

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS**

**ESCUELA DE GRADUADOS**

**TESIS DE GRADUACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA**

**TEMA**

**OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO OFRECIDO POR MULTISERVIDORES BASADO EN  
SIMULACIÓN MATEMÁTICA PARA UN ALMACÉN DE ELECTRODOMÉSTICOS EN  
LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

**AUTORA**

**Nadia Lorena Cárdenas Escobar**

**Guayaquil- Ecuador**

**AÑO 2010**

## **DEDICATORIA**

A mis abuelos, Herman Antonio y Gloria Argentina quienes siempre me aportaron con la sabiduría de sus años en varios senderos de mi vida. Y aunque uno ya no me acompaña físicamente, en este planeta, dimensión y tiempo; sus enseñanzas persisten en mi memoria y corazón.

Nadia Cárdenas Escobar

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias infinitas a esas dos fuerzas inseparables, Padre y Madre que fueron mi apoyo divino.

Gracias a cada una de las personas que creyeron en mí y que me apoyaron con su ánimo y buenas energías dentro y fuera de mi hogar.

Y por supuesto, un gran Gracias a mi director de tesis, Ph. D. Kléber Barcia quien me guió en la elaboración de esta tesis y aportó con su experiencia.

Nadia Cárdenas Escobar

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente al **ICM (Instituto de Ciencias Matemáticas)** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

Ing. Nadia Cárdenas Escobar

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

MSIG. Pablo Álvarez

**PRESIDENTE**

---

Ph. D. Kléber Barcia

**DIRECTOR DE TESIS**

---

M. Sc. Erwin Delgado

**VOCAL**

## **AUTORA DE LA TESIS DE GRADUACIÓN**

---

Ing. Nadia Cárdenas Escobar

## Tabla de contenido

1.	OBJETIVOS Y GENERALIDADES.....	1
1.1	Definición del problema.....	1
1.2	Metodología.....	2
1.2.1	Estructura de la tesis.....	3
1.3	Justificación del problema.....	5
1.4	Definición del Macroproceso, procesos y sub-procesos.....	6
2.	ESTADO DEL ARTE.....	12
2.1	Introducción.....	12
2.2	Qué es simulación.....	12
2.3	Pasos para realizar una simulación .....	13
2.3.1	Formulación del problema.....	13
2.3.2	Objetivos y plan del proyecto.....	13
2.3.3	Conceptualización del modelo apropiado.....	13
2.3.4	Recolección de datos.....	14
2.3.5	Interpretación del modelo.....	15
2.3.6	Verificación.....	15
2.3.7	Validación.....	15
2.3.8	Diseño experimental real.....	16

2.3.9	Experimentación.....	16
2.3.10	Documentación y reporte.....	17
2.3.11	Implementación.....	17
2.4	Stat-fit.....	18
2.5	Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov – Smirnov (KS)	19
2.5.1	Modo alternativo de realizar la prueba de Kolmogorov Smirnov.....	22
2.6	Prueba de Anderson Darling [5].....	23
2.7	WITNESS.....	24
2.8	Investigaciones recientes.....	26
3.	ANÁLISIS INFERENCIAL E IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	32
3.1	Introducción.....	32
3.2	Especificación de variables.....	32
3.3	Descripción de Variables de Crédito nuevo.....	34
3.3.1	Tiempo entre arribos de solicitudes.....	34
3.3.2	Tiempo de envío de mail.....	35
3.3.3	Tiempo de central de riesgo.....	37
3.3.4	Tiempo de realizar llamadas.....	38
3.3.5	Tiempo de ingreso al sistema.....	40
3.3.6	Tiempo de verificación de terreno.....	41

3.3.7	Tiempo de análisis y aprobación de crédito.....	43
3.3.8	Tiempo antes de central de riesgo.....	45
3.3.9	Tiempo de otras actividades antes de llamadas.....	46
3.3.10	Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema..	48
3.3.11	Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis.....	49
3.4	Elementos básicos utilizados en el modelo de simulación de crédito.....	51
4.	MODELO ACTUAL DINÁMICO.....	59
4.1	Introducción.....	59
4.2	Verificación del modelo.....	59
4.3	Validación del modelo.....	61
4.4	Comparación con datos del sistema real.....	64
5.	PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE MEJORAS.....	71
5.1	Introducción.....	71
5.2	Escenario 1.....	72
5.3	Escenario 2.....	77
5.4	Escenario 3.....	78
5.5	Estimación del intervalo de confianza para cada escenario...	78
5.5.1	Cálculo de número de replicas.....	78

5.5.2	Cálculo de intervalo de confianza.....	87
5.6	Análisis financiero.....	92
5.7	Resultados.....	98
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
6.1	Conclusiones.....	101
6.2	Recomendaciones.....	103

## Contenido de figuras

Figura 1.	Histograma de tiempo entre arribos de solicitudes.....	34
Figura 2.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo entre Arribos .....	35
Figura 3.	Histograma de Envío de mail.....	36
Figura 4.	Histograma y curva de distribución ajustada de Envío de mail.....	37
Figura 5.	Histograma de central de riesgo .....	37
Figura 6.	Histograma y curva de distribución ajustada de central de riesgo...	38
Figura 7.	Histograma de tiempo de realizar llamadas .....	39
Figura 8.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de Llamadas .....	40
Figura 9.	Histograma de tiempo de ingreso al sistema .....	40
Figura 10.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo ingreso al sistema .....	41
Figura 11.	Histograma de tiempo de verificación de terreno .....	42
Figura 12.	Histograma y curvas de distribuciones probadas de tiempo de verificación de terreno .....	43
Figura 13.	Histograma de tiempo de análisis y aprobación de crédito .....	44
Figura 14.	Histograma de tiempo antes de central de riesgo .....	45

Figura 15.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central.....	46
Figura 16.	Histograma de tiempo antes de llamadas.....	46
Figura 17.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo antes de llamadas .....	47
Figura 18.	Histograma de tiempo antes de ingreso al sistema .....	48
Figura 19.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo antes de ingreso al sistema .....	49
Figura 20.	Histograma de tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis .....	50
Figura 21.	Production Machine.....	52
Figura 22.	Single Machine.....	52
Figura 23.	Assembly Machine.....	53
Figura 24.	Modelo Actual del proceso de crédito de simulación.....	60
Figura 25.	Histograma de tiempo modificado de otras actividades antes de central de riesgo .....	73
Figura 26.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central .....	73
Figura 27.	Histograma de tiempo de análisis del jefe de crédito .....	74
Figura 28.	Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central .....	75

