sistema y saber qué relación hay entre los elementos del mismo. Es necesario tener fundamentos básicos del diseño de experimentos y conocer la entrada y salida de los datos. La parte de la comunicación es muy importante, debido a que se necesita que tanto accionistas, dueños y clientes conozcan los objetivos y resultados del estudio.

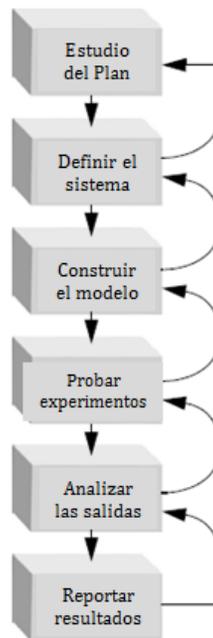
La simulación puede resolver uno o más problemas dentro de algún sistema, ya sea de un sistema existente o en el diseño de uno nuevo. Si la simulación es conducida por individuos dentro de la compañía, debe existir un conocimiento básico de la operación. Para externos o aquellos que no están familiarizados con la operación, una exhaustiva descripción del sistema y una explicación de los problemas clave deben ser proporcionadas. Para un sistema existente, una guía de las instalaciones es una excelente manera de familiarizarse con la operación.

Cuando un proyecto es identificado como candidato para ser simulado, se deben tomar decisiones acerca de cómo conducirse en el proyecto. Como tal no existen reglas estrictas para este fin, pero el manual de usuario de ProModel Student Version 7.5 (2011) recomienda los siguientes pasos como guía:

1. Planeación del estudio
2. Definición del sistema

3. Construcción del modelo
4. Ejecución de los experimentos
5. Análisis de los resultados
6. Reportar los resultados

El procedimiento debe ser iterativo y no necesariamente se necesita terminar algún paso para continuar con el siguiente. Al describir este proceso iterativo Pritsker y Pegden (1979) observaron lo siguiente:



**Fig. 3.1 Proceso iterativo de simulación (Pritsker and Pegden, 1979).**

El valor de adoptar este procedimiento sistemático o alguno similar es que se garantiza un proyecto de simulación conducido de manera organizada.

### 3.3 Planeación del estudio

El fracaso de muchos proyectos de simulación radica en la escasa planeación, objetivos indefinidos, expectativas fuera de lo real y una falta de entendimiento general de los requerimientos. Planear un estudio de simulación involucra los siguientes aspectos:

- ✓ Definición de objetivos
- ✓ Identificar restricciones

- ✓ Preparar una especificación de la simulación
- ✓ Desarrollar un presupuesto y un programa

Cada uno de estos puntos se discutirá a continuación

### ✓ **Definición de objetivos**

La simulación sólo debe usarse si un objetivo puede definirse claramente y está determinado que la simulación es la herramienta más congruente para lograr el objetivo. Algunos de los objetivos comunes para simulación incluyen lo siguiente.

- *Análisis de desempeño*: Mide el desempeño del sistema bajo circunstancias con medidas de significancia (utilización, rendimiento, tiempos de espera, etc.)
- *Capacidad de análisis*: Máxima capacidad de producción o proceso del sistema
- *Habilidad de análisis*: Si el sistema es capaz de alcanzar los requerimientos de desempeño específicos y, si no es así, qué cambios se recomiendan
- *Estudio de comparación*: Qué tan bien se desempeña una configuración del sistema o una variación, comparado con el otro.
- *Análisis de sensibilidad*: Cuáles variables de decisión son las más influyentes en las medidas de desempeño.
- *Estudio de Optimización*: Combinación de valores factibles para un conjunto de variables de decisión mejoré los objetivos de desempeño.
- *Análisis de restricción*: Encontrar las restricciones o cuellos de botella en el sistema y cuáles serían las soluciones para reducir o eliminar esas restricciones.

Para entender los objetivos de la simulación se deben considerar tanto el propósito como el uso intencionado del modelo, las siguientes preguntas se deben hacer cuando se definen los objetivos del estudio.

- ¿Por qué se debe llevar a cabo la simulación?
- ¿Quiénes usarán el modelo?
- ¿A quiénes se presentarán los resultados de la simulación?
- ¿Qué información se espera del modelo?
- ¿Qué tan importante es la decisión que se hará?

### ✓ **Identificación de las restricciones**

Los objetivos necesitan ser moderados por las restricciones bajo las cuales el proyecto debe ejecutarse, tales como el presupuesto, términos, disponibilidad de recursos, etc. No es poco común iniciar un proyecto de simulación con aspiraciones de desarrollar un impresionantemente detallado modelo o crear una increíblemente realista animación solo para confundirse en el último minuto, tirando un modelo en bruto que apenas se entrega a tiempo.

Las restricciones no deben ser vistas siempre como un impedimento. Si el tiempo límite de entrega o las restricciones no son establecidos, existe el peligro de involucrarse demasiado y detallar en exceso en el estudio de la simulación y correr el riesgo de una “parálisis del análisis”. El alcance de cualquier proyecto tiene la tendencia a encogerse o expandirse para abarcar el tiempo asignado.

### ✓ **Preparar las especificaciones de la simulación**

Definir una especificación para la simulación es esencial para proyectar el tiempo y costos necesarios para completar el estudio. Los aspectos del proyecto de simulación que se deben contener en la especificación son los siguientes:

- *Alcance:* El alcance se refiere a la extensión del modelo o qué tanto del sistema abarcará el modelo. Determinar el alcance del modelo deberá basarse en cuánta relevancia o impacto una actividad particular tiene con respecto a lograr el objetivo de la simulación.
- *Nivel de detalle:* El nivel de detalle del proyecto define la profundidad o determinación del modelo. En un extremo, una fábrica entera puede modelarse como una simple operación de “caja negra” con un tiempo de actividad aleatorio. En el otro extremo, cada movimiento de la máquina puede ser modelado con una correspondencia de uno-a-uno describiendo toda la operación de la máquina.
- *Grado de exactitud:* El grado de exactitud corresponde a qué tan correcto es el dato que está siendo usado. Para algunos modelos o actividades, la información no necesita ser tan exacta o precisa como lo es para otros. El grado requerido de exactitud es determinado por los objetivos del estudio. Si la decisión es importante o la comparación es cercana, se requiere de mayor exactitud.
- *Tipo de experimentación:* El número y naturaleza de las soluciones alternas a evaluar deben planearse desde el inicio con el fin de asegurar que el tiempo adecuado sea asignado. Para estudios en los cuales las mejoras en un sistema

existente son consideradas, es frecuentemente útil y efectivo modelar el sistema actual, así como el sistema propuesto.

- *Formato de resultado:* La forma en la cual los resultados son presentados pueden afectar significativamente el tiempo y esfuerzo involucrados en el estudio de la simulación. En muchas ocasiones el único resultado requerido como una verificación simple de si el sistema es capaz de alcanzar la producción requerida. En tales casos, una respuesta simple será suficiente.

### ✓ **Desarrollo del presupuesto y programación**

El tiempo para ejecutar un proyecto de simulación puede variar dependiendo del tamaño y dificultad del proyecto.

Una programación de las actividades para una simulación debe estar basada en proyecciones realistas acordes al tiempo requerido tomando en cuenta lo siguiente:

- Definir el sistema a modelar puede llevarte más del 50% del tiempo para el proyecto.
- Construir el modelo toma la menor cantidad de tiempo.
- Construido el modelo, puede tomar varias semanas realizar todos los experimentos deseados.

La simulación puede ser una buena solución al problema al alcance, pero si el tiempo o el costo de realizar el proyecto superan los beneficios anticipados, cualquier solución alternativa puede necesitar ser explorado o los objetivos pueden requerir modificaciones para reducir el nivel de esfuerzo requerido.

### **3.4 Definición del sistema**

Después de definir los objetivos y tener una programación es preciso definir el detalle del sistema, se puede iniciar con la elaboración de un modelo conceptual en el cual el modelo final estará basado. La recolección y validación de la información es una tarea complicada sino se tiene un propósito para la misma. En vez de ser fortuita, la recolección debe estar orientada con un enfoque a la información que logrará los objetivos del estudio. Para recopilar los datos podemos tomar como guía:

- *Identificar relaciones causa-efecto*
- *Buscar factores claves de impacto*

- *Distinguir entre y condición dependiente de las actividades*
- *VARIABLES DE ENTRADA SEPARADAS POR VARIABLES DE RESPUESTA*

Estas directrices deben ayudar a asegurar que el sistema es razonado correctamente para los propósitos de la simulación. Para ayudar a organizar el proceso de recolección de datos y definir el sistema, se recomiendan los siguientes pasos:

- *Determinar los requerimientos de datos.*
- *El uso apropiado de las fuentes de los datos.*
- *Hacer suposiciones donde sea necesario.*
- *Convertir datos en información útil.*
- *Documentar y aprobar los datos.*

✓ **Determinar los requerimientos de datos**

Para dirigir los esfuerzos en la recolección de datos y asegurar que las reuniones con otros, de quienes se depende para la información del modelo, son productivas, podría ser útil preparar una lista específica de preguntas para identificar los datos necesarios. Una lista pertinente de preguntas por responder podría incluir lo siguiente:

1. ¿Qué tipos de entidades son procesadas en el sistema y qué atributos, si los hay, distinguen la manera en la cual las entidades del mismo tipo son procesadas o enrutadas?
2. ¿Cuáles son las ubicaciones de la ruta en el sistema (incluyendo todos los lugares en los cuales ocurren las filas o procesos, o donde las decisiones de rutas se llevan a cabo) y cuáles son sus capacidades (por ejemplo, cuántas entidades puede cada ubicación acomodar o mantener al mismo tiempo)?
3. Además de las locaciones de la ruta, ¿qué tipos de recursos (personal, vehículos, equipo) son usados en el sistema y cuántas unidades son de cada tipo (recursos usados de manera intercambiada deben considerarse del mismo tipo)?
4. ¿Cuál es la secuencia de ruta para cada tipo de entidad en el sistema?
5. ¿Qué actividad, si la hay, toma lugar para cada lugar en cada locación de la ruta (definido en términos de tiempo requerido, recursos utilizados, número de entidades involucradas y otra decisión lógica que tome lugar)?

6. ¿Dónde, cuándo y en cuántas cantidades las entidades entran al sistema (definir el programa, tiempo entre llegadas, patrón del ciclo de llegadas, o condiciones en las cuales inicia cada llegada)?
7. ¿En qué orden las entidades múltiples departen de cada locación (Primeras entradas, primeras salidas; últimas entradas, primeras salidas)?
8. En situaciones en las cuales una entidad de salida puede ser enrutada a una o varias alternativas de locaciones, ¿cómo se toma la decisión de ruta (mayor capacidad disponible, primera localización disponible, selección probabilística)?
9. ¿Cómo se mueven las entidades de una locación a la siguiente (definido en términos de tiempo y recursos requeridos)?
10. ¿Qué activa el movimiento de las entidades de una locación a la otra (p.ej., capacidad disponible para la siguiente localización, una solicitud desde la salida de la ubicación, una condición externa)?
11. ¿Cómo se mueven los recursos de ubicación a ubicación para realizar tareas (definido ya sea en términos de velocidad y distancia, o tiempo)?
12. ¿Qué hacen los recursos cuando finalizan una tarea y no hay otras tareas en espera?
13. En situaciones donde existen múltiples entidades puede haber esperas para la misma ubicación o recurso cuando se encuentran disponibles, ¿qué método se usa para hacer la elección de la entidad (espera más larga de la entidad, entidad más cercana, mayor prioridad, preferencia)?
14. ¿Cuál es el programa de disponibilidad de recursos y ubicaciones (definido en términos de programas de cambios y descansos)?
15. ¿Qué interrupciones planeadas los recursos y ubicaciones tienen (mantenimiento programado, preparación, cambios)?
16. ¿Qué fallas aleatorias experimentan los recursos y ubicaciones (definido en términos de distribuciones describiendo el tiempo de falla y tiempo de reparo)?

Dependiendo del propósito de la simulación y nivel de detalle requerido, algunas de estas preguntas puede que no sean aplicables. Para modelos muy detallados, puede que se necesite hacer preguntas adicionales. Las respuestas a estas preguntas deben proporcionar cercanamente toda la información necesaria para elaborar el modelo.

### ✓ **Uso apropiado de las fuentes de los datos**

Es complicado que un solo individuo conozca toda la información necesaria para realizar un proyecto de simulación, así que se deben usar diversas fuentes para conseguirlos, nos podemos apoyar de cuestiones como estudio de tiempos y movimientos, cuadros de flujo, layouts de instalaciones, operadores de equipos, ingenieros, guías de instalaciones y comparaciones con operaciones similares.

Al decidir usar una fuente de datos particular, es importante considerar su relevancia, confiabilidad y accesibilidad.

### ✓ **Hacer suposiciones**

Mucha de la información adquirida en la recolección de datos puede estar incompleta o puede ser muy poco confiable. Para elementos del sistema sobre los que se sabe poco, se deben hacer suposiciones. No hay nada malo con las suposiciones siempre y cuando se esté de acuerdo con éstas, y sí es reconocido que son sólo suposiciones.

Muchas suposiciones sólo son temporales hasta que se pueda obtener información correcta o es determinado que se necesita información más precisa.

### ✓ **Convertir datos a información útil**

Los datos rara vez se encuentran listos para su uso en un modelo de simulación. Usualmente, necesita llevarse a cabo algo de análisis y conversión para que los datos sean útiles como parámetros de entrada para la simulación. Los fenómenos aleatorios deben ajustarse a un estándar, una distribución teórica tal como la normal o exponencial (Law and Kelton, 1991), o ser entrada como la distribución de frecuencia.

#### *Ajuste de la Distribución*

Para definir una distribución usando una distribución teórica se requiere que los datos, si están disponibles, se ajusten a una distribución apropiada que describa mejor a la variable. ProModel incluye el paquete de distribución de ajuste StatFit que ayuda a ajustar una muestra de datos a una distribución teórica más adecuada.

## *Agrupación de Actividades*

Otra consideración al convertir datos en información útil es la forma en que las actividades se agrupan para propósitos de modelar. Frecuentemente es útil agrupar actividades juntas siempre y cuando no se sacrifique el detalle. Esto hace los modelos más fáciles de definir y más manejables para el análisis.

### ✓ **Documentación y agrupación de datos**

Cuando se considere que toda la información relevante ha sido reunida y organizada en información utilizable, es aconsejable documentar la información en forma de tablas de datos, diagramas relacionales y listas de suposiciones. Se deben anotar las fuentes de los datos.

Este documento debe entonces ser revisado por otros que estén en posición de evaluar la validez de los datos y aprobar las suposiciones hechas. Este documento será de ayuda después si se necesitan hacer modificaciones al modelo o ver porqué el sistema actual termina funcionando de forma diferente de lo que fue modelado.

## **3.5 Construcción del Modelo**

Una vez que se ha compilado suficiente información para definir la operación básica del sistema, puede comenzarse la construcción del modelo. Iniciar la construcción del modelo tempranamente puede ser un ejercicio desperdiciado, esperar hasta que toda la información esté reunida por completo y validada es preciso.

La meta de la construcción del modelo es proveer una representación válida de la operación del sistema definida. Adicionalmente, el modelo debe ser capaz de facilitar cualquier otra representación estadística o gráfica necesaria para satisfacer los objetivos del estudio. Un modelo no es ni cierto ni falso, más bien útil o inútil. Una vez validado, un modelo es útil cuando proporciona la información necesaria para alcanzar los objetivos de la simulación.

### ✓ **Refinamiento Progresivo**

Una gran ventaja de la simulación es que el modelo no tiene que incluir todos los detalles finales antes de que se ejecute. Esto permite el uso de una estrategia de

refinamiento progresiva en la cual los detalles se agregan al modelo por etapas en lugar de todos a la vez.

La complejidad de la construcción del modelo nunca debe subestimarse y siempre es mejor empezar con lo sencillo y agregar complejidad en lugar de crear todo un modelo complejo de una sola vez. Construir un modelo por etapas permite que los errores sean más fáciles de identificar y de ser corregidos.

Enfatizar la importancia de aplicar el refinamiento progresivo a la construcción de un modelo, Law y Kelton (1991) aconsejaron:

*“Un modelo debe contener sólo el detalle necesario para capturar la esencia del sistema para los fines por los cuales se realiza el modelo: no es necesario tener una correspondencia de uno-a-uno entre los elementos del modelo y los elementos del sistema. Un modelo con excesivo detalle puede ser muy costoso de programar y ejecutar.”*

#### ✓ **Expansión Incremental**

Los modelos que tienen largo alcance son a veces más fáciles de construir en fases donde secciones adicionales son agregadas incrementalmente al modelo. Este método siempre permite la construcción de una porción del modelo, probado y depurado antes de agregar nuevas secciones y hace una tarea larga más manipulable.

