



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

## FACULTAD DE INGENIERÍA

“IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN EN LA MEJORA DE  
PROCESOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

OMAR BOLAÑOS PLATA



DIRECTOR DE TESIS:

M.I. SILVINA HERNÁNDEZ GARCÍA

2014



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVO</b> .....	2
<b>Capítulo I: MARCO TEORICO</b>	
1.1 Antecedentes de simulación.....	3
1.2 Definición de simulación.....	5
1.3 Aplicaciones de la simulación.....	5
1.4 Campos de aplicación.....	7
1.5 Factores teóricos-prácticos que definen la simulación.....	7
1.6 Metodología de la simulación.....	11
1.6.1 Formulación del problema.....	13
1.6.2 Recolección de datos para el desarrollo del modelo de simulación.....	17
1.6.3 Formular el modelo de simulación.....	20
1.6.4 Verificar el modelo de simulación.....	22
1.6.5 Diseño del experimento de simulación.....	23
1.6.6 Analizar los resultados.....	24
1.7 Ventajas y desventajas de la simulación.....	25
1.8 Software de simulación.....	27
1.9 Mejora continua.....	33
<b>Capítulo II: FORMULACION DEL PROBLEMA</b>	
2.1 Definición del problema.....	38
2.2 Recolección de datos.....	39
2.3 Diagrama Causa-Efecto.....	49
<b>Capítulo III: DISEÑO DE LA SIMULACION</b>	
3.1 Elaboración de un modelo base .....	51
3.2 Modelado de las alternativas de Simulación.....	53
3.3 Propuestas de mejora al proceso.....	57
 Conclusiones.....	 69

---



Bibliografía.....	71
Anexo 1.....	74
Anexo 2.....	102



## INTRODUCCIÓN

En el auto lavado tenemos el problema de que los tiempos desde la entrada hasta la salida son demasiado largos a comparación de otros autos que sus tiempos son más cortos, asimismo se observa que autos desertan de la línea de espera por que tardan demasiado en entrar al sistema ya que los tiempos de entrada también son largos.

Por lo tanto se desea conocer en que parte del proceso está más afectado o que es lo que provoca que los tiempos varíen tanto, para poder dar una solución.

La simulación en las últimas décadas ha visto aumentar su uso dentro del ámbito industrial y comercial debido, en buena medida, al desarrollo de las computadoras, las cuales constituyen una herramienta valiosa para la aplicación de esta técnica.

La simulación se puede emplear para el estudio de sistemas de líneas de espera, modelos de inventarios, juegos de negocios, modelos de inversión, flujos de efectivo y otros que suelen ser de gran interés.

El hecho de elaborar y aplicar una simulación acelera la comprensión del negocio del proceso o del sistema y permite explicar, capacitar, mejorar y probar cualquier posible situación o cambio en el sistema.

Con la Simulación, se pueden determinar y observar las fallas que se encuentren o se pudieran presentar en el sistema, ya que la simulación nos permite saber qué es lo que ocurriría en un proceso al modificar una o varias variables y obtener la respuesta a las preguntas *¿Qué pasaría si...?*, lo que nos permitirá obtener la mejora de resultados y hacer cualquier cambio pertinente en él.

Para la realización de este trabajo, se describirán las etapas con las que consta el proceso del auto lavado, posteriormente se formulará el problema, en el cual se recopilarán datos e informes que se tengan o correspondan, para poder dar una mejora en el tiempo promedio de servicio de lavado.

Finalmente se realizará e implementara el modelo de simulación en donde se podrá evaluar, validar y probar el modelo representativo del proceso y formular las conclusiones.



## OBJETIVO

Diseñar el proceso de un auto lavado, con la finalidad de ofrecer una disminución en el tiempo promedio de servicio de lavado, con la ayuda de la simulación, de tal forma que se pueda recomendar cambios al proceso.



# CAPÍTULO I

## Marco Teórico

### 1.1 Antecedentes de la simulación

La simulación se desarrolla con la teoría de muestreo estadístico y análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos. El aspecto común de ambos es el uso de números y muestras aleatorias para aproximar soluciones. <sup>[1]</sup>

Los orígenes de la simulación se remontan a la segunda Guerra Mundial cuando los matemáticos, J.V Neumann y S.Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para ser abordado mediante técnicas analíticas. La aproximación que eligieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado "Método de Montecarlo" por la generación de números aleatorios y el juego de la ruleta. <sup>[2]</sup>

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc. Muchos de estos problemas exigen la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron computadoras analógicas que usaban elementos electrónicos para resolver operaciones matemáticas: integración, suma, multiplicación, generación de funciones, etc. <sup>[2]</sup>

A partir de la década de los 60 aparecen en el mercado programas de simulación de sistemas de acontecimientos discretos que poco a poco se empezaron a utilizar para resolver problemas del ámbito civil. Los más destacados fueron el GPSS de IBM (General Purpose System Simulator) y el SIMSCRIPT. Los modelos de acontecimientos discretos son muy utilizados en la actualidad para estudiar problemas de fabricación, logística, transporte, comunicaciones y servicios. Estos problemas se caracterizan por centrar su interés en los cambios que hay en el sistema como consecuencia de los acontecimientos y en su capacidad para modelar los aspectos aleatorios del sistema. <sup>[2]</sup>



Fue en los 70 y principios de los 80 cuando el uso de la simulación, se expandió gracias a que la velocidad de las computadoras aumentó y los costos disminuyeran. Comenzó a enseñarse en las universidades y se dio a conocer a un mayor número de empresas. Principalmente se utilizaba para averiguar las causas de accidentes de gravedad ocurridos en empresas.<sup>[1]</sup>

En la segunda mitad de los 80 la simulación se asentó definitivamente gracias en gran parte a la aparición de las computadoras personales y la animación. Además del análisis de accidentes se empezó a utilizar también como herramienta previa al comienzo de la producción. El uso de simuladores se generalizó en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería, por ejemplo: en la predicción del tiempo y el entrenamiento de pilotos.<sup>[1]</sup>

La madurez llegó en los 90, cuando muchas pequeñas empresas comenzaron a usar la simulación en etapas tempranas de sus proyectos, donde realmente podía tener mayor impacto. La llegada de los procesadores de alta velocidad amplió el número de aplicaciones, y con ello, el número de problemas teóricos y prácticos abordables.<sup>[1]</sup>

Hoy en día, la simulación se realiza mediante computadoras y software específicos, siendo una poderosa técnica de resolución de problemas reales, se experimenta con un modelo numérico, de tal forma que con los resultados se puede obtener una estimación de las características del sistema.<sup>[1]</sup>

El uso de la simulación se ha ampliado al sector del ocio y ha entrado en el ámbito familiar con productos de software sofisticado, que utilizan muchos de los recursos de la computadora: gráficos potentes, bases de datos, computación intensiva, etc.<sup>[2]</sup>

Para añadir problemas reales se realizar una serie de simplificaciones que toman la forma de relaciones matemáticas o lógicas, constituyendo un modelo que se usa para comprender el comportamiento del sistema real. Se trata de trasladar la realidad a reglas matemáticas que lo representen de la forma más fidedigna posible.<sup>[1]</sup>

Si las relaciones matemáticas que componen el modelo son suficientemente simples, es posible usar métodos matemáticos (tales como álgebra, cálculo o teoría de la probabilidad), para obtener una información exacta de las cuestiones de interés; a esto se le llama solución analítica. Sin embargo, la mayoría de los sistemas del mundo real no pueden evaluarse analíticamente, y lo que se puede hacer, es estudiar dichos modelos mediante la simulación.<sup>[1]</sup>



## 1.2 Definición de simulación

La simulación es la utilización de un modelo de sistemas, que trata de acercarse más a las características de la realidad, a fin de reproducir la esencia de las operaciones reales. Asimismo, es la una representación de un proceso real, mediante el empleo de un modelo o sistema que reaccione de la manera similar a la que reaccionaría uno real, en un conjunto de condiciones dadas.<sup>[4]</sup>

La definición más general que se usa, se refiere a una técnica cuantitativa que utiliza un modelo matemático computarizado para representar la toma real de decisiones bajo condiciones de incertidumbre, con objeto de evaluar alternativas de acciones con base en hechos e hipótesis.<sup>[13]</sup>

Con base en lo que se mencionó anteriormente, se puede decir que la simulación, es una técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real, al crear un conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema, expresándolo en relaciones matemáticas o lógicas.<sup>[35]</sup>

Definió Robert E. Shannon, a la simulación como:

*“es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema”.*<sup>[4]</sup>

## 1.3 Aplicaciones de la simulación

Desde su aparición, la técnica de simulación ha ocupado un lugar de privilegio entre las herramientas de investigación de operaciones.<sup>[3]</sup>

Aun cuando se reconocían los enormes beneficios de la simulación como soporte a la toma de decisiones, las dificultades en la aplicación de esta técnica a la vida real de las compañías eran difíciles de realizar, ya que los modelos eran costosos de construir y validar, poco flexibles frente a condiciones inestables y habitualmente concebidos y manejados “por expertos”, no por operadores del sistema, de tal forma atentaban contra su efectiva aplicación a la problemática de las empresas.<sup>[3]</sup>



En el campo de la logística, las principales aplicaciones de la simulación se centran en:<sup>[3]</sup>

- Fenómenos de espera.
- Gestión de inventarios.
- Fiabilidad, mantenimiento y verificación de la calidad.
- Planificación, programación y Control de Proyectos.

La simulación de sistemas más popular es la de simuladores vuelo, combate, etc., o cualquier videojuego que esté programado para brindarle al usuario una sensación de realidad, como si fueran ellos mismos los que estuvieran en una misión real.<sup>[3]</sup>

En general, se puede hablar de tres tipos de aplicaciones:<sup>[1]</sup>

- *“Experimentación: Es un modelo de simulación que es necesario cuando la experimentación directa sobre el sistema real es muy costosa o imposible y cuando el objetivo es diseñar un nuevo sistema, dado que el modelo puede ir modificándose fácilmente hasta obtener el comportamiento deseado.*
- *Predicción: El modelo se puede usar para pronosticar el comportamiento del sistema real bajo ciertos estímulos. Se puede hacer así una evaluación de diferentes estrategias de acción.*
- *Enseñanza: adiestramiento de astronautas, en los juegos de negocios, etc.”*



## 1.4 Campos de aplicación

A continuación se describen algunas áreas en las que se aplica la simulación como herramienta de ayuda a la toma de decisiones estratégicas u operativas: <sup>[5]</sup>

*“Fabricación: Una de las áreas en donde tradicionalmente se ha aplicado intensivamente la simulación es en el campo de los procesos de fabricación y los sistemas de manipulación de materiales.*

*Redes de distribución: En el mundo de las corporaciones virtuales, ya no son las empresas productoras las que compiten entre sí, sino las redes de distribución, ya que dependen de un conjunto de suministradores, recursos de transporte, fábricas y almacenes para su correcto funcionamiento.*

*Transporte: Es un área con un interés creciente en las técnicas de simulación, ejemplos de simulación se pueden encontrar en todos los modos de transporte, ya sea aéreo, marítimo o terrestre. Estas empresas emplean la simulación para racionalizar sus circuitos de transporte y planificar mejor sus operaciones.*

*Sanidad: Es cada vez más fuerte la presión sobre el entorno sanitario para controlar los costos manteniendo o mejorando los niveles de servicio, el principal reto es incrementar la eficiencia en sus operaciones. La simulación es una herramienta adecuada para el análisis y la ayuda a la toma de decisiones por su capacidad para modelar estas relaciones y los factores aleatorios inherentes a estos sistemas.*

*Negocios: La simulación se aplica con éxito en el proceso administrativo propios a empresas de servicio como lo son los bancos, empresas de seguros y administración, como puede ser la circulación de documentos, la estimación de riesgos, etc.”*

## 1.5 Factores teórico-prácticos que definen la simulación

La simulación inicia con la creación de la imitación de un proceso real de cualquier naturaleza tal como de producción, administrativa, social, etc., por lo que esta imitación para la experimentación, tiene como factores que la determinan: <sup>[7]</sup>



*Restricciones:* De manera general se puede decir que las restricciones son relaciones entre las variables de decisión y magnitudes que dan sentido a la solución del problema y las acotan a valores factibles, asimismo la construcción de herramientas matemáticas que las restrinjan o las modelen. <sup>[7]</sup>

Las restricciones son las limitaciones de operación que impone una variable, en un sólo sentido, sin afectar los límites del sistema. Una restricción puede ser impuesta por el propio diseñador del sistema o estar dada por la naturaleza de la variable. <sup>[8]</sup>

*Variables:* Son las decisiones que afectan el objetivo del sistema, de manera directa a la optimización del sistema, por lo que sobre de ellas se tiene que manejar alternativas de incidencia y por tanto de su control. <sup>[7]</sup>

Para la formulación de un modelo de simulación, es necesario especificar las relaciones entre las variables. Los modelos de simulación consisten en variables de decisión, variables incontrolables y variables dependientes. Las variables de decisión están controladas por la persona que toma las decisiones y suelen cambiar de una a otra simulación, sin embargo, las variables incontrolables son eventos fortuitos que escapan al control de quienes toman las decisiones. Las variables dependientes reflejan los valores de las variables de decisión y los de las variables incontrolables. <sup>[9]</sup>

*Modelo:* La simulación de sistemas implica la construcción de modelos. El objetivo es averiguar qué pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis. <sup>[6]</sup>

Un modelo es una representación simplificada de la realidad diseñada para representar, conocer y predecir propiedades del objeto real. <sup>[11]</sup>

Los modelos se construyen con la finalidad de estudiar el objeto real con más facilidad y deducir propiedades difíciles de observar en la realidad: <sup>[11]</sup>

- *“Eliminando o simplificando componentes*
- *Cambiando las escalas espacial o temporal*
- *Variando las condiciones del entorno*
- *Evitando la actuación sobre el objeto real*
- *Representar objetos o procesos de estudio”*



Los modelos de simulación se suelen clasificar en distintos tipos de acuerdo con los siguientes criterios:<sup>[38]</sup>

- *“Modelo continuo: Se define a través de ecuaciones diferenciales, ya que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo, es decir, que las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo.*
- *Modelo discreto: En este tipo de simulación los cambios de estado del sistema pueden representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado.*
- *Modelos dinámicos: El estado del sistema que se está estudiando varía a través del tiempo. Este tipo de simulación permite observar los cambios que ocurren en el estado del sistema durante cierto tiempo específico.*
- *Modelos estáticos: Este tipo de simulación representa un resultado bajo un conjunto de situaciones o condiciones determinadas y el efecto del tiempo no se tiene en cuenta.*
- *Modelo determinístico: Son relaciones constantes entre los cambios de las variables del modelo, es decir que tanto las variables de entrada como de salida son constantes.*
- *Modelo probabilístico: Tiene por lo menos una variable de entrada, la cual es independiente, y las variables de salida, que son dependientes. Ambas variables son aleatorias.”*

*Procedimiento de la simulación.* Es el principal concepto que se tiene que comprender, este es representado por la visión teórica y la acción experimental de una manera general, donde usando una metodología establecida (Figura 1.1).



Comenta Raúl Coss Bú, que:

Las primeras etapas de un estudio de simulación se refieren a la definición del sistema a ser modelado y a la descripción del sistema de términos de relaciones lógicas de sus variables y diagramas de flujo. [4]

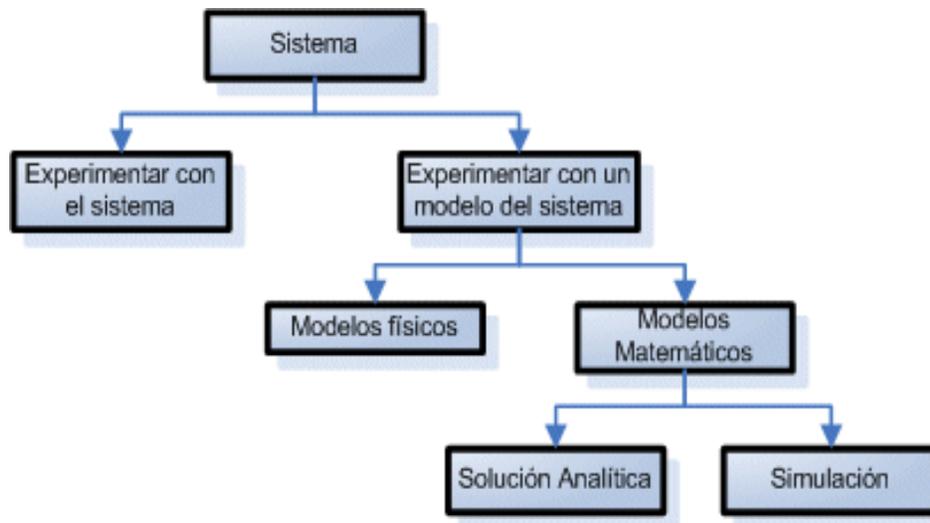


Figura 1.1 Alternativas para el estudio de un sistema [1]



## 1.6 Metodología de la simulación

La simulación se emplea sólo cuando no existe otro método que permita encarar la resolución de un problema. Siempre es preferible emplear una alternativa analítica antes que simular. Lo anterior no implica que una opción sea superior a otra, sino que los campos de acción no son los mismos. Mediante la simulación se han podido estudiar problemas y alcanzar soluciones que de otra manera hubieran resultado inaccesibles. <sup>[6]</sup>

La simulación involucra dos facetas: <sup>[6]</sup>

- 1) *“Construir el modelo.*
- 2) *“Ensayar diversas alternativas con el fin de elegir y adoptar la mejor, para el desarrollo del sistema real, procurando que sea la óptima o que por lo menos sea lo suficientemente aproximada.”*

En la planeación de la simulación, es indispensable determinar los pasos a seguir para obtener los resultados deseados desde el inicio en que se ataca el problema, para evitar inconvenientes más adelante.

Para llevar a cabo la simulación del sistema que se quiere estudiar, en general se siguen una serie de pasos, representados en el siguiente Figura1.2.

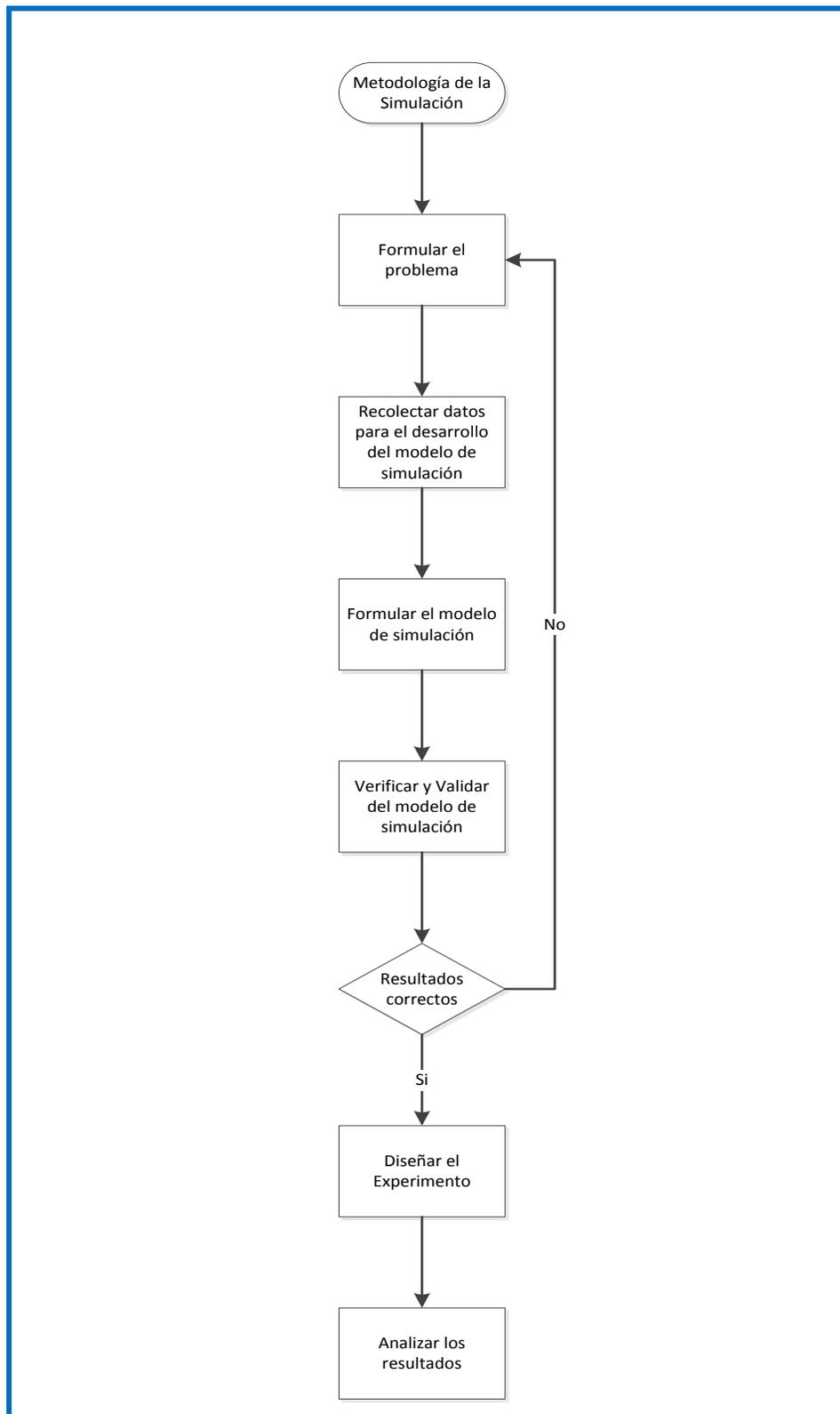


Figura 1.2 Metodología de la Simulación<sup>[10]</sup>



No necesariamente se debe seguir paso a paso este procedimiento, ya que este puede ser interactivo para que el modelo se pueda modificar en donde sea necesario (Figura 1.2), en algunas ocasiones los pasos se pueden repetir cuantas veces se crea necesario para lograr un buen modelo y efectuar la simulación.

### 1.6.1 Formulación del problema

Es necesario definir en primer lugar claramente los objetivos de nuestra investigación, antes de hacer cualquier intento encaminado a planear la realización de un experimento en simulación, como se realizó en este trabajo el objetivo es diseñar el proceso de un auto lavado, con la finalidad de ofrecer una disminución en el tiempo promedio de servicio de lavado, con la ayuda de la simulación, de tal forma que se pueda recomendar cambios al proceso. Asimismo se encuentra con frecuencia que la exposición original del problema varía considerablemente de su versión final, ya que la formulación del problema es un proceso secuencial que generalmente requiere de una formulación continua y progresiva de los objetivos de experimento durante su realización.

Esta fase es de gran importancia para poder alcanzar un modelo válido. La formulación del problema requiere de los siguientes pasos (Figura 1.3):

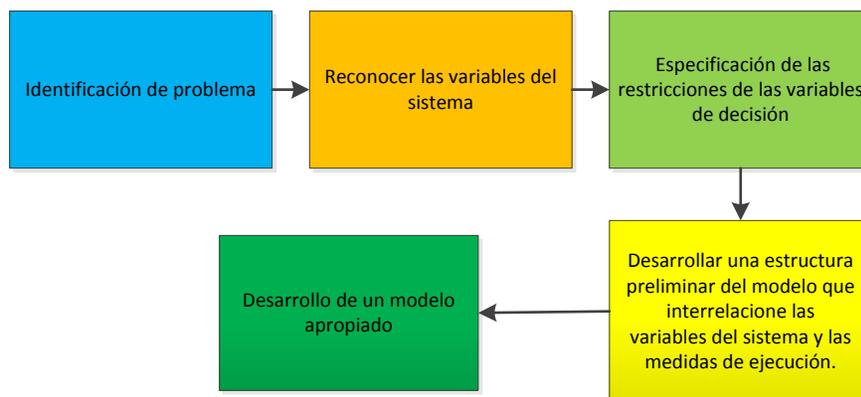


Figura 1.3 Pasos para la formulación del problema. <sup>[1]</sup>



Para poder identificar los problemas se puede usar unas preguntas como: <sup>[13]</sup>

- a) *“¿Existe un problema?”*
- b) *“¿Cuál es el marco de referencia del sistema donde se encuentra el problema?”*
- c) *“¿Cuáles son los componentes controlables del sistema y cuáles no lo son?”*
- d) *“¿Cuáles son las interrelaciones más importantes del sistema?”*
- e) *“¿Cómo se emplearan los resultados del proyecto? ¿Por quién? ¿qué efectos tendrá?”*
- f) *“¿Las soluciones tendrán efecto a corto o largo plazo?”*
- g) *“¿Podrán los efectos de las soluciones modificarse o cambiarse fácilmente?”*
- h) *“¿Cuántos elementos del sistema se afectarán por las soluciones del proyecto? ¿En qué grado?”*

- **El problema de la formulación**

En la formulación del problema, la definición es la fase más importante y se debe de realizar con elementos de la problemática que se investiga, definir un problema es señalar todos los elementos, aspectos, características en forma entendible y precisa, con el fin de que otras personas (lectores) puedan entender el proceso de la investigación. <sup>[20]</sup>

La formulación depende mucho de la creatividad y la experiencia del equipo, además que se requiere algo más que la competencia analítica, entre otros atributos, el juicio (por ejemplo, cuándo y cómo utilizar determinada técnica) y la destreza técnica en comunicaciones. <sup>[21]</sup>

Lo primero que hay que conocer y comprender es cómo funciona un proceso, definir qué, para qué, con qué, cómo y de manera importante dónde, cuándo y quién (Figura 1.4). <sup>[20]</sup>

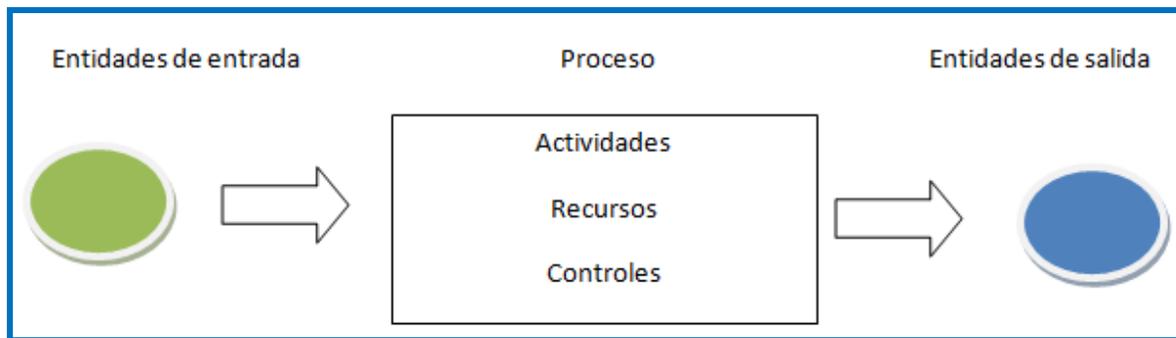


Figura 1.4 Recursos y controles del proceso [20]

Los recursos definen quién o qué realiza las actividades sobre las entidades  
Los controles definen cómo, cuándo y dónde las actividades son realizadas. [20]

- *“Con el qué: Nos referimos a los componentes del proceso.*
- *Para qué: Nos referimos al resultado de la función que realiza ese componente.*
- *Con qué: Es el modelo que trata de parecerse a un comando, una orden que se da al componente y al conjunto de efectos.*
- *Cómo: Es el tipo de funcionamiento de acuerdo a la relación que guarda en el proceso total y de acuerdo a parámetros de eficacia detectados o a establecer.*
- *Dónde: Es la definición del marco de referencia principalmente referido a las variables exógenas.*
- *Cuándo: Se refiere fundamentalmente a la oportunidad, tanto de aplicar un modelo X óptimo a la alternativa elegida, así como de llevar a cabo el experimento (considerando riesgos tanto económicos como materiales y humanos).*
- *Quién: Es tanto el personal que lleva a cabo el proceso como el analista y el personal capacitado para implementar el modelo.”*

Según Ackoff y Sasieni, las condiciones para que exista el más simple de los problemas son: [14]

- *“Debe existir por lo menos un individuo que se encuentra dentro de un marco de referencia, el cual se puede atribuir el problema del sistema.*



- *El individuo debe tener por lo menos un par de alternativas para resolver su problema, en caso contrario no existe tal problema.*
- *Deben de existir por lo menos, un par de soluciones, una de las cuales debe tener mayor aceptación que la otra en el individuo. En caso contrario, no existe el problema. Esta preferencia está asociada a un cierto objetivo dentro del marco de referencia en donde se encuentra el individuo del sistema.*
- *La selección de cualquiera de las soluciones debe repercutir de manera diferente en los objetivos del sistema, es decir existe una eficiencia y/o efectividad asociada con cada solución. Estas eficiencias y/o efectividades deben ser diferentes, puesto que de lo contrario no existe problema.*
- *Por último el individuo que toma las decisiones ignora las soluciones y/o eficiencia y/o efectividades asociadas con las soluciones del problema.”*

Si las cinco condiciones anteriores existen, entonces se tiene un problema. Esta situación puede complicarse en los siguientes casos: <sup>[14]</sup>

- *“El problema recae en un grupo, no en un individuo.*
- *El marco de referencia donde se encuentra el grupo cambia en forma dinámica.*
- *El número de alternativas que el grupo puede escoger es bastante grande, pero finito.*
- *El grupo dentro del sistema puede tener objetivos múltiples. Pero aun, no necesariamente estos objetivos son consistentes entre sí.*
- *Las alternativas que selecciona el grupo son ejecutadas por otro grupo ajeno, al cual no se le puede considerar como elemento independiente del sistema.*
- *Los efectos de la decisión del grupo pueden sentirse por elementos que aun siendo ajenos al sistema, influyen directa o indirectamente, favorable.”*

En este contexto, para formular un problema por lo menos se requiere de la siguiente información: <sup>[14]</sup>

- *“Identificar los componentes controlables de un sistema.*
- *Identificar posibles rutas de acción dadas por los componentes, controlables.*
- *Definir el marco de referencia, dado por los componentes no controlables*
- *Definir los objetivos que se persiguen y clasificarlos por su orden de importancia.*



- *Identificar las relaciones importantes entre los diferentes componentes del sistema, este paso equivale a encontrar las restricciones que existen, a la vez que permite más adelante representar estas interrelaciones en forma matemática.*
- *La identificación de la estructura del sistema (componentes, canales, interrelaciones, etc.), se hace a través de un proceso sistemático, que se conoce como diseño de sistemas.”*