## Contenido de tablas

Tabla 1.1	Tiempos de procesos.....	6
Tabla 1.2	Definición del macroproceso, procesos y subprocessos.....	7
Tabla 2.1.	Valores para $c_{\alpha}$ .....	21
Tabla 2.2	Valores para $k(n)$ .....	22
Tabla 2.3	Valores críticos para la prueba de Anderson-Darling .....	24
Tabla 3.1	Valor p para tiempo de envío de mail .....	36
Tabla 3.2	Valor p para tiempo de análisis y aprobación de crédito.....	44
Tabla 3.3	Valor p para tiempo de otras actividades antes de llamadas...	47
Tabla 3.4	Valor p para Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis.....	50
Tabla 4.1	Datos de número de créditos aprobados para $n=6$ .....	65
Tabla 4.2	Número de créditos aprobados para $n= 40$ .....	68
Tabla 5.1	Tabla de tareas del jefe de crédito.....	75
Tabla 5.2	Créditos aprobados acumulados para $n=50$ en modelo actual..	79
Tabla 5.3	Créditos aprobados acumulados para $n=50$ en escenario 1.....	80
Tabla 5.4	Créditos aprobados acumulados para $n=50$ en escenario 2.....	80
Tabla 5.5	Créditos aprobados acumulados para $n=50$ en escenario 3.....	80
Tabla 5.6	Desviación estándar de cada escenario.....	81
Tabla 5.7	Cálculo de R final para escenario actual .....	82
Tabla 5.8	Cálculo de R final para escenario actual.....	83
Tabla 5.9	Cálculo de R final para escenario 1.....	83
Tabla 5.10	Cálculo de R final para escenario 1.....	84

Tabla 5.11	Cálculo de R final para escenario 2.....	85
Tabla 5.12	Cálculo de R final para escenario 2.....	85
Tabla 5.13	Cálculo de R final para escenario 3.....	86
Tabla 5.14	Cálculo de R final para escenario 3.....	86
Tabla 5.15	Cálculo de intervalo de confianza para cada escenario. Variable créditos aprobados.....	88
Tabla 5.16	Cálculo de intervalo de confianza para cada escenario.....	90
Tabla 5.17	Salarios de trabajadores relacionados a crédito nuevo.....	93
Tabla 5.18	Gastos administrativos.....	93
Tabla 5.19	Servicios básicos .....	94
Tabla 5.20	Estado de Resultados y pérdidas manteniendo el proceso  Actual .....	95
Tabla 5.21	Inversión para el escenario mejor.....	96
Tabla 5.22	Estado de Resultados y pérdidas manteniendo el proceso  Mejorado .....	97

## **Objetivo General**

Optimizar la atención del cliente mediante el aumento de créditos aprobados en una sucursal a través de simulación matemática, también se busca el mejoramiento de actividades asignadas en el día y mejorar la atención del cliente que sin duda repercute en el aumento de ingresos para la compañía.

## **Objetivos Particulares**

- Crear un modelo de simulación de la atención del cliente para aprobación de crédito para los diferentes escenarios propuestos.
- Reducir el tiempo de aprobación de un crédito.
- Aumentar el número de créditos aprobados lo que representa mayor ingreso para la empresa.
- Proponer mejoras en implementación de tecnología o redistribución de actividades para reducir tiempos de atención y variabilidad en los datos.
- Establecer el escenario óptimo con las condiciones necesarias para satisfacer al cliente al momento que el cliente solicite un crédito.

## Introducción

Actualmente las compras de un supermercado, farmacia, almacenes de electrodomésticos, y todo punto de venta o cobranza son los lugares donde el cliente no se siente totalmente satisfecho. Las largas filas y eternos minutos de espera hasta que una persona sea atendida, son los malestares que los clientes sienten al momento de realizar un pago o aplicación a un crédito. Producto de esto se produce una mala imagen del almacén y en algunos casos provoca la pérdida de ventas.

Existen varias implementaciones que las empresas han adoptado para reducir los tiempos de atención al cliente, los que sirven para satisfacer la demanda del momento pero cuando crece la demanda estas implementaciones se hacen obsoletas. De esta forma se convierte en un círculo vicioso en el que las empresas adoptan soluciones transitorias que no prevalecen a través del tiempo.

Es importante para las empresas reducir sus tiempos de atención al cliente pues lograrían aumentar el número de clientes atendidos lo que va de la mano con el aumento de sus ingresos, además de la buena imagen que proyectarían al consumidor, quien motivado por la buena atención que experimentó desearía regresar a comprar a ese almacén. Sin duda, esto último tiene un valor intangible, mas repercute en largo plazo en la relación de la empresa con su cliente.

El macroproceso de venta de un artículo para el caso de una venta para un cliente con crédito nuevo y que retira su compra en el mismo almacén, se lo ha definido en cuatro procesos que deben cumplirse para que el cliente adquiera el producto de su elección. Estos son: Cotización, crédito nuevo, facturación y entrega del producto. En muy pocos casos estos procesos se realizan en paralelo pues cada uno depende del otro.

Para el desarrollo de esta tesis, se ha seleccionado el proceso de Crédito nuevo, pues es el proceso que involucra mayor tiempo en la atención al cliente cuya justificación de estos tiempos se presentarán más adelante.

El proceso de crédito nuevo se relaciona con la solicitud que el cliente debe ingresar para comprar un electrodoméstico a plazo de 12, 15 o 18 meses. Dentro de este proceso se encuentran los subprocesos de revisión de datos en bases de datos financieras, llamadas telefónicas y verificación de datos en terreno, esto último sirve para comprobar el domicilio del solicitante y es uno de los principales factores para la aprobación de un crédito.



## **CAPÍTULO 1**

### **1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES**

#### **1.1 Definición del problema**

La reducción de tiempos para la aprobación de un crédito de un almacén de electrodomésticos es una necesidad latente, pues con esto se optimizaría los recursos utilizados y se aumentaría el número de ventas en el día.

Existen más de 10 sucursales que posee un almacén de electrodomésticos en la ciudad de Guayaquil, pero esta investigación se centrará solo en una sucursal que fue seleccionada de acuerdo al volumen de transacciones por día y de ingresos.