Para modelos inusualmente largos, puede ser útil para identificar límites definibles dentro de un modelo que permita *dividir el modelo en partes*. Dividir el modelo en partes es el proceso de subdividir un modelo en dos o más módulos que representa físicamente secciones separadas dentro del sistema. El propósito de dividir el modelo es permitir que secciones sean construidas y depuradas, posiblemente en individuos separados, independientes uno de otro. Una vez que las secciones son terminadas, éstas pueden fusionarse para crear el modelo completo.

#### ✓ **Verificación del Modelo**

Una vez que el modelo es definido usando una selección de herramientas de software, el modelo debe ser depurado de forma general para asegurar que funciona correctamente. El proceso de demostración de que el modelo funciona como se espera se refiere en la literatura de la simulación como verificación del modelo.

### ✓ Validación del Modelo

Durante el proceso de construcción del modelo, el modelador debe estar constantemente interesado con qué tan cercano se refleja el modelo a la definición del sistema. El proceso de determinar el grado de qué modelo corresponde al sistema real, o al menos representa de manera precisa el documento de especificación del modelo, es referido como validación del modelo. Proporcionar una validación absoluta es una meta no alcanzable. Lo que realmente buscamos es establecer un alto grado de validez. Alcanzar la validez significa que, de todas las indicaciones externas, el modelo parece ser una representación precisa del sistema.

La validación es un proceso inductivo a través del cual el modelador saca conclusiones sobre la precisión del modelo basado en la evidencia disponible. Reunir evidencia para determinar la validez del modelo es ampliamente logrado al examinar la estructura del modelo para ver qué tan cercanamente corresponde a la verdadera definición del sistema.

La salida de resultados debe ser analizada para ver si los resultados parecen razonables. Si las circunstancias lo permiten, el modelo puede incluso ser comparado con el sistema real para ver cómo concuerdan. Si estos procedimientos son llevados a cabo sin encontrar alguna discrepancia entre el sistema real y el y el modelo, se dice que el modelo ha alcanzado la validez.

### 3.6 Conducir Experimentos

La simulación es básicamente una aplicación del método científico. En la simulación, uno inicia con una teoría de por qué ciertas reglas de diseño o estrategias de administración son mejores que otras. Basado en estas teorías, el diseñador desarrolla una hipótesis en la realiza pruebas a través de la simulación. Basado en los resultados de la simulación el diseñador saca conclusiones sobre la validez de su hipótesis. En un experimento de simulación existen variables de entrada definiendo el modelo, las cuales son independientes, y deben ser manipuladas o variadas. Los efectos de esta manipulación sobre otra dependiente o variables de respuesta son medidos y correlacionados.

Dado que la simulación utiliza un generador de números pseudo-aleatorios para generar números aleatorios, correr la simulación múltiples veces simplemente reproduce la misma muestra. En orden de conseguir una muestra independiente, el valor inicial para cada flujo aleatorio puede ser diferente en cada replicación,

asegurando que los números aleatorios generados de la replicación son independientes.

Dependiendo del grado de precisión en la salida, puede ser deseable determinar un intervalo de confianza para la salida. Un intervalo de confianza es un rango dentro del cual tenemos un cierto nivel de confianza donde cae la media real.

Afortunadamente, ProModel proporciona facilidades convenientes para conducir los experimentos, corriendo replicaciones múltiples y calculando automáticamente intervalos de confianza. El modelador aún debe decidir, sin embargo, qué tipos de experimentación son apropiados.

Cuando se conducen experimentos de simulación, se deben formular las siguientes preguntas:

- ¿Estoy interesado en un comportamiento de estado fijo del sistema o en un periodo de operación específico?
- ¿Cómo puedo eliminar predisposiciones de arranque o conseguir la condición inicial adecuada para el modelo?
- ¿Cuál es el mejor método para obtener observaciones de la prueba que pueden usarse para estimar el verdadero comportamiento esperado del modelo?
- ¿Qué es una longitud apropiada para la simulación?
- ¿Cuántas replicaciones deben realizarse?
- ¿Cuántos diferentes flujos aleatorios deben usarse?
- ¿Cómo deben ser controlados los valores semilla aleatorios iniciales de replicación en replicación?

Las respuestas a estas preguntas estarán ampliamente determinadas por los siguientes tres factores:

1. La naturaleza de la simulación (terminal o no terminal).
2. El objetivo de la simulación (capacidad de análisis, comparaciones de alternativas, etc.).
3. La precisión requerida (estimaciones duras contra intervalos de confianza estimados).

### 3.7 Indicadores

Para medir el desempeño de la distribución de planta se necesitan indicadores. A continuación se muestran las definiciones de *Indicador* e *Indicador de Desempeño*, según la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

**Indicador** “Un indicador es un instrumento para medir el logro de los objetivos de los programas y un referente para el seguimiento de los avances y para la evaluación de los resultados alcanzados”.

**Indicador de desempeño** “Es la expresión cuantitativa construida a partir de variables cuantitativas o cualitativas, que proporciona un medio sencillo y fiable para medir logros (cumplimiento de objetivos y metas establecidas), reflejar los cambios vinculados con las acciones del programa, monitorear y evaluar sus resultados. Los indicadores de desempeño pueden ser indicadores estratégicos o indicadores de gestión”.

Como se me mencionó en las definiciones de la SHCP, el indicador de desempeño nos ayuda a medir logros y evaluar los resultados que se reflejan al hacer cambios en los programas o procesos. Esto es precisamente lo que necesitamos saber en nuestro modelo de simulación, evaluar si mejora la producción con el cambio en la distribución futura de la planta.

#### ✓ Producto Terminado (PT)

Uno de los indicadores que se eligió para la simulación fue el producto terminado, ya que es muy claro, si se produce más en un mismo lapso de tiempo se pueden cubrir los pedidos sin retrasos.

#### ✓ Trabajo en Proceso (TEP)

Este indicador es muy importante, ya que en muchas empresas no se tiene claro que el trabajo en proceso es dinero estancado que no está fluyendo, entre mayor sea la cantidad de trabajo en proceso, mayores son las pérdidas, además de que se crean problemas de almacenamiento y falta de espacio que también traen consigo dificultades de seguridad en la planta.

### 3.8 Conclusiones

- ✓ Comprender los conceptos fundamentales de un proyecto de simulación es de vital importancia para llevarlo a cabo de manera ordenada, sistemática y con resultados favorables, lo cual se logró transmitir a lo largo de este capítulo.
- ✓ El alcance del proyecto y nivel de detalle son importantes ya que expresan que tan específico tiene que ser el estudio y cuánto tiempo nos llevaremos trabajando en la simulación.
- ✓ Se definió al producto terminado (PT) y trabajo en proceso (TEP) como indicadores de desempeño ya que ayudan a saber si la nueva distribución entrega mejores resultados, aumentando el producto terminado y disminuyendo el trabajo en proceso.

## Capítulo 4: Generación del modelo de simulación

### 4.1 Objetivos

- ✓ Analizar los datos obtenidos en la recolección, realizar pruebas de independencia y de bondad de ajuste para ajustarlos a una función de distribución conocida y poder ingresarlos en el software.
- ✓ Describir cómo se construyó el modelo, identificando las locaciones, entidades, arribos, etcétera.

### 4.2 Modelo de operación actual

Para poder evaluar las propuestas de layout, se debe conocer cómo opera actualmente la empresa, conocer las relaciones entre cada una de las tareas y recolectar los datos necesarios para el modelo de simulación.

#### 4.2.1 Recolección de Datos

Los mapeos de proceso que ya fueron mostrados en el capítulo 1 ayudan a visualizar cómo se entrelazan las operaciones, y dan una idea global de cómo se trabaja en la empresa. La siguiente etapa en el proceso de generación del modelo actual es la recolección y análisis de datos.

Los datos son útiles para vaciarlos en el *software* siempre y cuando vengan de una muestra aleatoria y puedan ajustarse a una distribución de probabilidad, si se cumple con estas cuestiones los datos pueden usarse.

#### 4.2.2 Pruebas de independencia

Para asegurar que los datos vengan de una muestra aleatoria es necesario realizar pruebas de independencia, que aseguran que los valores de las observaciones no son influenciados por otra observación, en nuestro caso se utilizarán las herramientas de *Stat Fit*. Las pruebas utilizadas en este software son las siguientes.

1. Diagrama de dispersión
2. Autocorrelación
3. Prueba de corridas
1. **Diagrama de Dispersión** “Una forma sencilla de describir gráficamente las relaciones constatadas entre dos variables consiste en representar cada

observación por un punto en un plano, cuya abscisa sea el valor de la primera variable y cuya ordenada sea el de la segunda. A este tipo de gráfico se le denomina *diagrama de dispersión*” (Romero, 2005; Zúnica, 2005, p.63)

Como ejemplo se tomarán los datos de rebabeo del mango del cepillo tipo *pocket* para realizar la prueba en Stat Fit.

**Tabla 1 Tiempos de Rebabeo del mango, Cepillo Pocket.**

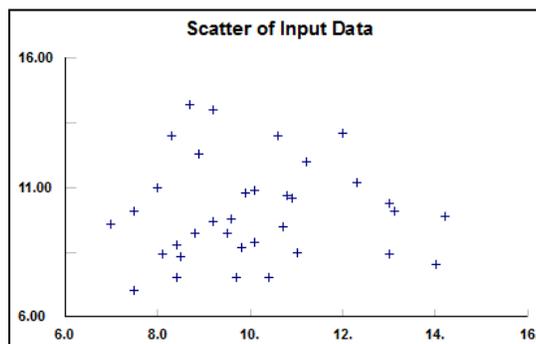
Operación: REBABEO DE MANGOS	
Intervalo	Duración (segundos)
1	8.1
2	8.4
3	8.8
4	9.2
5	9.7
6	7.5
7	7
8	9.6
9	9.8
10	8.7
11	14.2
12	9.9
13	10.8
14	10.7
15	9.5
16	9.2
17	14

18	8
19	11
20	8.5
21	8.3
22	13
23	10.4
24	7.5
25	10.1
26	8.9
27	12.3
28	11.2
29	12
30	13.1
31	10.1
32	10.9
33	10.6
34	13
35	8.4
36	7.5

**Fecha de lectura: 19/06/2013, 9:30 am**

---

Vaciando los datos en el software se obtiene el siguiente diagrama de dispersión:

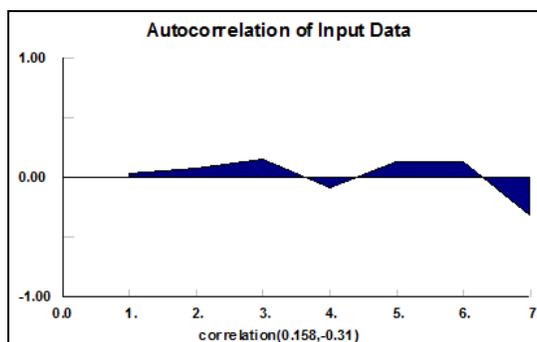


**Fig. 4.1 Diagrama de dispersión**  
**Tiempos de rebabeo de mango del cepillo tipo Pocket.**

Al observar el diagrama se puede notar que no hay alguna línea de tendencia clara en el plano, no se agrupan alrededor de una recta, lo cual indica que los datos son independientes y provienen de una muestra aleatoria, debido a que éstos no tienen dependencia lineal.

- 2. Autocorrelación** es la correlación existente entre los datos observados en el tiempo o en el espacio. El valor de este número varía entre -1 y 1, si los datos están cercanos a estos extremos, quiere decir que están autocorrelacionados.

Al igual que en el diagrama de dispersión, se usaron los datos de los tiempos de rebabeo del mango del cepillo pocket. Obteniéndose lo siguiente:



**Fig. 4.2 Autocorrelación**  
**Tiempos de rebabeo de mango, cepillo tipo Pocket.**

Se puede observar en la figura 4.2 que los datos no están correlacionados, porque no se acercan a los extremos 1 y -1.

3. **Pruebas de corridas** Una corrida es una sucesión ininterrumpida de números que muestran cierta tendencia. Existen dos tipos de pruebas de corridas, la de la mediana y la del punto giratorio.

La prueba de la mediana mide las sucesiones arriba o debajo de la mediana. Si hay demasiadas o pocas corridas, la aleatoriedad de la serie se rechaza. La corrida de la prueba de la mediana usa una aproximación normal para aceptación o rechazo que requieren que el número de datos puntos arriba o debajo de la mediana sea mayor que 10.

La prueba del punto giratorio mide el número de cambios de dirección de la serie. De nuevo, si hay demasiados o pocos puntos giratorios, la aleatoriedad de la serie se rechaza.

En *Stat Fit* también se pueden realizar estas pruebas.

runs test (above/below median)	
data points	36
points above median	18
points below median	18
total runs	15
mean runs	19.
standard deviation runs	2.95683
runs statistic	1.3528
level of significance	5.e-002
runs statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.17612
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	36
turning points	23
mean turnings	23.6667
standard deviation turnings	2.46531
turnings statistic	0.270418
level of significance	5.e-002
turnings statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.786838
result	DO NOT REJECT

**Fig. 4.3 Pruebas de corridas**  
**“Tiempos de rebabeo de mango, cepillo tipo *Pocket*”(StatFit)**

Por lo que se puede observar en la figura no se rechaza la hipótesis nula, que nos dice que los datos vienen de una muestra aleatoria.

Después de realizar estas tres pruebas de independencia se concluye que los datos vienen de una muestra aleatoria, ya que son independientes entre sí. Estas pruebas se aplicaron a cada conjunto de datos, obtenidos de las operaciones de los procesos a analizar.

#### 4.2.3 Ajuste a la distribución

El siguiente paso es ajustar los datos a una distribución de probabilidad. Para poder llevar a cabo lo anterior se requiere de pruebas de bondad de ajuste, que estimarán una curva teórica conocida, tal como la Normal, Binomial, Uniforme, Pearson 5, etc., a partir nuestros resultados experimentales.

##### ✓ *Chi Cuadrada*

La prueba de bondad de ajuste Chi cuadrada de Karl Pearson se emplea para distribuciones continuas y discreta, supone que cuando se realiza un experimento de manera aleatoria  $n$  veces, hay resultados  $R_1, R_2, \dots, R_k$  con frecuencias observadas  $O_1, O_2, \dots, O_k$  y se espera que los resultados, según leyes de probabilidad se presenten con frecuencias  $E_1, E_2, \dots, E_k$ .

La medida de diferencias con el estadístico  $\chi^2$  que se define como sigue:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Cuando el valor del estadístico  $\chi^2$  tiende a cero, entonces se tiene que las frecuencias observadas se aproximan mucho a las esperadas. Por el contrario, si el valor es positivo y muy grande, las diferencias son muy grandes. Tomando en cuenta lo anterior se tiene que la región de rechazo es sólo la región derecha, cuando las hipótesis son las que siguen:

$H_0$ : Los datos provienen de una muestra al azar de una población distribuida de acuerdo a un modelo teórico.

$H_a$ : Los datos no provienen de una población distribuida de acuerdo al modelo teórico.

##### ✓ *Kolmogorov Smirnov*

Esta prueba de bondad de ajuste proviene de una distribución continua, para ser más precisos la Normal. Esta prueba se basa en la comparación de la función de distribución acumulada de una distribución teórica  $F_t(X)$  con la función de distribución acumulada de la muestra  $F_m(X)$ .

Si las funciones de distribución acumulada teórica y muestral no son significativamente diferentes, entonces se dice que la muestra proviene de la distribución cuya función de distribución acumulada es  $F_t(X)$ .

✓ *Anderson Darling*

El estadístico de Anderson y Darling es una prueba de bondad de ajuste. Mide cuán lejos están los puntos del gráfico, que en este caso son nuestros datos, de la línea ajustada en un gráfico probabilístico. Es una distancia al cuadrado ponderada de los datos a la línea ajustada con mayor ponderación en las colas.