El diseño de sistemas se lleva a cabo de la siguiente manera: <sup>[14]</sup>

- *“Se ubica al sistema considerándolo dentro de otro sistemas más grandes.*
- *Se determinan los componentes del sistema.*
- *Se determinan los canales de comunicación entre los componentes del sistema y de este hacia los elementos de otros sistemas que van a tener influencia directa o indirecta.*
- *Se determinan de qué manera se tiene acceso a la información requerida como se procesa esta y como se transmite entre las diferentes componentes del sistema.”*

### **1.6.2 Recolección de datos para el desarrollo del modelo de simulación**

Existen muchos métodos para la toma de datos, desde aproximaciones manuales hasta técnicas de alta tecnología. Hay aplicaciones donde poca precisión en la toma de datos no altera significativamente los resultados obtenidos y otras en las que puede cambiar completamente los resultados. Por tanto, habrá que determinar cuidadosamente el método que más conviene en cada caso. <sup>[1]</sup>

La información debe ser: oportuna, relevante y confiable. Durante la recolección de datos se necesitan los siguientes puntos: <sup>[14]</sup>

1. Número de entradas del sistema
2. Tiempos entre entradas
3. Operaciones
4. Frecuencias entre operaciones
5. Comportamiento del sistema



El primer paso en la recolección de datos es determinar los datos requeridos por construir al modelo. Este debe estar dictado principalmente por el alcance del modelo y el nivel de detalle requeridos por lograr los objetivos de la simulación. Los datos del sistema pueden ser categorizados como, datos estructurales, datos operacionales y datos numéricos. <sup>[10]</sup>

- **Datos estructurales**

Este tipo de datos se refieren principalmente a las locaciones que se analizan en el modelo, los recursos, operarios, operaciones y locaciones. La información estructural describe básicamente el esquema o configuración del sistema así como identifica los elementos que se procesan. Es importante que todos los componentes relevantes que afectan el comportamiento del sistema sean incluidos. <sup>[38]</sup>

- **Datos Operacionales**

Son aquellos que reflejan los tiempos de producción, las esperas, movimientos de material y producto, explican cómo opera el sistema, es decir, cuándo, dónde, y cómo los eventos y actividades tienen lugar. Los datos operacionales consisten de toda la lógica o información del comportamiento acerca del sistema como asignaciones de ruta, horarios, comportamiento en el tiempo fuera de servicio, y asignación del recurso. Si el proceso está estructurado y bien controlado, la información operacional es fácil de definir. Si, por otro lado, el proceso ha evolucionado en una operación informal sin ningún conjunto de reglas, puede ser muy difícil de definir. <sup>[38]</sup>

- **Datos numéricos**

Es la información con la cual se alimenta el modelo, es decir, inventarios, capacidad de las bodegas, tiempos de procesamiento por líneas, tiempos de cargue y descargue, tiempos de transporte, entre otros. Algunos valores numéricos se determinan fácilmente, como capacidades del recurso y horas de trabajo. Otros valores son más difíciles de evaluar, como el tiempo entre fallas o probabilidades de asignación de rutas. <sup>[38]</sup>



Ya con toda la información se podrá observar en tablas, gráficas, etc. a través de algún paquete computacional. Deben de tenerse en cuenta los siguientes factores: <sup>[1]</sup>

- a) *“Capacidad del operario: En muchas situaciones es suficiente con la observación directa y la recolección manual de los atributos de interés, pero otras veces puede ocurrir que la acción que se quiere observar sea muy rápida y que no sea posible realizar una observación humana.*
- b) *El impacto que pueda producir el proceso de recolección sobre el comportamiento del sistema real: cuando la medida que se quiere observar depende de una persona, su comportamiento se puede ver afectado por estar siendo observada.*
- c) *La facilidad de conversión de los datos a una representación procesable por la computadora.”*

Los datos que se van a utilizar pueden recolectarse de los siguientes medios: <sup>[14]</sup>

1.- *“Las series históricas o de tiempo: son datos útiles y de rápido procesamiento para convertirlos en información.*

2.- *La opinión de expertos: Es información subjetiva, carente de detalle y de utilidad mínima, económica y rápida de obtener cierto tipo de información complementaria.*

3.- *Los estudios de campo: son el método más efectivo, aunque más costoso y tardado, de obtener información requerida. Se requiere el diseño de una muestra estadística representativa del estudio.”*

Se tiene que poner énfasis en la recolección de datos fundamentales y estadísticas, para establecer las bases de los parámetros en el modelo. La recolección de datos es un proceso que se debe hacer continuamente ya que así se asegura la obtención de información relevante y concisa para el modelo. <sup>[15]</sup>

De esta forma, la recolección de datos es el proceso de captación de los hechos disponibles, los cuales pueden ser procesados posteriormente, cuando sean necesarios. El proceso de recolección y el almacenamiento de datos ocurren simultáneamente. <sup>[17]</sup>



Una vez realizado el muestreo, se procede al análisis de los datos. Pueden ser de dos tipos, como se observa en la siguiente tabla (Figura 1.6):

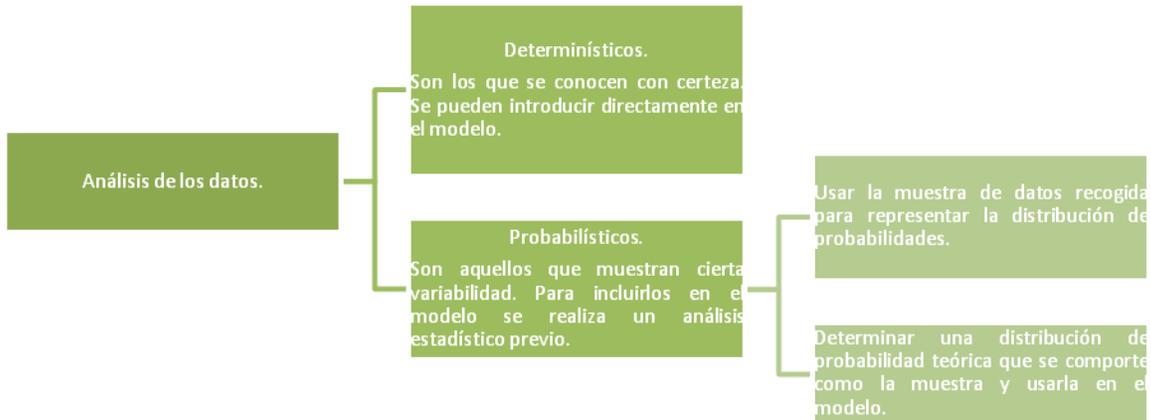


Figura 1.6 Análisis de los Datos.<sup>[16]</sup>

### 1.6.3 Formular el modelo de simulación

El modelo normalmente empieza siendo muy abstracto con respecto al sistema real, pero mientras se va definiendo la relación de los eventos se convierte en un modelo más complejo. Es importante una interacción constante con el usuario del modelo durante el desarrollo del proceso de creación para garantizar que el modelo se mantenga apegado al estudio y de esta manera obtener la credibilidad necesaria para una posterior implementación del mismo.<sup>[15]</sup>

La exactitud de la información que se usará en el modelo es de gran importancia para obtener resultados confiables. El principal punto para la realización del modelo es obtener los datos y condiciones más relevantes que puedan fundamentar el objetivo del estudio. Lo más importante es tener en claro la relación entre el modelo y el propósito por el cual fue hecho.<sup>[15]</sup>

Para desarrollar un modelo, se debe conocer antes en profundidad el comportamiento del sistema. Dos de las técnicas más usadas para ello son:<sup>[16]</sup>

1. “Aproximación de Flujo Físico. Consiste en identificar las entidades del sistema (los elementos cuyo procesamiento constituye el propósito



*principal del sistema) y los caminos o rutas que se siguen a lo largo del sistema, obteniendo así un diagrama de flujo de entidad.*

- II. *Aproximación de Cambio de Estado. En esta aproximación, se utilizan variables de estado que describen el estado del sistema en cada momento y el concepto de suceso o evento, que es un instante particular en el tiempo en el que el sistema cambia de estado. El estado futuro del sistema puede determinarse conociendo los valores actuales de las variables de estado, los valores actuales de las variables del sistema y la estructura del modelo. La evolución del sistema se puede representar mediante una gráfica de sucesos.”*

A la hora de construir el modelo hay que realizar cuatro pasos principalmente: <sup>[16]</sup>

1. *“Elección Mecanismo de avance del tiempo. Fundamentalmente se puede plantear el avance del tiempo de dos maneras:*

*Incrementos fijos de tiempo: el estado del modelo se comprueba cada vez que transcurre un intervalo fijo de tiempo que se seleccione.*

*Incrementos por los eventos (N.E.T.A., Next Event Time Advance): el estado de modelo se actualiza solamente cuando ocurre un evento. Lógicamente el incremento de tiempo es variable, ya que los eventos no ocurren en tiempos constantes.*

2. *Elección de un Lenguaje de programación. Existen numerosos lenguajes de programación para la implementación de la simulación: ProModel, Crystal Ball, Witness simulation, Process model, etc.*
3. *Generación de números y variables aleatorias. Para representar variables de entrada probabilísticas se necesitan muestras aleatorias. Los números utilizados en simulación no son totalmente aleatorios, se producen a partir de algoritmos determinísticos. Estos algoritmos vienen incluidos en los lenguajes de simulación, y en los de propósito general se pueden incluir sin mayor dificultad.*
4. *Implementación y depuración del modelo. Dependiendo del lenguaje de programación que se escoja para realizar la simulación esta etapa presentará mayores o menores dificultades debido a las particularidades de cada uno de los lenguajes.”*



Una vez que se dispone de un modelo correcto, este puede ser utilizado para analizar y evaluar cómo afectarían ciertos cambios al rendimiento del sistema, tanto en su organización como en las políticas de gestión de recursos compartidos, antes de que dichos cambios sean aplicado al sistema real.<sup>[6]</sup>

El modelo requiere un programa de cómputo que en nuestro caso, se utiliza el ProcessModel, más adelante se detallará por que se llevo a la decisión de utilizar este.

Con el programa ya elegido se procesaran los datos recolectados y se espera obtener una serie de resultados deseados, que nos dirá el propio sistema si es factible aplicarlo o no.

#### **1.6.4 Verificar y Validar el modelo de simulación**

La verificación es un proceso continuo a lo largo de todo el proceso de simulación. Es necesario esperar hasta que el modelo este totalmente terminado para poder comenzar la verificación. Este proceso es uno de los principales para la confiabilidad de los resultados y el éxito del proyecto.<sup>[38]</sup>

Los modelos son representaciones numéricas de un sistema que no están sujetas a una sola forma, por ello su validación no resulta muy fácil ya que implica complejidades de tipo práctico, teórico y estadístico.<sup>[18]</sup>

Este paso debe realizarse en todas las fases del modelado: modelo conceptual, modelo lógico y un modelo de computadora.<sup>[1]</sup>

- a) *“Verificar: Consiste en ver cuál es la consistencia interna del modelo.*
- b) *Validación: Consiste en asegurar que existe una correspondencia entre el sistema real y el modelo. Para comprobar que efectivamente existe, se pueden comparar las salidas que da el modelo ante determinadas entradas y las que da el sistema real. La comprobación última para la validez de un modelo es ver cómo el modelo puede predecir un comportamiento futuro del sistema ante unas determinadas entradas.”*



En esta etapa se valoran las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real que se está tratando de simular. Las formas más comunes de validar un modelo son:<sup>[19]</sup>

- La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
- La exactitud con que se predicen datos históricos.
- La exactitud en la predicción del futuro.
- La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
- La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

### 1.6.5 Diseño del experimento de simulación

El objetivo de la experimentación con el modelo es obtener información acerca del comportamiento del sistema que nos ayude en la toma de decisiones. Habitualmente suele ser imposible explorar todas las posibles soluciones, por lo que para obtener la mejor es recomendable seguir alguna estrategia.<sup>[1]</sup>

A continuación se proponen dos de las más habituales:<sup>[1]</sup>

- 1) *“Conjunto de experimentos predeterminado: se trata de una aproximación que impone identificar factores que podrían afectar a la medida de salida y ejecutar los experimentos con determinados valores para dichos factores. Una vez realizados los experimentos se aplicaría un análisis de la varianza (ANOVA), para decidir cuál o cuáles de los factores seleccionados tienen realmente algún impacto en la medida de salida.*

*Las medidas de salida se pueden adaptar de forma que las suposiciones estadísticas de esta técnica se satisfagan de forma razonable y puedan ser aplicadas en la experimentación del modelo.*

*El uso de un conjunto predeterminado de experimentos es efectivo si se puede aproximar una región de optimización con experimentos previos o con la experiencia que se tenga sobre el problema. Sin embargo, esta técnica no puede conducir a la mejor solución global, ni siquiera puede garantizar un óptimo local.*



- 2) *Técnicas de búsqueda de óptimos: Un conjunto de estas técnicas se conoce como Metodología de Superficie de Respuesta (RSM). Usando varias estrategias se pueden alcanzar puntos altos en el terreno, y quizás llegar a la cumbre. Una estrategia es el método de escalado ascendente, requiere que el modelo se ejecute varias veces para poder determinar qué dirección (qué cambios en los valores de los factores) parece conducir a un incremento en la altitud (incremento en la variable de respuesta). Las variables de decisión se van cambiando de esta forma y el proceso continúa hasta que ya no se pueda llegar más alto, en ese momento se ha alcanzado un óptimo local o global.”*

### **1.6.5 Analizar los resultados**

Para conseguir estimaciones útiles la muestra debe ser representativa del comportamiento de sistema y debe ser lo suficientemente grande. El tamaño de la muestra es importante ya que la precisión de las estimaciones depende de la varianza de la media de la muestra, y la varianza cambia de forma inversamente proporcional al tamaño de la muestra (si se cuadruplica el tamaño de la muestra la desviación estándar se reduce a la mitad).<sup>[1]</sup>

Se pueden realizar dos tipos de análisis con un modelo de simulación:<sup>[1]</sup>

- *“Análisis para sistemas con punto de finalización: la ejecución del modelo finaliza cuando ocurre un evento específico y se toma una muestra por ejecución. Por ejemplo un banco, abre por la mañana y al final del día cierra, empezando al día siguiente de nuevo desde cero, con el banco vacío.*
- *Análisis para sistemas sin punto de finalización (sistemas en estado de equilibrio o estacionario): el interés está en las medias de las medidas de comportamiento de ejecuciones largas, después de que el sistema ha pasado por un periodo de comportamiento transitorio en el que las medidas no son representativas. Por ejemplo una empresa de coches, no abre ni cierra, deja de trabajar determinados días pero al volver a abrir continúa el trabajo donde lo dejó.”*

En ambos casos, las condiciones iniciales (estado del sistema al empezar la ejecución) pueden influir en la estimación de las medidas de comportamiento.<sup>[1]</sup>



La información del modelo deberá estar bien documentada, es decir, que se lleve un registro de todos los resultados relacionados con el modelo. Esto facilitará la elaboración de reportes y le permitirá al creador del modelo tomar alternativas de mejora. <sup>[15]</sup>

La utilización de gráficas proporcionadas por la simulación es de gran ayuda para tomar decisiones respecto al problema que se está analizando. <sup>[15]</sup>

En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación con cuya base se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtiene de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a obtener mejores resultados. <sup>[14]</sup>

## 1.7 Ventajas y desventajas de la simulación

Cuando se va a decidir si hacer o no una simulación hay que tener en cuenta dos puntos importantes; cuanto tiempo se le va a dedicar a hacer este y que tan caro puede ser para la empresa. Con estos puntos tomados en cuenta se tiene que ver si es conveniente hacer la simulación o es mejor hacer un modelo analítico.

### **Ventajas:** <sup>[18]</sup>

- Mediante modificaciones internas y externas, permite conocer cómo reacciona el sistema y cómo se comporta.
- Se puede entender mejor como funciona un sistema por medio de la simulación.
- El uso de la simulación puede ser utilizado para experimentar nuevas situaciones, de las que no se tiene información suficiente, por lo que ayudaría al mejor entendimiento de dicho sistema y a conocer el comportamiento de éste.
- También nos ayuda a conocer cómo reacciona un sistema al introducir nuevos elementos.
- La técnica de simulación puede ser utilizada como instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadísticos, análisis teórico, etc.



- En algunas ocasiones se puede tener buena representación de un sistema (como por ejemplo los juegos de negocios), y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.
- En la simulación se tiene control sobre las variables para así poder generar las condiciones necesarias para cumplir con los objetivos.
- La simulación permite las preguntas del tipo qué pasaría si ... A los administradores les gusta saber con anticipación cuáles opciones son atractivas. Con una computadora, el administrador puede aprobar diversas decisiones de políticas en cuestión de minutos.
- Las simulaciones no interfieren con el sistema real. Podría ser muy perjudicial, por ejemplo, experimentar con nuevas políticas o ideas en un hospital, escuela o planta de manufactura. Gracias a la simulación, los experimentos se llevan a cabo en el modelo, no dentro del sistema mismo.
- La simulación permite el estudio del efecto interactivo de componentes individuales o variables para determinar cuáles son importantes.
- Es posible realizar una “compresión de tiempo” mediante la simulación. Se puede obtener el efecto de ordenar, publicitar o aplicar otras políticas a lo largo de muchos meses o años mediante una simulación por computadora en corto tiempo.

#### **Desventajas:**<sup>[18]</sup>

- Es muy costosa, por necesitar de equipo de cómputo y de recursos humanos.
- Se pueden obtener resultados falsos si no se tienen las variables correctas.
- La simulación es imprecisa, porque no siempre se logra simular toda la realidad.
- Existe la posibilidad de que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y esto crea dificultad en vender la idea.
- Cada modelo de simulación es único. Sus soluciones generalmente no son transferibles a otros problemas.
- Los buenos modelos de simulación para manejar situaciones complejas pueden ser muy caras. Frecuentemente, el desarrollo de un modelo es un proceso largo y complicado. Por ejemplo, se puede emplear meses o incluso años para desarrollar un modelo de planeación corporativa.



## 1.8 SOFTWARE DE SIMULACION

A continuación describiré algunos de los paquetes de simulación de los más usados, sus características y cuáles son sus ventajas y desventajas a la hora de usarlos, además de que algunos son más complejos que otros y nos ayuda a saber a qué tipos de simulaciones están más enfocados estos software.

### **GASP IV** <sup>[23]</sup>

GASP IV es un lenguaje de simulación desarrollado por Alan B. Priestker y N. Hurst en 1973. Es un lenguaje híbrido porque puede ser usado para programadores de simulación discretos, continuos y combinados; siendo el primero en integrar completamente estos dos ambientes de función del tiempo.

*Es un lenguaje de simulación basado en FORTRAN que proporciona el marco para los sistemas de modelado que implica ambos fenómenos continuos y discretos. Cerca de 30 subrutinas y funciones que proveen numerosas facilidades, incluyendo:*

- Rutinas de avance del tiempo,
- Gestión de listas de eventos futuros,
- Adición y remoción de entidades.
- Colección de estadísticas.
- Generadores de variables aleatorias.
- Reporte estándar.

### **SIMSCRIPT** <sup>[24]</sup>

Desarrollado para apoyar un proyecto de la Fuerza Aérea RAND por H. Markowitz en los inicios de los sesenta en el cual consta de las siguientes partes:

- Preámbulo
- Programa principal
- Rutinas de eventos.



- Rutinas ordinarias.

SIMSCRIPT es el más adecuado para la construcción de modelos de simulación de sistemas de soporte de decisiones en diversas áreas de aplicación:

- Aplicaciones militares, sistemas C4ISR, juegos de guerra, etc.
- Redes de comunicación, análisis de rendimiento y optimización
- Transporte y Fabricación
- Control de inventario y planificación logística
- Los mercados financieros

### **SIMAN** <sup>[25]</sup>

Es un lenguaje útil en la realización de un modelo de sistemas complejos de manufactura, se desarrolla entre el modelado y el experimento; en el primero se describe las componentes del sistema y sus interacciones y en el segundo se definen las condiciones del experimento (longitud de la corrida, condiciones iniciales).

SIMAN modela un sistema discreto usando la orientación al proceso; es decir, en un modelo de sistema particular, se estudian las entidades que se mueven a través del sistema. Una entidad para SIMAN es un cliente, un objeto que se mueve en la simulación y que posee características únicas conocidas como atributos. Los procesos denotan la secuencia de operaciones o actividades a través del que se mueven las entidades, siendo modeladas por el diagrama de bloques.

Se construye un diagrama de flujo, seleccionando y combinando bloques. Después, interactivamente, usando un editor especial se activa el generador automático de las sentencias del modelo desde el ambiente gráfico.

Algunas de sus ventajas que nos muestra este software es que su tiempo de programación es muy corto porque se trata de lenguajes sintéticos basados en programación por bloques o subrutinas, incluso algunos de ellos encaminados al usuario de tal forma que ya no es indispensable programar.



También nos permite definir y entender el sistema a simular gracias a que se tiene una visibilidad superior de la estructura general del modelo y se aprecian más fácilmente las interrelaciones.

Y las desventajas con las que nos encontramos es que es necesario invertir tiempo y capacitación de los programadores que lo lleguen a usar ya que es un poco complejo aparte de invertir en el software que sus costos son elevados.

### **SLAM II** <sup>[26]</sup>

Es un lenguaje de simulación por el cual se pueden construir modelos con orientación al proceso o al evento. SLAM fue desarrollado en 1979 por Dennis Pedge y Alan Pritsker. La parte de SLAM que se orienta a los procesos el cual emplea una estructura reticular compuesta por símbolos de nodos y ramas tales como colas, servidores y puntos de decisión, incorporando los símbolos a un modelo de red representando al sistema en donde las entidades pasan a través de la red. SLAM contiene un procesador que convierte la representación visual del sistema a un conjunto de sentencias.

La parte orientada a los eventos permite incluir rutinas en FORTRAN para las relaciones lógicas y matemáticas que describen los cambios en los eventos, puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones sobre las cuales tiene poca información.

En sus características que menciona es que es un lenguaje que proporciona una red de símbolos, contiene subprogramas de apoyo y especifica la estructura, permitiendo al analista desarrollar modelos de un proceso de interacción.

En sus desventajas que no muestra es q no genera soluciones óptimas a problemas de análisis cuantitativos, las soluciones e inferencias no son usualmente transferibles a otros problemas.

### **Oracle Crystal Ball** <sup>[27]</sup>

Es una aplicación basada en hojas de cálculo, líder para modelaje predictivo, previsión, simulación y optimización. Le da una visión sin precedentes sobre los factores críticos que afectan el riesgo de su análisis. Con Crystal Ball, se puede tomar las decisiones correctas y formular tácticas para alcanzar sus objetivos y tener ventajas competitivas, incluso en las condiciones de mercado más inciertas.



Usando la simulación de Monte Carlo, Oracle Crystal Ball calcula automáticamente y registra los resultados de miles de diferentes "y si". El análisis de estos escenarios le revela el abanico de resultados posibles, su probabilidad de ocurrencia, los insumos con mayor impacto en su modelo y dónde debe enfocar su esfuerzo para obtener mejores resultados.

Oracle Crystal Ball está diseñado para planeadores estratégicos, analistas financieros, ingenieros, científicos, empresarios, contadores, gerentes de marketing, inversionistas, consultores, profesionales de Six Sigma y cualquier otra persona que utilice hojas de cálculo para predecir resultados inciertos:

Obteniendo conocimientos valiosos: Identificando y mitigando los factores clave que regulan el riesgo; obteniendo resultados rápidamente, mejorando la inversión: en la tecnología de hojas de cálculo.

Finalmente Oracle Crystal Ball es usado en el modelaje predictivo, simulación de Monte Carlo y proyecciones, el cual para poder ser utilizado a mayor capacidad requiere de muchos complementos.

### **Arena** <sup>[28]</sup>

Es un evento discreto simulación de software de simulación y automatización de software desarrollado por Modelado de Sistemas y adquirida por Rockwell Automation en 2000.

En Arena, se construye un experimento de un modelo mediante la colocación de módulos (cajas de diferentes formas) que representan procesos o lógica. Las líneas de conexión se utilizan para unir los módulos entre sí y especifica el flujo de las entidades. Mientras que los módulos tienen acciones específicas relativas a las entidades, de flujo y de tiempo, la representación exacta de cada módulo y de las entidades con respecto a los objetos de la vida real está sujeta al modelador. Los datos estadísticos, como el tiempo de ciclo y los niveles de WIP (trabajo en proceso), se pueden grabar y emiten los informes.

Arena puede ser integrado con las tecnologías de Microsoft, Incluye Visual Basic para aplicaciones para los modelos pueden ser aún más automatizado si se necesitan algoritmos específicos. También es compatible con la importación de Microsoft Visio diagramas de flujo, así como la lectura de salida o de hojas de cálculo Excel y bases de datos de acceso, Hosting controles ActiveX también es compatible.



## **Tecnomatix Plant** <sup>[29]</sup>

Tecnomatix Plant Simulation es una herramienta de simulación de eventos discretos que ayuda a crear modelos digitales de sistemas de logística, que permite la exploración de las características de los sistemas y la optimización de su rendimiento. Estos modelos digitales permiten llevar a cabo experimentos y trabajar con escenarios hipotéticos sin afectar a los sistemas de producción existentes mucho antes de instalar los sistemas de producción en sí. Las completas herramientas de análisis, tales como análisis de cuellos de botella, estadísticas y diagramas, permiten evaluar distintos escenarios de fabricación. Los resultados proporcionan la información necesaria para tomar decisiones fiables con rapidez, en las primeras fases de la planificación de producción.

Plant Simulation permite modelar y simular los sistemas de producción y sus procesos, además mediante la simulación en planta, se puede optimizar el flujo de materiales, la utilización de recursos y la logística en todos los niveles de planificación, desde las instalaciones de producción global a las plantas locales o líneas específicas.

Sus Principales capacidades y beneficios son:

- Modelos orientados a objetos con estructura jerárquica.
- Arquitectura abierta con varios soportes de interfaces.
- Gestión de bibliotecas y objetos.
- Optimización basada en algoritmo genético.
- Análisis y simulación de consumo de energía.
- Análisis automático de los resultados de simulación.
- Generador de informes basado en HTML.
- Ahorro por tanto como 6% en la inversión inicial.
- Aumento de la productividad del sistema existente por tanto como 20%.
- Reducción del coste de nuevos sistemas por tanto como 20%.
- Optimización del consumo de recursos y su reutilización.
- Reducción de inventarios entre por tanto como 60%.
- Reducción del tiempo de producción por tanto como 60%.
- Optimizar los sistemas de reducción del consumo de energía.



### **ProModel** <sup>[30]</sup>

Es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc. En él se puede simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, etc.

En teoría, cualquier sistema de procesos puede ser modelado en computadora, solo se necesita de esfuerzo e ingenio, además de las herramientas que nos permitan plasmar nuestro pensamiento, en el cual se pueda crear un modelo para todo tipo de procesos de manufactura, una vez realizado este, se podrá simular sobre él una gran cantidad de situaciones como Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de Empujar y Jalar, Logística y muchas otras más. ProModel es un paquete de simulación que no realiza solamente el simulado, sino también optimiza los modelos ingresados, éste puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros claves del modelo. Así mismo se puede determinar la mejor combinación de factores para maximizar producción, minimizando costo, minimizar el número de camiones sin penalizar el servicio.

#### Ventajas

- Único software de simulación con Optimización plenamente integrada
- Creación de modelos rápida, sencilla y flexible.
- Entrenamiento en Español.
- Resultados probados.
- Integración a Excel, Lotus, Visual Basic y herramientas de Microsoft.

### **ProcessModel** <sup>[37]</sup>

ProcessModel incluye todo lo que se necesita para hacer el mapeo, similar, analizar y mejorar los procesos. Algunas de las principales características que incluye en software son:

- Modulo de diagramas de flujo: Su diagrama de flujo puede también incluir múltiples capas que ayudan en la construcción del modelo.
- Evaluador de actividades críticas: Después de simular el modelo, puede mostrar gráficamente los 10 lugares más importantes donde las entidades gastan la mayor parte del tiempo esperado.



- Objetos de modelos: Para agregar funcionalidades especiales puede copiar muy rápidamente una colección de objetos de modelos pre-construidos en su modelo.
- Simulación animada: Anima la simulación permitiendo ver el movimiento de objetos a través del proceso.
- Exportación a Excel: Exporta tanto los datos operacionales del modelo como los reportes y de resultados a Excel.
- Bibliotecas de formas: Incluye cientos de formas almacenadas en bibliotecas individuales.
- Escenarios: Permite crear fácilmente múltiples escenarios ¿Qué pasaría si? Para probar propuestas de cambios.
- Optimización: Permite al sistema correr automáticamente múltiples escenarios para encontrar los parámetros óptimos del modelo que produzcan una salida deseada.
- Arribos o llegadas de entidades: Permite establecer diferentes tipos de arribos o llegadas de entidades al proceso.
- Rutas: Permite usar múltiples tipos de rutas.
- Editor de turnos: Permite crear y asignar turnos a los recursos y actividades en su modelo.

Sus características y la forma sencilla de simular lo hace el software más conveniente para este trabajo, además de ser fácil de manipular y permitir que los cambios se realicen con facilidad.

## 1.9 Mejora Continua

La mejora continua es una herramienta que sirve para cualquier proceso o servicio, la cual permite un crecimiento y optimización de factores importantes de la empresa que mejoran el rendimiento de esta en forma significativa. Una vez que la mejora continua determina las variables de mayor impacto al proceso y servicio se les debe dar seguimiento en forma constante y se establece un plan para ir mejorando poco a pocos las variables. <sup>[31]</sup>

Entre los temas que se pueden mejorar con las herramientas de Mejora Continua se destacan: <sup>[31]</sup>

a) Mejorar la higiene industrial y salud ocupacional de la empresa.