La sucursal seleccionada es Nueve 2, que presenta alta variabilidad en los tiempos de atención al cliente y es de vital importancia reducir esta variabilidad y el tiempo promedio de atención al cliente.

El proceso de crédito inicia cuando el cliente ingresa la solicitud al departamento de crédito. Esta solicitud contiene los datos del cliente los cuales deben ser validados por el analista de crédito de la sucursal donde la ingresó. El analista enviará al iniciar el día un informe del número de solicitudes a procesar en el día. Paralelamente enviará los croquis al verificador de terreno para que verifiquen si el domicilio indicado en la solicitud es correcto y que tenga habitándolo por lo menos 3 años ininterrumpidos. Luego, procederá a verificar los datos personales en las bases de datos como son: registro civil, central de riesgo y base de lista negra (deudores de los almacenes de electrodomésticos). Además realiza las llamadas de verificación de las referencias personales. La política comercial del almacén indica que la aprobación de un crédito tarda 24 horas y la intención de los directivos es de reducir este tiempo a 2 horas de tal modo que el cliente pueda llevarse el producto el mismo día que ingresó la solicitud, pues actualmente el cliente tiene que llamar o regresar al almacén al día siguiente del ingreso de su solicitud y en algunos casos cuando regresa debe corregir el croquis o algún dato pues no son válidos para ser aprobados y esto conlleva a otro día de espera para el cliente lo que se vuelve un proceso tormentoso. Dada esta situación, en algunos casos los clientes desertan en el proceso pues consideran que pierden mucho tiempo en el trámite y prefieren dirigirse a la competencia quienes tienen un proceso más rápido.

## **1.2 Metodología**

Para resolver el problema planteado se realizó una recolección de datos de los tiempos de aprobación de crédito. Luego se identificó la distribución de los datos de entrada mediante las pruebas de Kolmogorov – Smirnov o prueba Chi-

cuadrado y Anderson Darling, con este fin se utilizó el software Stat-Fit el que permitirá identificar la distribución que mejor se ajuste a los datos de entrada y salida.

Se procedió a definir el sistema actual con sus entidades, evento, actividad y variables de estado en relación a los objetivos del estudio. Posteriormente, se concretó el modelo de simulación adecuado para este problema que fue realizado en WITNESS. Este software se basa en la creación de representaciones visuales de los sistemas de la vida real que, a través de modelos dinámicos, consiguen transformar simples datos en medidas productivas siendo muy fácil su interpretación para personas no relacionadas con el medio. Se alimenta de las distribuciones estadísticas o empíricas que fueron previamente definidas.

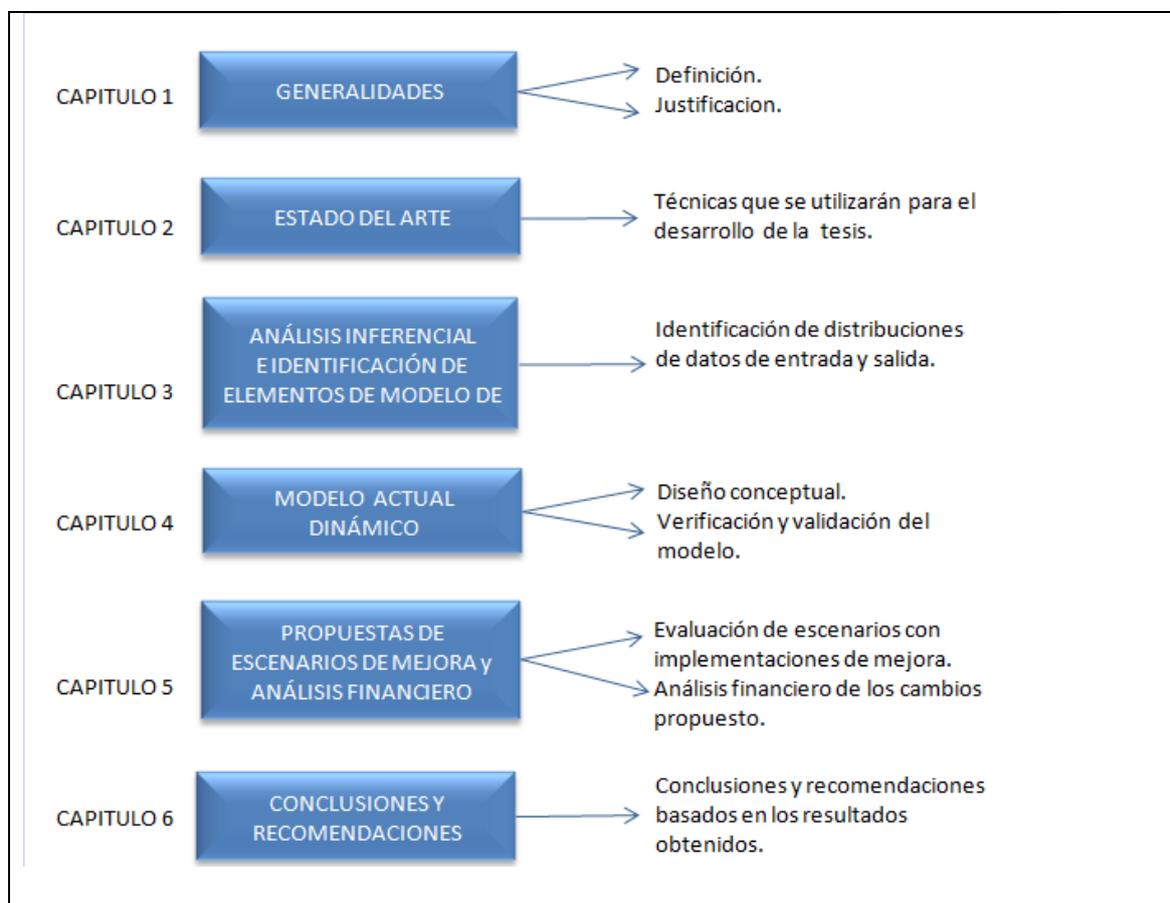
Se proponen tres escenarios posibles de mejoras los cuales serán evaluados de acuerdo a los costos y optimización del servicio que aporten cada uno.

Finalmente, de acuerdo a las variables seleccionadas como relevantes y a los resultados obtenidos, se eligió el escenario que optimice el nivel de servicio para los clientes que deseen obtener un crédito.