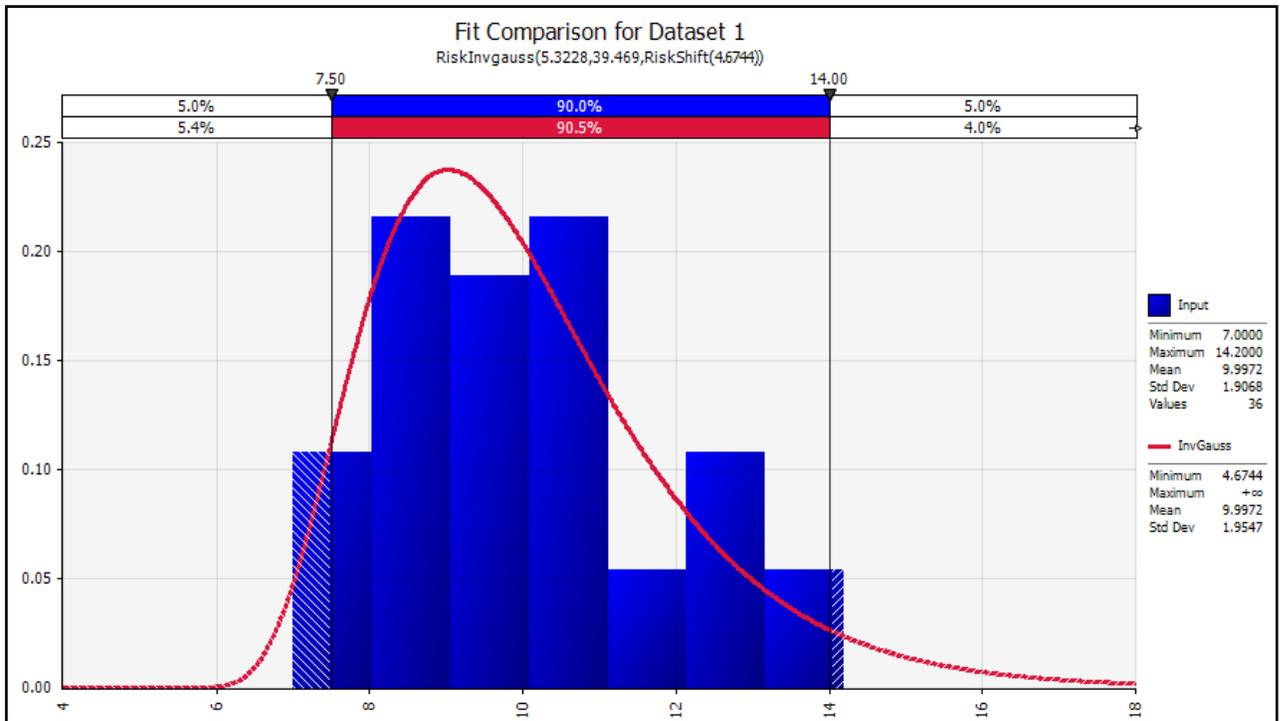
✓ *@Risk*

Se utilizó el software @Risk para hacer las tres pruebas de bondad de ajuste señaladas con anterioridad, esto debido a que realiza las pruebas de manera que se pueden comparar tanto la prueba de Kormologorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrada.

Como se ha venido trabajando se usarán los tiempos de rebabeo para realizar nuestras pruebas.

Chi Cuadrada		Chi CuadradaAnders		Kolmogorov-Smirnov	
Fit Ranking					
Fit	Chi-Sq	Fit	A-D	Fit	K-S
LogLogistic	0.5556	Weibull	0.1672	LogLogistic	0.0608
InvGauss	0.5556	InvGauss	0.1803	InvGauss	0.0618
Weibull	0.9444	Lognorm	0.1838	Lognorm	0.0624
Lognorm	1.3333	Pearson5	0.1895	ExtValue	0.0632
ExtValue	1.3333	ExtValue	0.1906	Weibull	0.0637
Pearson5	1.3333	Triang	0.2105	Pearson5	0.0639
Triang	3.2778	LogLogistic	0.2147	Triang	0.0696
Logistic	4.0556	Logistic	0.4440	Logistic	0.0865
Normal	5.6111	Normal	0.5184	Normal	0.0896
Expon	7.9444	Uniform	1.9832	BetaGeneral	0.1728
BetaGeneral	8.1944	Expon	2.2279	Expon	0.2030
Uniform	9.5000	BetaGeneral	+Infinity	Uniform	0.2267
Pareto	13.7778	Pareto	+Infinity	Pareto	0.2281
Gamma	N/A	Gamma	N/A	Gamma	N/A
Pearson6	N/A	Pearson6	N/A	Pearson6	N/A

**Fig. 4.4 Comparación de pruebas de bondad de ajuste Tiempos de rebabeo de mango, cepillo tipo Pocket.**



**Fig. 4.5 Ajuste a la distribución  
Tiempos de rebabeo de mango, cepillo tipo pocket.**

Los datos obtenidos en la comparación de las pruebas de bondad de ajuste se pueden vaciar en ProModel, las siguientes tablas de resumen muestran los datos a utilizar.

**Tabla 2 Datos a vaciar en el modelo de distribución actual,  
cepillo insertado tipo pocket.**

Operación	Tipo de distribución	Parámetros
Inyección	PEARSON 5	P5(9.3398, 128.65)
Rebabeo	INVERSA GAUSSIANA	IG(5.3228, 39.469)
Insertado	BETA GENERAL	B(66.325, 37.47, 6.842, 23.758)

Tabla 3 Distancia entre locaciones y tiempos de traslado, distribución actual.

Distribución Actual	Distancia	Tiempo de Traslado
Almacén de Materia Prima – Inyectora	28.5 m	2.5 min
Inyectora – Mesa de Rebabeo	33.8 m	0.75 min
Mesa de Rebabeo – Insertadora	8.5 m	1 min
Insertadora – Área de Empaque	21.2 m	1.5 min

#### 4.2.4 Construcción del modelo

Después de haber completado la recolección, análisis y ajuste de datos, se puede comenzar a construir el modelo de simulación para el cepillo *pocket* en ProModel. Se muestra a continuación un diagrama de caja negra y el flujo del proceso o Processing de ambos tipos de cepillo.

#### Cepillo Pocket (Insertado)

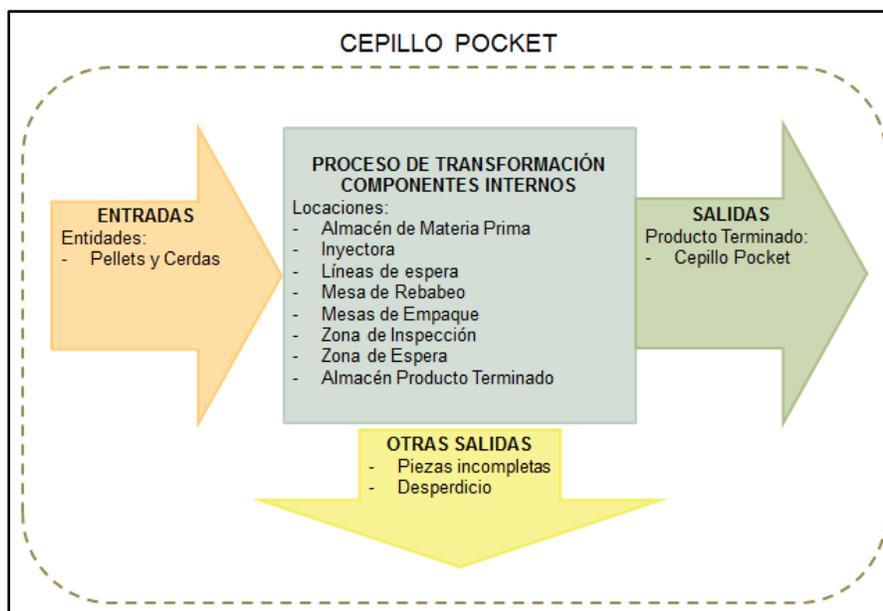
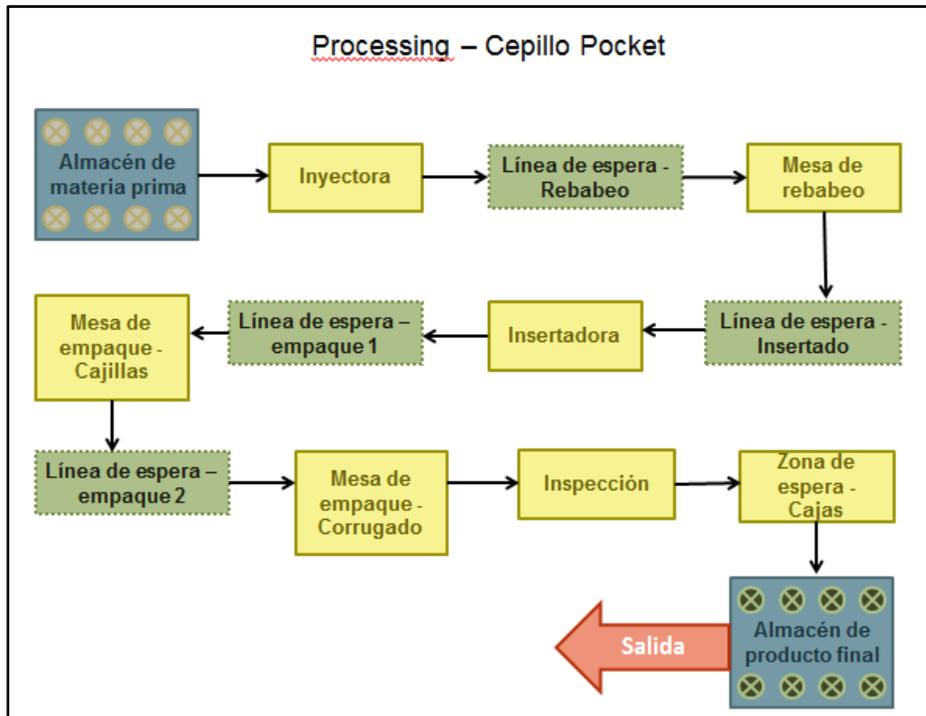


Fig. 4.6 Diagrama de caja negra del cepillo tipo Pocket.  
(Elaboración propia)



**Fig. 4.7 Flujo del proceso del cepillo tipo pocket.**  
(Elaboración propia)

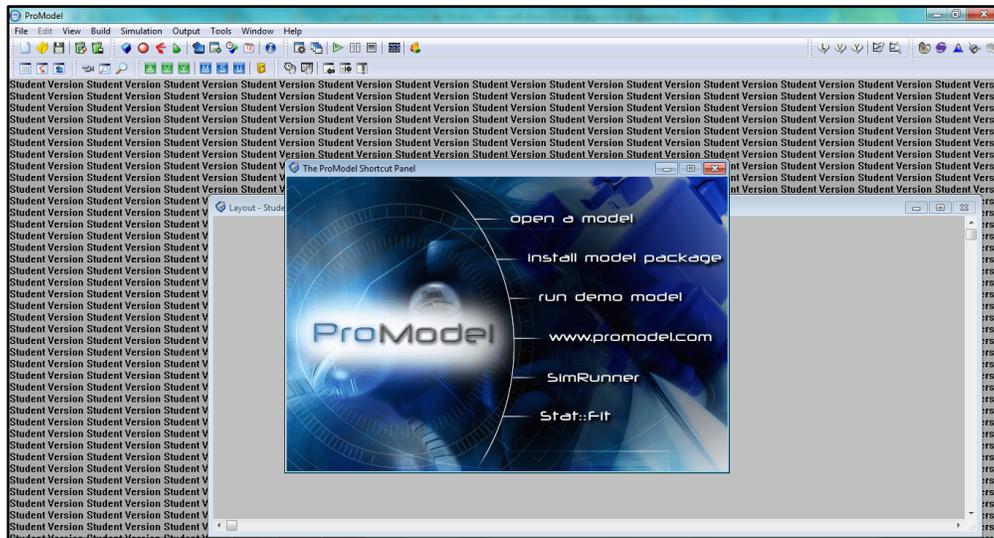
#### 4.2.4.1 Supuestos

Antes de comenzar con la construcción del modelo es preciso mencionar los supuestos que se tomaron en cuenta en la construcción del modelo.

1. La producción es continua
2. Las máquinas trabajan sin averiarse
3. No existen otros procesos que utilicen las inyectoras (como en la realidad se da)
4. El tamaño de los lotes de producción es constante.
5. Los moldes no se cambian

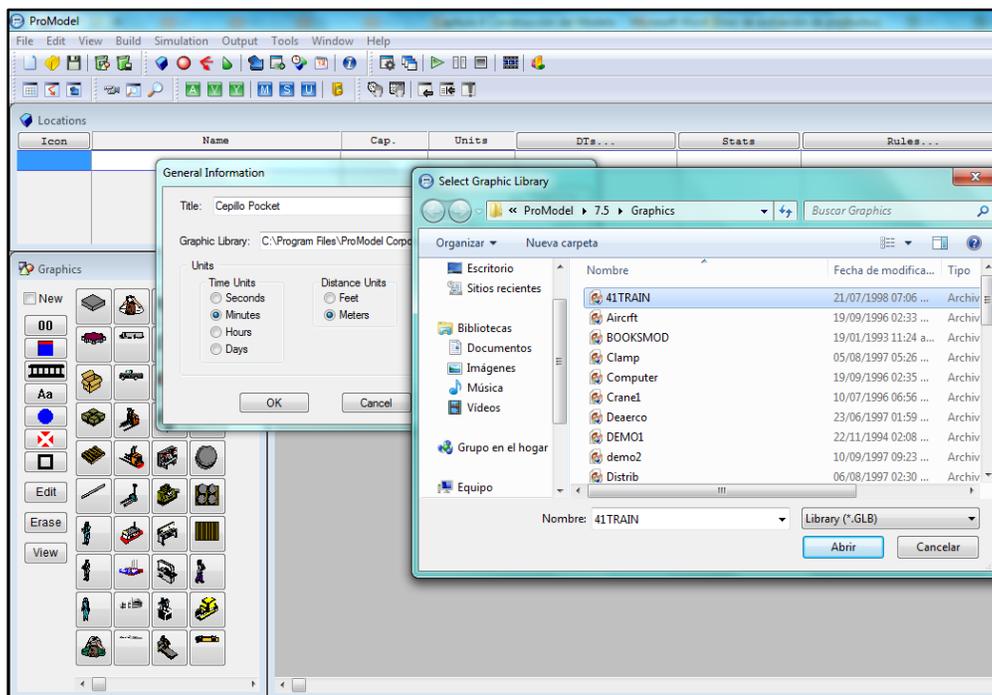
#### 4.2.4.2 Creación del modelo de la distribución actual

Para comenzar a construir el modelo, se ingresa al *software* ProModel 7.5 (versión estudiantil).



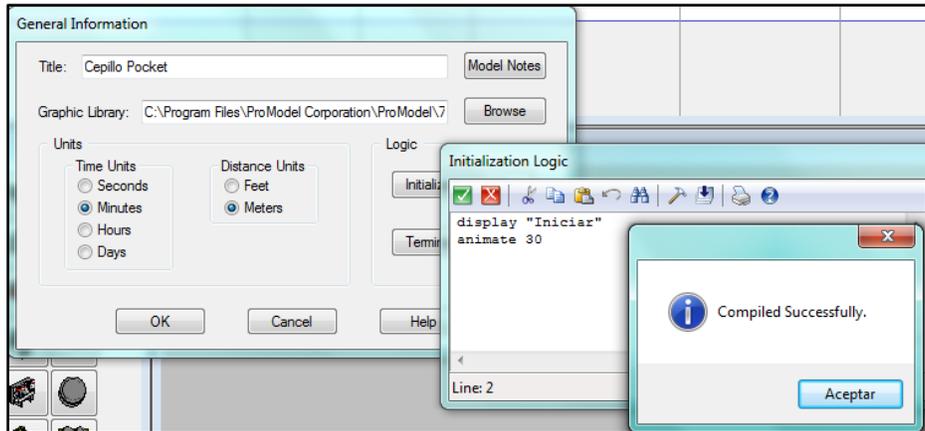
**Fig. 4.8.1 ProModel 7.5 Versión Estudiantil.**

Para crear un modelo nuevo se accede al menú *File* y se da clic en *New*, inmediatamente se abre la ventana de Información General, donde se introduce el nombre deseado para el modelo, las unidades de tiempo y distancia, y se elige el paquete de gráficos que se ocupará para la construcción del modelo.



**Fig. 4.8.2 Ventana de Información General.  
(ProModel 7.5)**

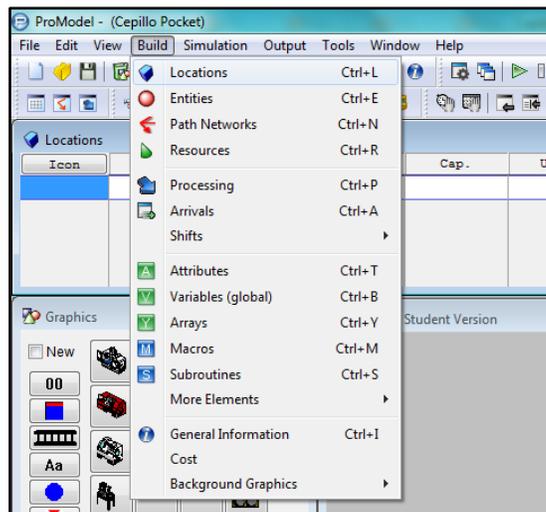
En la misma ventana de Información General se establece la lógica de inicialización, es decir, el mensaje que se mostrará para indicar que iniciará la simulación, además de la velocidad de animación. Se compilan los datos introducidos y se guardan los cambios.