- b) Mejorar la calidad de los productos y servicios.
- c) Mejorar la eficacia y la eficiencia de los procesos.
- d) Aumentar la satisfacción de los clientes.
- e) Mejorar el entrenamiento de los nuevos empleados.
- f) Detectar no conformidades y establecer acciones correctoras.
- g) Disminuir reclamos de los clientes.
- h) Mejorar indicadores de medio ambiente

La mejora continua se comporta como un instrumento que resulta ser la base de todo desarrollo de los procesos. Sirve para cualquier estrategia de una organización, pudiendo convertirse en el esqueleto del modelo de gestión que vayamos a utilizar, el cual se utiliza el ciclo PDCA (Planear, hacer, verificar y actuar).<sup>[32]</sup>

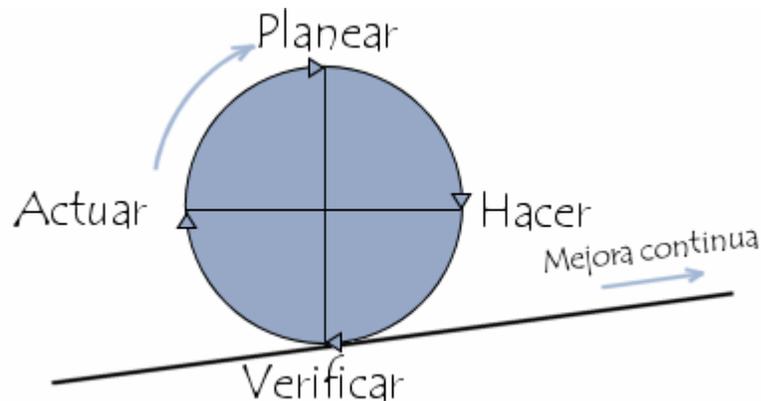


Figura 1.4 Mejora continua<sup>[32]</sup>

La interpretación de este ciclo es sencillo, cuando se busca obtener algo, lo primero que hay que hacer es planear cómo hacerlo y conseguirlo, después se procede a realizar las acciones planeadas (hacer), a continuación se comprueba qué tal se ha hecho (verificar) y finalmente se implementan los cambios pertinentes para no volver a incurrir en los mismos errores (actuar). Nuevamente se empieza el ciclo planificando su ejecución pero introduciendo las mejoras provenientes de la experiencia anterior.<sup>[33]</sup>



### **Planear**

- Organizar el trabajo
- Identificación del problema y planificación.
- Observaciones y análisis.
- Establecimiento de objetivos a alcanzar.
- Establecimiento de indicadores de control.

### **Hacer**

- Correcta realización de las tareas planificadas
- Preparación exhaustiva y sistemática de lo previsto.
- Aplicación controlada del plan.
- Verificación de la aplicación.

### **Verificar**

- Comprobación de los logros obtenidos
- Verificación de los resultados de las acciones realizadas.
- Comparación con los objetivos.

### **Actuar**

- Posibilidad de aprovechar y extender aprendizajes y experiencias adquiridas en otros casos
- Analizar los datos obtenidos.
- Proponer alternativa de mejora.
- Estandarización y consolidación.
- Preparación de la siguiente etapa del plan.

Lo deseable es mejorar un poco día a día, y tomarlo como hábito, y no dejar las cosas tal como están, si al contrario se tiene un rendimiento irregular no se pueden predecir los resultados de la organización, porque los datos e información, no son fiables ni homogéneos. Cuando se detecta un problema, la respuesta y solución, ha de ser inmediata. No nos podemos demorar, pues podría originar consecuencias fatales. <sup>[34]</sup>



La mejora continua implica tanto la implantación de un Sistema como el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una filosofía de gestión, y la participación activa de todas las personas. <sup>[34]</sup>

Cuando se realiza la mejora continua son muy pocos quienes obtienen buenos resultados en sus primeros intentos. Para obtener buenos resultados se tienen una sucesión de fracasos en los que se puede aprender y para ello hay que medir, no sólo los resultados, sino las acciones que nos llevan a ello. Porque sólo es posible superarse en lo que se puede medir. Y ésta es la esencia de la mejora continua, poder ir midiendo con todo nivel de detalle lo que se va haciendo para ser capaces de perfeccionarlo. <sup>[39]</sup>

Sin un medidor que indique el lugar donde reside el error, tanto en el proceso como en el resultado final, lo más probable es que el fracaso se repita. Al tomar métricas es posible ir mejorando y aproximando los resultados a la meta que se desea alcanzar. <sup>[39]</sup>

La mejora continua de cada una de las partes o de cada uno de los retos u objetivos específicos permite lograr lo que se había planteado inicialmente e incluso llegar a superarlo. Es la esencia de la mejora continua ya que, al final, esta medición se lleva cabo sobre las tareas o las partes de los procesos que se consideran críticos para conseguir el objetivo marcado. <sup>[39]</sup>

Al tener una serie de fracasos al realizar la mejora continua, se pierde tiempo o puede llegar a costar dinero y hasta la credibilidad del que está a cargo de la mejora continua si esta no sale como lo planeado, es por eso que con ayuda de la simulación se pueden hacer todas las modificaciones deseadas y ver si realmente son factibles o no, y así no se correría el riesgo de perder dinero o tiempo. <sup>[39]</sup>

En este caso también se usaría el PDCA, con una pequeña modificación, agregándole la simulación ya que si esta no arroja los resultados como lo planeado o simplemente no es factible en el sistema, no se realizan las modificaciones.

La simulación es de gran utilidad ya que podemos hacer todas las innovaciones que queramos sin tener que afectar al sistema y conocer si es correcta la decisión que se toma al alterar este, así mismo al observar los datos que arroje la simulación se opta por la opción que más convenga, ya teniendo la idea de cómo



va a funcionar sin tener que hacerlo al tanteo esperando un resultado y obteniendo otro.

La mejora continua que se usaría en el trabajo del auto lavado quedaría de la siguiente forma:

### **Planear**

- Organizar el trabajo.
- Identificación del problema y planificación.
- Observaciones y análisis.
- Establecer los objetivos y procesos necesarios.
- Determinar métodos y tecnología a usar.
- Establecimiento de indicadores de control.

### **Simular**

- Identificar tipo de simulador a usar de acuerdo a los objetivos.
- Correcta recolección de datos.
- Realizar un modelo de simulación y aplicarlo.
- Evaluar, validar y analizar el modelo de simulación.

### **Hacer**

- Decidir la mejor opción a utilizar formulada por la simulación.
- Implementar las mejoras.
- Aplicación controlada del plan.
- Verificación de la aplicación.

### **Verificar**

- Realizar el seguimiento y medir los procesos obtenidos.
- Comprobación de los resultados, comprándolos con los objetivos.
- Monitorear la Implementación y evaluar el plan de ejecución documentando las conclusiones.

### **Actuar**

- Realizar acciones para mejorar continuamente.
- Analizar los datos obtenidos.
- Preparación de la siguiente parte del plan.



## CAPÍTULO II

### Formulación del problema

#### 2.1 Definición del problema

De acuerdo con el capítulo anterior tenemos varias preguntas para apoyarnos y comenzar a definir el problema una de ellas sería:

a) ¿Existe un problema?

Respondiendo a esta interrogante, en el auto lavado, tenemos el problema de que los tiempos desde la entrada hasta la salida son demasiado largos a comparación de otros autos que su tiempos son más cortos, asimismo se observó que autos desertan de la línea de espera por que tardan demasiado en entrar al sistema ya que los tiempos de entrada también son largos.

Por lo tanto se desea conocer donde el sistema está más afectado o que es lo que provoca que los tiempos varíen tanto, para poder dar una solución.

b) ¿Cuáles son los componentes controlables del sistema y cuáles no lo son?

Los componentes controlables del sistema sería la maquina que lava los autos, siendo este un mecanismo automatizado y por consiguiente siempre tiene el mismo tiempo y no afecta al sistema.

Los componentes que no se pueden controlar son los empleados, debido a que los tiempos de lavado son diferentes, ya que algunos empleados son más rápidos que otros al realizar cada actividad.

¿Las soluciones tendrán efecto a corto o largo plazo?

Las soluciones que se encuentren se podrían ver reflejadas a corto plazo ya que el sistema ay que sistematízalo para que los tiempos ya no varíen tanto y así el proceso mejore.



## 2.2 Recolección de datos

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información, los cuales pueden ser la entrevistas, la encuesta, el cuestionario, la observación y diagramas de flujos.

Es una de las tareas más importantes en la etapa de análisis de sistemas de información pues de ello depende el resultado que se obtenga.

Es el segundo paso a seguir según nuestra metodología para simular, después de haber formulado el problema, en este punto se tomaron en cuenta diferentes aspectos de acuerdo a los planes de limpieza que realiza el auto lavado, llamado “CAR WASH, GRAN PREIMO”, el cual proporciona 3 tipos de lavado los cuales son:

<b>EXPRESS</b>
LAVADO CON ESPUMA ACTIVA
ABRILLANTADOR EN LLANTAS Y LIMPIEZA EN RINES

<b>RALLY</b>
LAVADO CON ESPUMA ACTIVA
LIMPIEZA DE VIDRIOS INTERIORES Y EXTERIORES
ASPIRADO DE INTERIORES
APLICAR ABRILLANTADOR EN TABLERO
ABRILLANTADOR EN LLANTAS Y LIMPIEZA EN RINES

<b>GRAN PREMIO</b>
LAVADO CON ESPUMA ACTIVA
SECADO CON TEFLON PARA CARROCERÍA
ASPIRADO DE INTERIORES Y CAJUELA
LIMPIEZA DE VIDRIOS INTERIORES Y EXTERIORES
APLICAR ABRILLANTADOR EN TABLERO
ABRILLANTADOR EN LLANTAS Y LIMPIEZA EN RINES



- **Diagrama de flujo**

Como se menciona en el párrafo anterior, nos apoyaremos en un diagrama de flujo para poder observar los pasos que se siguen desde que el automóvil entra al sistema hasta que sale, asimismo ver qué pasos se realizan dependiendo el tipo de lavado que se le hace a cada auto y así poder tener una mejor recolección de datos.

El diagrama de flujo o diagrama de actividades es la representación gráfica o proceso, de alguna actividad.<sup>[36]</sup>

Estos diagramas utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin de proceso.<sup>[36]</sup>

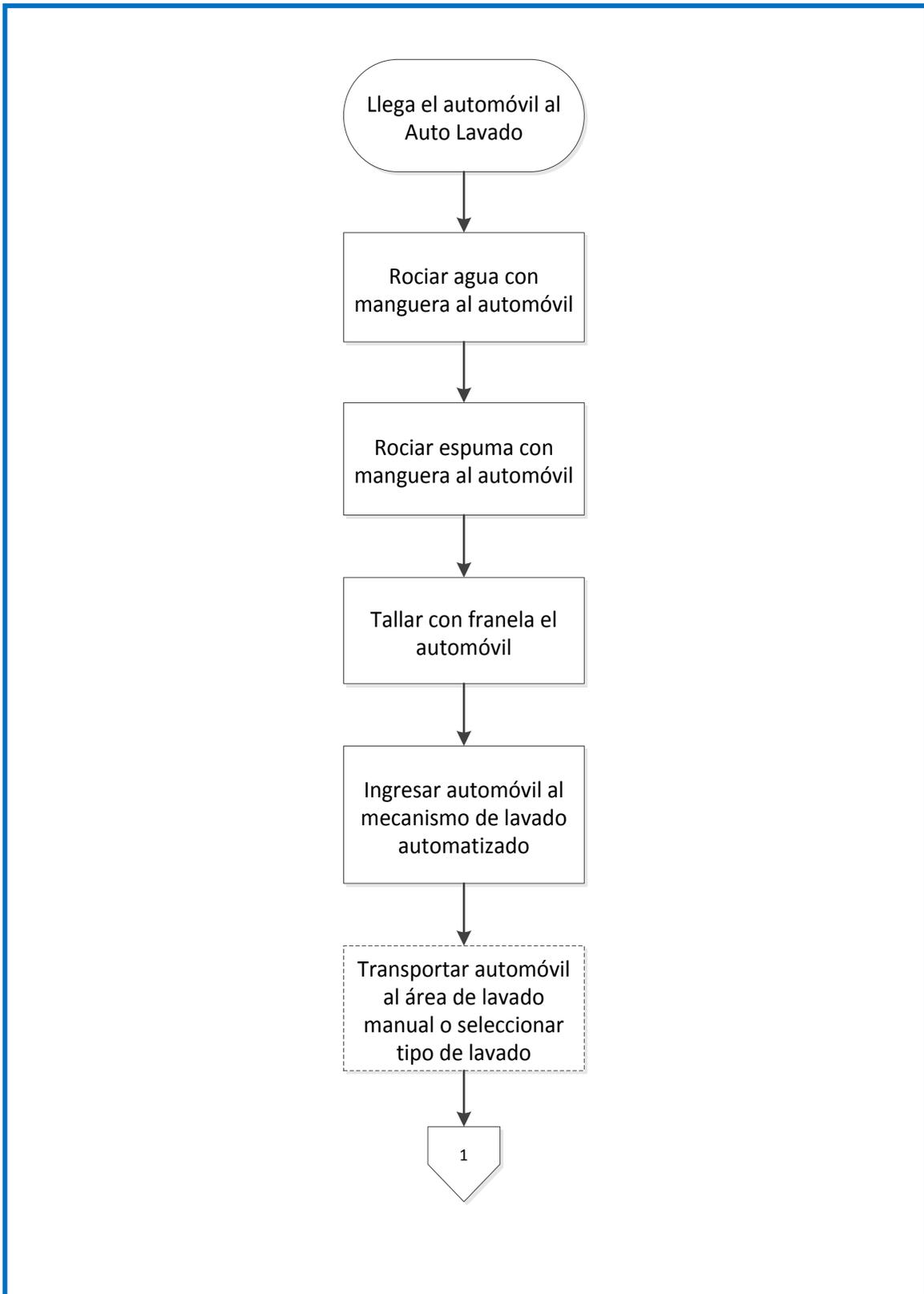
Un diagrama de flujo presenta generalmente un único punto de inicio y un único punto de término, aunque puede tener más, siempre que cumpla con la lógica requerida.<sup>[36]</sup>

Las siguientes son acciones previas a la realización del diagrama de flujo:<sup>[36]</sup>

Identificar las ideas principales al ser incluidas en el diagrama de flujo. Deben estar presentes el autor o responsable del proceso, los autores o responsables del proceso anterior y posterior y de otros procesos interrelacionados, así como las terceras partes interesadas.

- Definir qué se espera obtener del diagrama de flujo.
- Identificar quién lo empleará y cómo.
- Establecer el nivel de detalle requerido.
- Determinar los límites del proceso a describir.

En nuestro diagrama de flujo (Figura 2.1) se muestran los pasos a seguir en el auto lavado, este se construyó llevando una secuencia cronológica y describiendo con exactitud el proceso, identificando las actividades principales, ya por último después de este paso solo es cuestión de recrearlo en nuestro simulador lo mejor posible para que arroje resultados los más cercanos a la realidad y así poder identificar los cambios que podamos realizar para que este sea un auto lavado eficaz y eficiente.



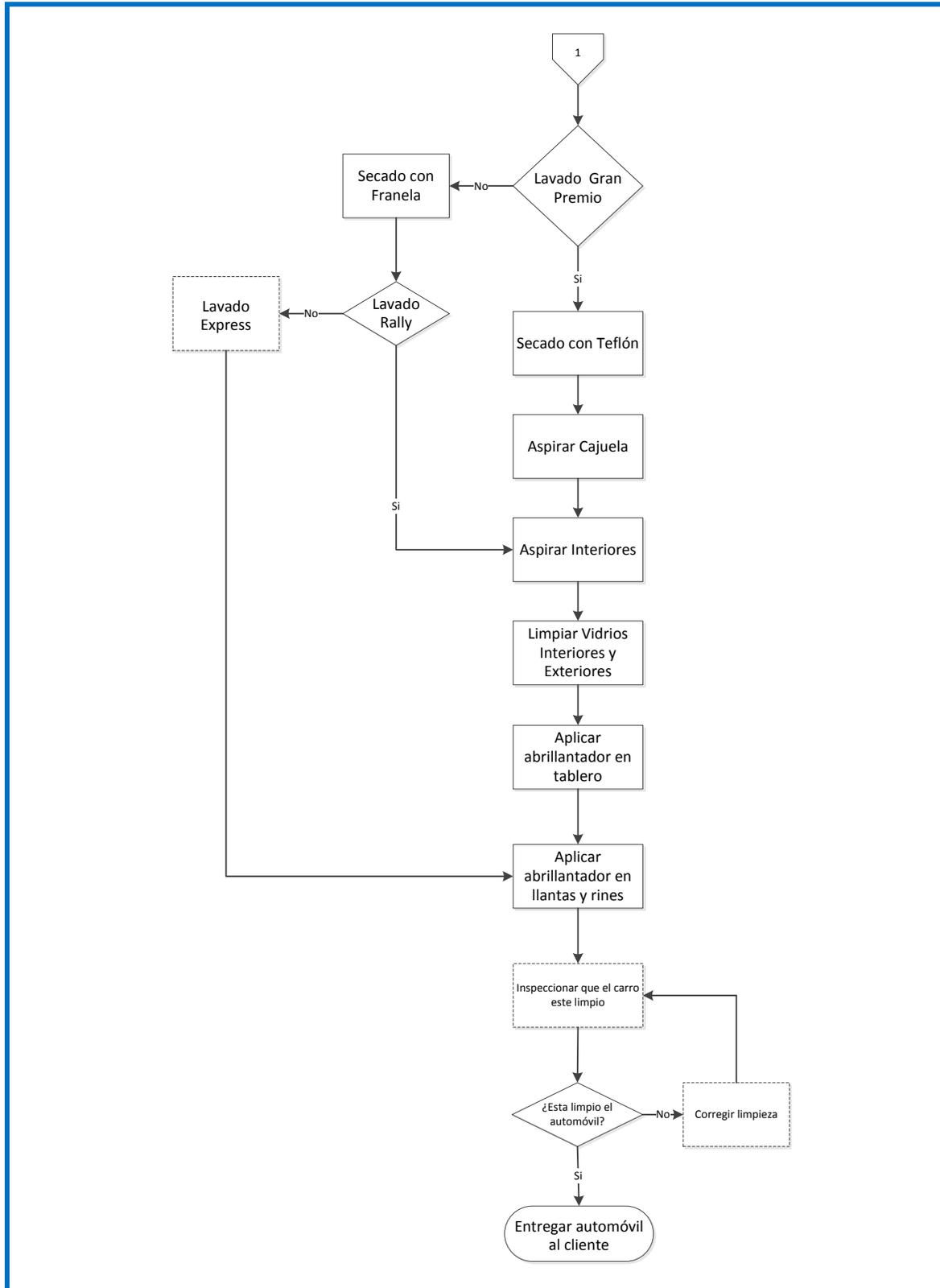


Figura 2.1 Diagrama de flujo



También nos podemos apoyar con los siguientes diagramas (Figura 2.2 y 2.3) en donde se pueden observar las operaciones que hace el operador y el mecanismo de auto lavado.

El Diagrama de actividades múltiples es un diagrama en el que se registran las actividades de varios objetos de estudio (operario, maquina o equipo) según una escala de tiempos común para mostrar la relación entre ellas.

Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Gran Premio		Tipo de vehiculo		Carro	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	11.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	11.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	11.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	22.8	Secar con teflón	4.79			
	5.7	Aspirar cajuela	2.16			
	11.4	Aspirar interiores	9.01			
	11.4	Limpiar vidrios interiores y exteriores	2.31			
	2.5	Aplicar abrillantador en tablero	2.68			
	7.5	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	11.4	Revisa que el automóvil este limpio	1.10			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	130.9		29.14			1.76

Figura 2.2 Diagrama de actividades múltiples

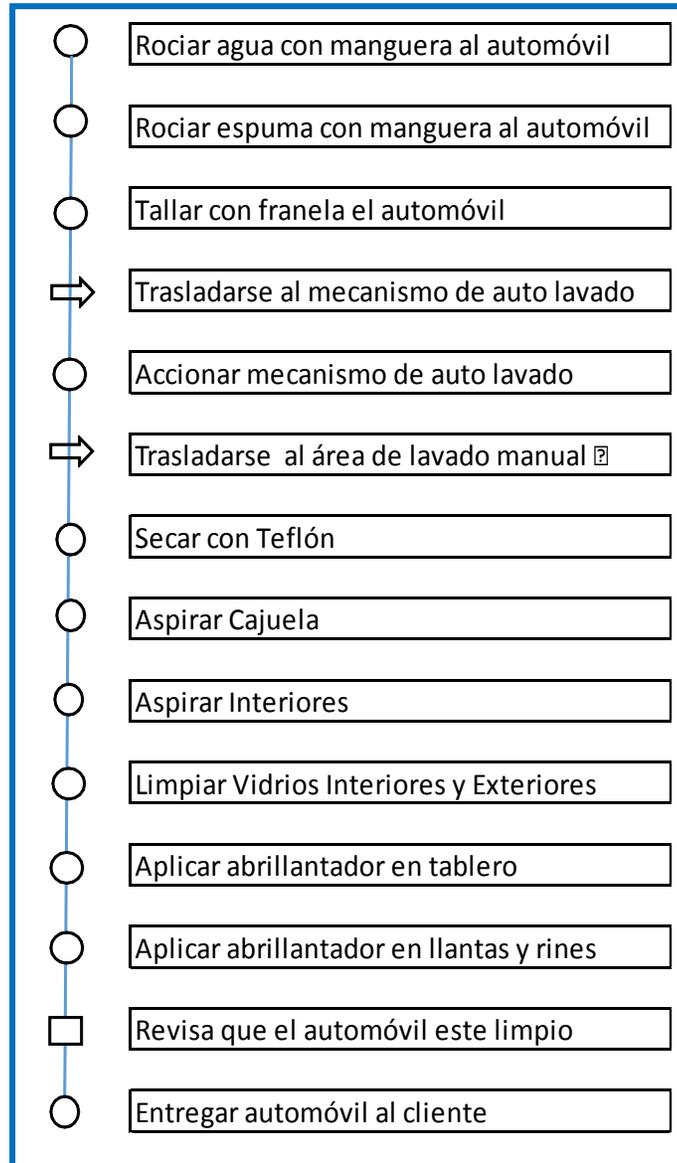


Figura 2.3 Diagrama de actividades operador Gran Premio

Los diagramas restantes se muestran en el anexo 2.



- **Datos Generales del Auto-Lavado**

- El horario del Auto-Lavado es de 8:00 a 19:00 horas de lunes a domingo.
- La maquinaria que utilizan es: Hanna Sherman International I.N.C

Los datos fueron recolectados mediante la observación, ya que no se cuenta con ningún documento o toma de datos anteriores del tiempo de cada una de las actividades o no se especifica cuanto tiempo se debería tardar en cada una de las actividades que se realizan para el lavado de los autos.

Datos proporcionados por el encargado del Auto-Lavado:

Derivado de la encuesta que le realice al encargado, esta fue la información que me proporciono:

Personas trabajando en el auto lavado 7.

En promedio recibe 87 autos/camionetas de lunes a viernes y

100 autos/camionetas sábados y domingos.

- El tipo de lavado que más solicitan los clientes es el Rally, en la siguiente tabla se pueden observar los porcentajes de cada uno de los tipos de lavado de acuerdo a los datos que proporciono el encargado del auto lavado:

<b>Tipo de lavado</b>	<b>%</b>
EXPRESS	35
RALLY	40
GRAN PREMIO	25

El tiempo que el mecanismo de auto lavado tarda en lavar los autos es de 1.76 minutos.



En las tablas siguientes se observan algunos de los datos recolectados para realizar este trabajo de tesis, para el cual se tomo una muestra representativa de 32 autos y 32 camionetas.

TIEMPO (min)				
AGUA	ESPUMA	TALLADO	TIPO DE VEHICULO	MECANISMO DE AUTO LAVADO
1	0.81	1.02	CARRO	1.76
0.83	0.58	1.3	CARRO	
0.75	0.59	1.15	CAMIONETA	
1.41	0.41	1.17	CAMIONETA	
0.77	0.63	1.81	CARRO	
1.03	0.49	0.9	CAMIONETA	
1.28	0.71	1.59	CARRO	

TIEMPO (min)							
SECADO CON FRANELA	SECADO CON TEFLON	ASPIRAR CAJUELA	ASPIRADO	LIMPIAR VIDRIOS	ABRILLANTADOR TABLERO	ABRILLANTADOR LLANTAS	TIPO DE LAVADO
2.43						1.05	EXPRESS
4.32			7	2.47	2.44	2.03	RALLY
4.14			10.33	2.5	2.33	3.16	RALLY
3.17	4.66	1.1	9.54	2.71	2.11	2.26	GRAN PREMIO
2.15						1.07	EXPRESS
4.99	5.88	3.1	11.33	3.06	3.33	1.44	GRAN PREMIO
4.43	4.37	2.46	7.7	2.48	2.34	3.28	GRAN PREMIO



De acuerdo a la toma de datos recolectados se realizaron pruebas de independencia, con el programa de stat-fit, en las cuales se observa que los datos de cada actividad son independientes (Anexo 1).

En la siguientes tablas se muestra el número de empleados que realizan cada una de las actividades, así como su respectiva distribución que se utilizo para cada actividad de acuerdo al ajuste de datos, que de igual manera se realizó con la ayuda del programa stat-fit (Anexo 1).

ACTIVIDAD	NUMERO DE EMPLEADOS
Rociar agua	2
Rociar espuma	
Tallar con franela	
Mecanismo de auto lavado	
Secado con franela	5
Secado con teflón	
Aspirar cajuela	
Aspirar interiores	
Limpiar vidrios	
Aplicar abrillantador en tablero	
Aplicar abrillantador en llantas	

ACTIVIDAD	TIEMPO DE SERVICIO (Distribución)
Rociar agua	Pearson6(0.75,6.38e+003,1.77,3.6e+.004)
Rociar espuma	Beta(0.41,0.81,1.21,0.801)
Tallar con franela	Beta(0.9,1.81,0.701,0.544)
Secado con franela	Beta(2.08,4.83,1.1,1.96)
Secado con teflón	Uniforme(3.66,5.83)
Aspirar cajuela	Beta(1.1,3.1,1.3,1.12)
Aspirar interiores	Power Function(7,11.3,0.975)
Limpiar vidrios	Weibull(2.05,1.46.0.308)
Aplicar abrillantador en tablero	Power Function(2.1,3.37,0.889)
Aplicar abrillantador en llantas	Johnson SB (1.05,2.37,4.04e-002,0.537)



En la siguiente tabla se muestran las distribuciones para las actividades de secado de franela, secado con teflón, aspirado de interiores y el de limpiar vidrios que se utilizaron en camionetas, siendo las actividades en donde los tiempos son diferentes a la de los carros, en las demás actividades los datos de las camionetas con los de los carros son iguales.

ACTIVIDAD	TIEMPO DE SERVICIO (Distribución)
Secado con franela	Beta(3.08,6.78,1.05,0.863)
Secado con teflón	Beta(4.66,6.83,1.11,0.904)
Aspirar interiores	Rayleigh(8,1.82)
Limpiar vidrios	Beta(2.5,4.05,1.28,787)

Los arribos de los autos se tomaron de lunes a domingo, teniendo de lunes a viernes en promedio 87 autos/camionetas y para sábado y domingo 100 autos/camionetas en promedio, tomando en consideración que los que entran al auto lavado 70% son carros y 30% camionetas en diferentes horarios de llegadas, como se muestra en la siguiente tabla.

DISTRIBUCCION DE ARRIBOS DE CARROS		
DIA	HORARIO	NUMERO DE CARROS
LUNES A VIERNES	8:00 – 11:00	10
	11:00 – 14:00	11
	14:00 – 17:00	30
	17:00 – 19:00	9
SABADO Y DOMINGO	8:00 – 11:00	7
	11:00 – 14:00	12
	14:00 – 17:00	40
	17:00 – 19:00	10



DISTRIBUCCION DE ARRIBOS DE CAMIONETAS		
DIA	HORARIO	NUMERO DE CARROS
LUNES A VIERNES	8:00 – 11:00	4
	11:00 – 14:00	4
	14:00 – 17:00	12
	17:00 – 19:00	4
SABADO Y DOMINGO	8:00 – 11:00	4
	11:00 – 14:00	5
	14:00 – 17:00	15
	17:00 – 19:00	4

### 2.3 Diagrama Causa-Efecto

Este diagrama también se le conoce como diagrama Ishikawa o diagrama de pescado. Diagrama Causa-Efecto (Figura 2.5), nos ayuda para realizar una lluvia de ideas y poner las posibles variables que afectan nuestra condición actual en el proceso a realizar.<sup>[12]</sup>

Usando este diagrama nos podemos dar cuenta que nuestro problema principal son los tiempos muy largos de servicio.

Cuando se ha identificado el problema a estudiar, es necesario buscar las causas que producen la situación anormal. Cualquier problema por complejo que sea, es producido por factores que pueden contribuir en una mayor o menor proporción. Estos factores pueden estar relacionados entre sí y con el efecto que se estudia. El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en el poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.<sup>[22]</sup>

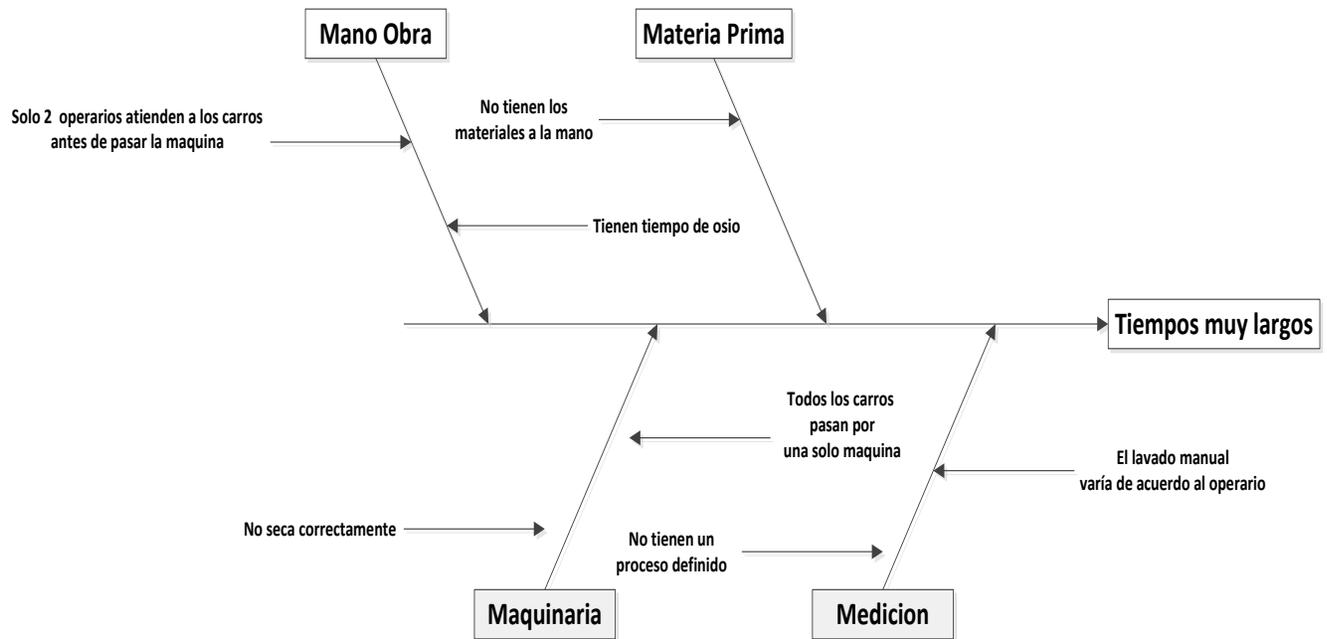


Figura 2.4 Diagrama causa-efecto

De acuerdo al diagrama causa-efecto, se observa que una de las causas es que solo se cuenta con una máquina de auto lavado para el servicio de todos los autos, lo que genera el primer cuello de botella, esto de acuerdo a los datos recolectados, generando una cola de hasta 12 autos, lo que provoca atraso en el proceso; para lo cual surge la siguiente pregunta ¿Será necesario agregar una maquina más para que los tiempos promedio disminuyan? o ¿Será suficiente con la contratación de un empleado más?



## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA SIMULACION

#### 3.1 Elaboración de un modelo base

Para la aplicación de nuestro modelo base se tomo como el diagrama de flujo del proceso del auto lavado (Figura 2.1), para implementarlo en el simulador, para posteriormente agregar los tiempos en cada una de las actividades, los cuales aparecen en el capítulo II, asimismo se fueron realizando algunas modificaciones para poder darle forma de acuerdo a las necesidades, de tal forma que los resultados que el sistema arroje se apeguen a los datos que fueron recolectados, lo que nos permitirá determinar si estos cumplen con lo esperado.

En la siguiente figura 3.1 se puede observar el diseño del modelo del auto lavado en el simulador, en donde se observa que es muy parecido a nuestro diagrama de flujo, como se mencionó en el párrafo anterior, solo con algunas modificaciones, lo que nos permitirá observar cada una de las actividades que se realizan en el auto lavado.

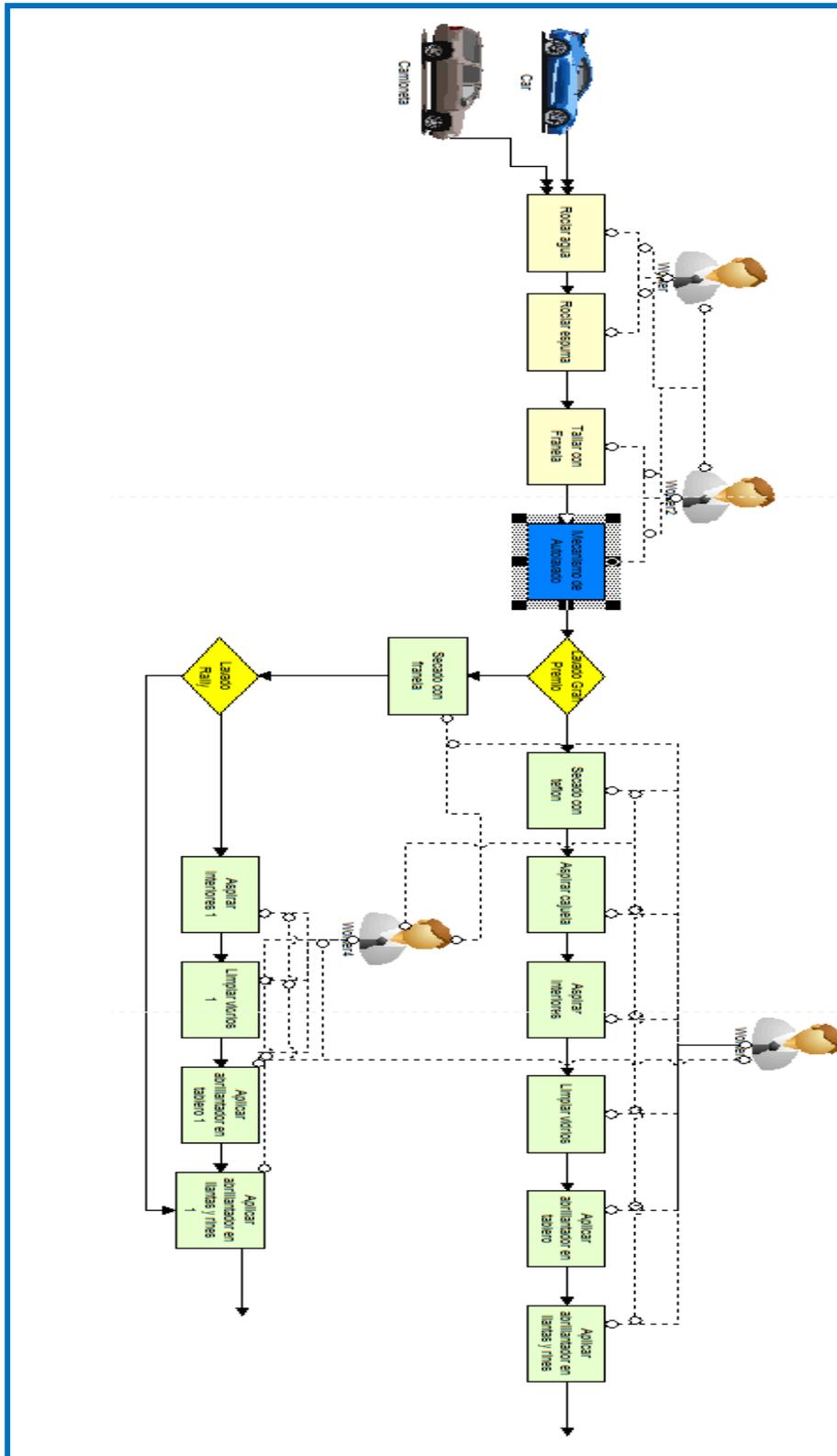


Figura 3.1 Diseño del modelo



### 3.2 Modelado de las alternativas de simulación

Para evaluar y validar el modelo se realizaron varios diseños de estos, los cuales fueron comparados con los datos recolectados; con base a ello se obtuvo el modelo final (figura 3.1), en donde los datos arrojados por la simulación fueron los más cercanos a los recolectados como se muestran en las siguientes tablas.

<b>Tiempo promedio de datos recolectados sin tiempos muertos</b>	
carros	20.77 min
camionetas	23.99 min
<b>Tiempo promedio de datos recolectados con tiempos muertos</b>	
carros	40.55 min
camionetas	44.41 min

<b>Tiempo promedio de simulación sin tiempos muertos</b>	
carros	20.30 min
camionetas	23.67 min
<b>Tiempo promedio de simulación con tiempos muertos</b>	
carros	40.45 min
camionetas	44.69 min

De tal forma una vez habiendo comparando los datos se determino que el modelo está libre de errores lógicos, de programación y de errores de construcción del modelo, llegando a la conclusión de que con el modelo que se presenta en este trabajo ya se podía trabajar y realizar modificaciones en la simulación para hacer mejoras con relación en los tiempos.

En la siguiente figura 3.2 (Corrida de Simulación), se muestra como se lleva a cabo la simulación y el avance de los carros que entran en el sistema, en el cual como ya se menciono anteriormente se uso una relación de 70% carros y 30% camionetas a la entrada del sistema, de acuerdo a nuestra recolección de datos, fue lo que se estableció para esta.

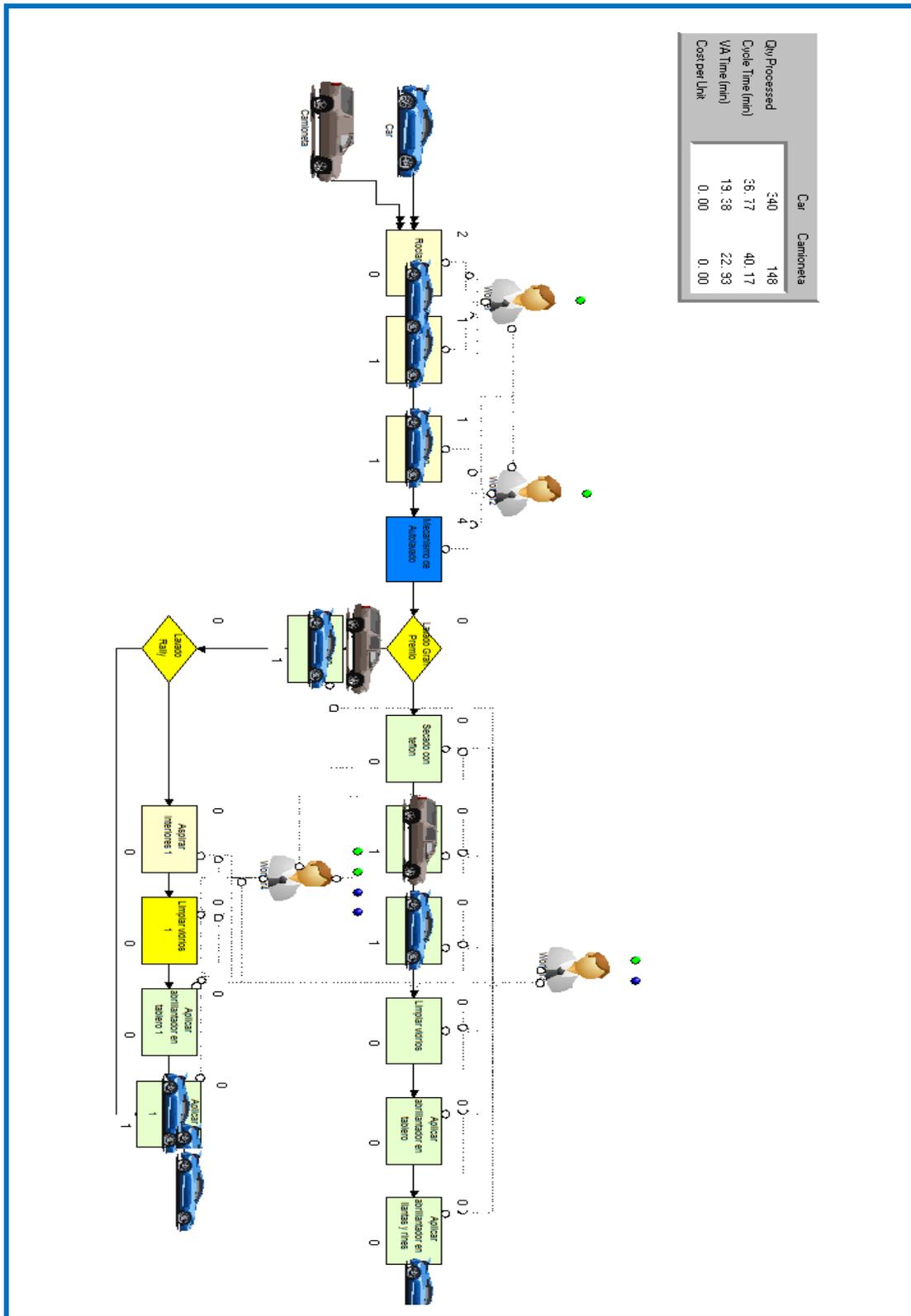


Figura 3.2 Corrida de Simulación



Los datos arrojados por la simulación aparecen en las siguientes tablas (Figuras 3.3 y 3.4 (Resultados de Simulación)), en las cuales se pueden observar la capacidad de cada actividad, así como la cola que se puede llegar hacer en cada una de estas, el tiempo promedio en el proceso, la cantidad de entidades procesadas. El modelo se simuló a 168 horas, lo que equivale a 7 días, obteniendo con esto un panorama de lo que sucede en el auto lavado en una semana.

Simulation Time : 168 hr

---

ACTIVITIES

Activity Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents
Rociar agua inQ	168	999	635	0.20	0.01	3
Rociar agua	168	2	635	1.06	0.06	2
Rociar espuma inQ	168	999	635	0.20	0.01	3
Rociar espuma	168	2	635	0.63	0.04	2
Tallar con Franela inQ	168	999	635	0.23	0.01	2
Tallar con Franela	168	2	635	1.42	0.08	2
Mecanismo de Autolavado inQ	168	999	635	1.14	0.07	9
Mecanismo de Autolavado	168	1	635	1.76	0.11	1
Lavado Gran Premio inQ	168	999	635	0.0	0	1
Lavado Gran Premio	168	1	635	0.0	0	1
Secado con teflon inQ	168	999	150	0.74	0.01	2
Secado con teflon	168	5	150	5.08	0.07	3
Secado con franela inQ	168	999	485	0.78	0.03	5
Secado con franela	168	5	485	3.70	0.17	4
_Lavado Rally inQ	168	999	485	0.0	0	1
_Lavado Rally	168	1	485	0.0	0	1
Aspirar Interiores inQ	168	999	150	0.42	0.0	2
Aspirar Interiores	168	2	150	9.58	0.14	2
Limpiar vidrios inQ	168	999	150	0.30	0.0	1
Limpiar vidrios	168	2	150	2.68	0.04	2
Aplicar almorol en tablero inQ	168	999	150	0.93	0.01	2
Aplicar almorol en tablero	168	2	150	2.72	0.04	2

Figura 3.3 Resultados de Simulación



ENTITY SUMMARY (Times in Scoreboard time units)				
Entity Name	Qty Processed	Average Cycle Time (Minutes)	Average VA Time (Minutes)	Average Cost
Car	445	41.82	20.60	0.0
Camioneta	190	44.69	23.67	0.0

Figura 3.4 Resultados de Simulación

En la figura 3.3 se observa que el mayor cuello de botella que se tiene es en el mecanismo de auto lavado, en el cual se llega a hacer una cola de hasta 9 carros con un tiempo promedio de hasta 41.82 min. en camionetas y 44.69 min. en carros (Figura 3.4).

Con nuestro modelo puesto en marcha se pueden hacer varias propuestas de cambio de mejora al proceso las cuales se crean pertinentes, con la finalidad de que este proceso mejore.



### **3.3 Propuestas de mejora al proceso**

En este trabajo se hacen tres propuestas de mejora al proceso; y con ayuda de la simulación y nuestro modelo podremos observar que es lo que sucede o que podríamos hacer para resolver estos problemas.

#### **Propuesta 1**

Con base en los resultados anteriores (Figuras 3.3 y 3.4), vamos a empezar a realizar los cambios pertinentes para poder hacerle mejoras al proceso y tomar una buena decisión antes de realizar un cambio real, en este caso nos preguntamos ¿Qué pasa si se coloca un mecanismo más de auto lavado? ¿Será la decisión correcta para eliminar el cuello de botella y que los tiempos disminuyan? Esta pregunta se puede responder de una forma fácil y rápida con una sencilla modificación en nuestro modelo.

En la siguiente figura 3.5 (propuesta 1), se observa que se pasó de uno a dos mecanismos de auto lavado, solo con cambiar la capacidad de 1 a 2.

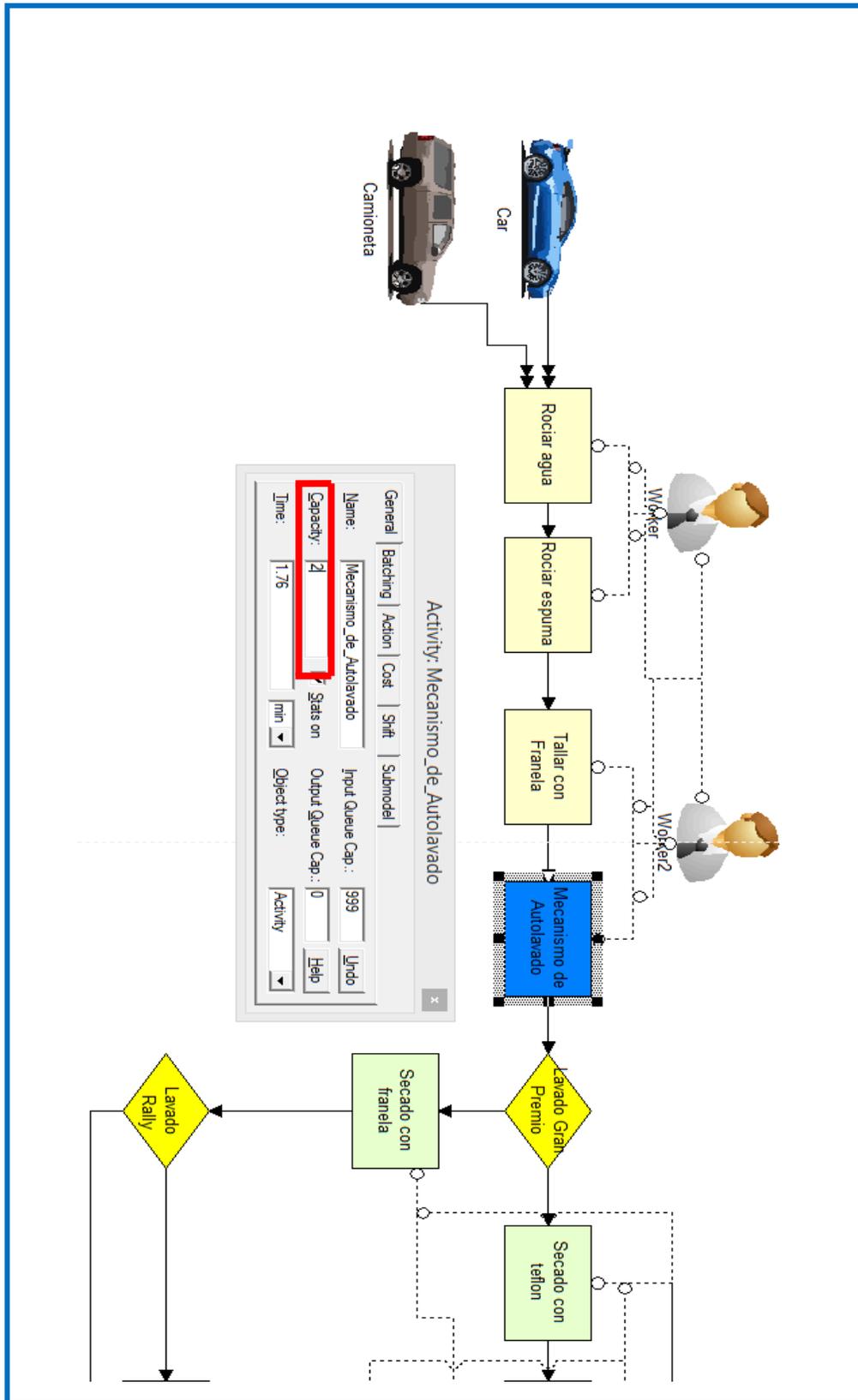


Figura 3.5 Propuesta 1



En las siguientes tablas (Figura 3.6 y 3.7 (Resultados propuesta 1)), se observan los resultados con los cambios propuestos anteriormente:

Simulation Time : 168 hr

---

ACTIVITIES

Activity Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents
Rociar agua inQ	168	999	635	0.32	0.02	4
Rociar agua	168	2	635	1.06	0.06	2
Rociar espuma inQ	168	999	635	0.32	0.02	3
Rociar espuma	168	2	635	0.64	0.04	2
Tallar con Franela inQ	168	999	635	0.33	0.02	2
Tallar con Franela	168	2	635	1.43	0.09	2
Mecanismo de Autolavado inQ	168	999	635	0.31	0.01	3
Mecanismo de Autolavado	168	2	635	1.76	0.11	2
Lavado Gran Premio inQ	168	999	635	0.0	0	1
Lavado Gran Premio	168	1	635	0.0	0	1
Secado con teflon inQ	168	999	159	0.78	0.01	3
Secado con teflon	168	5	159	5.03	0.07	3
Secado con franela inQ	168	999	476	0.69	0.03	6
Secado con franela	168	3	476	3.70	0.17	4
_Lavado Rally inQ	168	999	476	0.0	0	1
_Lavado Rally	168	1	476	0.0	0	1
Aspirar Interiores inQ	168	999	159	0.46	0.0	2
Aspirar Interiores	168	2	159	9.37	0.14	2
Limpiar vidrios inQ	168	999	159	0.30	0.0	1
Limpiar vidrios	168	2	159	2.56	0.04	2
Aplicar almorol en tablero inQ	168	999	159	1.28	0.02	3
Aplicar almorol en tablero	168	2	159	2.68	0.04	2

Figura 3.6 Resultados propuesta 1



ENTITY SUMMARY (Times in Scoreboard time units)				
Entity Name	Qty Processed	Average Cycle Time (Minutes)	Average VA Time (Minutes)	Average Cost
Car	445	40.45	20.30	0.0
Camioneta	190	43.03	23.22	0.0

Figura 3.7 Resultados propuesta 1

Con la propuesta de mejora al proceso se puede observar que el cuello de botella ya no se genera en el mecanismo de auto lavado con los cambios aplicados, ahora el cuello de botella se traslada a las actividades rociado de agua y secado con franela, esto sucede porque aunque la maquina avanza muy rápido no se tiene el personal suficiente para abastecer la demanda, además de que los tiempos son similares al modelo original debido a lo mencionado anteriormente.



## Propuesta 2

Ahora la pregunta es ¿Qué pasa si en lugar de poner solo un mecanismo de auto lavado, también aumentamos una persona para que el sistema fluya más rápido y no se genere el cuello de botella en el secado de franela?

En la siguiente figura 3.8 se ilustra el cambio en el modelo al agregar una persona en el sistema, cambiando en su capacidad de 3 a 4, quedando las actividades con el número de empleados como se muestra a continuación:

ACTIVIDAD	NUMERO DE EMPLEADOS
Rociar agua	2
Rociar espuma	
Tallar con franela	
Mecanismo de auto lavado	
Secado con franela	6
Secado con teflón	
Aspirar cajuela	
Aspirar interiores	
Limpiar vidrios	
Aplicar abrillantador en tablero	
Aplicar abrillantador en llantas	

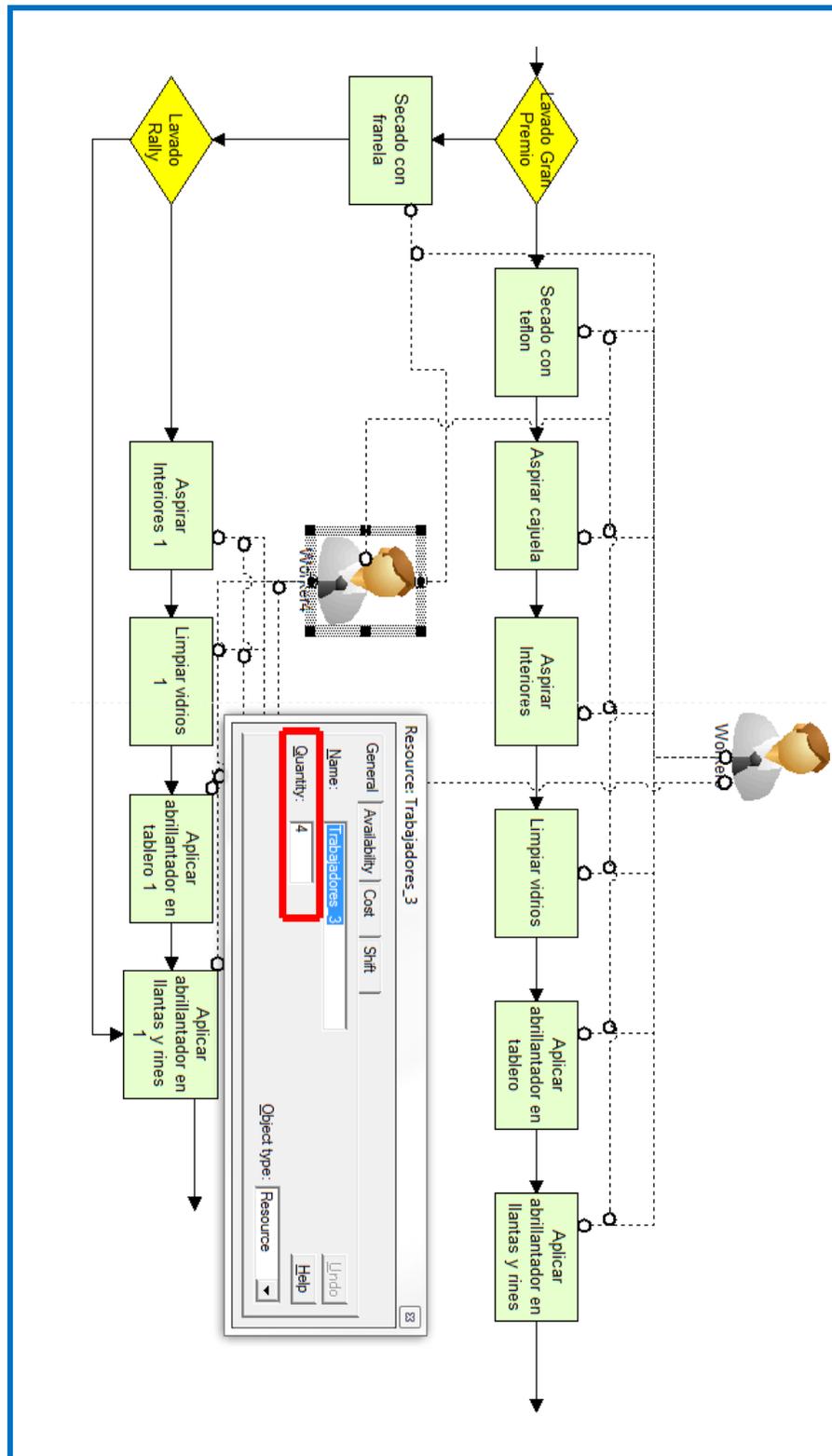


Figura 3.8 Propuesta 2



En las siguientes tablas (Figura 3.9 y 3.10 (Resultados propuesta 2)), podemos observar los datos ya obtenidos con nuestros cambios.

Simulation Time : 168 hr

---

ACTIVITIES

Activity Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents
Rociar agua inQ	168	999	635	0.32	0.02	4
Rociar agua	168	2	635	1.05	0.06	2
Rociar espuma inQ	168	999	635	0.32	0.02	4
Rociar espuma	168	2	635	0.64	0.04	2
Tallar con Franela inQ	168	999	635	0.34	0.02	3
Tallar con Franela	168	2	635	1.42	0.08	2
Mecanismo de Autolavado inQ	168	999	635	0.32	0.02	3
Mecanismo de Autolavado	168	2	635	1.76	0.11	2
Lavado Gran Premio inQ	168	999	635	0.0	0	1
Lavado Gran Premio	168	1	635	0.0	0	1
Secado con teflon inQ	168	999	170	0.16	0.0	2
Secado con teflon	168	6	170	5.02	0.08	4
Secado con franela inQ	168	999	465	0.09	0.0	2
Secado con franela	168	3	465	3.73	0.17	3
_Lavado Rally inQ	168	999	465	0.0	0	1
_Lavado Rally	168	1	465	0.0	0	1
Aspirar Interiores inQ	168	999	170	0.30	0.0	2
Aspirar Interiores	168	2	170	9.41	0.15	2
Limpiar vidrios inQ	168	999	170	0.08	0.0	1
Limpiar vidrios	168	2	170	2.61	0.04	2
Aplicar almorol en tablero inQ	168	999	170	0.09	0.0	1
Aplicar almorol en tablero	168	2	170	2.69	0.04	2

Figura 3.9 Resultados propuesta 2



ENTITY SUMMARY (Times in Scoreboard time units)				
Entity Name	Qty Processed	Average Cycle Time (Minutes)	Average VA Time (Minutes)	Average Cost
Car	445	38.21	20.20	0.0
Camioneta	190	40.73	22.63	0.0

Figura 3.10 Resultados propuesta 2

Con base a los resultados de la simulación en la propuesta 2, se puede observar que los tiempos disminuyen alrededor de 3.8 minutos en promedio y las colas se reducen, se puede decir que se obtuvo una mejora en los tiempos, pero al adquirir una segunda no resulta muy factible ya que el precio de estas son elevados.



### Propuesta 3

A partir de la propuesta 2, se disminuyó la capacidad del mecanismo de auto lavado, pasando 2 a 1 (Figura 3.11), conservando al personal que se había agregado anteriormente, ya con este cambio se genera la pregunta siguiente pregunta; ¿Los tiempos en esta propuesta serán igual o mejor a los obtenidos en la propuesta 2?