### 1.2.1 Estructura de la tesis

Esta tesis se encuentra dividida en 6 capítulos que aportan con el desarrollo de la misma. En el cuadro 1.1 se presenta un esquema del contenido de cada uno de estos capítulos.

Cuadro 1.1. Esquema de contenidos de capítulos



En el capítulo 1 se presenta la definición del problema y procesos, las justificaciones, objetivo general, objetivos específicos y metodología que se aplica para la elaboración de esta tesis.

En el capítulo 2 se profundiza en las técnicas y metodología que se utilizan para elaborar el modelo de simulación y los diferentes escenarios. Se explica sobre los software que se usarán como son Stat-Fit y Witness que son las herramientas que permitirán obtener resultados confiables y satisfactorios para la resolución del problema planteado en este estudio.

En el capítulo 3 se procede a analizar los datos de manera inferencial, logrando con esto determinar, de ser el caso, la distribución que mejor se ajusta y los parámetros correspondientes, esto se realiza mediante el software Stat-fit que encuentra la distribución utilizando técnicas estadísticas apropiadas.

En el capítulo 4 se presenta el modelo actual con los problemas mencionados y se realiza una validación del mismo para probar que el modelo cumpla con las condiciones del problema anteriormente definido. Para visualizar el problema dinámicamente se emplea WITNESS como herramienta de apoyo para simular el sistema de crédito nuevo. Tomando en cuenta los tiempos de llegada y servicio.

En el capítulo 5 se muestran los diferentes escenarios planteados con las diferentes mejoras que aportan a incrementar el número de solicitudes aprobadas lo que ha sido el objetivo de estudio desde el inicio. Cada escenario debe cumplir con esta condición además de mejorar el porcentaje de ocio de los trabajadores y disminuir las colas que representan mayores retrasos para el sistema

De acuerdo a las variables seleccionadas como relevantes, se elegirá el escenario que optimice el nivel de servicio para los clientes es decir aumentando el número de solicitudes aprobadas claramente se reduce el tiempo de atención y el cliente quedará más satisfecho. Posteriormente, se realiza un análisis financiero de la situación actual versus el escenario elegido para probar la factibilidad de esta mejora.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones según lo desarrollado en esta tesis y los resultados encontrados.

### **1.3 Justificación del problema**

Para elegir el proceso que debe ser mejorado, se procedió a calcular los tiempos promedios de cada uno. En la tabla 1.1 se muestra el detalle de los tiempos promedios de cada proceso involucrado en la venta de un electrodoméstico. Como se puede notar claramente el proceso que involucra mayor tiempo es Crédito nuevo, por lo que se analiza para encontrar el nivel óptimo de servicio que debería ofrecer.

Tabla 1.1 Tiempos de procesos

<b>PROCESO</b>	<b>TIEMPO PROMEDIO (minutos)</b>
Cotización	3.61
<b>Crédito nuevo</b>	<b>1153.41</b>
Facturación	4.85
Entrega de producto	4.32
<b>Total venta</b>	<b>1166.19</b>

En la sucursal Nueve 2 se obtuvo un tiempo promedio para la aprobación de un crédito de 1153 minutos lo que es equivalente a 19 horas con 13 minutos, además se conoce que la variabilidad es del 11%. El tiempo promedio resultó menor a lo esperado por la empresa, sin embargo se desea reducirlo pues es este proceso el que posee el mayor tiempo en todo el macroproceso de la venta provocando grandes retrasos e inclusive la pérdida de clientes.

#### 1.4 Definición del Macroproceso, procesos y sub-procesos

La compra de un electrodoméstico está definido como el macro procesos que comprende por cuatros procesos que son:

- Cotización
- Crédito
- Facturación
- Entrega de artículo

Cada uno de estos procesos tiene subprocesos definidos que se muestran en la tabla 1.2. Cada subproceso tiene su actividad de inicio y fin determinadas que son usadas para calcular los tiempos de espera y de atención.

Tabla 1.2 Definición del macroproceso, procesos y subprocesos

PROCESOS	SUBPROCESOS	INICIO	FIN
COTIZACIÓN	COTIZACIÓN	Inicia la elaboración de la cotización.	Termina la elaboración de cotización.
	VERIFICACIÓN DE CUPO	Vendedor inicia verificación de cupo en el sistema.	Vendedor finaliza verificación de cupo en el sistema.
CRÉDITO	ENVIO DE MAIL	Analista recibe la solicitud de crédito via email o físico.	Analista envía mail con solicitudes a procesar en el día.
	REVISIÓN EN BASE DE DATOS	Inicia verificación en bases de datos para conocer situación financiera del cliente.	Fin de verificación en bases de datos para conocer situación financiera del cliente.
	LLAMADAS	Inicia llamadas de referencias personales.	Fin llamadas de referencias personales.
	INGRESO AL SISTEMA	Ingreso de solicitud al sistema de crédito.	Fin del ingreso de solicitud al sistema de crédito.
	VERIFICACIÓN DE TERRENO	Entrega de croquis al verificador de terreno.	Verificador envía las verificaciones con sus estados.
	ANÁLISIS DE DATOS Y APROBACIÓN	Inicia análisis de los datos por parte del analista de crédito.	Analista envía mail a vendedores con respuesta de solicitud.
FACTURACIÓN	FILA CAJA	Cliente se acerca a la fila de CAJA	Cliente entrega documentos a Cajera
	ATENCIÓN EN CAJA	Cliente entrega documentos a Cajera	Cliente recibe documento comprobante de pago
ENTREGA	APROBACIÓN JEFE ALMACEN	El cliente o vendedor entrega comprobante de pago a jefe de Almacén	Jefe de Almacén aprueba la gestión de la entrega
	ENTREGA PRODUCTO	Se inicia gestión en bodega del Almacén	El producto o cliente sale del Almacén

Realizado por: Ing. Nadia Cárdenas

Es importante mencionar que no todas las actividades se cumplen, pues depende exclusivamente de las necesidades y condiciones del cliente, pero para este análisis se tomó en consideración solo la compra de un cliente que solicita un crédito y se lleva el artículo en el momento de la compra. En el cuadro 1.1 se muestra un diagrama del macroproceso para una venta de con entrega en almacén.