**Fig. 4.8.3 Lógica de inicio.**  
(ProModel 7.5)

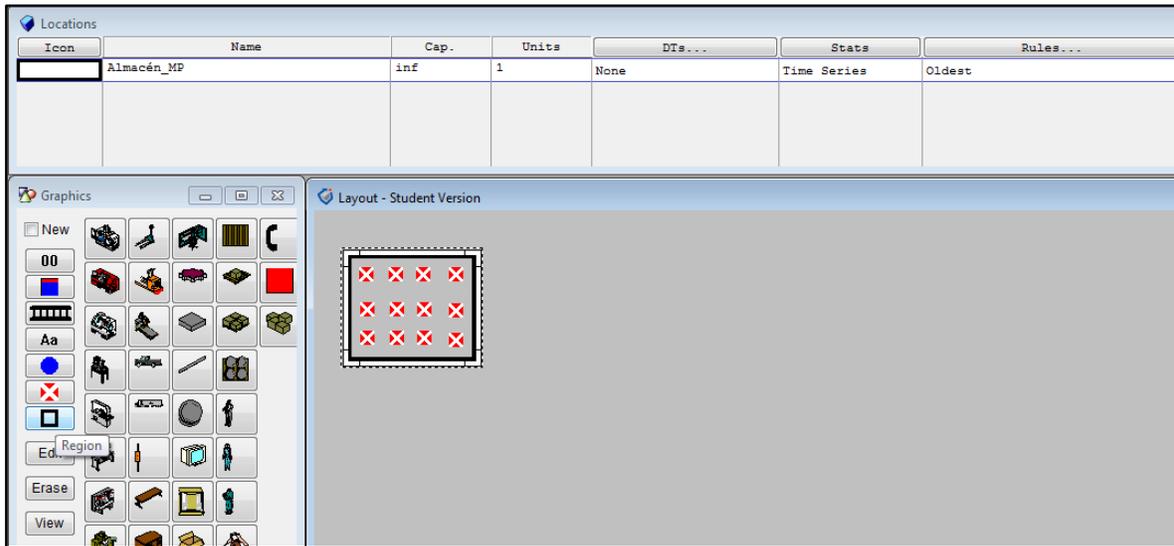
#### 4.2.4.3 Locaciones

Una vez creado el archivo que contendrá el modelo se ingresa en el menú *Build* y se da clic en la opción *Locations*, para crear las locaciones que representarán cada uno de los equipos y estaciones utilizados para llevar a cabo las actividades del proceso.



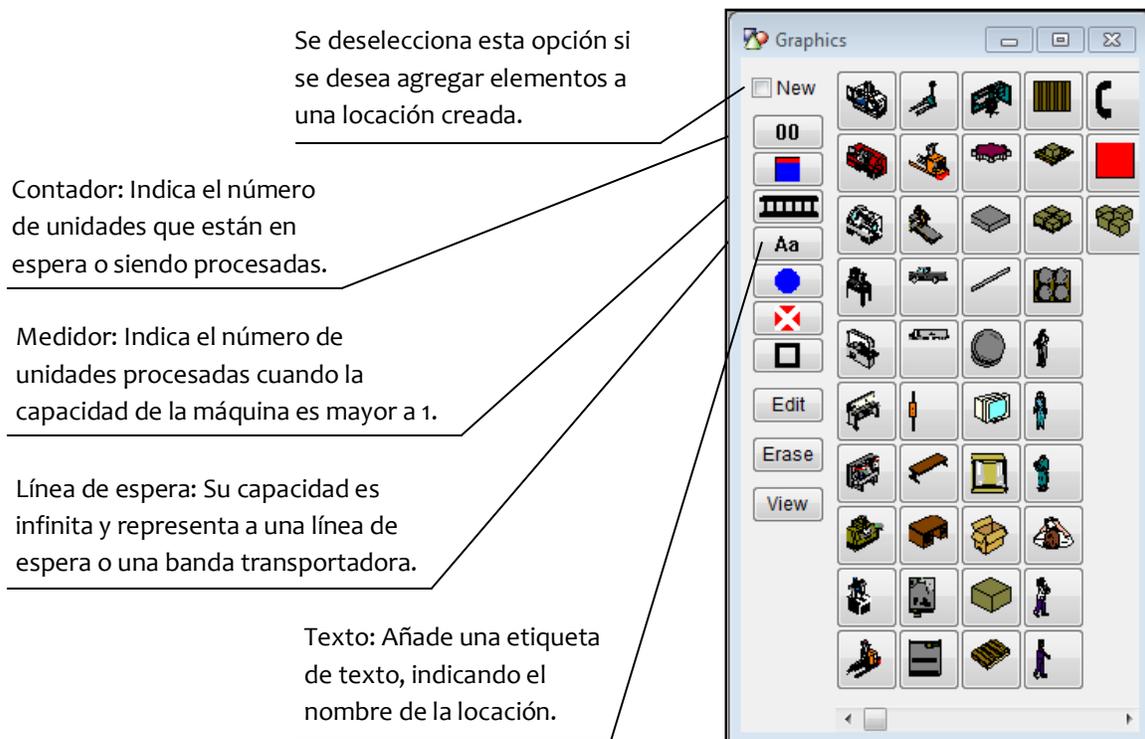
**Fig. 4.9.1 Menú Build.**  
(ProModel 7.5)

A continuación se abre la ventana *Locations*, donde se muestran los gráficos que representarán visualmente en el layout las locaciones. En la ventana *Locations* se modifica el nombre de la locación y otros datos importantes como su capacidad y el número de unidades que existen de esta locación.



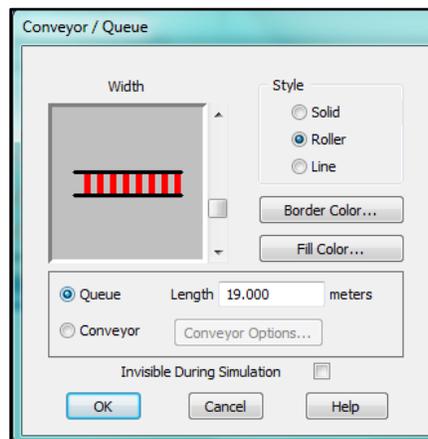
**Fig. 4.9.2 Ventana *Locations***  
**Locación creada: Almacén de materia prima. (ProModel 7.5)**

En la ventana *Graphics* de *Locations* se muestran los distintos elementos que se pueden agregar a las locaciones, así como los iconos que les representarán.



**Fig. 4.9.3 Ventana Graphics de Locations.  
(ProModel 7.5)**

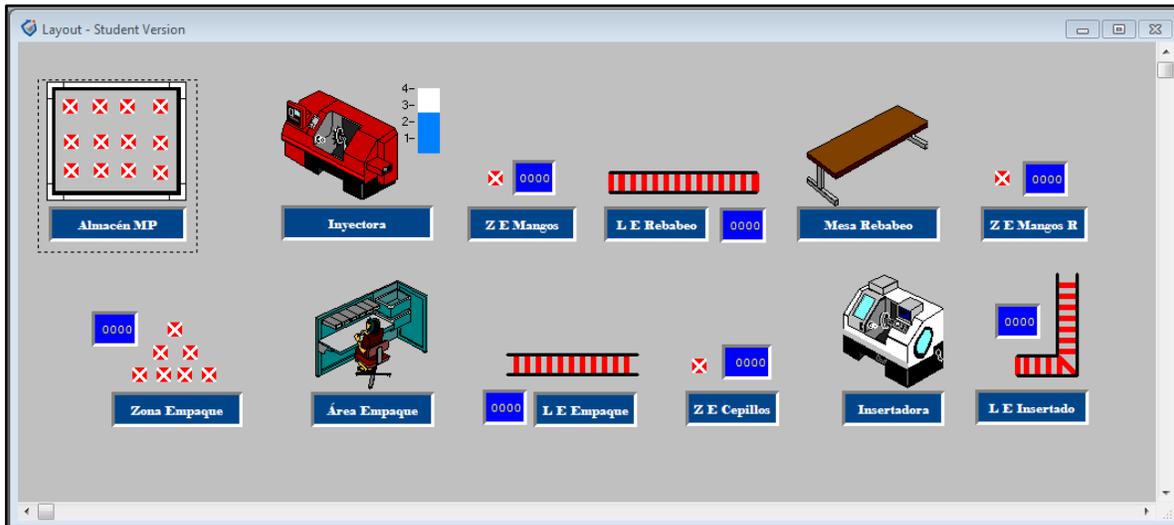
Para la construcción del modelo se usaron líneas de espera, para lo cual se realiza el cambio en el botón *Icon*, para cambiar de *Conveyor* a *Queue*.



**Fig. 4.9.4 Edit Icon. Conveyor/Queue.  
(ProModel 7.5)**

En la figura se muestra las locaciones para este modelo del proceso del cepillo pocket. Otros elementos que se agregaron al modelo además de equipos de trabajo y

estaciones son las Zonas de Espera (representadas con las iniciales Z E), en las cuales se representa el material en proceso que se juntará en un lote y se enviará a la siguiente locación. Las líneas de espera (representadas con las iniciales L E) representan los lotes que están en espera a ser procesados en la siguiente estación.



**Fig. 4.9.5 Locaciones para el proceso Cepillo pocket (elaboración propia, ProModel 7.5)**

ProModel - (Cepillo Pocket)

File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Locations

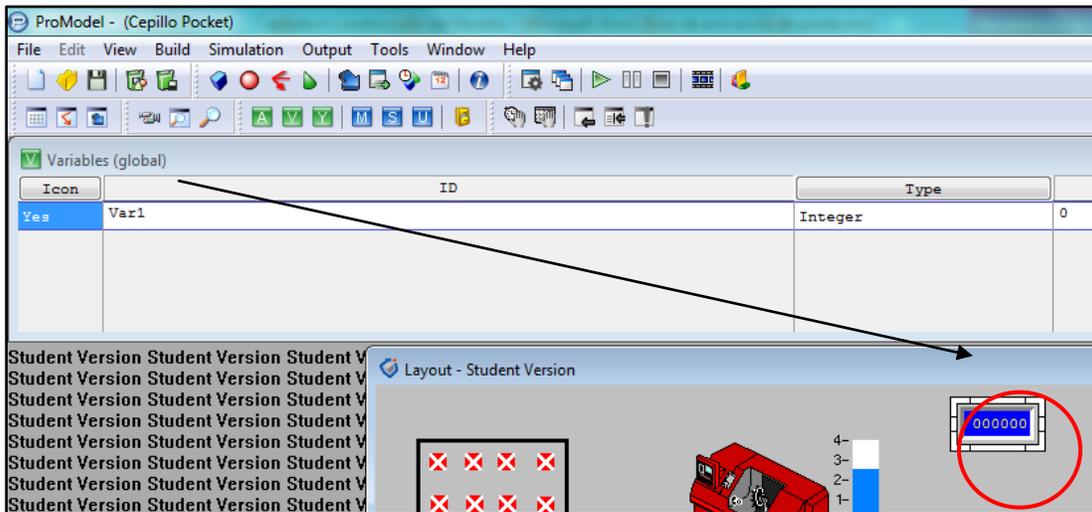
Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...
	Almacén_MP	inf	1	None	Time Series	Oldest
	Inyectora	4	1	None	Time Series	Oldest
	Z_E_Mangos	inf	1	None	Time Series	Oldest
	L_E_Rebabeo	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	Mesa_Rebabeo	1	1	None	Time Series	Oldest
	Z_E_Mangos_R	inf	1	None	Time Series	Oldest
	L_E_Insertado	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	Insertadora	1	1	None	Time Series	Oldest
	Z_E_Cepillos	inf	1	None	Time Series	Oldest
	L_E_Empaque	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	Área_Empaque	1	1	None	Time Series	Oldest
	Zona_Empaque	inf	1	None	Time Series	Oldest

**Fig. 4.9.6 Ventana Locations.**  
(elaboración propia, ProModel 7.5)

#### 4.2.4.4 Variables Globales

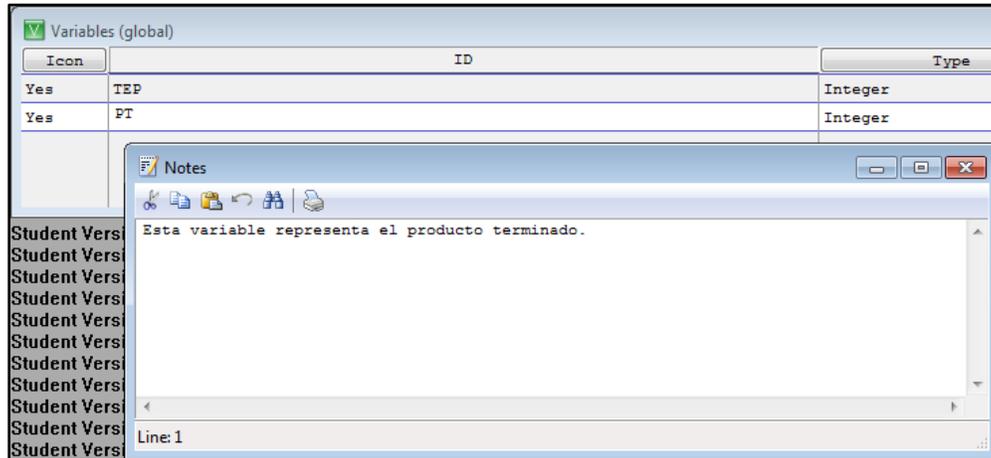
Como se mencionó en el apartado 6 del capítulo 3, para medir el desempeño de la distribución de planta son necesarios indicadores. Estos indicadores de desempeño se representan en el modelo como variables globales.

En el menú *Build* se selecciona la opción *Variables (Global)*, y se da clic en el *Layout* para crear el icono que representará la variable.



**Fig. 4.10.1 Ícono de la variable.  
(ProModel 7.5)**

Si se desea indicar la función de las variables se agregó una descripción breve en las notas de cada una de ellas, la primera es el Trabajo en Proceso y la segunda es el Producto Terminado.

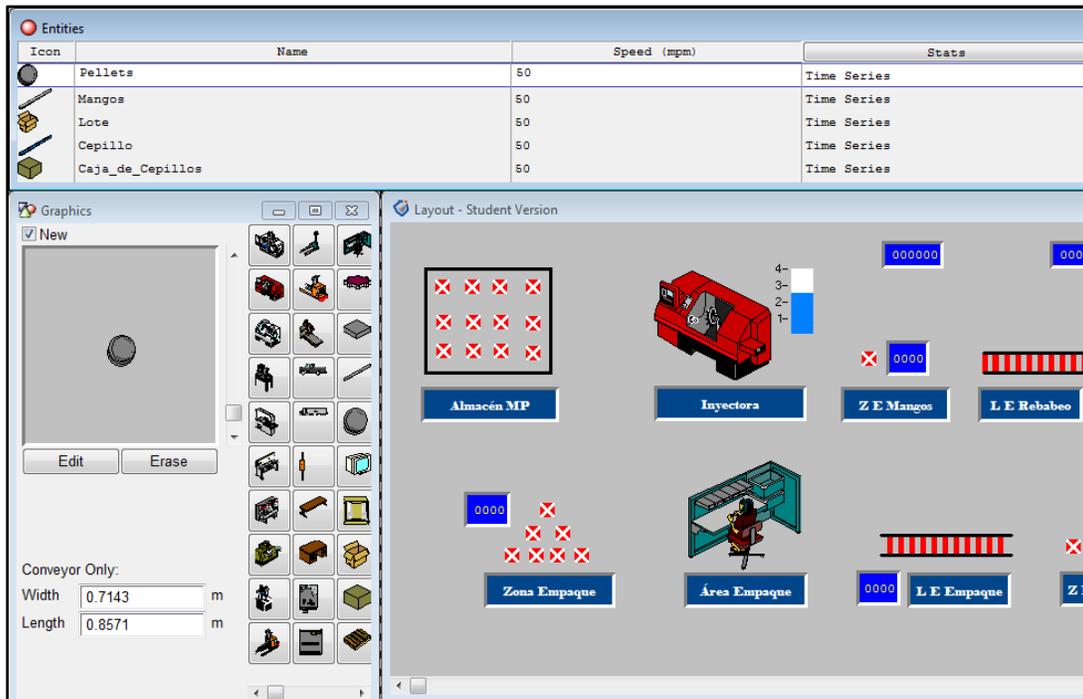


**Fig. 4.10.2 Notas correspondientes a la variable de producto terminado PT (ProModel 7.5)**

#### 4.2.4.5 Entidades

Una entidad es un elemento que es procesado a través del sistema. Las entidades pueden tener características únicas como costo, forma, prioridad, calidad, o condición.