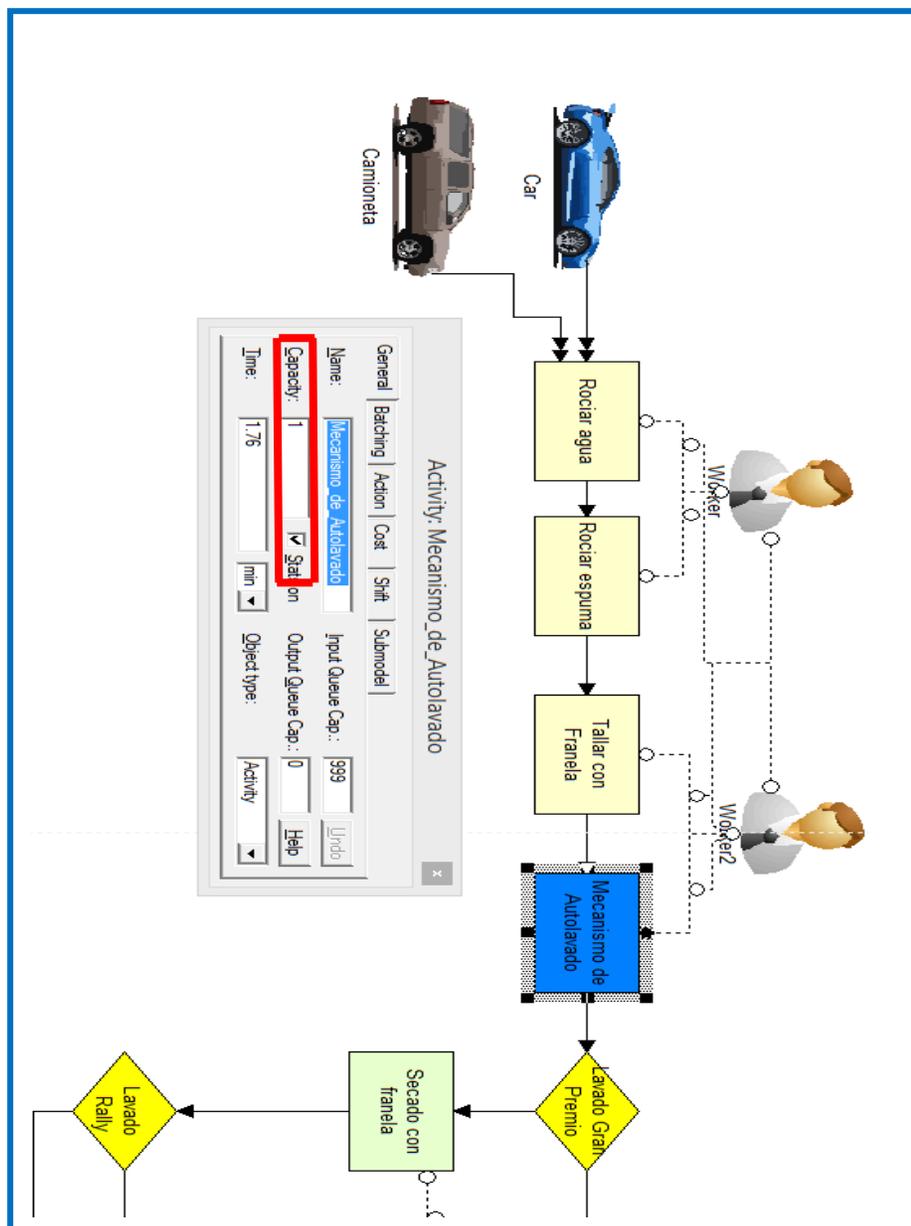


Figura 3.11 Propuesta 3



A continuación se muestran los resultados obtenidos en las tablas 3.12 y 3.13 (Resultados propuesta 3).

Simulation Time : 168 hr

-----

ACTIVITIES

Activity Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents
Rociar agua inQ	168	999	635	0.21	0.01	2
Rociar agua	168	2	635	1.06	0.06	2
Rociar espuma inQ	168	999	635	0.22	0.01	3
Rociar espuma	168	2	635	0.64	0.04	2
Tallar con Franela inQ	168	999	635	0.25	0.01	3
Tallar con Franela	168	2	635	1.42	0.08	2
Mecanismo de Autolavado inQ	168	999	635	1.12	0.07	9
Mecanismo de Autolavado	168	1	635	1.76	0.11	1
Lavado Gran Premio inQ	168	999	635	0.0	0	1
Lavado Gran Premio	168	1	635	0.0	0	1
Secado con teflon inQ	168	999	157	0.09	0.0	1
Secado con teflon	168	6	157	5.04	0.07	3
Secado con franela inQ	168	999	478	0.07	0.0	2
Secado con franela	168	6	478	3.64	0.17	3
_Lavado Rally inQ	168	999	478	0.0	0	1
_Lavado Rally	168	1	478	0.0	0	1
Aspirar Interiores inQ	168	999	157	0.21	0.0	1
Aspirar Interiores	168	2	157	9.34	0.14	2
Limpiar vidrios inQ	168	999	157	0.06	0.0	1
Limpiar vidrios	168	2	157	2.66	0.04	2
Aplicar almorol en tablero inQ	168	999	157	0.13	0.0	2
Aplicar almorol en tablero	168	2	157	2.66	0.04	2

Figura 3.12 Resultados propuesta 3



ENTITY SUMMARY (Times in Scoreboard time units)				
Entity Name	Qty Processed	Average Cycle Time (Minutes)	Average VA Time (Minutes)	Average Cost
Car	445	37.96	19.50	0.0
Camioneta	190	41.34	22.91	0.0

Figura 3.13 Resultados propuesta 3

Teniendo en cuenta los datos de la propuesta 3, podemos concluir que es la mejor opción de las tres propuestas, teniendo en cuenta que el cuello de botella en el mecanismo de auto lavado sigue existiendo pero los tiempos se reducen en comparación al modelo original.

En la siguiente tabla se observan los tiempos promedios del modelo de simulación y de cada una de las propuestas, observándose como se mencionó previamente que la más factible es la propuesta 3:

Resumen de simulaciones				
Recursos	Simulación	Tipo de vehículo	Tiempos Promedios (min)	
1 Maquina de auto lavado 5 Empleados	Modelo de simulación	Carros	20.60	Sin tiempo muerto
			41.82	Con tiempo muerto
		Camionetas	23.67	Sin tiempo muerto
			44.69	Con tiempo muerto
2 Maquina de auto lavado 5 Empleados	Propuesta 1	Carros	20.30	Sin tiempo muerto
			40.45	Con tiempo muerto
		Camionetas	23.22	Sin tiempo muerto
			43.03	Con tiempo muerto
2 Maquinas de auto lavado 6 Empleados	Propuesta 2	Carros	20.20	Sin tiempo muerto
			38.21	Con tiempo muerto
		Camionetas	22.63	Sin tiempo muerto
			40.73	Con tiempo muerto
1 Maquina de auto lavado 6 Empleados	Propuesta 3	Carros	19.50	Sin tiempo muerto
			37.96	Con tiempo muerto
		Camionetas	22.91	Sin tiempo muerto
			41.34	Con tiempo muerto



Solo para dar una idea general de las ganancias que se pudieran obtener con la propuesta 3 que es la mejor opción de las propuestas que se propusieron sin elaborar cálculos a fondo en la siguiente tabla se puede observar las ganancias mensuales del auto lavado:

Vehículo	cantidad	Tipo de lavado	Precio	Ganancia
Carros	622	Express	\$50	\$31100
	711	Rally	\$60	\$42660
	445	Gran Premio	\$75	\$33375
Camionetas	267	Express	\$55	\$14685
	305	Rally	\$70	\$21350
	190	Gran Premio	\$85	\$16150
Total				\$159320

Teniendo en cuenta que los costos de insumos, renta, luz, agua y empleados son de \$36,900.00 al mes, nos queda una utilidad de \$119,720.

En la siguiente tabla se muestra ya aumentándole los 80 carros que en promedio se pierden al mes quedando de la siguiente manera:

Vehículo	cantidad	Tipo de lavado	Precio	Ganancia
Carros	642	Express	\$50	\$32100
	733	Rally	\$60	\$43980
	459	Gran Premio	\$75	\$34425
Camionetas	274	Express	\$55	\$15070
	315	Rally	\$70	\$22050
	197	Gran Premio	\$85	\$16745
Total				\$164370

De tal forma los costos de la tabla anterior nos quedarían en \$ 42874.00, quedando con una utilidad de \$ 121,497.00 dándonos una ganancia de los de \$1776.00.



## CONCLUSIONES

En el presente trabajo de tesis se propuso como objetivo diseñar el proceso de un auto lavado, con la finalidad de ofrecer una mejora en la disminución de tiempo promedio de servicio de lavado, con la ayuda de la simulación, de tal forma que se pueda observar cada actividad del proceso.

La aportación principal de este trabajo consiste en la realización de un mapeo de procesos, de la elaboración de un modelo y de la simulación de un Auto lavado mediante el programa ProcessModel para lo cual se elaboraron tres propuestas diferentes haciendo modificaciones a partir del modelo original, con la finalidad de obtener la mejor opción la cual se pudiera implementar, (esta no necesariamente sería la opción final, se pueden seguir realizando las pruebas necesarias hasta obtener la mejor opción para los fines requeridos); al correr el modelo original en la simulación por medio de los datos se pudo observar que el cuello de botella más grande se genera en el mecanismo del auto lavado, y con base a ello se decide realizar el primer cambio que fue el de aumentar un mecanismo de auto lavado (propuesta 1), ya que si esto lo hiciéramos en la vida real y de no ser redituable habría pérdidas económicas.

Con la propuesta 1 se agregó un mecanismo más de auto lavado en donde se pudo observar que efectivamente el cuello de botella disminuía considerablemente, el flujo de los carros ya era constante, pero se observó otro inconveniente, los carros al pasar tan rápido a la siguiente actividad de secado con franela, generaban otro cuello de botella ya que no hay el personal suficiente para abastecer la demanda de los carros a la salida del mecanismo; por lo cual los tiempos de servicio con uno o dos mecanismos son muy similares, la variación es casi nula; por lo cual se realizó otra prueba de simulación, la propuesta 2 a la cual se agregó una persona más, para poder abastecer la demanda de carros al salir del mecanismo de auto lavado (propuesta 2), en el cual consiguientemente el tiempo de servicio mejoro en promedio 4.7 minutos; tomando los resultados anteriores el precio de la maquinaria más la contratación de un empleado serían poco redituables, si tenemos en cuenta que en promedio se pierden 80 carros al mes, la recuperación de la inversión de la maquinaria sería a largo plazo por lo tanto no sería la mejor opción a implementar.

Considerando la propuesta 3 en el cual solo se requiere la contratación de una persona más, los datos comparados con la propuesta 2, son muy similares en tiempo, además de que se mejoraría el tiempo habría más entrada de carros por



que disminuye el tiempo dentro del sistema, pero se continua con el cuello de botella que se forma en el mecanismo de auto lavado, esto debido a que solo se podría eliminar aumentando a dos maquinas, el cual no es conveniente por los costos; tomando en cuenta que nuestro problema inicial consiste en disminuir los tiempos, este se logra con el aumento de una persona.

Cabe mencionar que los tiempos pueden variar debido al factor humano, ya que cada una de las personas realizan su trabajo de manera diferente, para lo cual se tendría que homologar el proceso; razón por la cual los tiempos de salida son variados, otra opción de mejorar el proceso consiste en acercar el material de limpieza a la zona de trabajo lo que permitiría disminuir el tiempo en el proceso.

También así como estas propuestas que se realizaron se pueden hacer mas, dependiendo que es lo que busque el diseñador del modelo o que problema se tenga que resolver; asimismo para concluir, este fue solo un modelo para demostrar que un simulador sirve para realizar una mejora en cualquier proceso antes de llevarlo a la vida real, evitando errores desde los más obvios hasta los que puedan ser más complicados ahorrando una pérdida de tiempo o dinero, si es que al realizarlo no saliera como se tenía planeado.

Otra de las conclusiones a indicar dado todo lo que se mencionó anteriormente en este trabajo, es que el proceso de mejora utilizado y denominado PHVA puede ser cambiado por PSHVA como se menciona en el capítulo I, el cual nos sirve para cerciorarnos que este funcione antes de hacer cualquier cambio, y con ello evitar tener errores graves que cuesten dinero, material y tiempo.



## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- 1-. <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4348/577431.pdf?sequence=1>:
- 2-. <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>
- 3-. Flujo en Redes y Gestión de Proyectos. Teoría y Ejercicios Resueltos, Autores: Alonso Revenga, Juana M., edición 2008, Editorial *Netbiblo*, pag. 193.
- 4-. Robert E. Shannon, citado en Coss Bú, Raúl, “Simulación: un enfoque práctico”, Limusa, México, 2003, p.12, 123, 14
- 5-. Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación, Autor: Guasch Toni, Ramos Juan José, Casanovas Josep, Piera Miquel Ángel, Editorial: Diaz De Santos, pag 73.
- 6-. <http://materias.fi.uba.ar/7526/docs/teoria.pdf>
- 7-. <http://www.monografias.com/trabajos96/investigacion-operaciones-a-modelos-y-aplicaciones-programacion-lineal/investigacion-operaciones-a-modelos-y-aplicaciones-programacion-lineal.shtml>
- 8-. Rodríguez, R.A., “Modelo de simulación” (aplicado a la producción de leche), Corpoica, Bogotá, 2004, p. 13.
- 9.- Krajewski, Lee y Ritzman Larry, P., “Administración de operaciones: estrategia y análisis”, Pearson Educación, México, 2000, p. 351.
- 10.- <http://academiajournals.com/downloads/OrtizSimMarzo2011.pdf>
- 11-. <http://www.slideshare.net/amfeli/1-modelos>
- 12.- <http://www.monografias.com/trabajos96/calidad-mejora-continua-e-innovacion/calidad-mejora-continua-e-innovacion.shtml>
- 13.- <http://cursos.aiu.edu/Simulacion%20de%20Eventos/PDF/Tema%202.pdf>
- 14.- <http://simulacioncomp.blogspot.mx/2013/04/metodologia-del-proceso-de-simulacion.html>
- 15.- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lii/olarte\\_v\\_jg/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/olarte_v_jg/capitulo3.pdf)
- 16-. <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r83521.PDF>
- 17-. [http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/134\\_barbis.pdf](http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/134_barbis.pdf)



- 18-. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lcp/texson\\_a\\_gg/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/texson_a_gg/capitulo2.pdf)
- 19-. <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>
- 20-. <http://www.monografias.com/trabajos93/proceso-investigacion-cientifica/proceso-investigacion-cientifica2.shtml>
- 21-. Taha, Hamdy A., “Investigación de operaciones”, Pearson Educación, México, 2004, p. 8.
- 22.- <http://www.monografias.com/trabajos85/optimizacion-proceso-fabricacion-anodos-verdes/optimizacion-proceso-fabricacion-anodos-verdes2.shtml>
- 23-. <http://simuladoresgasp.wikispaces.com/GASP+informacion>
- 24-. <http://www.simscrip.com/partners/partners.html>
- 25-. <http://simulacion-siman.blogcindario.com/2010/04/00001-simulacion-en-siman.html>
- 26-. <http://lenguajeslam.blogspot.mx/2010/04/slamsimulation-lenguaje-for-alternative.html>
27. <http://www.oracle.com/us/products/applications/crystalball/overview/index.html>
- 28-. <http://itchilpo.net/posts/ebooksytutoriales/103/UsodeArenaSoftwareSimulacion.html>
29. [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/products/tecnomatix/plant\\_design/plant\\_simulation.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml)
- 30-. <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>
- 31-. <http://www.manufacturainteligente.com/>
- 32-. <http://sugestion.quned.es/conocimiento/ficha/def/PDCA>
- 33-. <http://www.eoi.es/blogs/mariavictoriaflores/definicion-de-mejora-continua/>
- 34-. <http://innovacionesit.wordpress.com/author/korderotc/>
- 35-. [http://www.rcim.sld.cu/revista\\_18/articulos\\_htm/simulacioncomputarizada.htm](http://www.rcim.sld.cu/revista_18/articulos_htm/simulacioncomputarizada.htm)
- 36-. [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_flujo](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_flujo)
- 37.- [http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/714/1/digital\\_17351.pdf](http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/714/1/digital_17351.pdf)
- 38.- [https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/67767/1/simulacion\\_evento\\_discreto.pdf](https://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/67767/1/simulacion_evento_discreto.pdf)



39- . <http://es.workmeter.com/blog/bid/273276/Qu%C3%A9-es-y-para-qu%C3%A9-sirve-la-mejora-continua>

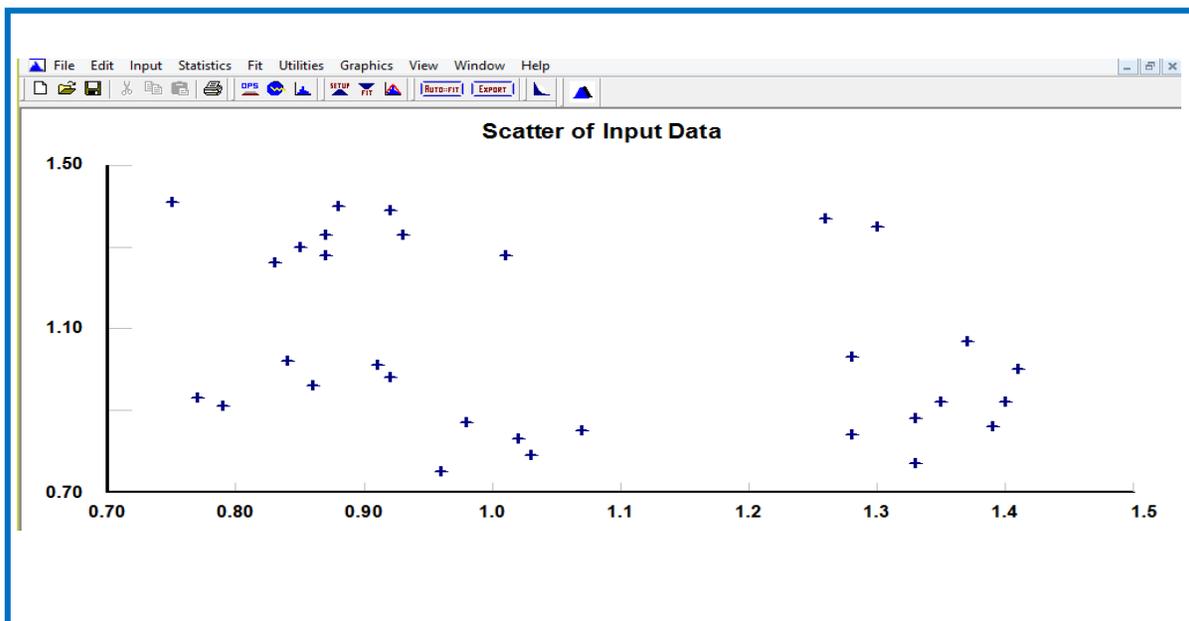


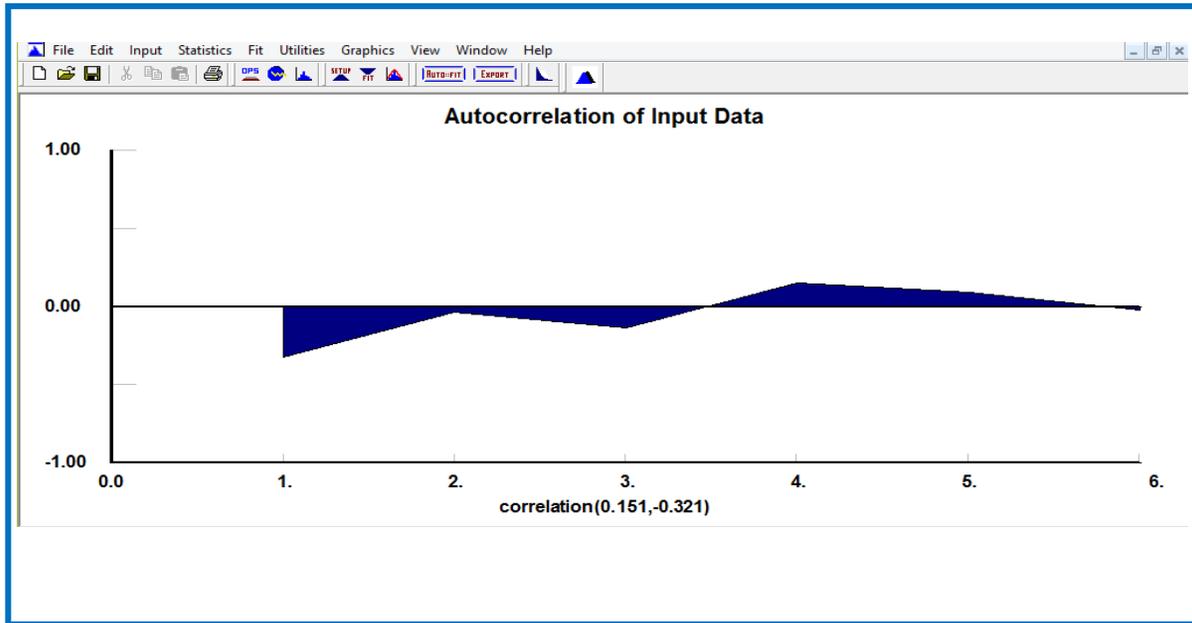
## ANEXO 1

Pruebas de independencia y de ajuste para cada actividad del auto lavado.

Actividad de rociar agua

distribution	rank	acceptance
Pearson 6(0.75, 6.38e+003, 1.77, 3.6e+004)	65.	do not reject
Weibull(0.75, 1.46, 0.348)	56.4	do not reject
Beta(0.75, 1.41, 0.887, 0.936)	41.1	do not reject
Pearson 5(0.75, 1.23, 0.18)	39.3	reject
Erlang(0.75, 2., 0.155)	35.1	do not reject
Exponential(0.75, 0.305)	33.3	reject
Gamma(0.75, 1.97, 0.155)	30.2	do not reject
Inverse Gaussian(0.75, 0.281, 0.305)	21.5	reject
Power Function(0.75, 1.41, 0.955)	21.4	do not reject
Inverse Weibull(0.75, 1.01, 6.86)	16.2	reject
Uniform(0.75, 1.41)	15.2	do not reject
Pareto(0.75, 3.12)	8.06	reject
Rayleigh(0.75, 0.269)	0.494	reject
Triangular(-0.25, 1.45, 1.4)	9.88e-004	reject
Chi Squared(0.75, 0.927)	1.07e-004	reject
Johnson SB(0.75, 0.629, 9.46e-002, 0.552)	0.	reject



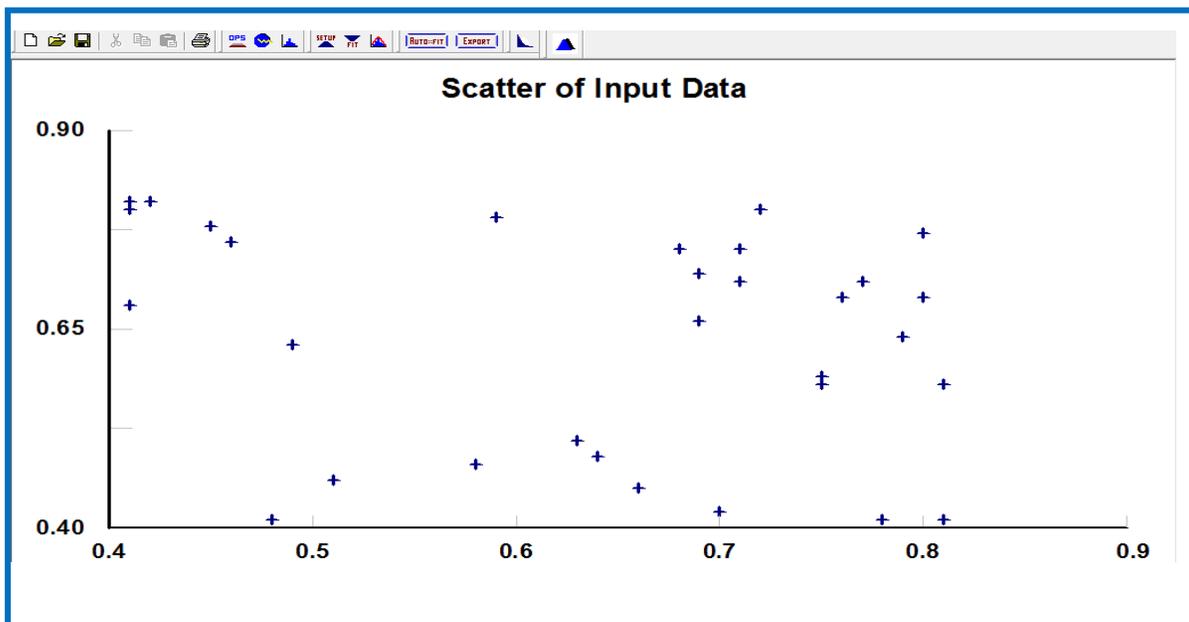


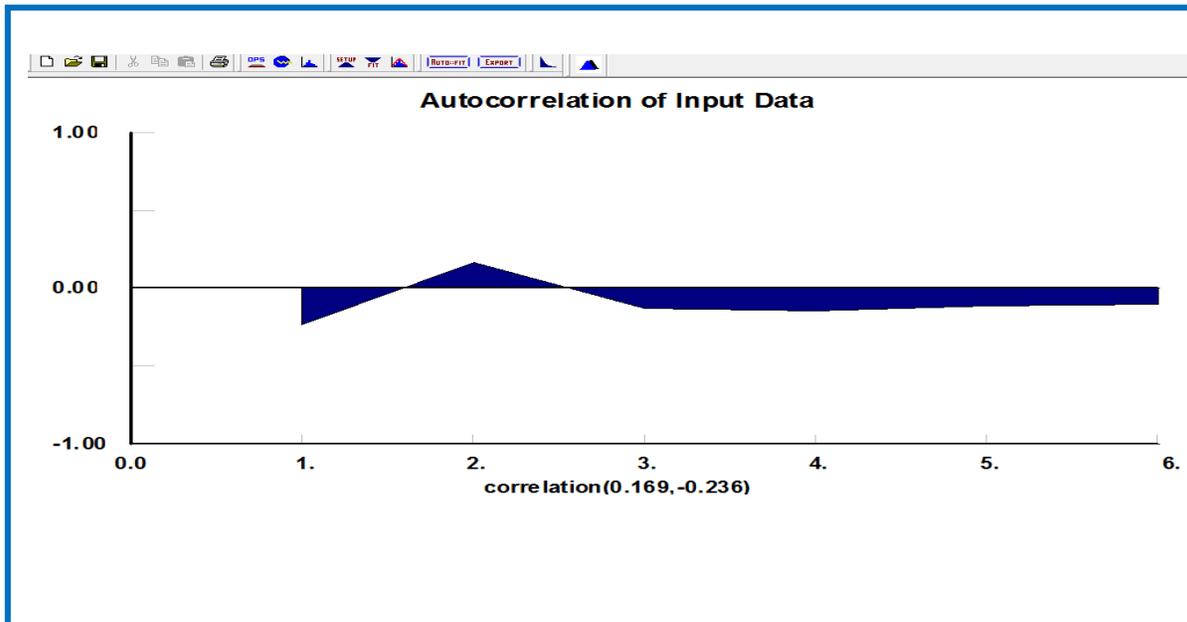
runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	20
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.07819
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.280948
result	DO NOT REJECT
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	32
turning points	23
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.863332
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.387955
result	DO NOT REJECT



### Actividad de rociar espuma

distribution	rank	acceptance
Beta(0.41, 0.81, 1.21, 0.848)	100	do not reject
Johnson SB(0.41, 0.52, 0.151, 0.801)	27.8	do not reject
Power Function(0.41, 0.81, 1.45)	12.8	do not reject
Rayleigh(0.41, 0.197)	8.26	do not reject
Weibull(0.41, 2.09, 0.281)	6.71	do not reject
Uniform(0.41, 0.81)	1.79	do not reject
LogLogistic(0.41, 2.41, 0.237)	1.34	reject
Lognormal(0.41, -1.6, 0.849)	0.929	reject
Pearson 5(0.41, 0.964, 0.106)	5.06e-002	reject
Triangular(-0.59, 0.844, 0.799)	0.	reject



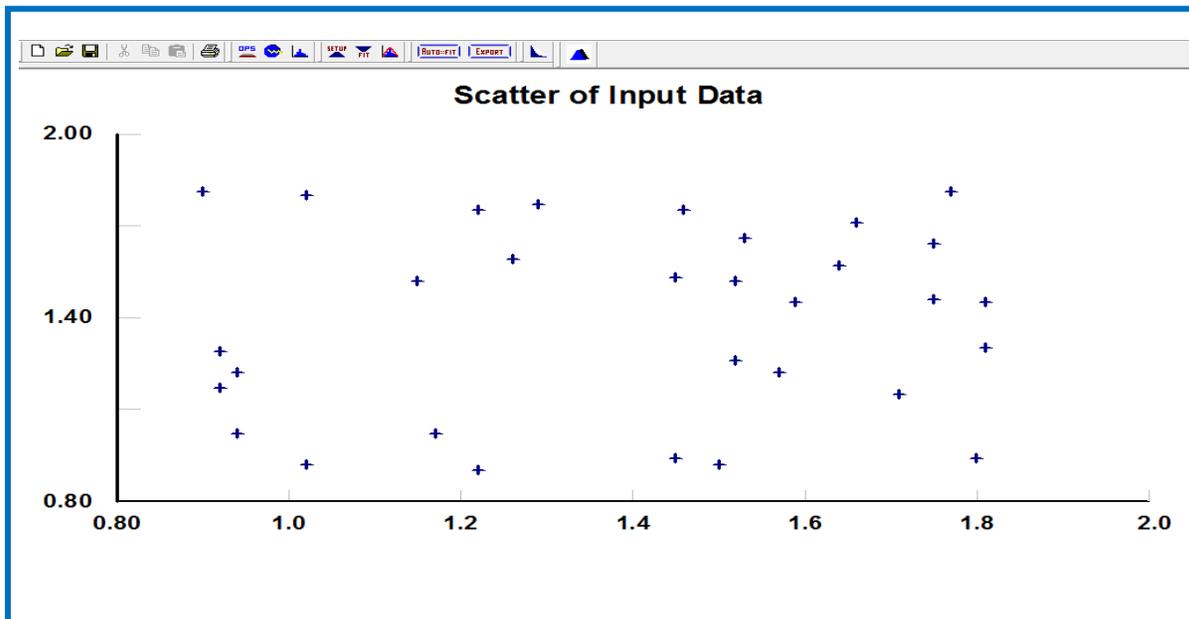


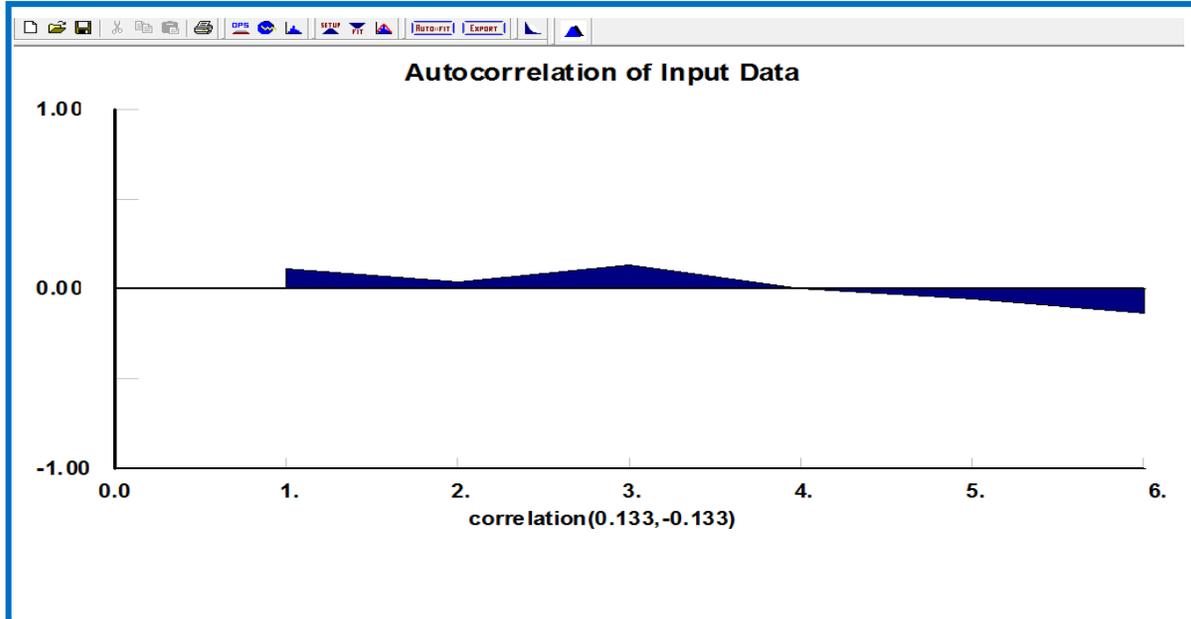
runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	16
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.359398
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.719298
result	DO NOT REJECT
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	31
turning points	20
mean turnings	20.3333
standard deviation turnings	2.27791
turnings statistic	0.146333
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.883659
result	DO NOT REJECT