Como se lo mencionó anteriormente, esta tesis se enfocó solo en el proceso de Crédito nuevo, que tiene los subprocesos, antes definidos, de los que se obtiene los tiempos que a continuación se describen:

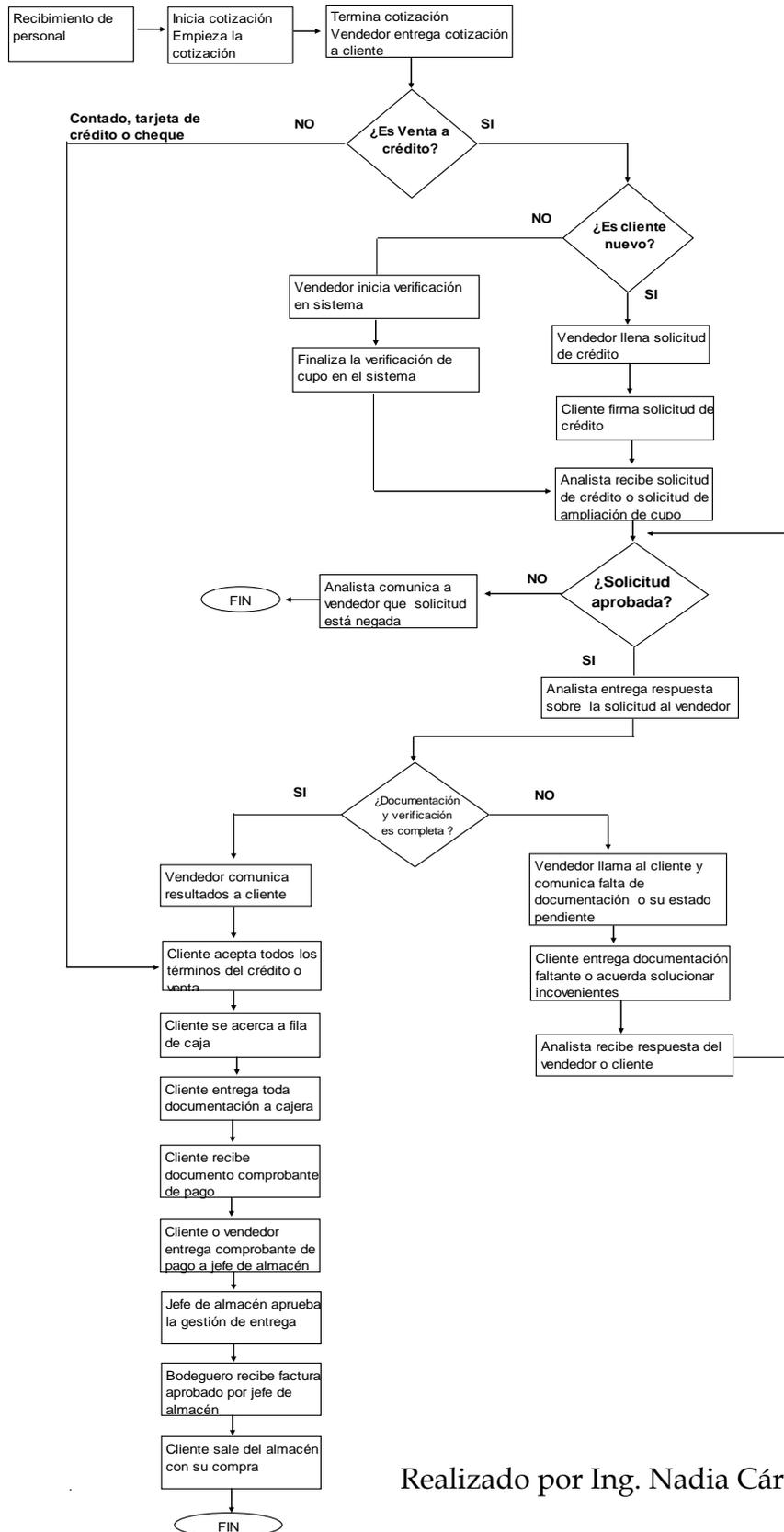
### ***Crédito nuevo***

- Tiempo de envío de mail
- Tiempo de revisar el estado del cliente en base de datos financieras
- Tiempo de realizar llamadas
- Tiempo de ingreso al sistema
- Tiempo de verificación de terreno
- Tiempo de análisis y aprobación de crédito.

Para crédito el tiempo se calcula desde que la solicitud llega al analista de crédito quien se encarga de revisar los datos que fueron detallados en la solicitud de crédito, es decir verifica los datos en bases de datos como registro civil. Central de riesgo y base de deudores de almacenes de electrodomésticos. Además realizará las llamadas telefónicas para validar las referencias personales.