En el menú *Build* se elige la opción *Entities* y simplemente se eligen los iconos que representarán las entidades procesadas en el sistema.



**Fig. 4.11 Ventana Entities, Entidades que se usarán para el modelo (ProModel 7.5)**

#### 4.2.4.5 Estatutos

Tabla 4 Estatutos a utilizar en el modelo, cepillo tipo pocket.

Nombre del estatuto	Función	
	Operación	Lógica de movimiento
<b>MOVE FOR</b>		Mueve la entidad a la siguiente locación o, lógica de inoperación, al final de una fila o banda transportadora. Ej.: MOVE FOR 2.5 min.
<b>WAIT</b>	Causa que la entidad o lógica sea demorada por una cantidad de tiempo específica. (Así es como los tiempos de procesamiento son modelados). Ej.: WAIT 1.5 min.	
<b>COMBINE</b>	Acumula y consolida una cantidad específica de entidades en una sola entidad.	
<b>SPLIT</b>	Divide una entidad en un número específico de entidades, y opcionalmente cambia sus nombres.	
<b>JOIN</b>	Ensambla permanentemente dos o más entidades individuales.	

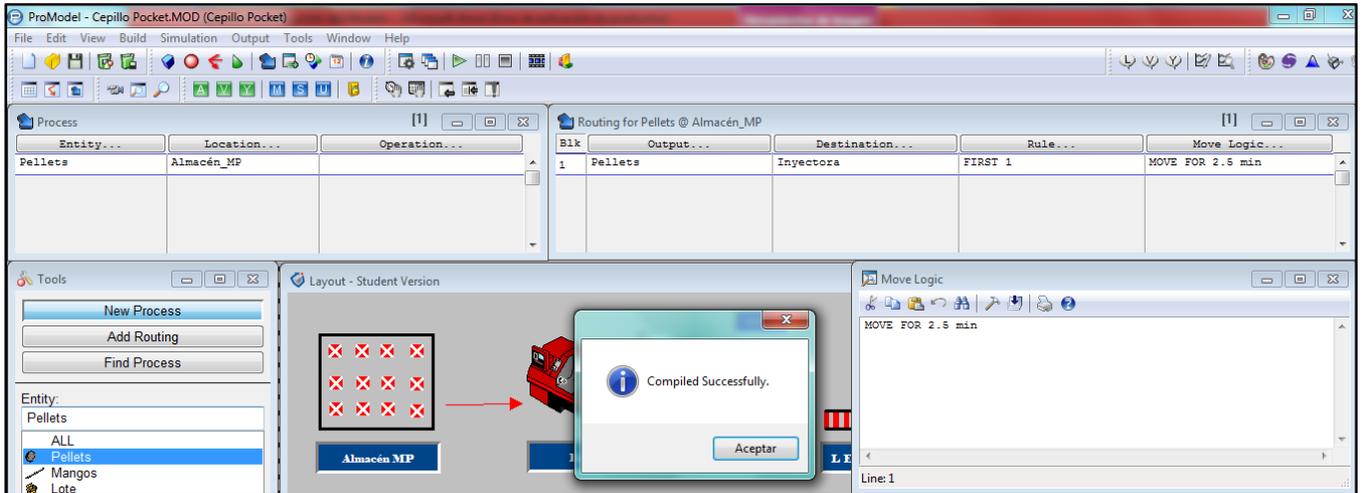
#### 4.2.4.6 Processing

En el processing se define la ruta de las entidades a través del sistema y las operaciones que sufren en cada locación.

En el menú *Build* se elige la opción processing, inmediatamente se abren las ventanas *Process* y *Routing*. En la ventana *Process* se elige la entidad que entra en el sistema, la entidad a la cual llega y si es el caso, la operación que se lleva a cabo. Para la

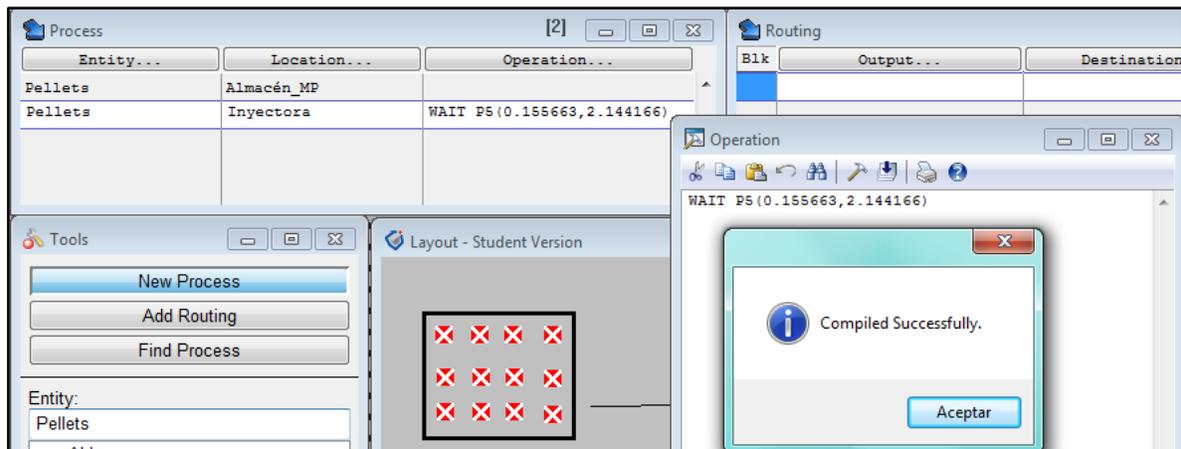
ventana *Routing* se eligen las entidades que salen, la locación destino y la lógica de movimiento según sea el caso.

Para iniciar o agregar una nueva línea al processing se puede seleccionar la locación a la cual entra la entidad y se da clic en la locación destino de esta entidad, o bien se puede ingresar directamente en las ventanas *Process* y *Routing*.



**Fig. 4.12.1 Lógica de movimiento,  
Almacén MP a Inyectora (ProModel 7.5)**

Con el estatuto *WAIT* se representa el tiempo de la operación ya sea en unidades de tiempo o distribuciones probabilísticas.



**Fig. 4.12.2 Estatuto WAIT,  
Operación de inyección (ProModel 7.5)**

Para finalizar el processing se elige como locación destino la salida del sistema (“EXIT”). En la figura se muestra el processing completo en el layout por medio de flechas.

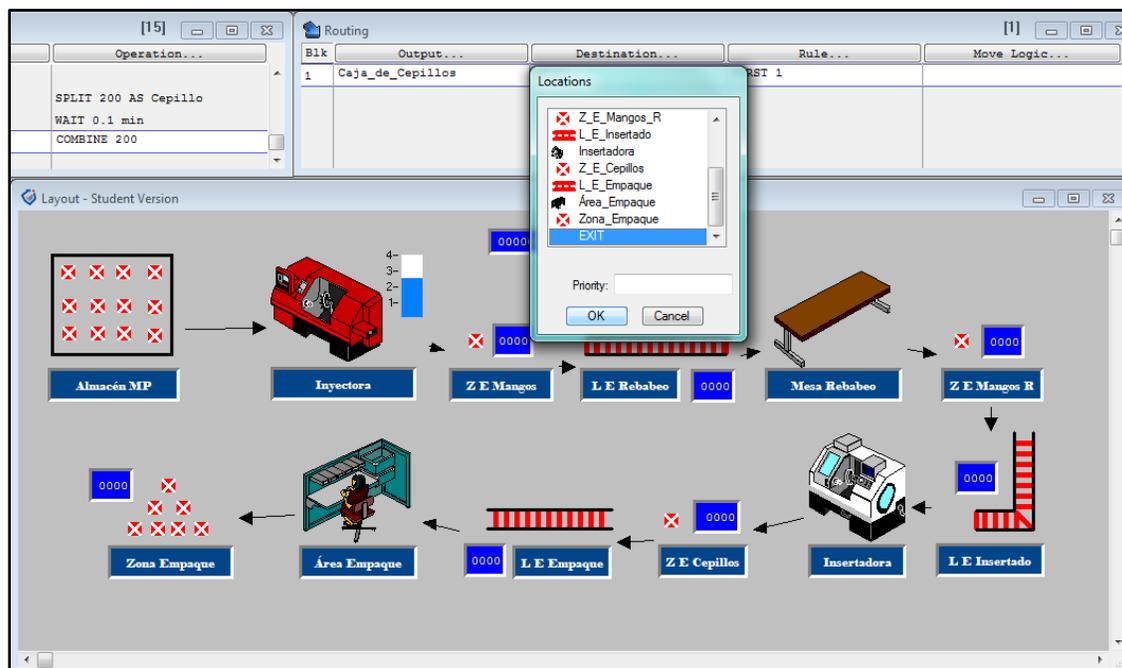


Fig. 4.12.3 Layout del Processing.  
(ProModel 7.5)

A continuación se muestran en tablas las líneas que se introdujeron al processing para la simulación del modelo.

Tabla 5 Líneas de datos introducidas en la ventana Process.

Línea	Entidad	Locación	Operación
1	Pellets	Almacén MP	
2	Pellets	Inyectora	WAIT P5(9.3398,2.1442)
3	Mangos	Z E Mangos	COMBINE 200
4	Lote	L E Rebabeo	
5	Lote	Mesa Rebabeo	SPLIT 200 AS Cepillo
6	Cepillo	Mesa Rebabeo	WAIT IG(0.088713,0.657816)
7	Cepillo	Z E Mangos R	COMBINE 200
8	Lote	L E Insertado	

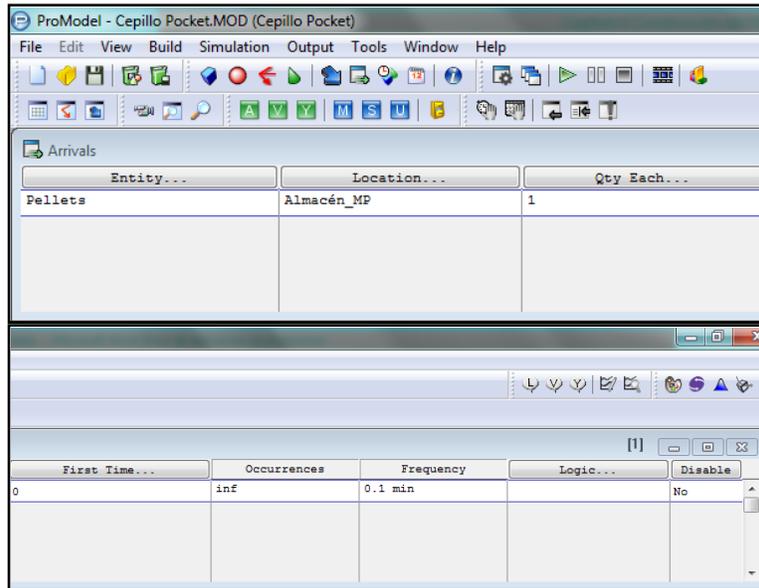
9	Lote	Insertadora	SPLIT 200 AS Cepillo
10	Cepillo	Insertadora	WAIT N(.294192,0.013425)
11	Cepillo	Z E Cepillos	COMBINE 200
12	Lote	L E Empaque	
13	Lote	Área Empaque	SPLIT 200 AS Cepillo
14	Cepillo	Área Empaque	WAIT 0.1 min dec tep, 1 pt=pt+1
15	Cepillo	Zona Empaque	COMBINE 200

**Tabla 6 Líneas de datos introducidas en la ventana Routing.**

Fila	Output	Destino	Regla...	Lógica de Movimiento
1	Pellets	Inyectora	FIRST 1	MOVE FOR 2.5 min TEP=TEP+1
2	Mangos	Z E Mangos	FIRST 1	
3	Lote	L E Rebabeo	FIRST 1	
4	Lote	Mesa Rebabeo	FIRST 1	MOVE FOR 0.75 min
5				
6	Cepillo	Z E Mangos R	FIRST 1	
7	Lote	L E Insertado	FIRST 1	
8	Lote	Insertadora	FIRST 1	MOVE FOR 1 min
9				
10	Cepillo	Z E Cepillos	FIRST 1	
11	Lote	L E Empaque	FIRST 1	
12	Lote	Área Empaque	FIRST 1	MOVE FOR 1 min
13				
14	Cepillo	Zona Empaque	FIRST 1	
15	Caja de Cepillos	Exit	FIRST 1	

#### 4.2.4.8 Arribos

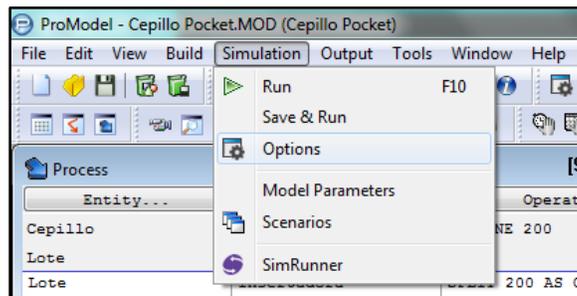
En el menú *Build* se ingresa a la opción *Arrivals*, en la cual se agregan las llegadas de material en cantidad y ocurrencias en el modelo.



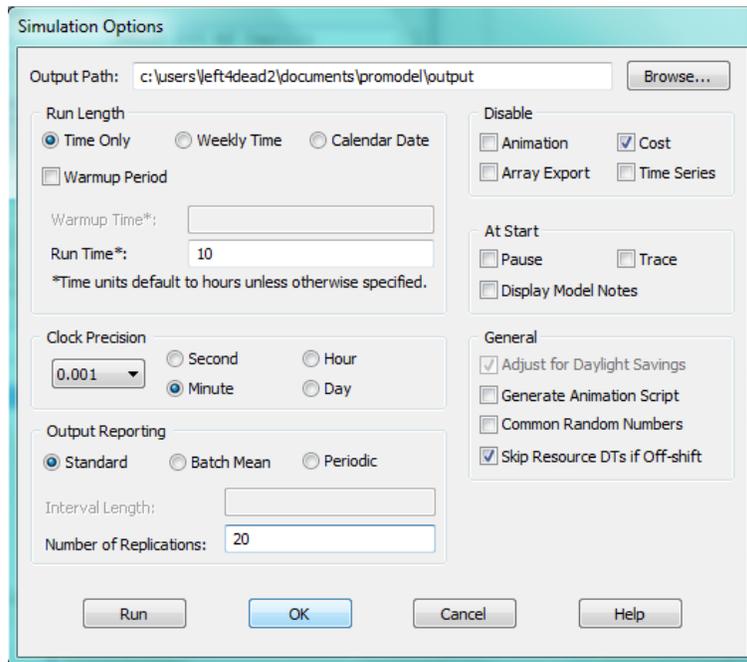
**Fig. 4.13 Ventana Arrivals.**  
(ProModel 7.5)

#### 4.2.4.9 Simulación

Antes de correr la simulación es importante ingresar al menú *Simulations* y dar clic en *Simulation Options* para determinar el tiempo de la corrida y el número de replicaciones.