### Actividad de tallado

distribution	rank	acceptance
Beta(0.9, 1.81, 0.701, 0.544)	100	do not reject
Uniform(0.9, 1.81)	25.	do not reject
Johnson SB(0.9, 1.21, 0.394, 0.668)	8.26	do not reject
Power Function(0.9, 1.81, 1.05)	5.79	do not reject
Weibull(0.9, 1.52, 0.554)	3.26	do not reject
Rayleigh(0.9, 0.414)	1.91	do not reject
LogLogistic(0.9, 1.77, 0.436)	0.938	do not reject
Lognormal(0.9, -1.04, 1.11)	0.384	do not reject
Triangular(-1.e-001, 1.86, 1.79)	3.05e-002	reject
Pearson 5(0.9, 0.683, 9.9e-002)	7.33e-003	reject

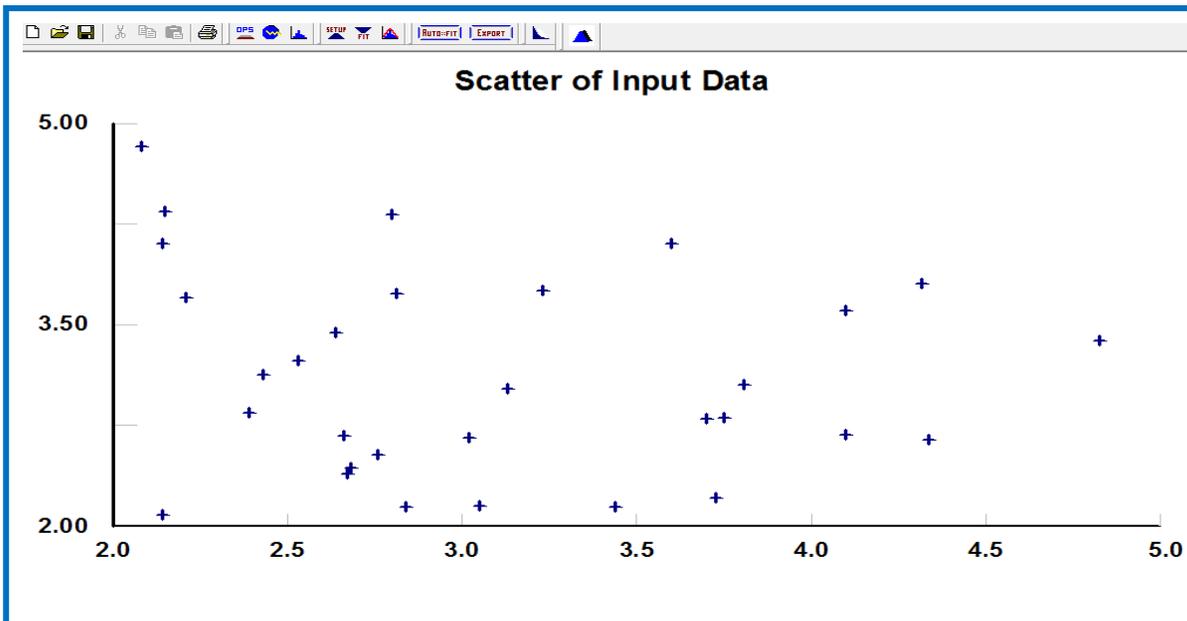
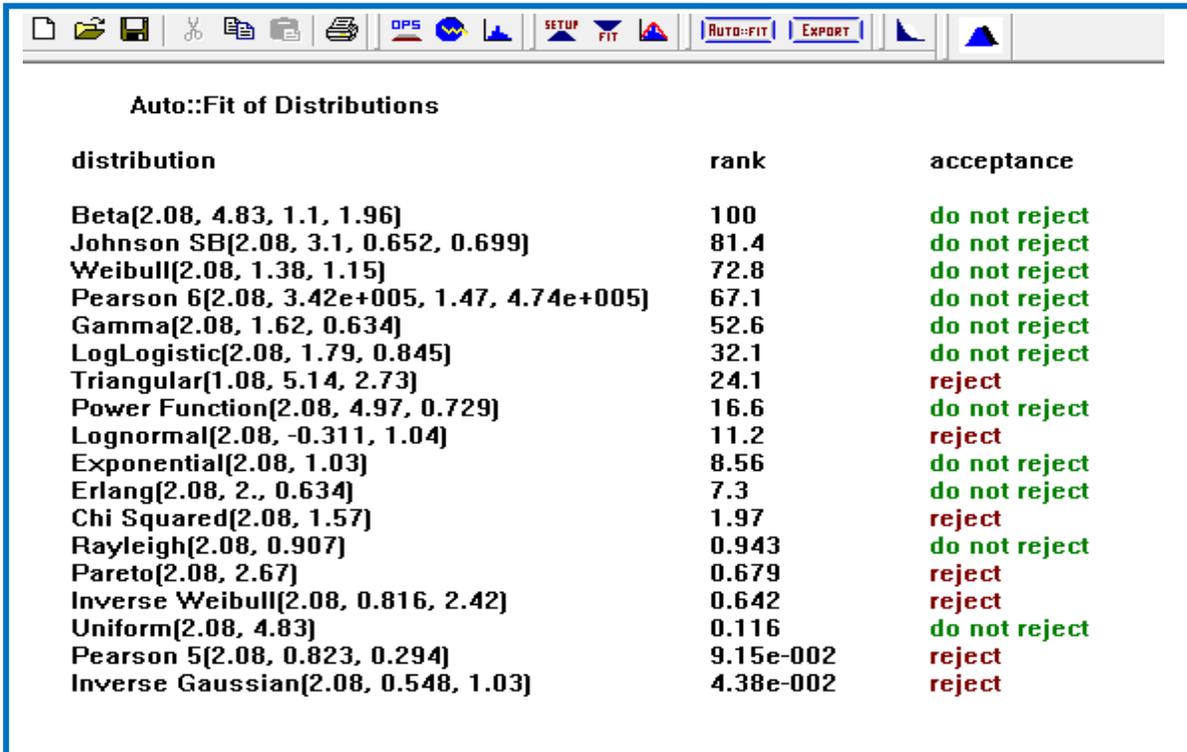


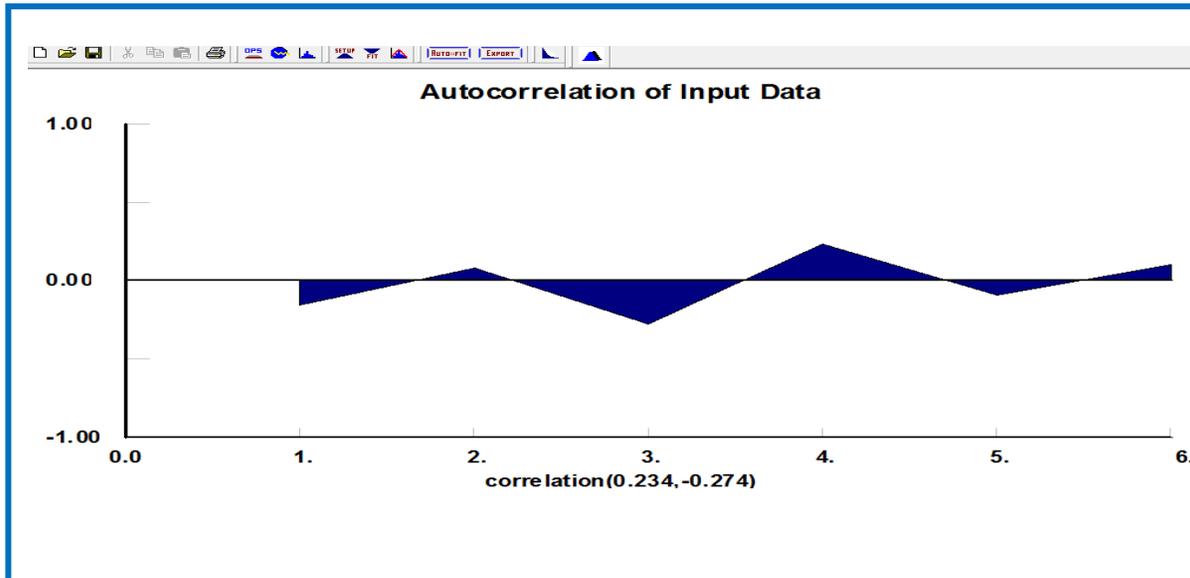


runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	16
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.359398
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.719298
result	DO NOT REJECT
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	31
turning points	20
mean turnings	20.3333
standard deviation turnings	2.27791
turnings statistic	0.146333
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.883659
result	DO NOT REJECT



### Actividad de secado con franela





**runs test on input**

**runs test (above/below median)**

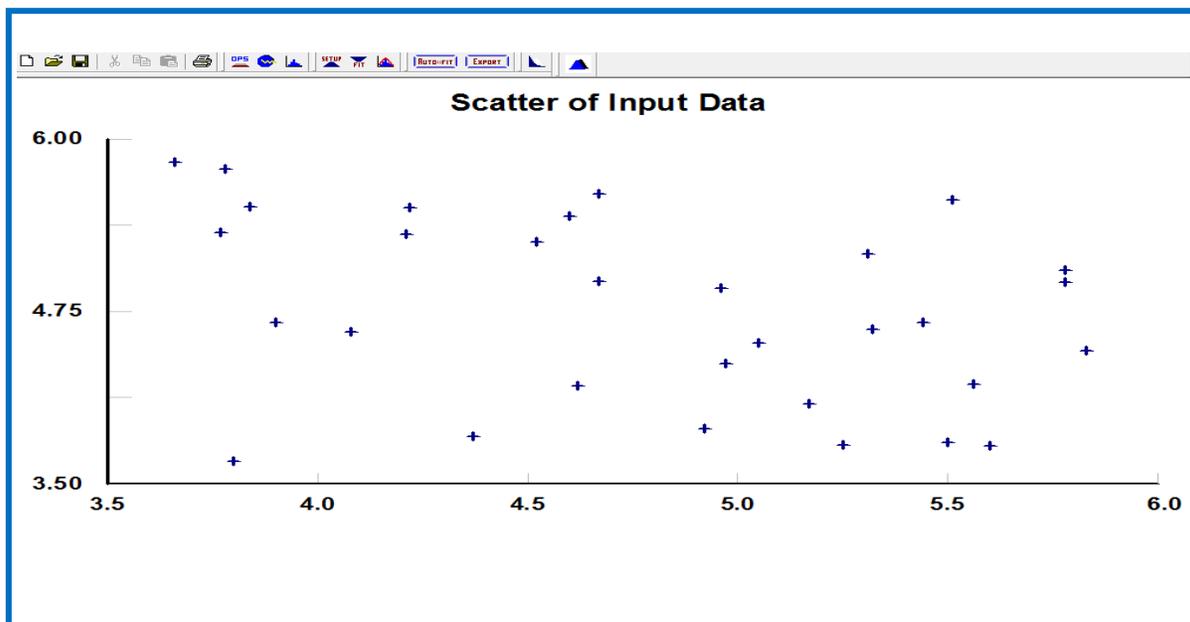
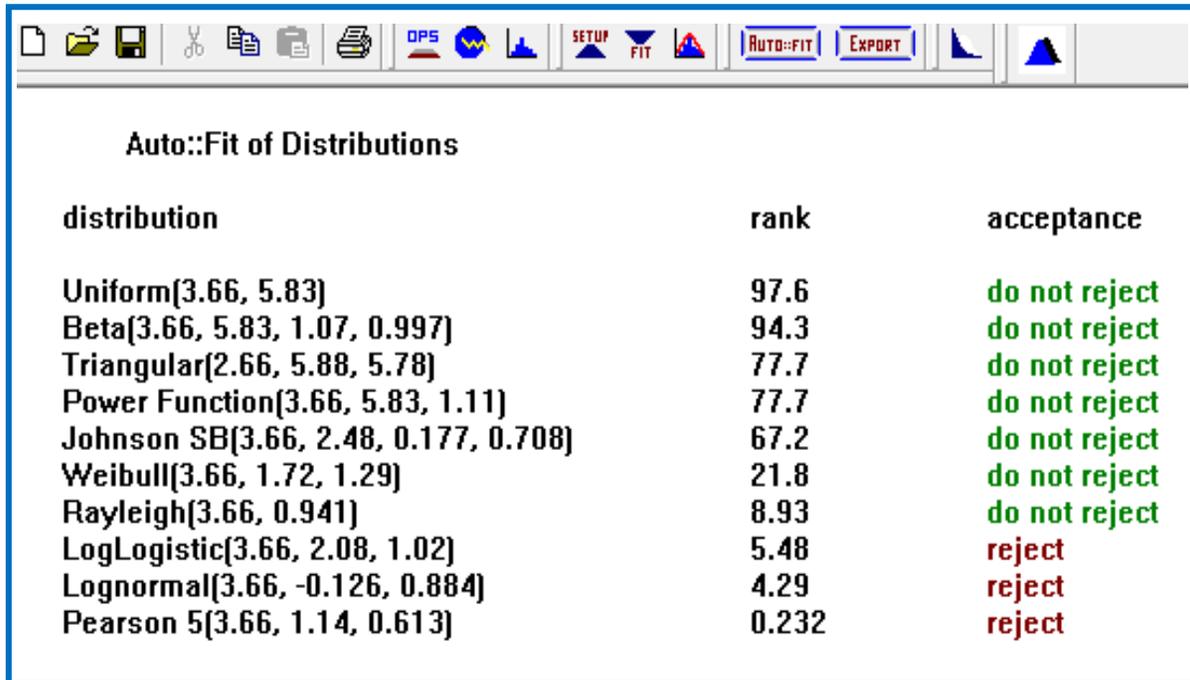
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	18
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.359398
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.719298
result	DO NOT REJECT

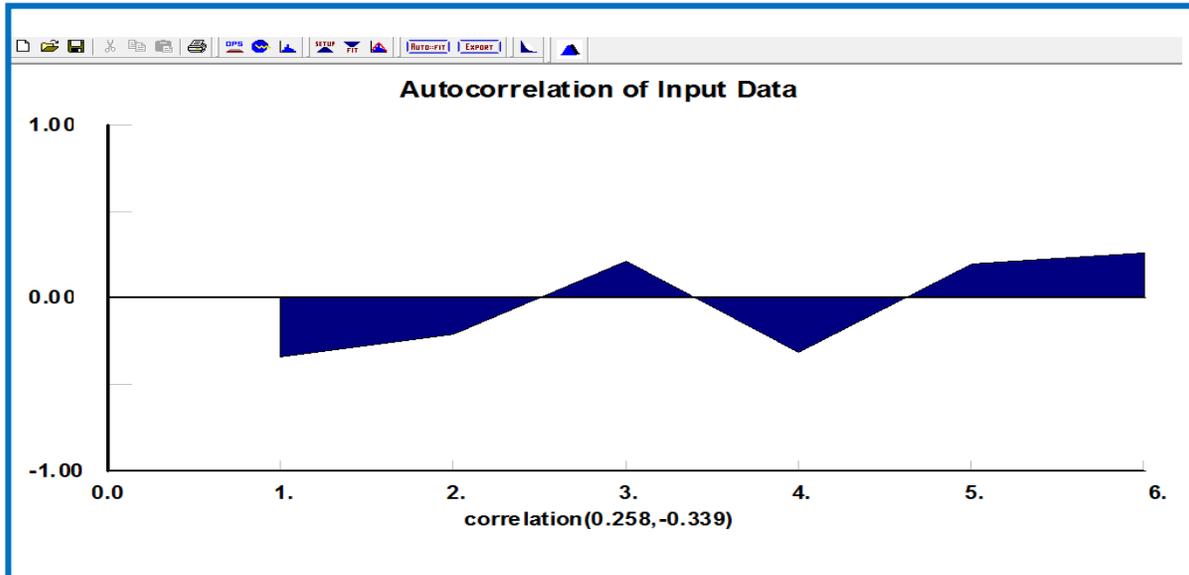
**runs test (turning points)**

data points	32
turning points	24
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	1.295
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.195321
result	DO NOT REJECT



### Actividad de secado con teflon





**runs test on input**

**runs test (above/below median)**

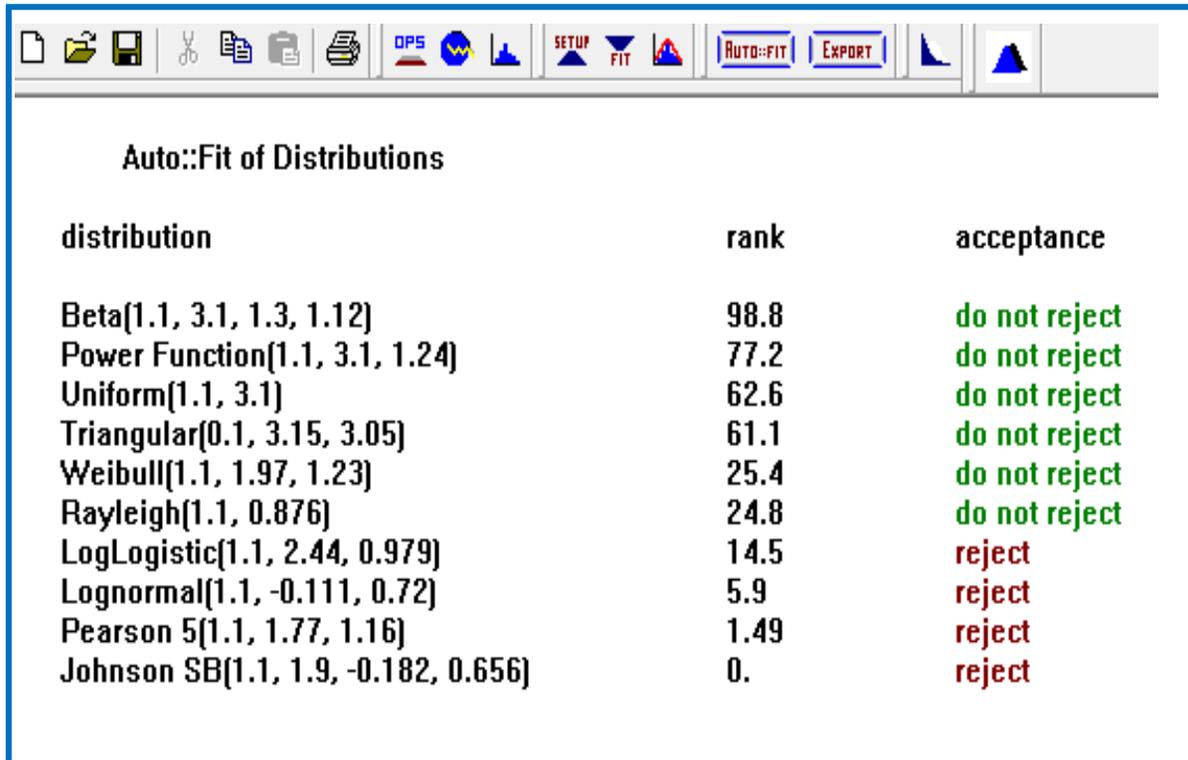
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	22
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.79699
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	7.23375e-002
result	DO NOT REJECT

**runs test (turning points)**

data points	32
turning points	20
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.431666
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.665984
result	DO NOT REJECT

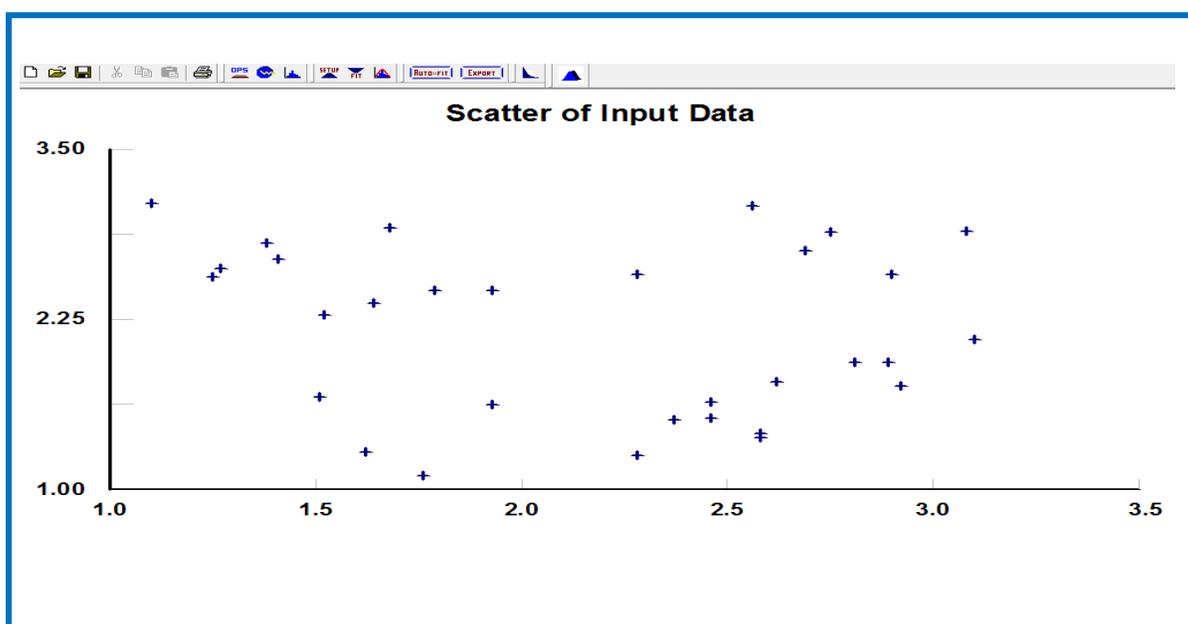


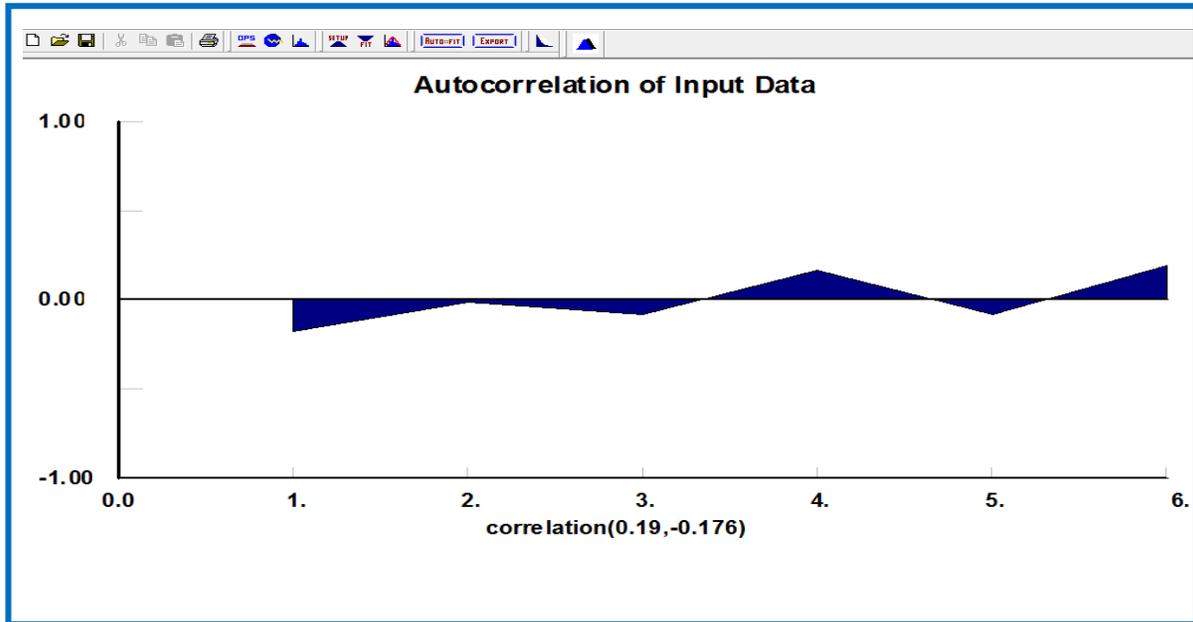
### Actividad de aspirado de cajuela



**Auto::Fit of Distributions**

distribution	rank	acceptance
Beta(1.1, 3.1, 1.3, 1.12)	98.8	do not reject
Power Function(1.1, 3.1, 1.24)	77.2	do not reject
Uniform(1.1, 3.1)	62.6	do not reject
Triangular(0.1, 3.15, 3.05)	61.1	do not reject
Weibull(1.1, 1.97, 1.23)	25.4	do not reject
Rayleigh(1.1, 0.876)	24.8	do not reject
LogLogistic(1.1, 2.44, 0.979)	14.5	reject
Lognormal(1.1, -0.111, 0.72)	5.9	reject
Pearson 5(1.1, 1.77, 1.16)	1.49	reject
Johnson SB(1.1, 1.9, -0.182, 0.656)	0.	reject





**runs test on input**

**runs test (above/below median)**

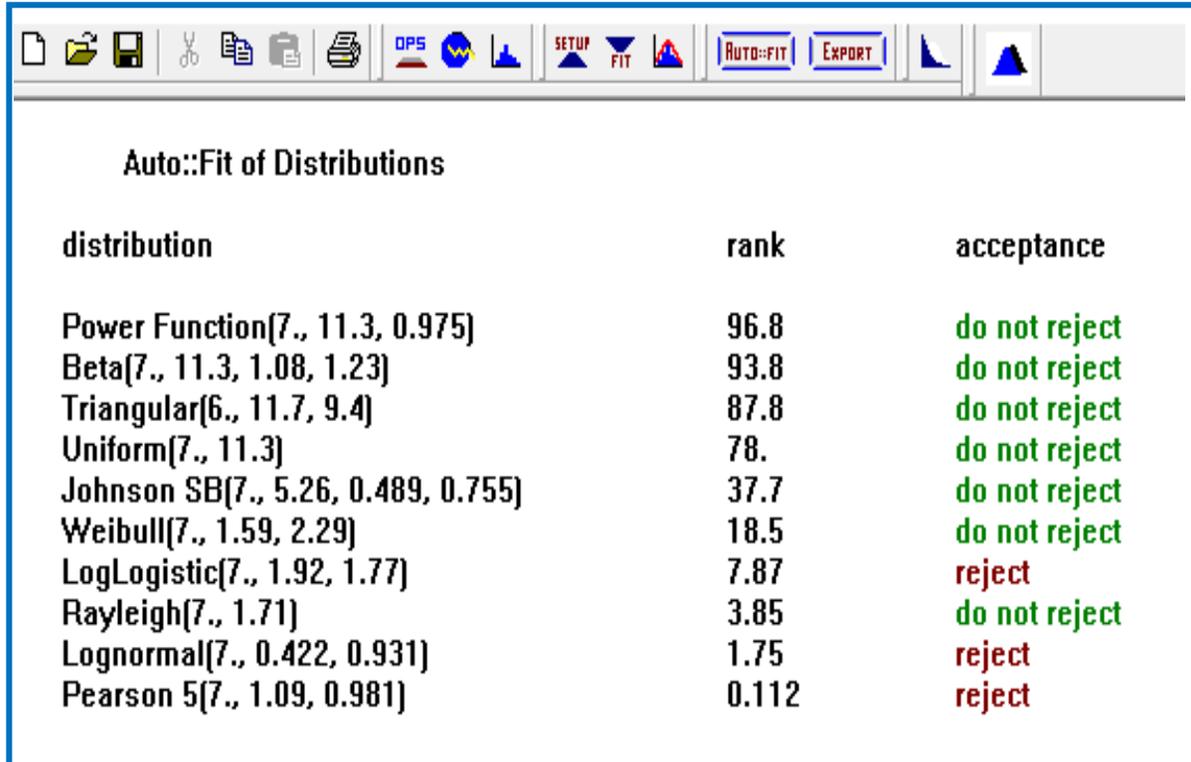
data points	32
points above median	15
points below median	15
total runs	20
mean runs	16.
standard deviation runs	2.69098
runs statistic	1.48645
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.137161
result	DO NOT REJECT