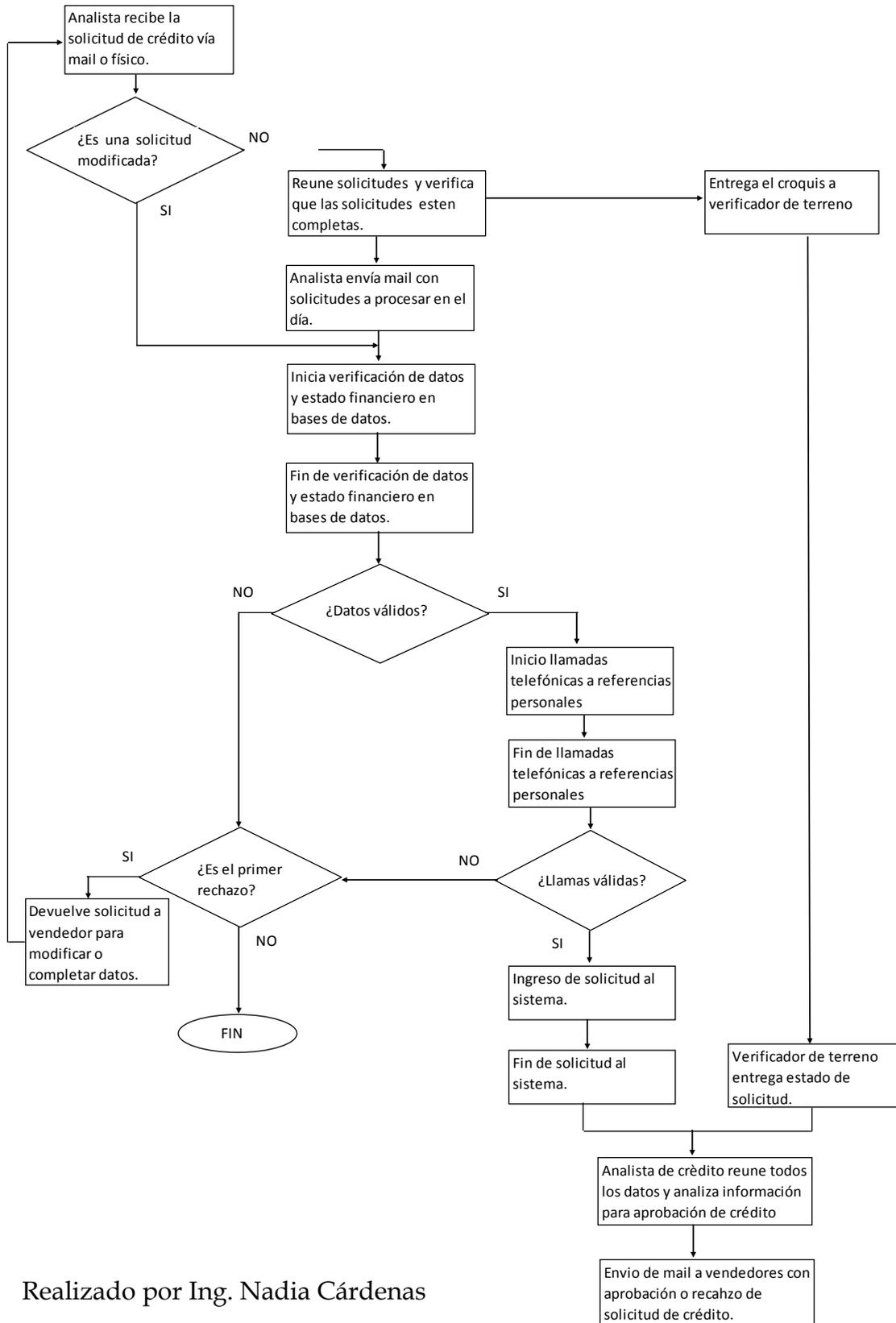
La solicitud tiene adjunto un croquis del domicilio del solicitante el cual debe ser confirmado por el verificador de terreno y una vez realizado esto el jefe de crédito procederá a analizar todos los datos para determinar si el crédito merece la aprobación. Cada uno de estos subprocesos son considerados para establecer los tiempos de cada uno. El orden lógico de estas actividades se ilustra en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.1. Diagrama del macroproceso para una venta de con entrega en almacén.



Realizado por Ing. Nadia Cárdenas

Cuadro. 1.2 Detalle actividades del proceso de Crédito nuevo



Realizado por Ing. Nadia Cárdenas



## **CAPÍTULO 2**

### **2. ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se describen los pasos que se utilizan para realizar una simulación. Además se detallan las técnicas y programas que se emplean para sustentar que el modelo de simulación cumpla con los objetivos de este estudio. Finalmente, se muestran ejemplos de estudios basados en simulación lo que podrá servir como un referente para el desarrollo de esta tesis.

#### **2.2 Qué es simulación**

Una simulación es una imitación de la operación de un proceso o sistema real a lo largo del tiempo [1].

Los modelos de simulación estudian el comportamiento de los sistemas y sus cambios a través del tiempo

Una vez desarrollado y validado el modelo se lo usa para investigar una gran gama de posibles preguntas “what-if”.

## **2.3 Pasos para realizar una simulación [ 1 ].**

### **2.3.1 Formulación del problema**

Se definen las cuestiones para las que se buscan las respuestas, las variables implicadas y las medidas de ejecución que se van a usar.

Se hace una abstracción del tipo de problema que se va a tratar. Se identifican los recursos a utilizar, los requisitos que se van a exigir (relaciones a establecer).

### **2.3.2 Objetivos y plan del proyecto**

En este punto se puede establecer los objetivos y las preguntas que se espera contestar.

Se debe asegurar que se tiene suficiente personal, el apoyo de los gerentes de la empresa, hardware y software para hacer su trabajo. Debe existir el compromiso y la responsabilidad de los clientes para lograr establecer adecuados canales de comunicación y tiempos.

### **2.3.3 Conceptualización del modelo apropiado**

Los modelos son abstracciones de las partes esenciales del sistema. Se ha de intentar ver si con las variables que se han especificado se tiene suficiente para describir estos aspectos importantes del sistema (si no se tienen suficientes entonces el modelo no será una buena representación del sistema), o por el contrario se han definido más de las necesarias (esto puede oscurecer las relaciones entre las variables realmente importantes). En resumen, lo que se tiene que fijar en este paso es el nivel de detalle al que se debe llegar en el modelo. El nivel de detalle depende de:

- Propósito del modelo.
- Contribución de las variables al modelo.

No es igual si lo que se desea hacer es un modelo para una previsión a largo plazo, en cuyo caso la precisión puede ser menor, debido a que al transcurrir el tiempo las variables van a cambiar e incluso podrán aparecer otras nuevas,

que si se desea una previsión a corto plazo, entonces se deberá profundizar más en el nivel de detalle.

### **2.3.4 Recolección de datos**

Los métodos de recolección de datos son tan variados como los problemas a los que éstos se pueden aplicar. Si se clasifican por su sencillez, se puede ir desde las aproximaciones manuales hasta las técnicas más sofisticadas de alta tecnología. En la selección de un método se pueden tener en cuenta los siguientes factores:

- Capacidad de quien recoja los datos.
- El impacto que pueda producir el proceso de recolección sobre el comportamiento del sistema real. Puede producir perturbaciones reales o físicas en el sistema o psicológicas.
- La facilidad de conversión de los datos a una representación procesable por el ordenador.
- El coste del método.

En muchas situaciones es suficiente con la observación directa y la recogida manual de los atributos de interés. Pero si la medida que se quiere observar depende de una persona, su comportamiento se puede ver afectado por estar siendo observada. Otras veces puede ocurrir que la acción que se quiere observar sea muy rápida y que no sea posible realizar una observación humana.

Los datos usados para definir el modelo pueden ser de dos tipos:

**Determinísticos:** son datos conocidos con certeza. Éstos se pueden introducir fácilmente en el modelo.

**Probabilísticos:** hay dos formas de incluirlos en el modelo:

- Usar la muestra de datos recogida para representar la distribución de probabilidades.

- Determinar una distribución probabilística teórica que se comporte como la muestra y usar ésta en el modelo. Esto permite tener una mejor comprensión (generalización) del modelo.