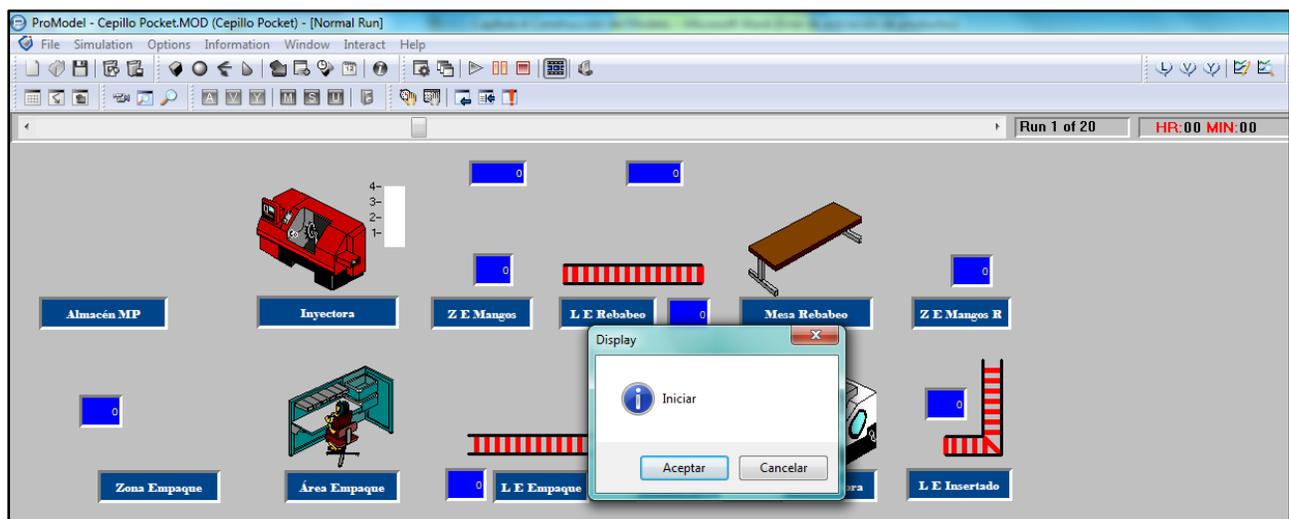


**Fig. 4.14.1 Menú Simulation.**  
(ProModel 7.5)



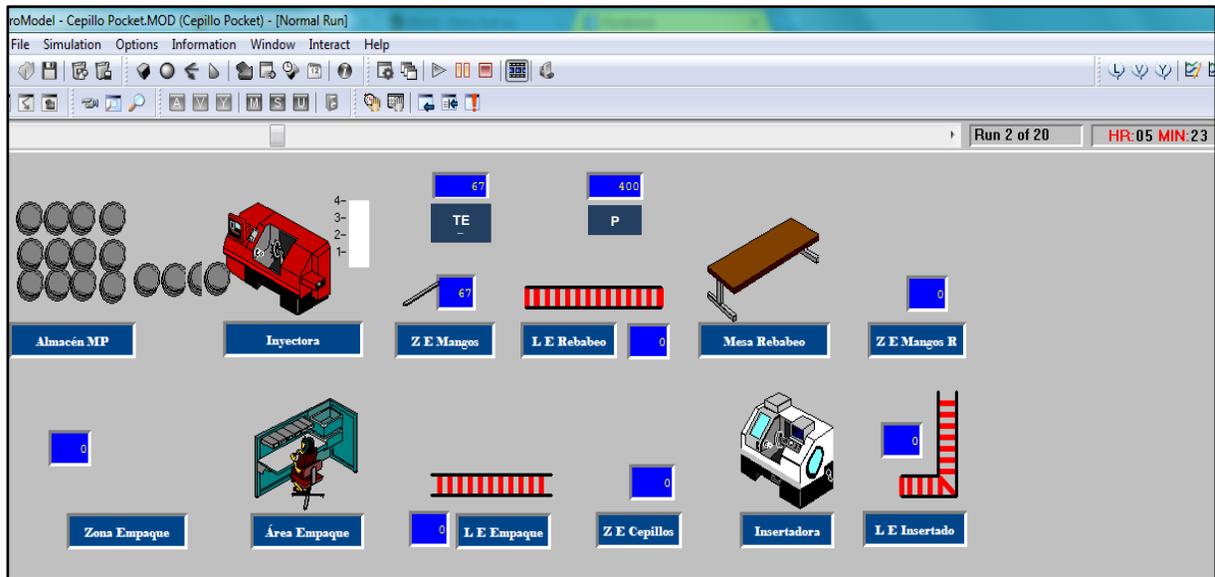
**Fig. 4.14.2 Ventana *Simulation Options*.  
(ProModel 7.5)**

Una vez establecidas estas características se corre la simulación en el menú *Simulation* dando clic en la opción *Run*. A continuación aparece el display de inicialización.



**Fig. 4.14.3 Pantalla de inicio de la simulación.  
(ProModel 7.5)**

Después de esto la simulación comenzará a correr, mostrando la ventana de *Display* de inicio entre cada replicación. En este modelo se correrán 20 replicaciones, con una duración de 10 horas cada una.



**Fig. 4.14.4 Segunda replicación de la simulación.  
(ProModel 7.5)**

Al finalizar las corridas se muestran los resultados obtenidos. Debido a que este modelo cuenta con múltiples replicaciones los resultados aparecen como un promedio de todas las replicaciones.

#### 4.2.4.10 Resultados

Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Almacén MP	10.00	0.07	99.93	0.00	0.00	
Inyectora	10.00	68.33	31.65	0.01	0.00	
Z E Mangos	10.00	1.13	98.87	0.00	0.00	
L E Rebabeo	10.00	99.75	0.25	0.00	0.00	
Z E Mangos R	10.00	88.82	11.17	0.00	0.00	
L E Insertado	10.00	99.76	0.24	0.00	0.00	
Z E Cepillos	10.00	99.95	0.05	0.00	0.00	
L E Empaque	10.00	99.78	0.22	0.00	0.00	
Zona Empaque	10.00	100.00	0.00	0.00	0.00	

**Fig. 4.15.1 Resultados obtenidos  
Locaciones de múltiples estados (ProModel 7.5).**

En los resultados de la fig. 4.15.1, para locaciones de múltiples estados, se observa que la locación que estuvo mayormente ocupada (sin contar el almacén de materia prima), fue la zona de espera para los mangos. Esto se debe a los largos tiempos de procesamiento de los mangos en la inyectora. Dando como resultado que la siguiente locación, que es la mesa de rebabeo, se encuentre en espera frecuentemente.

Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Mesa Rebabeo	10.00	11.18	0.00	88.82	0.00	0.00	0.00
Insertadora	10.00	0.22	0.00	99.78	0.00	0.00	0.00
Área Empaque	10.00	0.07	0.00	99.93	0.00	0.00	0.00

**Fig. 4.15.2 Resultados obtenidos  
Locaciones de estados simples (ProModel 7.5).**

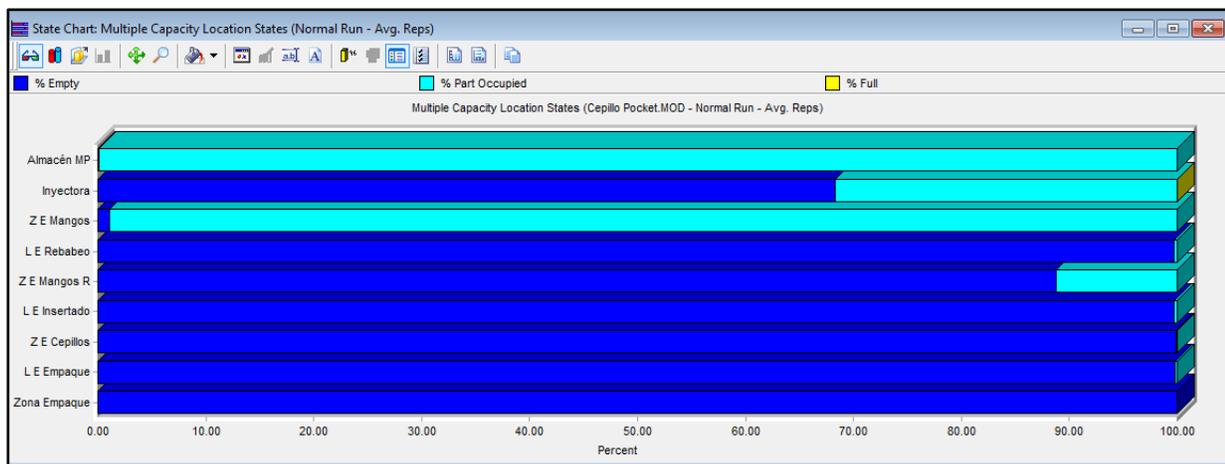
En la fig. 4.15.2, debido a que la mesa de rebabeo se encuentra en espera, por los largos tiempos de procesamiento de la inyectora, su porcentaje en operación es bajo al igual que las operaciones que le proceden. No se registra el porcentaje en espera, pero

si el porcentaje de tiempo ocioso (88.82%), en el cual no se cuenta con materia prima para iniciar la operación.

Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
TEP	1658.15	0.36	0.00	242.80	78.15	122.38
PT	790.00	0.72	0.00	790.00	790.00	311.01

**Figura 4.15.3 Resultados obtenidos para las variables (ProModel 7.5).**

En la distribución de planta actual, para un periodo de 10 horas, se tiene que el trabajo en proceso tiene un valor promedio de 122 unidades, y el número de unidades terminadas es de 311 para la distribución actual (fig. 4.15.3). Tomando en cuenta estos resultados como punto de partida, se compararán las unidades resultantes de ambas alternativas.



**Fig. 4.15.4 Cuadro de estado Multiple Capacity Location States (ProModel 7.5).**

El almacén de materia prima se encuentra en su totalidad ocupado, debido a que la cantidad de arribos a la inyectora es constante e infinito. Como se mencionó anteriormente, debido a que los tiempos de procesamiento de la inyectora son largos, la zona de espera para los mangos se encuentra mayormente ocupada. Ya que esta zona se encuentra esperando a que se complete el lote para pasar a la mesa de

rebabeo. Para las demás operaciones no existe este problema debido a que los tiempos no son muy prolongados y los lotes se completan a tiempo (fig. 4.15.4).

### 4.3 Modelo propuesta 1

Para la elaboración del modelo de simulación de las Propuestas 1 y 2 se utilizaron los mismos elementos que en la distribución actual (locaciones, entidades, variables globales) a excepción del *Processing*. Se realizaron cambios en la *Lógica de Movimiento* para determinar la influencia que tienen los tiempos de traslado sobre los indicadores de desempeño (Trabajo en proceso y Producto terminado).

**Tabla 7 Distancia entre locaciones y tiempos de traslado, propuesta 1.**

Distribución Propuesta 1	Distancia	Tiempo de Traslado
Almacén de Materia Prima – Inyectora	7.8 m	0.68 min
Inyectora – Mesa de Rebabeo	5.7 m	0.13 min
Mesa de Rebabeo – Insertadora	11.7 m	1 min
Insertadora – Área de Empaque	4.4 m	0.3 min

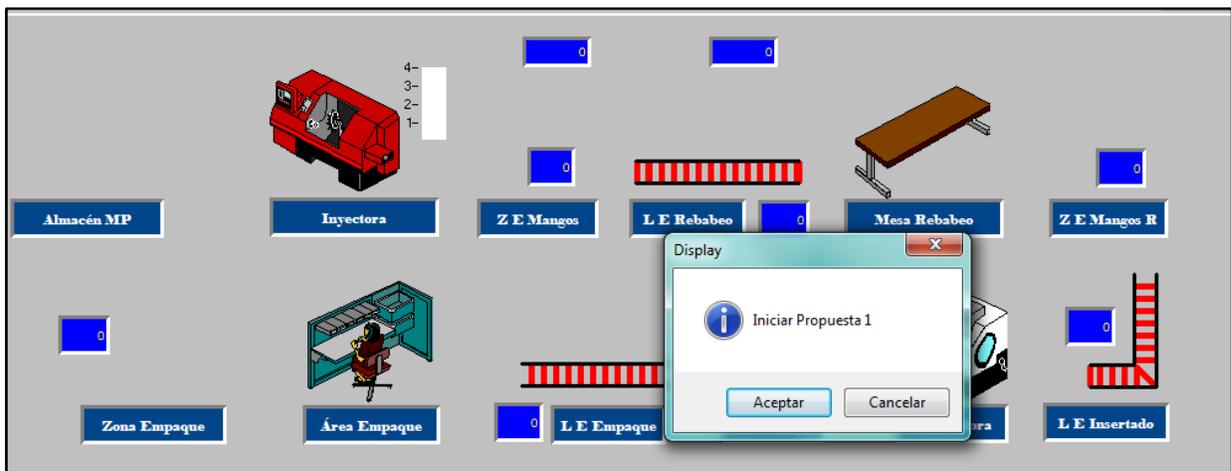
A continuación se muestra el *Processing* que se usó para el modelo de la propuesta 1 con su correspondiente lógica de movimiento.

**Tabla 8 Processing, propuesta 1.**

Fila	Output	Destino	Regla...	Lógica de Movimiento
1	Pellets	Inyectora	FIRST 1	MOVE FOR 0.68 min TEP=TEP+1
2	Mangos	Z E Mangos	FIRST 1	
3	Lote	L E Rebabeo	FIRST 1	

4	Lote	Mesa Rebabeo	FIRST 1	MOVE FOR 0.13 min
5				
6	Cepillo	Z E Mangos R	FIRST 1	
7	Lote	L E Insertado	FIRST 1	
8	Lote	Insertadora	FIRST 1	MOVE FOR 1 min
9				
10	Cepillo	Z E Cepillos	FIRST 1	
11	Lote	L E Empaque	FIRST 1	
12	Lote	Área Empaque	FIRST 1	MOVE FOR 0.3 min
13				
14	Cepillo	Zona Empaque	FIRST 1	
15	Caja de Cepillos	Exit	FIRST 1	

Una vez realizados los cambios en la *Lógica de Movimiento* se procede a correr la simulación conservando el tiempo de corrida (10 horas) y el número de replicaciones (20 replicaciones) usados anteriormente para el modelo de simulación de la distribución actual.



**Fig. 4.16.1 Inicio de las corridas para la propuesta 1, Cepillo Pocket. (ProModel 7.5)**

Al terminar todas las replicaciones, el programa muestra un cuadro de diálogo para ver los resultados si es deseado. Estos resultados se clasifican por locaciones, entidades y variables para facilitar su evaluación.

General Report (Normal Run - Avg. Reps)						
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity States	Variables
<b>Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)</b>						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Almacén MP	10.00	0.07	99.93	0.00	0.00	
Inyectora	10.00	28.22	71.19	0.58	0.00	
Z E Mangos	10.00	0.67	99.33	0.00	0.00	
L E Rebabeo	10.00	99.24	0.76	0.00	0.00	
Z E Mangos R	10.00	67.81	32.19	0.00	0.00	
L E Insertado	10.00	99.27	0.73	0.00	0.00	
Z E Cepillos	10.00	99.85	0.15	0.00	0.00	
L E Empaque	10.00	99.33	0.67	0.00	0.00	
Zona Empaque	10.00	100.00	0.00	0.00	0.00	

**Fig. 4.16.2 Resultados por Locaciones de Múltiples Estados  
Propuesta 1 (ProModel 7.5).**

Para esta alternativa se encuentra mayormente ocupada es de nuevo la zona de espera para los mangos (fig. 4.16.2). En este caso es porque la inyectora se encuentra más del 70% del tiempo ocupada. Dando como resultado que los lotes demoren en completarse.

General Report (Normal Run - Avg. Reps)							
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity States	Variables	
<b>Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)</b>							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Mesa Rebabeo	10.00	32.21	0.00	67.79	0.00	0.00	0.00
Insertadora	10.00	0.66	0.00	99.34	0.00	0.00	0.00
Área Empaque	10.00	0.20	0.00	99.80	0.00	0.00	0.00

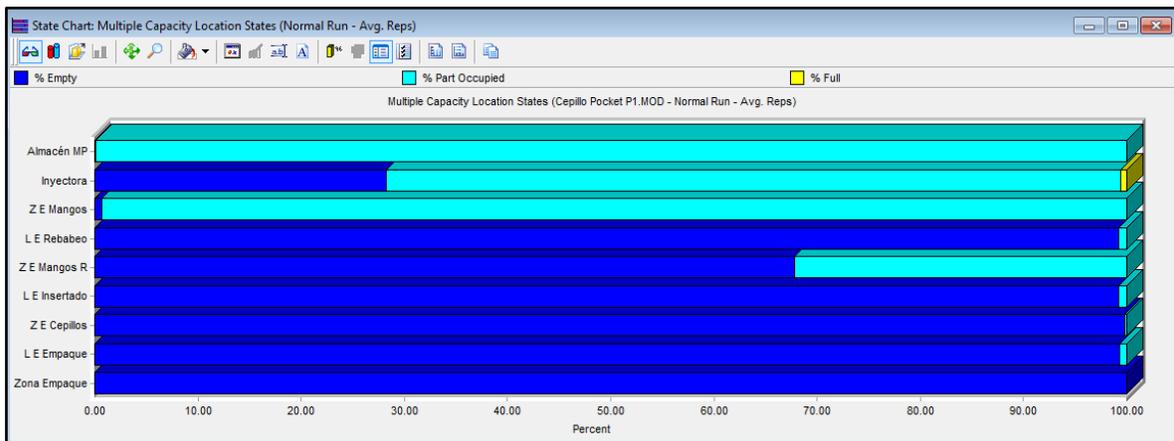
**Fig. 4.16.3 Resultados por Locaciones de Estados Simples  
Propuesta 1 (ProModel 7.5).**

En las locaciones de estados simples de la propuesta 1, la mesa de rebabeo se encuentra en menor porcentaje ociosa en comparación con la Insertadora y el área de empaque. Esto es porque las operaciones de insertado y empaque se desocupan rápidamente, completando los lotes antes que la mesa de rebabeo. Porque la zona de rebabeo se encuentra en gran parte en espera, pero una vez que se estabiliza la inyectora, el porcentaje de tiempo de operación de la mesa de rebabeo aumenta (véase fig. 4.16.3).