**runs test (turning points)**

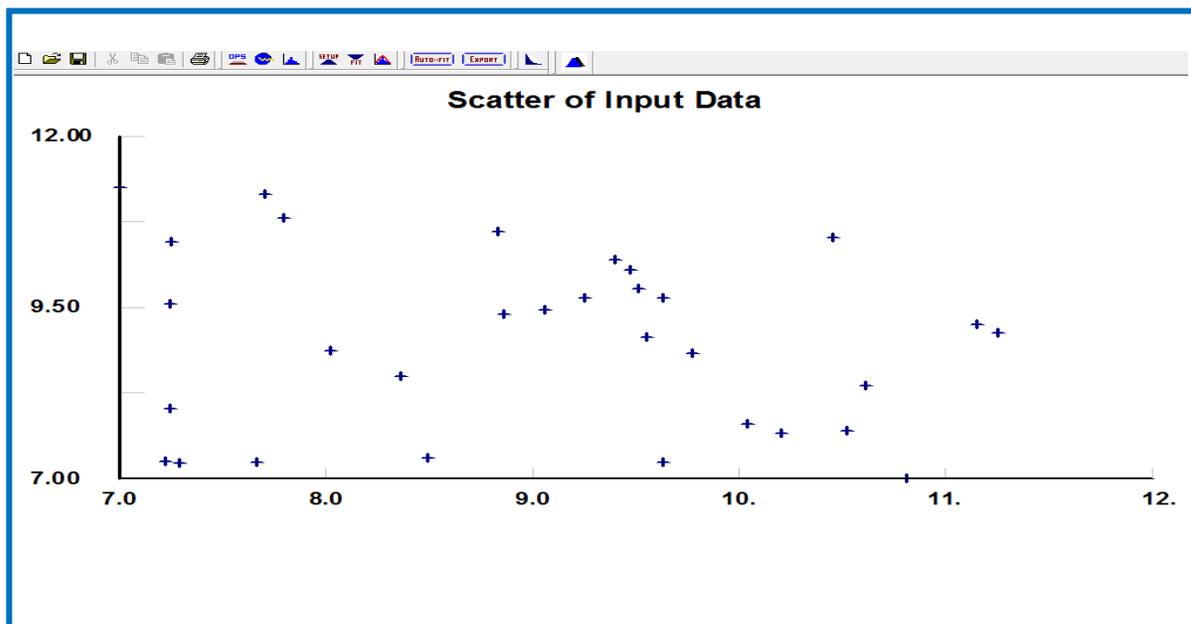
data points	32
turning points	21
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	1.
result	DO NOT REJECT

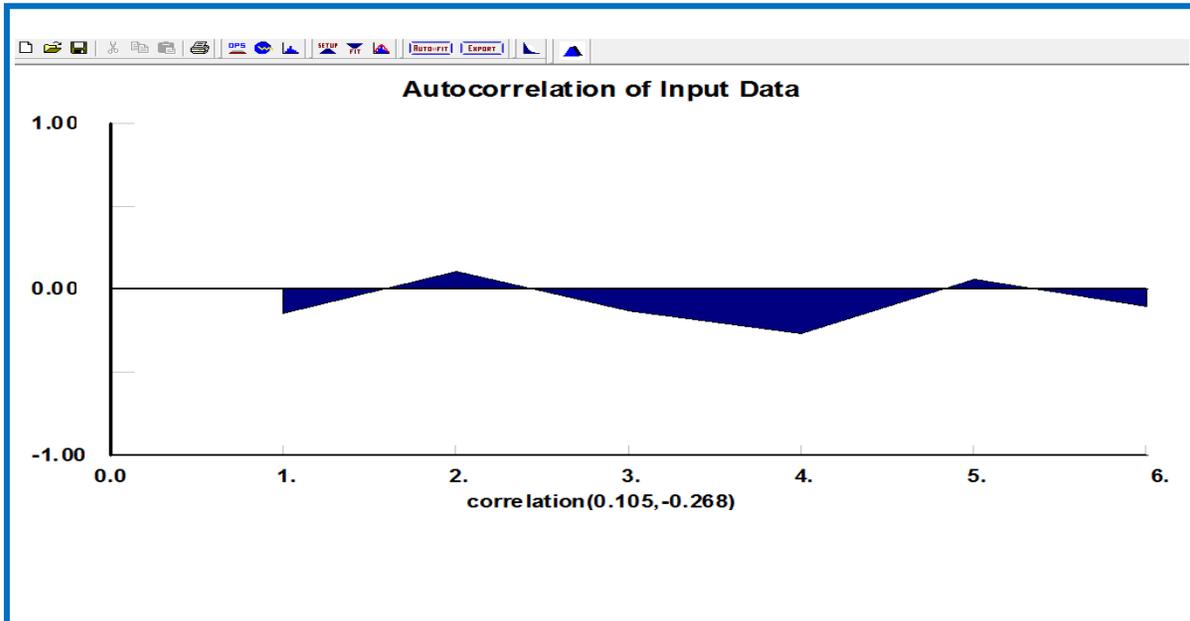


### Actividad de aspirado



distribution	rank	acceptance
Power Function(7., 11.3, 0.975)	96.8	do not reject
Beta(7., 11.3, 1.08, 1.23)	93.8	do not reject
Triangular(6., 11.7, 9.4)	87.8	do not reject
Uniform(7., 11.3)	78.	do not reject
Johnson SB(7., 5.26, 0.489, 0.755)	37.7	do not reject
Weibull(7., 1.59, 2.29)	18.5	do not reject
LogLogistic(7., 1.92, 1.77)	7.87	reject
Rayleigh(7., 1.71)	3.85	do not reject
Lognormal(7., 0.422, 0.931)	1.75	reject
Pearson 5(7., 1.09, 0.981)	0.112	reject



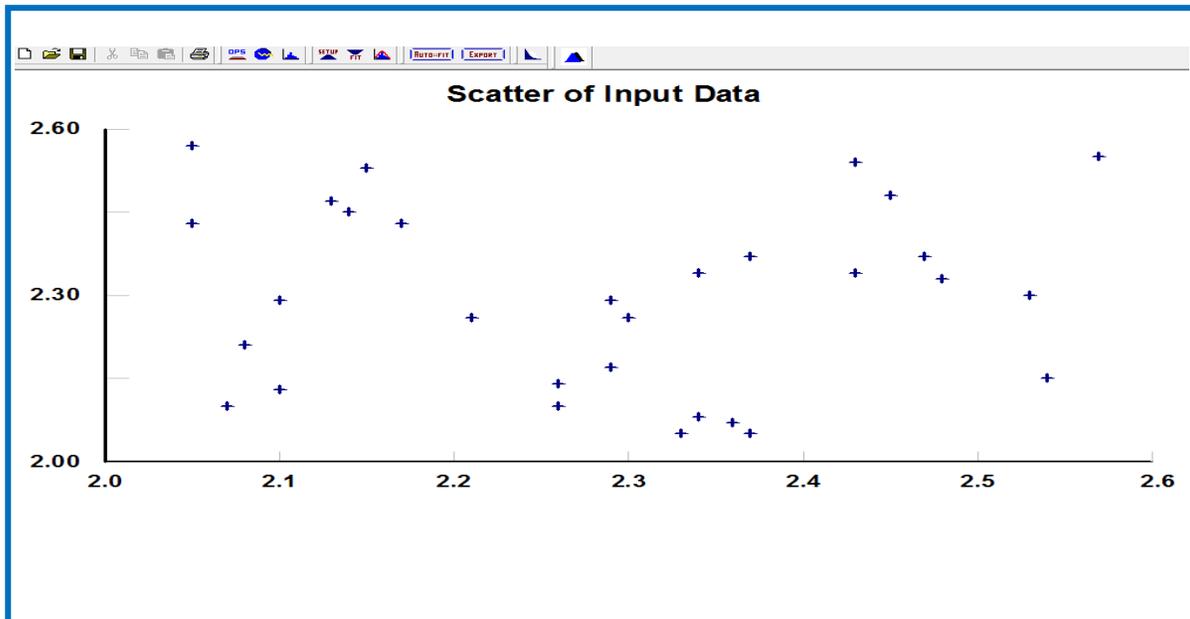


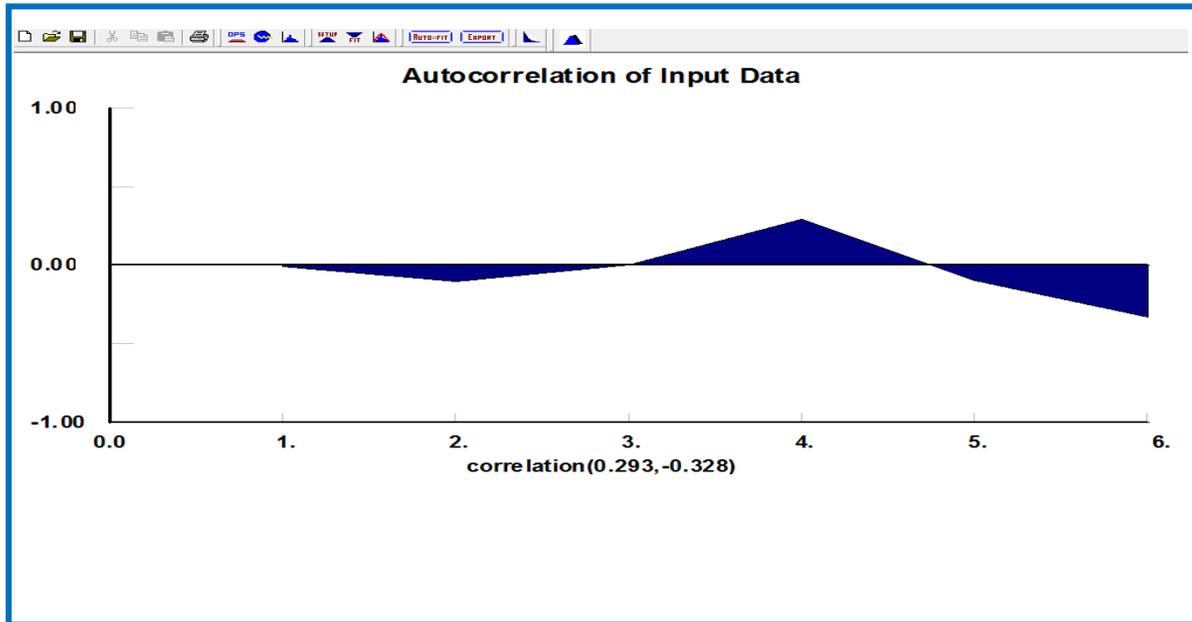
runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	18
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.359398
level of significance	5.e-002
runs statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.719298
result	DO NOT REJECT
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	31
turning points	21
mean turnings	20.3333
standard deviation turnings	2.27791
turnings statistic	0.292666
level of significance	5.e-002
turnings statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.769778
result	DO NOT REJECT



### Actividad de limpiar vidrios

distribution	rank	acceptance
Weibull(2.05, 1.46, 0.308)	100	do not reject
Pearson 6(2.05, 1.23e+005, 1.81, 7.94e+005)	77.3	do not reject
Beta(2.05, 3.05, 1.72, 5.18)	68.9	do not reject
Gamma(2.05, 2.27, 0.116)	35.6	do not reject
LogLogistic(2.05, 2.06, 0.231)	32.1	do not reject
Lognormal(2.05, -1.58, 0.887)	16.6	do not reject
Rayleigh(2.05, 0.241)	4.82	do not reject
Inverse Weibull(2.05, 0.98, 7.82)	2.27	reject
Exponential(2.05, 0.262)	2.12	do not reject
Erlang(2.05, 2., 0.116)	2.04	do not reject
Pareto(2.05, 8.57)	0.894	do not reject
Pearson 5(2.05, 1.16, 0.146)	0.804	reject
Inverse Gaussian(2.05, 0.245, 0.262)	0.508	reject
Power Function(2.05, 3.05, 0.634)	2.58e-003	reject
Triangular(1.05, 3.13, 2.29)	2.71e-005	reject
Chi Squared(2.05, 0.888)	1.37e-005	reject
Uniform(2.05, 3.05)	0.	reject
Johnson SB(2.05, 0.75, 0.781, 0.884)	0.	reject



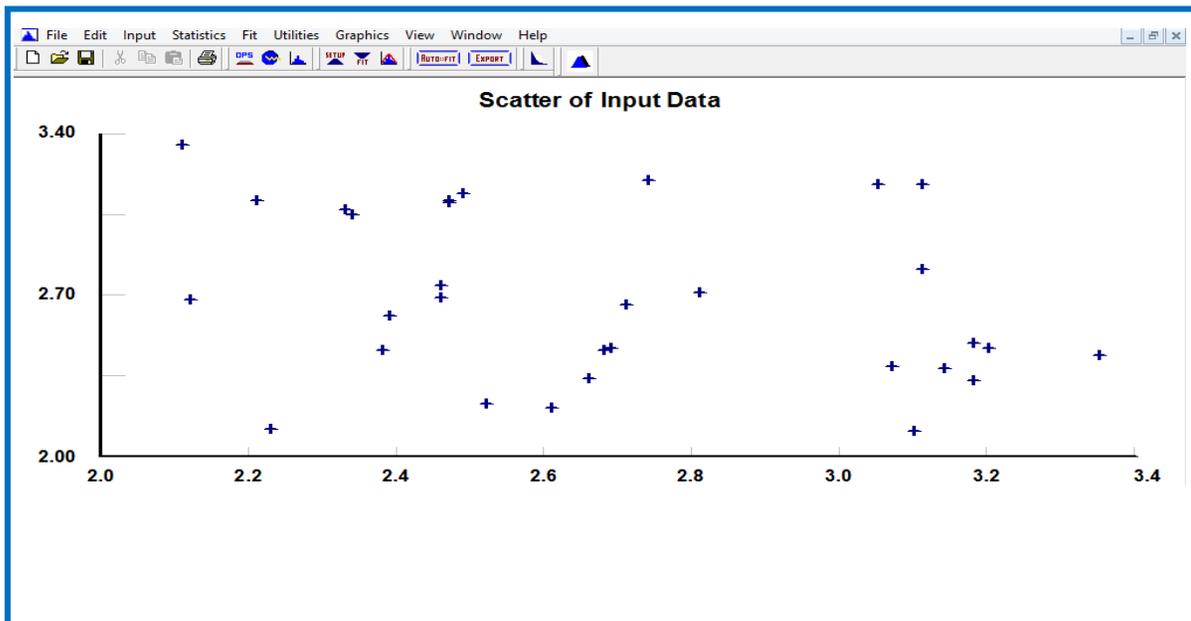


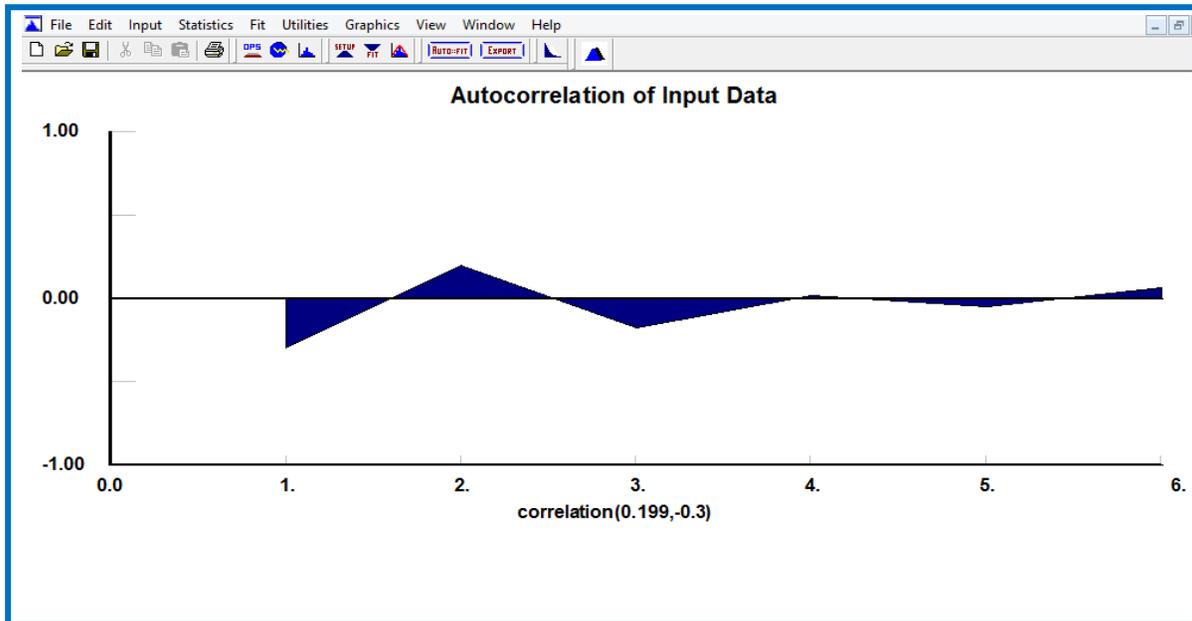
runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	13
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.43759
level of significance	5.e-002
runs statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.15055
result	DO NOT REJECT
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	28
turning points	16
mean turnings	18.3333
standard deviation turnings	2.15767
turnings statistic	1.08141
level of significance	5.e-002
turnings statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.279514
result	DO NOT REJECT



### Actividad de aplicar abrillantador en tablero

distribution	rank	acceptance
Power Function(2.1, 3.37, 0.889)	100	do not reject
Beta(2.1, 3.35, 1.06, 1.34)	44.8	do not reject
Gamma(2.1, 1.61, 0.36)	42.5	do not reject
Pearson 6(2.1, 1.65e+005, 1.59, 4.51e+005)	42.5	do not reject
Weibull(2.1, 1.5, 0.637)	41.4	do not reject
LogLogistic(2.1, 1.93, 0.485)	34.2	do not reject
Erlang(2.1, 2., 0.291)	34.2	do not reject
Uniform(2.1, 3.35)	29.	do not reject
Triangular(2.1, 3.62, 2.1)	12.	do not reject
Rayleigh(2.1, 0.482)	7.57	do not reject
Lognormal(2.1, -0.883, 1.07)	4.96	reject
Exponential(2.1, 0.582)	2.87	reject
Pareto(2.1, 4.24)	0.584	reject
Inverse Weibull(2.1, 0.676, 4.49)	3.89e-002	reject
Chi Squared(2.1, 1.18)	5.21e-003	reject
Pearson 5(2.1, 0.587, 8.44e-002)	8.06e-004	reject
Inverse Gaussian(2.1, 0.191, 0.582)	3.08e-005	reject
Johnson SB(2.1, 1.13, 9.51e-003, 0.526)	0.	reject



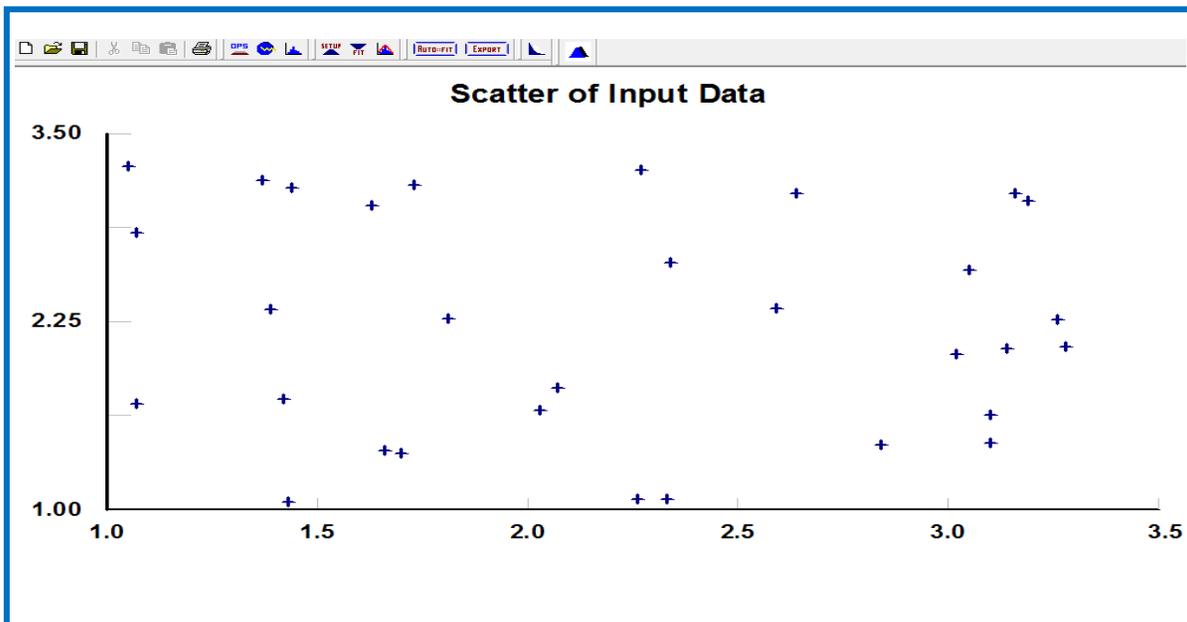


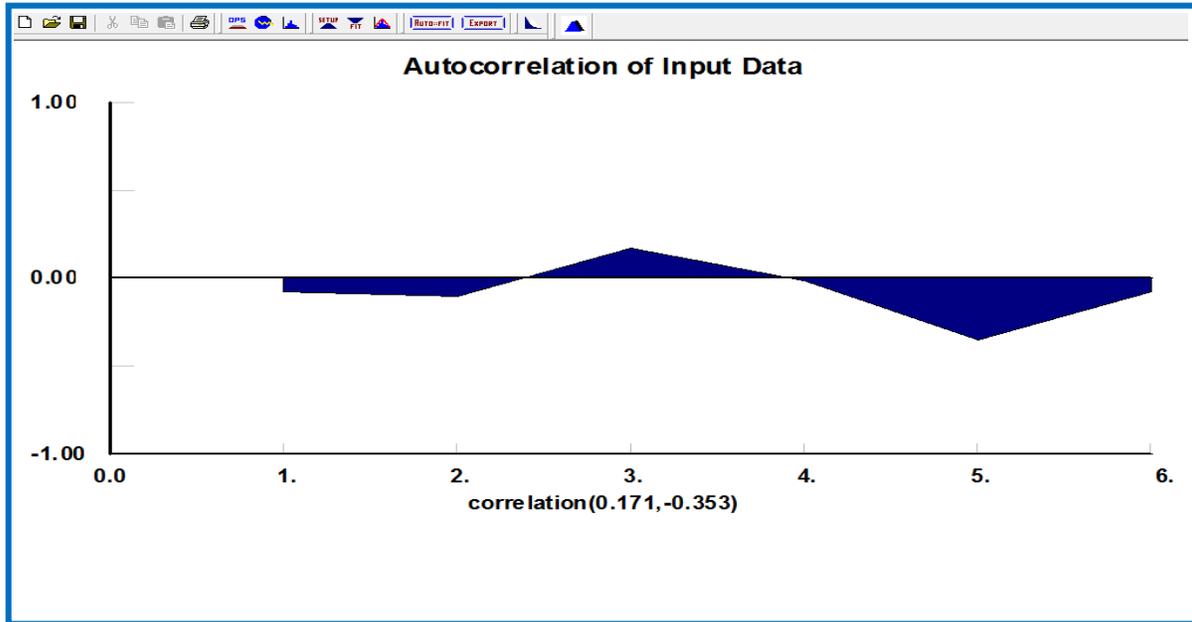
runs test (above/below median)	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	21
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.43759
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.15055
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	32
turning points	22
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.431666
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.665984
result	DO NOT REJECT



### Actividad de aplicar abrillantador en llantas y rines

distribution	rank	acceptance
Johnson SB(1.05, 2.37, 4.04e-002, 0.537)	82.7	do not reject
Beta(1.05, 3.28, 0.823, 0.766)	81.6	do not reject
Triangular(5.e-002, 3.36, 3.26)	36.9	do not reject
Weibull(1.05, 1.47, 1.3)	29.6	do not reject
Pearson 6(1.05, 5.47e+005, 1.5, 6.88e+005)	20.8	do not reject
Uniform(1.05, 3.28)	20.6	do not reject
Gamma(1.05, 1.63, 0.709)	18.9	do not reject
Power Function(1.05, 3.28, 1.)	9.27	do not reject
LogLogistic(1.05, 1.81, 0.993)	5.47	reject
Erlang(1.05, 2., 0.709)	5.3	reject
Exponential(1.05, 1.15)	3.43	do not reject
Rayleigh(1.05, 0.982)	3.22	do not reject
Lognormal(1.05, -0.195, 1.16)	1.4	reject
Chi Squared(1.05, 1.67)	0.26	reject
Pareto(1.05, 1.47)	9.54e-002	reject
Inverse Weibull(1.05, 0.622, 2.38)	6.02e-003	reject
Pearson 5(1.05, 0.5, 0.116)	8.95e-004	reject
Inverse Gaussian(1.05, 0.289, 1.15)	0.	reject



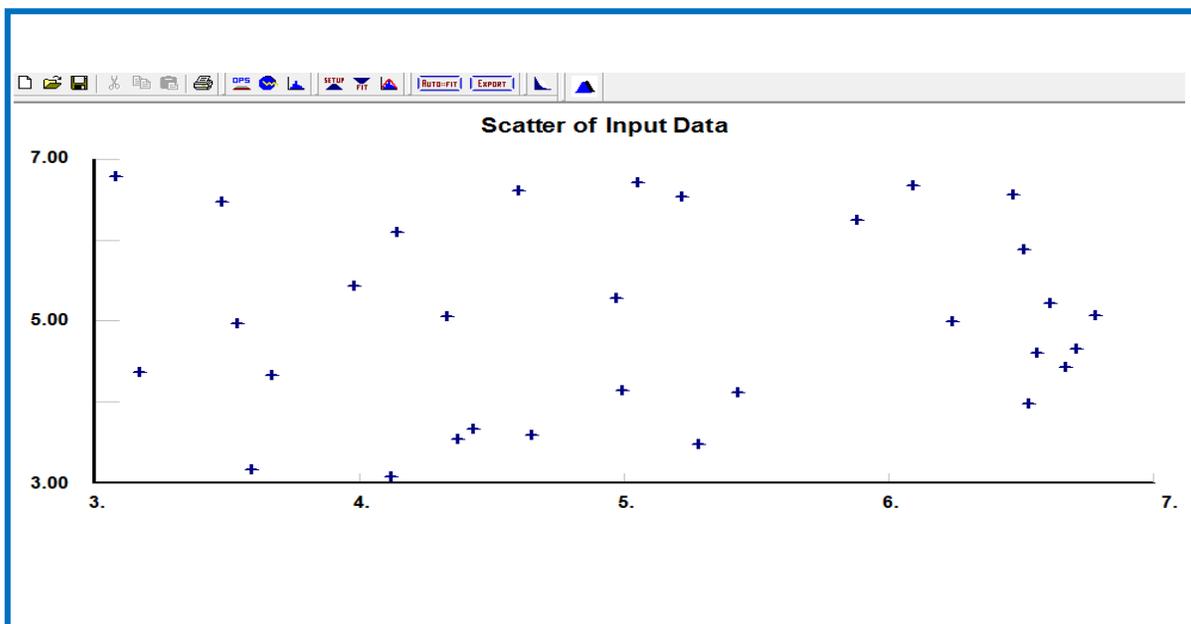


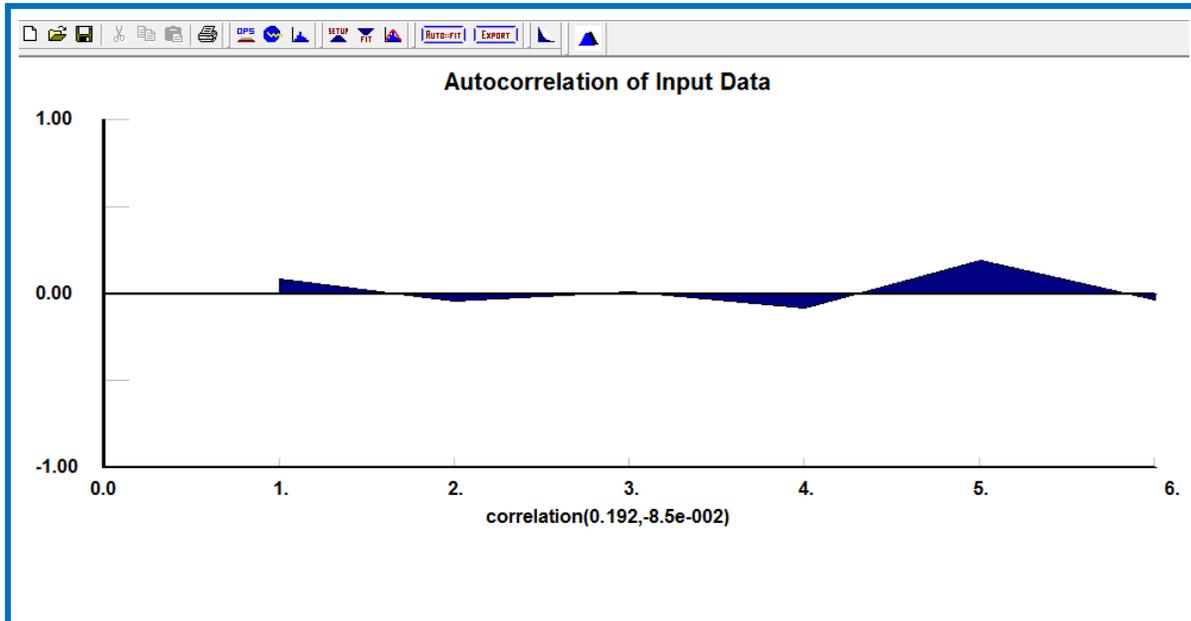
runs test on input	
<b>runs test (above/below median)</b>	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	17
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.
level of significance	5.e-002
runs statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	1.
result	<b>DO NOT REJECT</b>
<b>runs test (turning points)</b>	
data points	32
turning points	19
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.863332
level of significance	5.e-002
turnings statistic[2.5e-002]	1.95996
p-value	0.387955
result	<b>DO NOT REJECT</b>



### Actividad de secado de franela para camioneta

distribution	rank	acceptance
Beta(3.08, 6.78, 1.05, 0.863)	87.3	do not reject
Weibull(3.08, 1.8, 2.29)	66.3	do not reject
Pearson 6(3.08, 8.19e+004, 2.22, 8.85e+004)	58.3	do not reject
Rayleigh(3.08, 1.66)	41.7	do not reject
Gamma(3.08, 2.51, 0.791)	35.6	do not reject
Power Function(3.08, 6.78, 1.2)	28.	do not reject
Uniform(3.08, 6.78)	23.3	do not reject
LogLogistic(3.08, 2.28, 1.8)	22.3	do not reject
Triangular(2.08, 6.85, 6.71)	16.3	do not reject
Lognormal(3.08, 0.476, 0.834)	14.7	do not reject
Erlang(3.08, 3., 0.791)	11.5	do not reject
Chi Squared(3.08, 2.52)	2.45	reject
Exponential(3.08, 1.99)	1.42	do not reject
Pearson 5(3.08, 1.08, 1.02)	0.65	reject
Inverse Weibull(3.08, 0.91, 0.992)	0.147	reject
Pareto(3.08, 2.13)	6.95e-002	reject
Inverse Gaussian	no fit	reject
Johnson SB	no fit	reject