### **2.3.5 Interpretación del modelo**

Se debe formular el modelo en un lenguaje de simulación apropiado, donde solo el 20% del esfuerzo total del proyecto debe ser consumido en esta etapa.

Es importante tomar nota del modelo que se está formulando, tomando en consideración lo siguiente:

- Escriba todas las asunciones y estrategias usadas
- Escriba todos los cambios que realiza al modelo con el nombre, la fecha y la razón del cambio.

### **2.3.6 Verificación**

Verificación también puede ser llamado depuración, esto es, asegurarse de que el modelo hace lo que debe hacer.

El modelo debe operar de acuerdo a la formulación del analista.

### **2.3.7 Validación**

La validación debe efectuarse durante todo el estudio, sin embargo hay ciertos puntos en el estudio en que es particularmente apropiada.

Validar es asegurarse de que los supuestos usados en el desarrollo del modelo son razonables en el sentido de que, si correctamente implementado, el modelo producirá resultados próximos a los observados en el sistema real. Las técnicas de validación dependen de los supuestos hechos y del sistema modelado. Técnicas usadas en una simulación pueden no ser aplicables a otra.

Hay que validar tres puntos claves del modelo:

- a) Supuestos
- b) Valores de los parámetros de entrada y las distribuciones
- c) Valores de salida y conclusiones

Esto se puede hacer comparando con las tres posibles fuentes siguientes:

- a) Intuición de expertos
- b) Mediciones en el sistema real
- c) Resultados teóricos

No todas estas fuentes son posibles en todos los casos.

### **2.3.8 Diseño experimental real**

Comparar con el sistema real es la forma más segura y preferible de validar el modelo. En la práctica esto no siempre es posible ya que el sistema no existe o es muy costoso obtener mediciones. Técnicas estadísticas pueden ser usadas para comparar si dos sistemas son iguales. Pruebas de bondad de ajuste pueden ser usadas para las distribuciones de entrada.

### **2.3.9 Experimentación**

El propósito último de la experimentación con el modelo es obtener información acerca del comportamiento del sistema para que esto nos ayude en la toma de decisiones. Cuando se considera la ejecución de un sistema se puede desear conocer cómo se comporta dicho sistema en sentido absoluto, o comparativamente, para poder contrastar varias configuraciones alternativas del sistema.

Se debe repetir el experimento las veces que sea necesario hasta lograr los resultados deseados.

### **2.3.10 Documentación y reporte**

En esta parte se tiene que ver con todo el documento del estudio. Es decir, analizar los resultados de la experimentación formal e informalmente.

Un análisis formal es la revisión de los análisis estadísticos

Un análisis informal es la revisión visual de los resultados del experimento.

Se debe realizar el Análisis de Costo.

Realizar una presentación formal de los resultados a los directivos de la compañía.

### **2.3.11 Implementación**

Se ha de asegurar que los resultados y recomendaciones para mejorar el sistema que deben ser aceptados por el usuario.

Este paso final es uno de los más importantes y el que más se descuida de todo el proceso. Parece obvio que los beneficios de un largo y costoso análisis no se realizarán sin una implementación apropiada y una aceptación por parte de los usuarios.

Entre las razones por las que los esfuerzos de implantación son a menudo inútiles, se incluyen las siguientes:

- Existe un vacío de comunicación entre el analista de la simulación y los encargados y usuarios del sistema.
- Falta de entendimientos por parte de los encargados del sistema debido a los tecnicismos utilizados.
- El compromiso de implementación es tardío.
- Resistencia al cambio.
- Falta de coincidencia entre el personal disponible y los objetivos marcados por el modelo.

Hay aproximaciones que tratan estos obstáculos potenciales. Estas aproximaciones requieren que los usuarios y los analistas estén implicados desde el comienzo en el proyecto simulación.

## **2.4 STAT-FIT**

**Stat::Fit** es uno de los software más amigables y comprensibles para ajustar datos a distribuciones de probabilidad, que existe en el mercado. **Stat::Fit™** toma sus datos de eventos que ocurren en forma aleatoria, desde una planilla electrónica, archivo de texto o por ingreso en forma manual, convirtiéndolos a la mejor distribución de probabilidad e ingresados automáticamente al software de simulación ProModel, ServiceModel o MedModel [2].

Stat::fit permite lograr 5 objetivos que apoyan a que los resultados de Simulación sean confiables:

1. Ajuste de Curvas. Ayuda a encontrar la mejor distribución para representar los datos. Stat::fit utiliza las pruebas de Bondad de Ajuste más comúnmente conocidas, como son:
  - a. Anderson-Darling.
  - b. Chi-Cuadrada.
  - c. Kolmogorov-Smirnov.
2. Determinar el número de réplicas para correr un modelo de simulación.
3. Determinar el tamaño de la muestra para toma de tiempos de proceso y transportación.
4. Graficar los datos de entrada, graficar todas las distribuciones de probabilidad que se pueden utilizar, hacer estadística descriptiva de datos.
5. Excelente opción para difundir el pensamiento estadístico.

### **Distribución de Software de Adaptación**

Stat:: Fit estadísticamente se ajusta sus datos a la distribución de análisis más útil. Su funcionamiento es intuitivo, sin embargo, su archivo de ayuda es muy extenso. El Auto Fit función ajusta automáticamente distribuciones continuas, establece comparaciones relativas entre los tipos de distribución, y una medida absoluta de la aceptabilidad de cada distribución. La función de exportación se traduce en la distribución provista formas específicas para el software de simulación.

Las características incluyen estadísticas descriptivas, las estimaciones de parámetros, pruebas de bondad de ajuste, análisis gráfico, la generación de variables azar, la exportación de productos de simulación, y más.

## **2.5 Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov – Smirnov (KS)**

La prueba de Kolmogorov Smirnov para una muestra se considera un procedimiento de “bondad de ajuste”, es decir, permite medir el grado de concordancia que existe entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada [3].

Conviene tener en cuenta que la prueba Kolmogórov-Smirnov es más sensible a los valores cercanos a la mediana que a los extremos de la distribución. La prueba de Anderson-Darling proporciona igual sensibilidad con valores extremos [4].

Hipótesis a contrastar:

$H_0$ : Los datos analizados siguen una distribución M

$H_1$ : Los datos analizados siguen una distribución M

Estadístico de contraste:

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} \left| \hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i) \right|$$

donde :

$x_i$  es el i-ésimo valor observado en la muestra (cuyos valores se han ordenada previamente de menor a mayor).