General Report (Normal Run - Avg. Reps)						
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity States	Variables
Cepillo Pocket.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
TEP	4948.40	0.12	0.00	345.40	168.40	175.36
PT	2390.00	0.24	0.00	2390.00	2390.00	1103.05

**Fig. 4.16.4 Resultados por Variables  
Propuesta 1 (ProModel 7.5).**

En la fig. 4.16.4, para la propuesta 1, el trabajo en proceso presenta un valor máximo de 345 unidades y un valor promedio de 175. Este valor promedio es ligeramente mayor al TEP de la distribución actual. En cuanto al producto terminado se tiene como valor promedio 1103 unidades, tomando en cuenta como valor máximo las 2390 unidades. Estos valores triplican el valor de la distribución actual, e incluso lo superan si se toma en cuenta el valor máximo.



**Fig. 4.16.5 Cuadro de Estado. Estados de Locación de Capacidad Múltiple  
Propuesta 1 (ProModel 7.5).**

Con la propuesta 1 se sigue teniendo mayormente ocupada la zona de espera de los mangos. Lo que significa que, aunque se reducen las distancias entre las operaciones, se sigue teniendo el problema de la disponibilidad de la inyectora. Como solo se toma en cuenta una sola inyectora, los lotes tardan en completarse (fig. 4.16.5).

#### 4.4 Modelo Propuesta 2

Como se mencionó anteriormente los únicos cambios para los modelos de propuestas fueron los que se aprecian en la *Lógica de movimientos*, las distancias cambian, por ende cambian los tiempos de traslado.

**Tabla 9 Distancia entre locaciones y tiempos de traslado, propuesta 2.**

Distribución Propuesta 2	Distancia	Tiempo de Traslado
Almacén de Materia Prima – Inyectora	22 m	1.9 min
Inyectora – Mesa de Rebabeo	1.1 m	0 min
Mesa de Rebabeo – Insertadora	36 m	4.2 min
Insertadora – Área de Empaque	7.8 m	0.55 min

A continuación se muestra el *Processing* del modelo de simulación de la propuesta 2, con su correspondiente *Lógica de Movimiento*.

**Tabla 10 Processing Propuesta 2.**

Fila	Output	Destino	Regla...	Lógica de Movimiento
1	Pellets	Inyectora	FIRST 1	MOVE FOR 1.9 min TEP=TEP+1
2	Mangos	Z E Mangos	FIRST 1	
3	Lote	L E Rebabeo	FIRST 1	
4	Lote	Mesa Rebabeo	FIRST 1	
5				
6	Cepillo	Z E Mangos R	FIRST 1	
7	Lote	L E Insertado	FIRST 1	
8	Lote	Insertadora	FIRST 1	MOVE FOR 4.2 min

9				
10	Cepillo	Z E Cepillos	FIRST 1	
11	Lote	L E Empaque	FIRST 1	
12	Lote	Área Empaque	FIRST 1	MOVE FOR 0.55 min
13				
14	Cepillo	Zona Empaque	FIRST 1	
15	Caja de Cepillos	Exit	FIRST 1	

A continuación se muestran los resultados de las corridas en promedio para el modelo de la propuesta 2.

General Report (Normal Run - Avg. Reps)					
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity Stat
Cepillo Pocket P2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)					
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down
Almacén MP	10.00	0.07	99.93	0.00	0.00
Inyectora	10.00	60.47	39.49	0.04	0.00
Z E Mangos	10.00	0.86	99.14	0.00	0.00
L E Rebabeo	10.00	99.68	0.32	0.00	0.00
Z E Mangos R	10.00	87.49	12.51	0.00	0.00
L E Insertado	10.00	99.70	0.30	0.00	0.00
Z E Cepillos	10.00	99.94	0.06	0.00	0.00
L E Empaque	10.00	99.72	0.28	0.00	0.00
Zona Empaque	10.00	100.00	0.00	0.00	0.00

**Fig. 4.17.1 Resultados por Locación de Estados Múltiples Propuesta 2 (ProModel 7.5).**

Observando la fig. 4.17.1, en la propuesta 2 se sigue teniendo el mismo problema que en la distribución actual y en la propuesta 1. Esto no está relacionado con el modelo de simulación. Más bien es por la capacidad y tiempo de operación de la inyectora. Este inconveniente se resuelve con esta propuesta de distribución, en la cual existe la posibilidad de espacio para incluir nuevos equipos al área de trabajo. Con el uso de otra inyectora para este proceso se pueden completar apropiadamente los lotes, y así evitar mayores tiempos de espera en la ZE Mangos.

General Report (Normal Run - Avg. Reps)							
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity States	Variables	
Cepillo Pocket P2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)							
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Mesa Rebabeo	10.00	12.52	0.00	87.48	0.00	0.00	0.00
Insertadora	10.00	0.28	0.00	99.72	0.00	0.00	0.00
Área Empaque	10.00	0.08	0.00	99.92	0.00	0.00	0.00

**Fig. 4.17.2 Resultados por Locación de Estados Simples  
Propuesta 2 (ProModel 7.5).**

Aumenta en un 20% el tiempo ocioso ya que el tiempo de traslado entre la inyectora y la mesa de rebabeo es mínimo, casi inmediato (fig. 4.17.2).

General Report (Normal Run - Avg. Reps)						
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Entity Activity	Entity States	Variables
Cepillo Pocket P2.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
TEP	2110.35	0.28	0.00	254.30	110.35	130.99
PT	1000.00	0.56	0.00	1000.00	1000.00	423.21

**Fig. 4.17.3 Resultados por Variable  
Propuesta 2 (ProModel 7.5).**

Para la propuesta 2, se tiene un valor máximo de TEP de 254 unidades y un valor promedio de 130 unidades. Se tiene que el valor promedio es tan solo 8 unidades mayor que el valor promedio de la distribución actual. En cuanto al PT, el máximo valor fue de 1000 unidades y el valor promedio fue de 423 unidades. Más de 100 unidades mayor al valor de la distribución actual, pero no es mayor al valor PT de la propuesta 1 (fig. 4.17.3).

#### 4.5 Conclusiones

- ✓ Para poder ingresar los datos al *software* es importante hacer pruebas de independencia, las cuales se realizaron con éxito. Al saber que los datos eran independientes se pudo ajustar a una función de distribución de probabilidad conocida, mediante pruebas de bondad de ajuste. Este proceso se ejemplificó con los tiempos de rebabeo del cepillo *pocket*.
- ✓ Se presentó la construcción del modelo paso a paso, explicando las funciones del *software*. Se definieron las variables globales, las entidades, arribos y locaciones del modelo de simulación.
- ✓ Se obtuvieron los resultados del modelo de operación actual, así como los de las propuestas 1 y 2 con un resultado satisfactorio.

## Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

En el capítulo anterior se mostraron los resultados obtenidos en la simulación, a continuación y a manera de resumen se muestran en un cuadro comparativo los resultados del valor promedio de las variables globales (PT y TEP) que sirvieron como indicadores de desempeño y que son los resultados que mayor impacto tienen para fines de este estudio. La simulación se empleó para 20 réplicas de corridas de 10 horas.

**Tabla 11 Datos comparativos para TEP y PT.**

<b>VALOR PROMEDIO</b>	<b>Trabajo en proceso (TEP)</b>	<b>Producto terminado (PT)</b>
<b>Distribución actual</b>	122.38	311.01
<b>Propuesta 1</b>	175.36	1103.05
<b>Propuesta 2</b>	130.99	423.21

Se puede observar en la tabla que en la propuesta 1 es donde se tiene el mayor valor promedio de producto terminado por réplica de simulación; también tiene un valor mayor de trabajo en proceso, aunque comparando con PT que casi triplica a la distribución actual y a la propuesta 2, éste es un aumento menor.

El aumento en porcentaje es para la propuesta 1 en cuanto al trabajo en proceso es de 43.29%, mientras que el producto terminado aumentó un 254.66%, comparados con la distribución actual. Para la propuesta 2, el trabajo en proceso aumentó un 7.035% y el producto terminado un 36.076%, con respecto a los indicadores de desempeño de la distribución actual.

Con lo anterior se concluye que según el estudio de simulación la propuesta que mejores resultados brinda es la Propuesta 1, ya que se tiene un alto nivel de producto terminado y el nivel de trabajo en proceso aumenta relativamente poco. El resultado tiene lógica, ya que la propuesta 2 tenía mayores distancias a recorrer en el proceso porque el área de inyección se encontraba en la planta baja y gran parte de las siguientes operaciones se localizaban en el primer piso.

La diferencia entre la propuesta uno y dos es el plan de equipamiento a largo plazo que incluye más maquinaria y la disposición del inmobiliario en más de un piso del área productiva.

Es preciso mencionar lo que se hizo en el capítulo 3, y es que la simulación es una herramienta para evaluar (en este caso la distribución de planta), según los indicadores. Además de dimensionar que tan viable es realizar un proyecto, ya que sufre cambios en el transcurso de la implementación en consideración del presupuesto y otros aspectos ajenos a este análisis. La simulación como su nombre lo indica es “imitar” un sistema real con las suposiciones pertinentes que puede ser muy preciso y un elemento muy importante en la toma de decisiones.

Otro punto a considerar es que solamente se está evaluando un tipo de cepillo, y aunque sea representativo del comportamiento de los cepillos insertados, existen varios tipos de cepillo torcido que no se tomaron en cuenta en la simulación.

## Referencias bibliográficas

### ✓ Libros

- [1] De la Fuente García, I. F. Quesada., *Distribución en Planta*
- [2] Griful Ponsati Eulalia, *Fiabilidad Industrial*, 2001, p. 89
- [3] Marques Dos Santos, María José, *Estadística Básica: Un enfoque no paramétrico*, UNAM Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, páginas 31-48
- [4] Meyers, Fred E., *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*
- [5] Romero Villafranca Rafael, Zúnica Ramajo Luisa Rosa, *Métodos Estadísticos en Ingeniería*, 2005, p. 63
- [6] Tompkins James A., White John A., Bozer Yavuz A., Tanchoco J.M.A, *Planeación de instalaciones*, Editorial Cengage Learning, 4a edición

### ✓ Ligas a internet

- [1] Secretaría de hacienda y crédito público  
[http://www.shcp.gob.mx/EGRESOS/sitio\\_pbr/progra\\_presupuestacion/Paginas/indicadores\\_des.aspx](http://www.shcp.gob.mx/EGRESOS/sitio_pbr/progra_presupuestacion/Paginas/indicadores_des.aspx) (fecha de consulta 7 de agosto de 2013)
- [2] <http://www.slideshare.net/fcubillosa/distribucion-en-planta> (fecha de consulta 12 de febrero de 2013)
- [3] <http://www.slideshare.net/guest70d5814/tipos-de-distribucion-en-plantas-factores-y-ventajas-presentation> (fecha de consulta 4 de octubre de 2013)
- [4] [http://www.uclm.es/area/ing\\_rural/AsignaturaProyectos/Tema5.pdf](http://www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos/Tema5.pdf) (fecha de consulta 12 de febrero de 2013)

### ✓ Otros recursos

- [1] Fernando Márquez Soriano, Gustavo Alberto Gutiérrez Nájera. “Distribución para una nueva planta industrial de la empresa Plásticos Saljim S. A. de C. V.”
- [2] Manual de Usuario ProModel 7.5
- [3] Notas de profesor Ricardo Torres Mendoza, Facultad de Ingeniería UNAM.
- [4] Notas del Ingeniero Pablo Luis Mendoza Medina, Facultad de Ingeniería UNAM.
- [5] Revista Virtual Pro. “Distribución de Planta”. N° 113, Junio, 2011.

## Anexos

### Anexo 1 Datos obtenidos en la recolección

Operación: INSERTADO	
Intervalo	Duración (segundos)
1	17.2
2	17.5
3	18.7
4	19.2
5	17.5
6	17.4
7	18.2
8	17.1
9	16.5
10	17.5
11	18.7
12	17.4
13	16.9
14	17.4
15	17.6
16	17.6
17	17.9
18	15.4
19	18.3
20	17.4
21	16.9
22	17.2
23	17.3
24	18.4
25	18.7
26	17.7
27	17.8
28	17.2
29	17.6
30	18.1
31	18.4
32	19.3
33	16.5

Fecha de lectura: 17/07/2013, 09:40 am

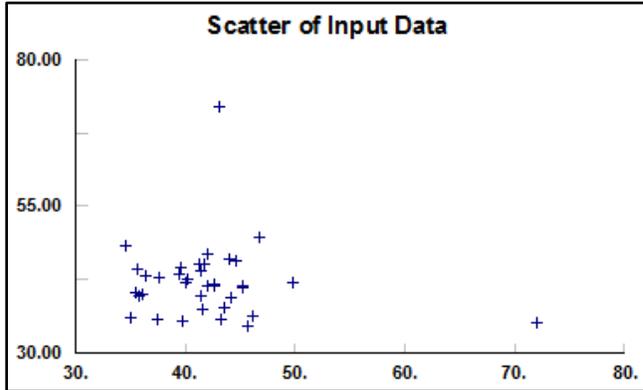
#### **Anexo 1.1 Tiempos de insertado por pieza Cepillo Pocket.**

<b>Operación: INYECCIÓN</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Duración (segundos)</b>
1	43
2	72
3	35
4	36
5	40
6	41.94
7	46.72
8	49.8
9	41.94
10	41.4
11	39.69
12	35.43
13	40.23
14	42.52
15	41.71
16	45.19
17	41.22
18	45.15
19	41.49
20	37.41
21	35.54
22	44.17
23	39.39
24	43.44
25	37.57
26	42.68
27	41.34
28	43.99
29	46.07
30	36.36
31	43.24
32	35.78
33	39.59
34	44.51
35	45.56
36	34.47
37	48.18
Fecha de lectura: 17/07/2013, 09:40 am	

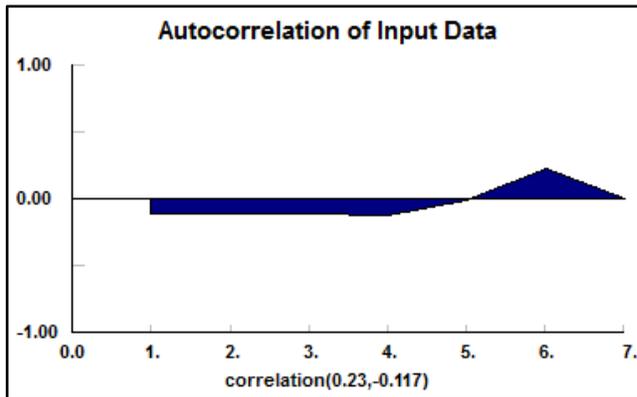
**Anexo 1.2 Tiempos de inyección (capacidad 4 piezas)  
Cepillo Pocket.**

**Anexo 2 Pruebas de Independencia**  
**CEPILLO POCKET – PRUEBAS DE INDEPENDENCIA**

Inyección



**Anexo 2.1 Diagrama de dispersión**  
**Tiempos de inyección, Cepillo Pocket.**

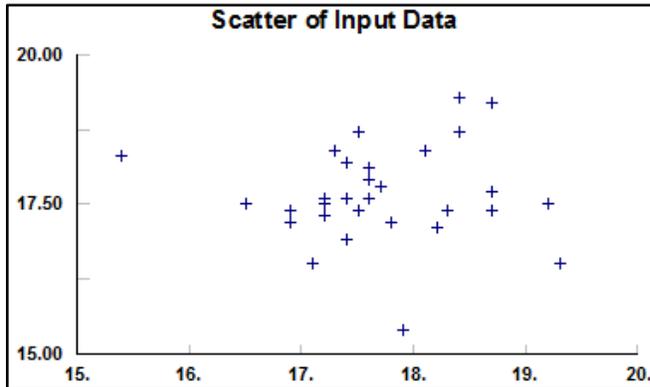


**Anexo 2.2 Autocorrelación**  
**Tiempos de inyección, Cepillo Pocket.**

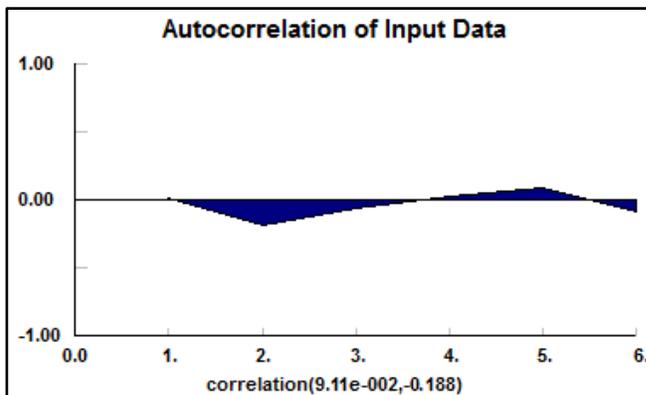
runs test on input	
runs test (above/below median)	
data points	37
points above median	18
points below median	18
total runs	21
mean runs	19.
standard deviation runs	2.95683
runs statistic	0.6764
level of significance	5.e-002
runs statistic{2.5e-002}	1.95996
p-value	0.498787
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	37
turning points	22
mean turnings	24.3333
standard deviation turnings	2.50111
turnings statistic	0.932919
level of significance	5.e-002
turnings statistic{2.5e-002}	1.95996
p-value	0.350862
result	DO NOT REJECT