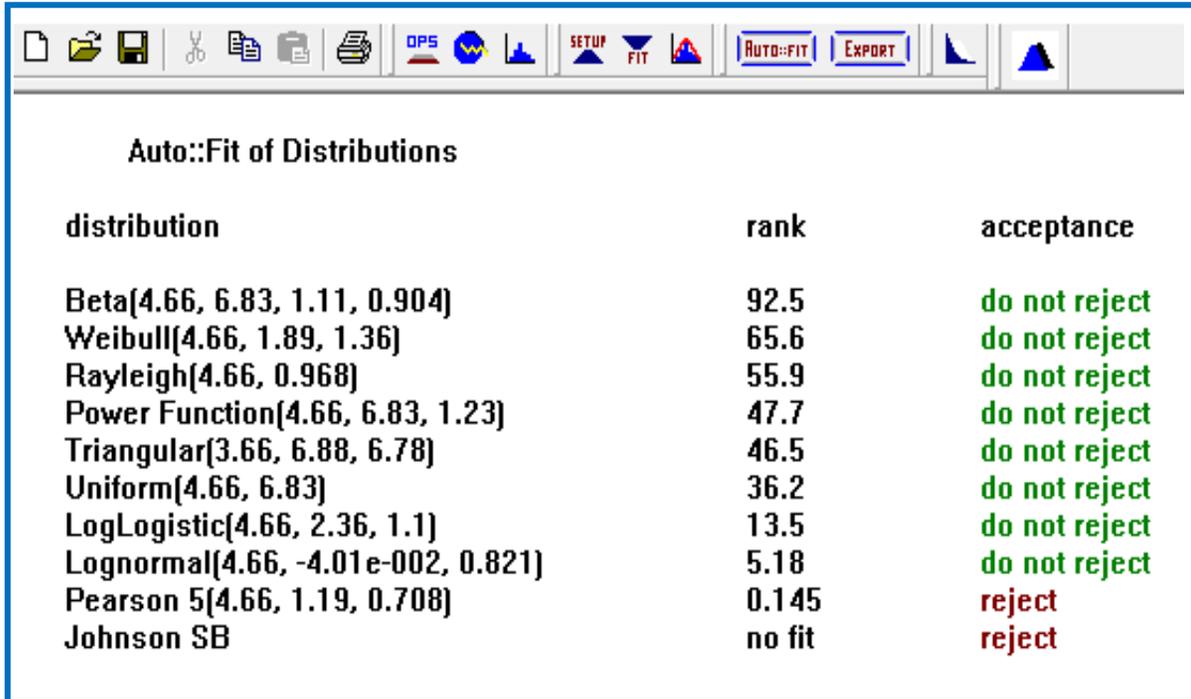




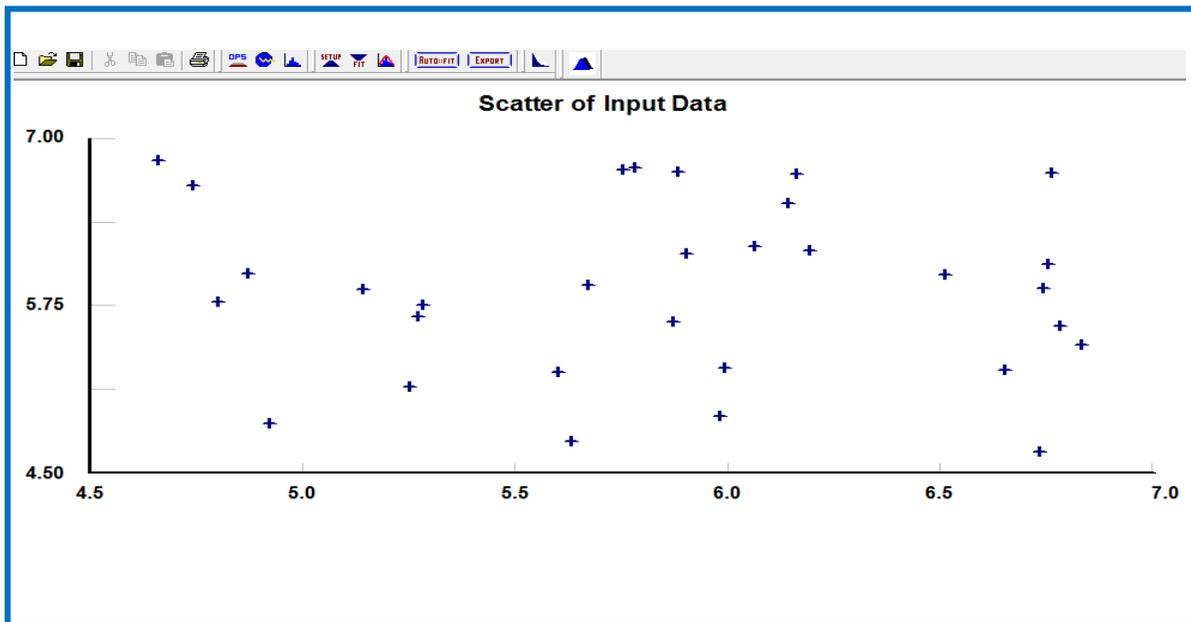
runs test (above/below median)	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	15
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.718795
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.472267
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	32
turning points	20
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.431666
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.665984
result	DO NOT REJECT

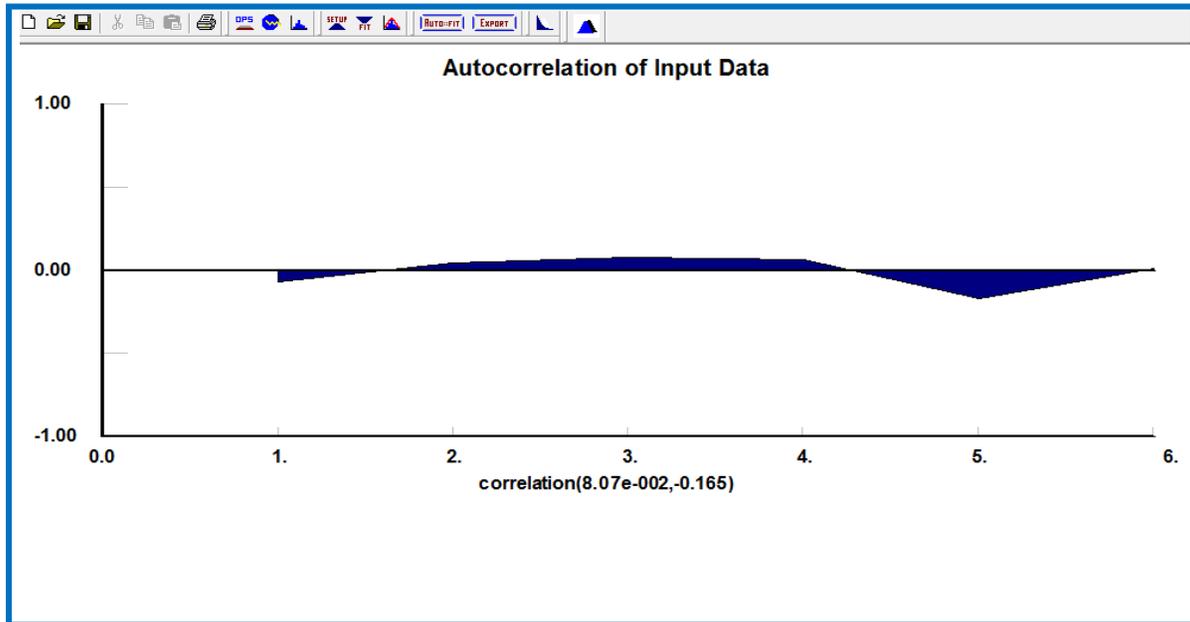


### Actividad de secado con teflón para camioneta



distribution	rank	acceptance
Beta(4.66, 6.83, 1.11, 0.904)	92.5	do not reject
Weibull(4.66, 1.89, 1.36)	65.6	do not reject
Rayleigh(4.66, 0.968)	55.9	do not reject
Power Function(4.66, 6.83, 1.23)	47.7	do not reject
Triangular(3.66, 6.88, 6.78)	46.5	do not reject
Uniform(4.66, 6.83)	36.2	do not reject
LogLogistic(4.66, 2.36, 1.1)	13.5	do not reject
Lognormal(4.66, -4.01e-002, 0.821)	5.18	do not reject
Pearson 5(4.66, 1.19, 0.708)	0.145	reject
Johnson SB	no fit	reject



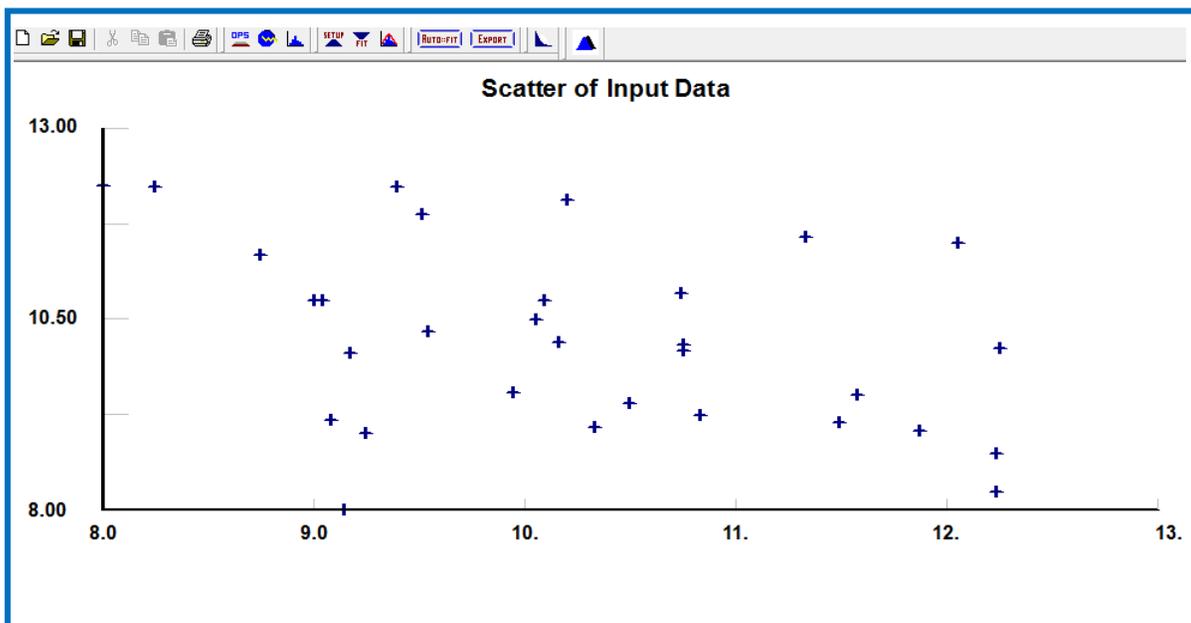


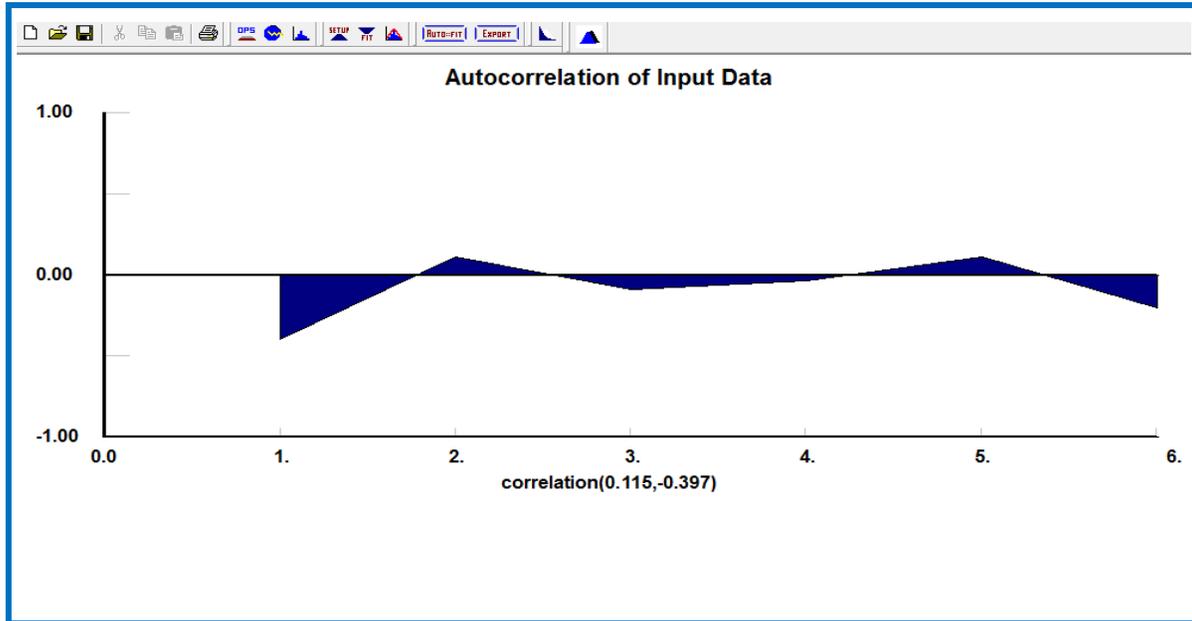
runs test (above/below median)	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	13
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.43759
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.15055
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	32
turning points	19
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.863332
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.387955
result	DO NOT REJECT



### Actividad de aspirado para camioneta

distribution	rank	acceptance
Rayleigh(8., 1.82)	100	do not reject
Johnson SB(8., 7.28, 1.06, 1.18)	98.7	do not reject
Pearson 6(8., 9.23e+004, 3.19, 1.28e+005)	90.5	do not reject
Weibull(8., 2.16, 2.61)	86.4	do not reject
LogLogistic(8., 2.96, 2.09)	67.	do not reject
Gamma(8., 4.22, 0.53)	54.5	do not reject
Lognormal(8., 0.682, 0.62)	49.7	do not reject
Uniform(8., 12.3)	21.2	do not reject
Erlang(8., 4., 0.53)	20.4	do not reject
Beta(8., 12.3, 1.27, 1.01)	20.	do not reject
Power Function(8., 12.3, 1.31)	9.56	do not reject
Inverse Gaussian(8., 4.89, 2.24)	9.56	do not reject
Pearson 5(8., 2.12, 3.26)	6.9	reject
Triangular(7., 12.3, 12.2)	1.07	do not reject
Chi Squared(8., 2.9)	0.929	reject
Inverse Weibull(8., 1.26, 0.712)	0.801	reject
Exponential(8., 2.24)	2.43e-002	reject
Pareto(8., 4.17)	3.64e-003	reject

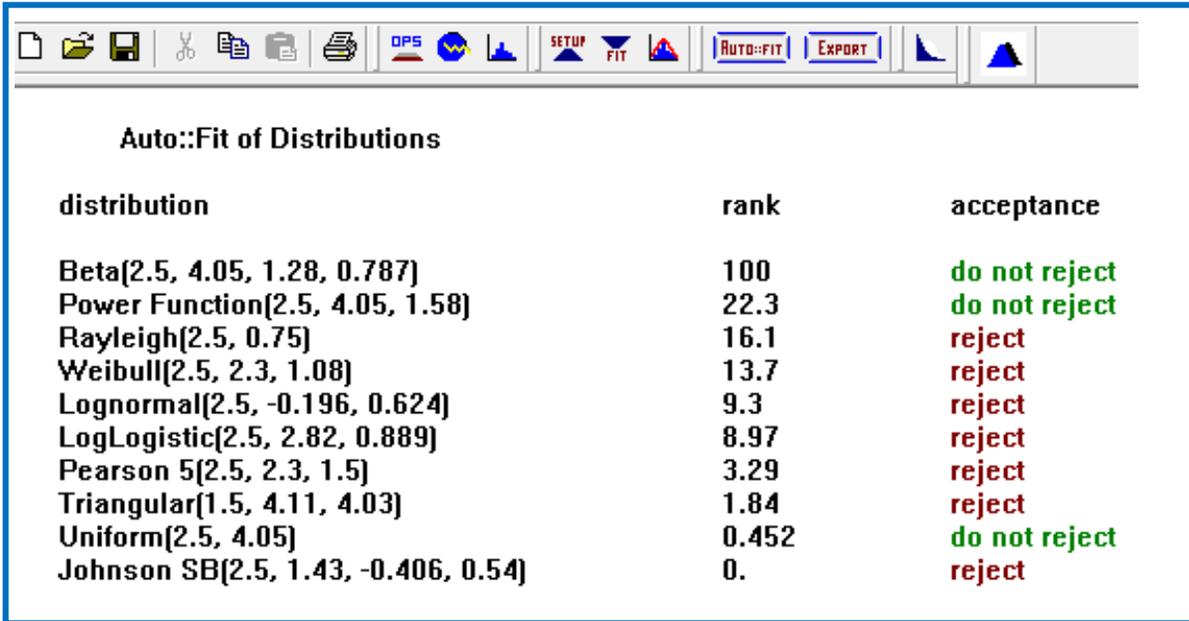




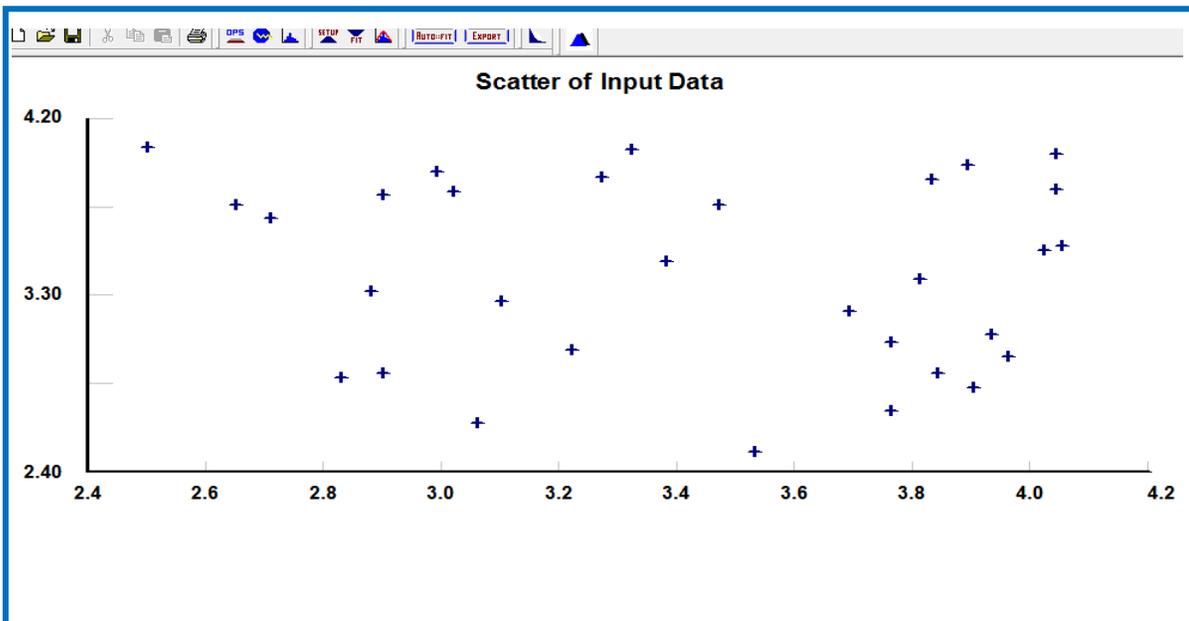
runs test (above/below median)	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	21
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	1.43759
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.15055
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	32
turning points	22
mean turnings	21.
standard deviation turnings	2.31661
turnings statistic	0.431666
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.665984
result	DO NOT REJECT

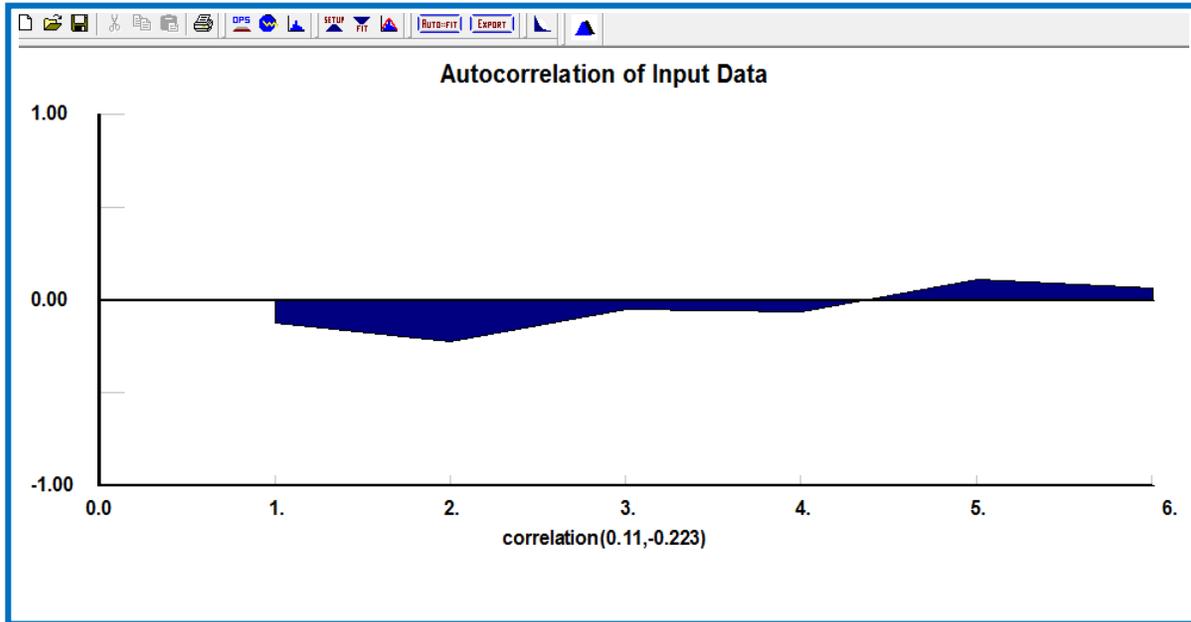


### Actividad de limpiar vidrios para camioneta



distribution	rank	acceptance
Beta(2.5, 4.05, 1.28, 0.787)	100	do not reject
Power Function(2.5, 4.05, 1.58)	22.3	do not reject
Rayleigh(2.5, 0.75)	16.1	reject
Weibull(2.5, 2.3, 1.08)	13.7	reject
Lognormal(2.5, -0.196, 0.624)	9.3	reject
LogLogistic(2.5, 2.82, 0.889)	8.97	reject
Pearson 5(2.5, 2.3, 1.5)	3.29	reject
Triangular(1.5, 4.11, 4.03)	1.84	reject
Uniform(2.5, 4.05)	0.452	do not reject
Johnson SB(2.5, 1.43, -0.406, 0.54)	0.	reject





runs test (above/below median)	
data points	32
points above median	16
points below median	16
total runs	19
mean runs	17.
standard deviation runs	2.78243
runs statistic	0.718795
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.472267
result	DO NOT REJECT
runs test (turning points)	
data points	31
turning points	18
mean turnings	20.3333
standard deviation turnings	2.27791
turnings statistic	1.02433
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.30568
result	DO NOT REJECT



## ANEXO 2

Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Rally		Tipo de vehículo		Carro	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	11.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	11.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	11.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	11.4	Secar con franela	3.11			
	11.4	Aspirar interiores	9.01			
	11.4	Limpiar vidrios interiores y exteriores	2.31			
	2.5	Aplicar abrillantador en tablero	2.68			
	7.5	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	11.4	Revisar que el automovil este limpio	1.10			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	113.8		25.30			1.76

Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Express		Tipo de vehículo		Carro	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	11.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	11.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	11.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	11.4	Secar con franela	3.11			
	7.5	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	11.4	Revisar que el automovil este limpio	1.10			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	88.5		11.30			1.76



Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Gran Premio		Tipo de vehículo		Camioneta	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	13.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	13.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	13.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	26.8	Secar con teflón	5.84			
	6.7	Aspirar cajuela	2.16			
	13.4	Aspirar interiores	10.24			
	13.4	Limpiar vidrios interiores y exteriores	3.43			
	3.7	Aplicar abrillantador en tablero	2.68			
	8.8	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	13.4	Revisa que el automóvil este limpio	1.25			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	150.4		32.69			1.76

Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Rally		Tipo de vehículo		Camioneta	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	13.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	13.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	13.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	13.4	Secar con franela	5.07			
	13.4	Aspirar interiores	10.24			
	13.4	Limpiar vidrios interiores y exteriores	3.43			
	3.7	Aplicar abrillantador en tablero	2.68			
	8.8	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	13.4	Revisar que el automóvil este limpio	1.25			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	130.3		29.76			1.76



Diagrama de Actividades Múltiples						
Operación	Lavado Express		Tipo de vehículo		Camioneta	
	DISTANCIA (m)	OPERADOR	TIEMPO MIN.	DISTANCIA (m)	MAQUINA	TIEMPO MIN.
	13.4	Rociar agua con manguera al automóvil	1.06			
	13.4	Rociar espuma con manguera al automóvil	0.64			
	13.4	Tallar con franela el automóvil	1.39			
	3	Trasladarse al mecanismo de auto lavado	0.20			
		Accionar mecanismo de auto lavado	0.10			
				6	Ciclo de lavado	1.76
	21	Trasladarse al área de lavado manual	1.00			
	13.4	Secar con franela	5.07			
	8.8	Aplicar abrillantador en llantas y rines	2.20			
	13.4	Revisar que el automóvil este limpio	1.25			
		Entregar automóvil al cliente	0.50			
Total	99.8		13.41			1.76

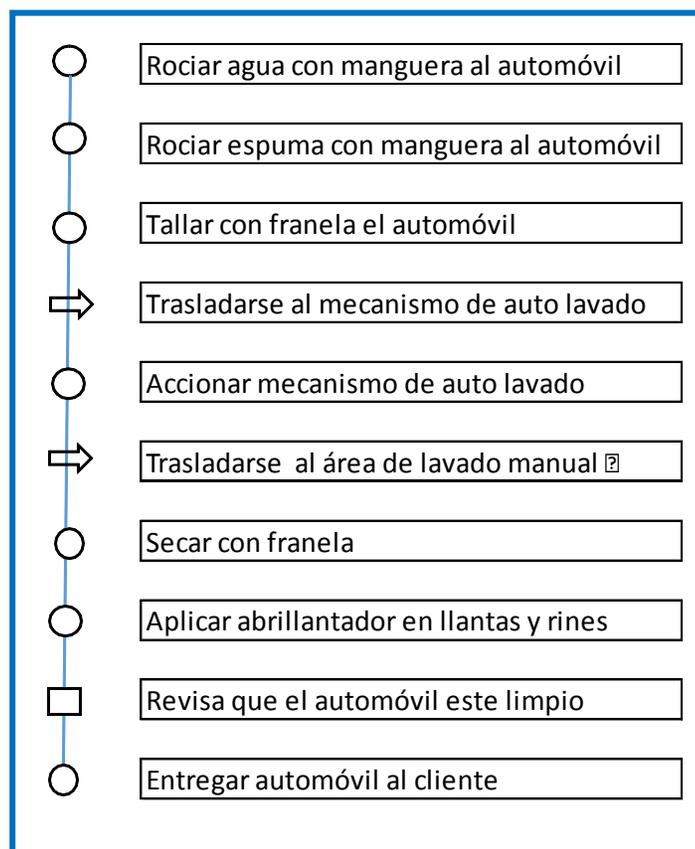


Diagrama de actividades operador Express

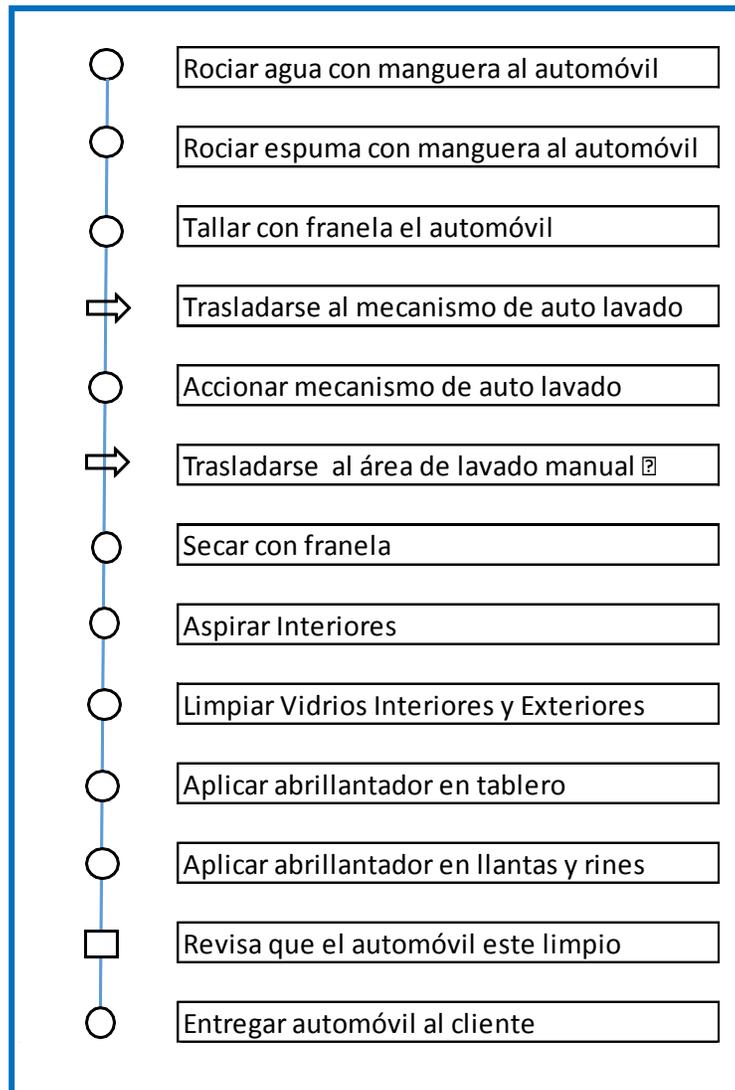


Diagrama de actividades operador Rally