**Anexo 2.3 Pruebas de corridas**  
**Tiempos de inyección, Cepillo Pocket.**

Insertado



**Anexo 2.4 Diagrama de dispersión  
Tiempos de insertado, Cepillo Pocket.**

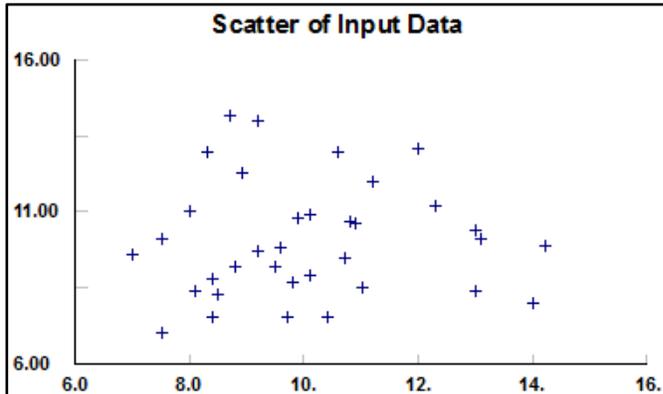


**Anexo 2.5 Autocorrelación  
Tiempos de insertado, Cepillo Pocket.**

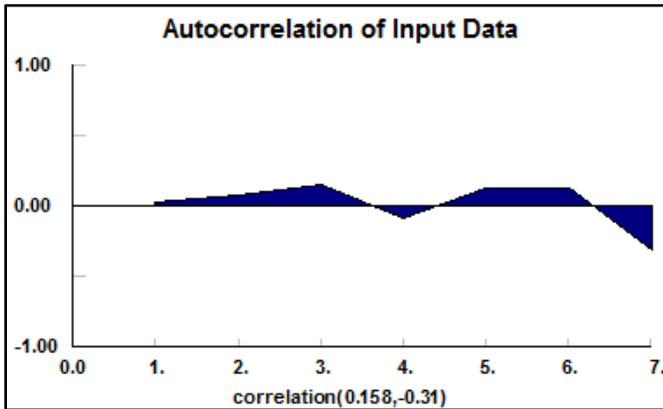
runs test on input	
runs test (above/below median)	
data points	33
points above median	16
points below median	14
total runs	15
mean runs	15.9333
standard deviation runs	2.67859
runs statistic	0.348442
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.727509
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	32
turning points	15
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	2.59
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	9.59773e-003
result	REJECT

**Anexo 2.6 Pruebas de corridas  
Tiempos de insertado, Cepillo Pocket.**

## Rebabeo del mango



**Anexo 2.7 Diagrama de dispersión**  
**Tiempos de rebabeo, Cepillo Pocket.**



**Anexo 2.8 Autocorrelación**  
**Tiempos de rebabeo, Cepillo Pocket.**

runs test on input	
runs test (above/below median)	
data points	36
points above median	18
points below median	18
total runs	15
mean runs	19.
standard deviation runs	2.95683
runs statistic	1.3528
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.17612
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	36
turning points	23
mean turnings	23.6667
standard deviation turnings	2.46531
turnings statistic	0.270418
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.786838
result	DO NOT REJECT

**Anexo 2.9 Pruebas de corridas**  
**Tiempos de rebabeo, Cepillo Pocket.**

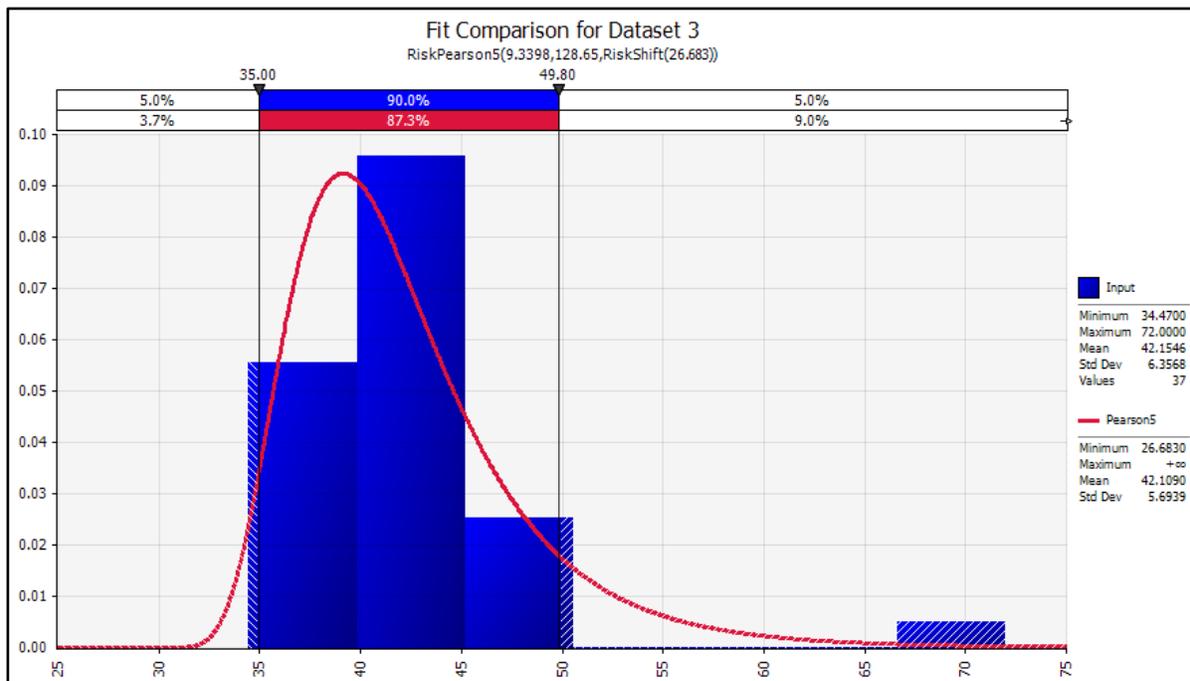
### Anexo 3 Ajuste a distribución

#### PRUEBAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN CON @RISK

Inyección

Chi Cuadrada		Anderson-Darling		Kolmogorov-Smirnov	
Fit Ranking					
Fit	Chi-Sq	Fit	Chi-Sq	Fit	K-S
Logistic	3.6757	Logistic	3.6757	Logistic	0.0885
ExtValue	4.8108	ExtValue	4.8108	LogLogistic	0.1190
LogLogistic	5.5676	LogLogistic	5.5676	ExtValue	0.1221
<b>Pearson5</b>	<b>5.9459</b>	<b>Pearson5</b>	<b>5.9459</b>	<b>Pearson5</b>	<b>0.1429</b>
Lognorm	5.9459	Lognorm	5.9459	InvGauss	0.1451
InvGauss	6.7027	InvGauss	6.7027	Lognorm	0.1455
Gamma	7.8378	Gamma	7.8378	Gamma	0.1552
Weibull	9.3514	Weibull	9.3514	Weibull	0.1560
Normal	12.3784	Normal	12.3784	Normal	0.1609
BetaGeneral	15.7838	BetaGeneral	15.7838	BetaGeneral	0.2051
Expon	16.5405	Expon	16.5405	Expon	0.2436
Pareto	19.5676	Pareto	19.5676	Pareto	0.2575
Triang	21.3784	Triang	21.3784	Triang	0.3876
Uniform	63.4595	Uniform	63.4595	Uniform	0.5834
<i>Pearson6</i>	<i>N/A</i>	<i>Pearson6</i>	<i>N/A</i>	<i>Pearson6</i>	<i>N/A</i>

**Anexo 3.1 Comparación de pruebas de bondad de ajuste  
Tiempos de inyección, Cepillo Pocket.**

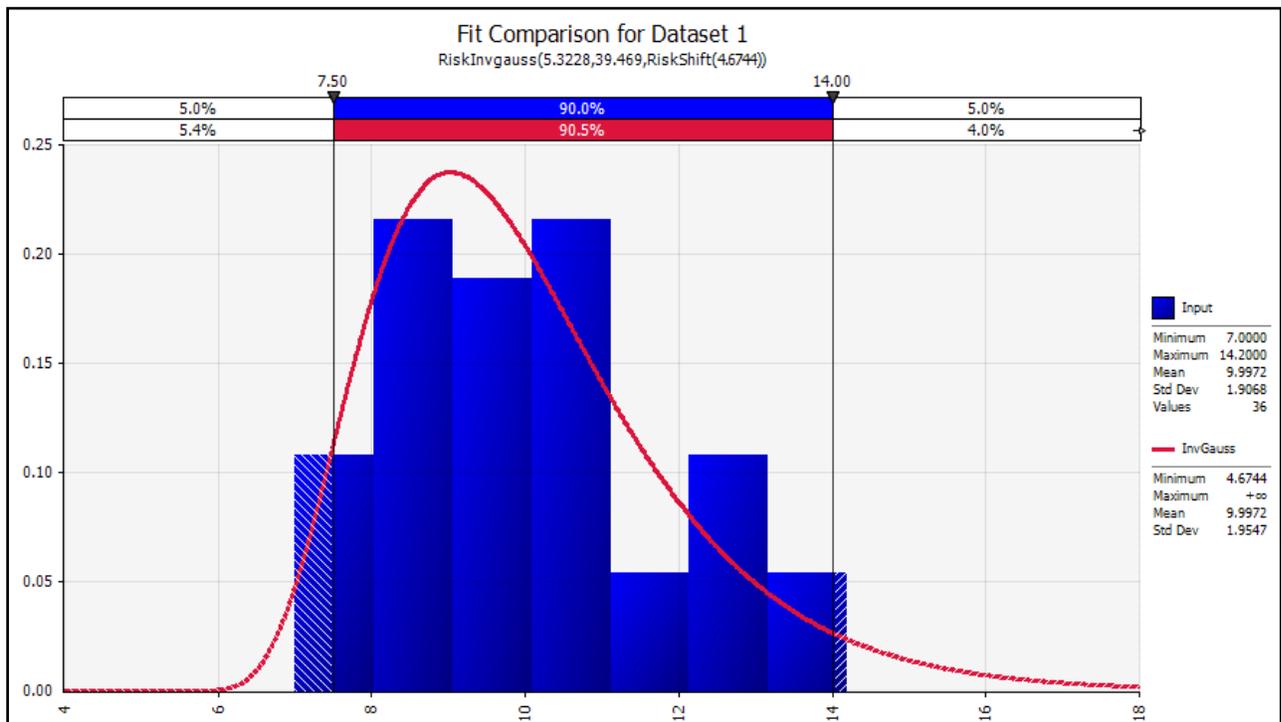


**Anexo 3.2 Ajuste a la distribución  
Tiempos de inyección, Cepillo Pocket.**

# Rebabeo

Chi Cuadrada		Anderson-Darling		Kolmogorov-Smirnov	
Fit Ranking					
Fit	Chi-Sq	Fit	A-D	Fit	K-S
LogLogistic	0.5556	Weibull	0.1672	LogLogistic	0.0608
InvGauss	0.5556	InvGauss	0.1803	InvGauss	0.0618
Weibull	0.9444	Lognorm	0.1838	Lognorm	0.0624
Lognorm	1.3333	Pearson5	0.1895	ExtValue	0.0632
ExtValue	1.3333	ExtValue	0.1906	Weibull	0.0637
Pearson5	1.3333	Triang	0.2105	Pearson5	0.0639
Triang	3.2778	LogLogistic	0.2147	Triang	0.0696
Logistic	4.0556	Logistic	0.4440	Logistic	0.0865
Normal	5.6111	Normal	0.5184	Normal	0.0896
Expon	7.9444	Uniform	1.9832	BetaGeneral	0.1728
BetaGeneral	8.1944	Expon	2.2279	Expon	0.2030
Uniform	9.5000	BetaGeneral	+Infinity	Uniform	0.2267
Pareto	13.7778	Pareto	+Infinity	Pareto	0.2281
Gamma	N/A	Gamma	N/A	Gamma	N/A
Pearson6	N/A	Pearson6	N/A	Pearson6	N/A

**Anexo 3.3 Comparación de pruebas de bondad de ajuste  
Tiempos de rebabeo, Cepillo Pocket.**

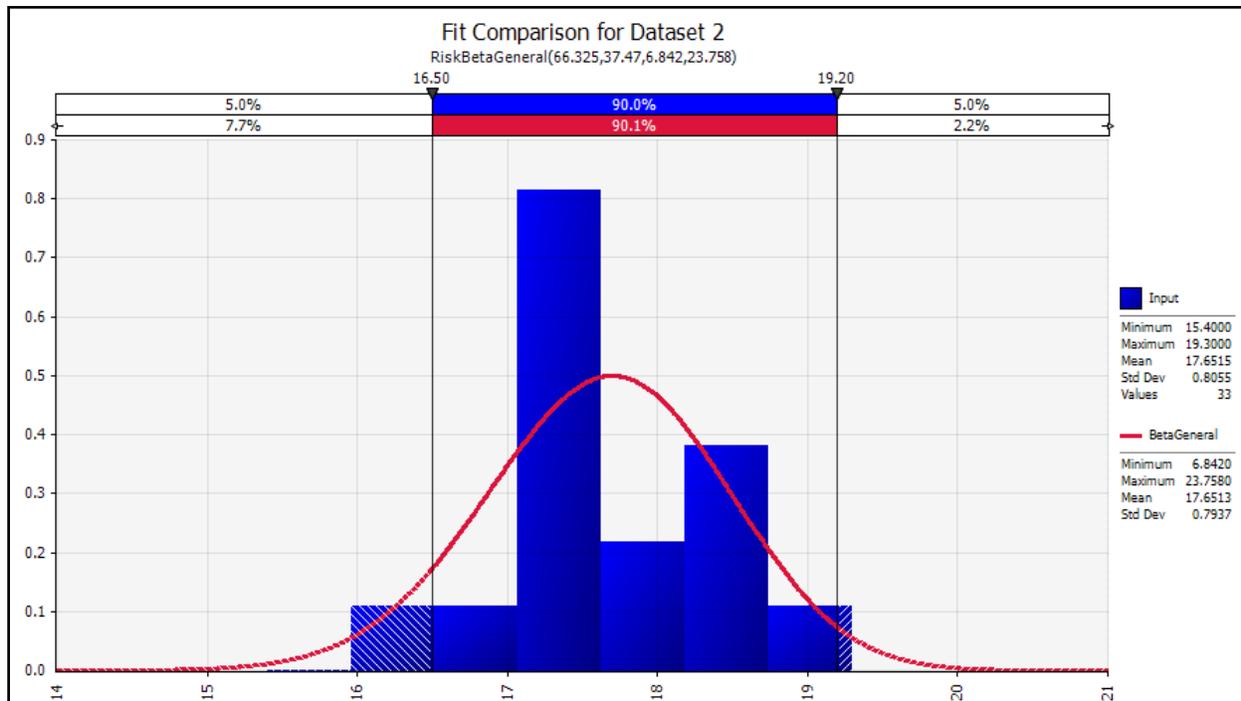


**Anexo 3.4 Ajuste a la distribución  
Tiempos de rebabeo, Cepillo Pocket.**

Insertado

Chi Cuadrada		Anderson-Darling		Kolmogorov-Smirnov	
Fit Ranking					
Fit	Chi-Sq	Fit	A-D	Fit	K-S
BetaGeneral	4.9697	Logistic	0.4349	Logistic	0.1278
Logistic	4.9697	Normal	0.5062	Normal	0.1316
Triang	9.6364	BetaGeneral	0.5306	BetaGeneral	0.1392
Normal	10.4848	Weibull	0.6174	Weibull	0.1458
Weibull	11.3333	ExtValue	1.1593	ExtValue	0.1658
ExtValue	13.8788	Triang	1.2345	Triang	0.1890
Uniform	32.1212	Uniform	3.3840	Uniform	0.3005
Expon	40.6061	Expon	7.1049	Pareto	0.4056
Pareto	45.3636	Pareto	+Infinity	Expon	0.4108
Gamma	N/A	Gamma	N/A	Gamma	N/A
InvGauss	N/A	InvGauss	N/A	InvGauss	N/A
LogLogistic	N/A	LogLogistic	N/A	LogLogistic	N/A
Lognorm	N/A	Lognorm	N/A	Lognorm	N/A
Pearson5	N/A	Pearson5	N/A	Pearson5	N/A
Pearson6	N/A	Pearson6	N/A	Pearson6	N/A

**Anexo 3.5 Comparación de pruebas de bondad de ajuste  
Tiempos de insertado, Cepillo Pocket.**



**Anexo 3.6 Ajuste a la distribución  
Tiempos de insertado, Cepillo Pocket.**