$\hat{F}_n(x_i)$  es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que  $x_i$ .

$F_0(x_i)$  es la probabilidad de observar valores menores o iguales que  $x_i$  cuando  $H_0$  es cierta.

Así pues, D es la mayor diferencia absoluta observada entre la frecuencia acumulada observada  $\hat{F}_n(x)$  y la frecuencia acumulada teórica  $F_0(x)$ , obtenida de la distribución de probabilidad que se especifica como hipótesis nula.

Si los valores observados  $\hat{F}_n(x)$  son similares a los esperados  $F_0(x)$ , el valor de D será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica  $\hat{F}_n(x)$  y la distribución teórica, mayor será el valor de D.

Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la forma:

$\begin{aligned} \text{Si } D \leq D_\alpha &\Rightarrow \text{Aceptar } H_0 \\ \text{Si } D > D_\alpha &\Rightarrow \text{Rechazar } H_0 \end{aligned}$
--

Donde el valor  $D_\alpha$  se elige de tal manera que:

$$P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta}) = \\ = P(D > D_\alpha / \text{Los datos siguen la distribución } M) = \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el nivel de significación del contraste.

Para el cálculo práctico del estadístico D deben obtenerse:

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - F_0(x_i) \right\}, \quad D^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ F_0(x_i) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

y a partir de estos valores:

$$D = \max \{ D^+, D^- \}$$

A su vez, el valor de  $D_\alpha$  depende del tipo de distribución a probar y se encuentra tabulado. En general es de la forma:

$$D_\alpha = \frac{c_\alpha}{k(n)}$$

Donde  $c_\alpha$  y  $k(n)$  se encuentran en las tablas siguientes:

Tabla 2.1. Valores para  $c_\alpha$

$c_\alpha$	$\alpha$		
	0.1	0.05	0.01
<b>Modelo</b>			
General	1.224	1.358	1.628
Normal	0.819	0.895	1.035
Exponencial	0.990	1.094	1.308
Weibull n=10	0.760	0.819	0.944
Weibull n=20	0.779	0.843	0.973
Weibull n=50	0.790	0.856	0.9888
Weibull n= $\infty$	0.803	0.874	1.007

Tabla 2.2 Valores para  $k(n)$

Distribución que se contraste	$k(n)$
General. Parámetros conocidos	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}$
Normal	$k(n) = \sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}$
Exponencial	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}$
Weibull	$k(n) = \sqrt{n}$

### 2.5.1 Modo alternativo de realizar la prueba de Kolmogorov Smirnov

La toma de la decisión en el contraste anterior puede llevarse a cabo también mediante el empleo del p-valor asociado al estadístico D observado. El p-valor se define como:

$$\text{p-valor} = P(D > D_{\text{obs}} / H_0 \text{ es cierta})$$

Si el p-valor es grande significa que, siendo cierta la hipótesis nula, el valor observado del estadístico D era esperable. Por tanto no hay razón para rechazar dicha hipótesis. Así mismo, si el p-valor fuera pequeño, ello indicaría que, siendo cierta la hipótesis nula, era muy difícil que se produjera el valor de D que efectivamente se ha observado. Ello obliga a poner muy en duda, y por tanto rechazar la hipótesis nula. De esta forma, para un nivel de significación  $\alpha$ , la regla de decisión para este contraste es:

Si  $p\text{-valor} \geq \alpha \Rightarrow \text{Aceptar } H_0$   
 Si  $p\text{-valor} < \alpha \Rightarrow \text{Rechazar } H_0$

Obviamente, la obtención del p-valor requiere conocer la distribución de D bajo la hipótesis nula y hacer el cálculo correspondiente. En el caso particular de la prueba de Kolmogorov Smirnov, la mayoría de los paquetes de software estadístico realizan este cálculo y proporcionan el p/valor directamente.

## 2.6 Prueba de Anderson Darling [5].

En estadística, la prueba de Anderson-Darling es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica. La fórmula para el estadístico determina si los datos (observar que los datos se deben ordenar) vienen de una distribución con función acumulativa F.

Donde el estadístico de prueba de Anderson Darling es:

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[F_n(x) - F(x)]^2}{F(x)[1 - F(x)]} f(x) dx$$

$$A_n^2 = - \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{n} [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n+1-i}))] - n$$

Donde:

n es el número de datos

F(x) es la función de distribución de probabilidad teórica

F<sub>n</sub>(x) es la función de distribución empírica

Para definir la regla de rechazo para esta prueba es necesario, también, obtener el estadístico ajustado para luego compararlo con los valores críticos de la tabla de Anderson-Darling. En la tabla 2.3 se pueden observar los valores críticos para distribuciones distintas, con parámetros conocidos.

Una vez obtenido el estadístico ajustado, la regla de rechazo se realiza análogamente a la utilizada en la prueba K-S explicada anteriormente. En este caso el valor es el siguiente:

Valor  $p = (A_n^2 \geq a_0, \text{ cuando la hipótesis nula es verdadera})$ . En donde  $a_0$  es el valor asociado al estadístico de prueba  $A_n^2$ .

Tabla 2.3 Valores críticos para la prueba de Anderson-Darling

Case	Adjusted test statistic	$1 - \alpha$			
		0.900	0.950	0.975	0.990
All parameters known	$A_n^2$ for $n \geq 5$	1.933	2.492	3.070	3.857
$N(\bar{X}(n), S^2(n))$	$\left(1 + \frac{4}{n} - \frac{25}{n^2}\right) A_n^2$	0.632	0.751	0.870	1.029
$\text{Expo}(\bar{X}(n))$	$\left(1 + \frac{0.6}{n}\right) A_n^2$	1.070	1.326	1.587	1.943
$\text{Weibull}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$	$\left(1 + \frac{0.2}{\sqrt{n}}\right) A_n^2$	0.637	0.757	0.877	1.038
$\text{Log-logistic}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$	$\left(1 + \frac{0.25}{\sqrt{n}}\right) A_n^2$	0.563	0.660	0.769	0.906

El estadístico de la prueba se puede entonces comparar contra las distribuciones del estadístico de prueba (dependiendo que F se utiliza) para determinar el P-valor y finalmente obtener la conclusión sobre la hipótesis nula.

## 2.7 WITNESS

WITNESS es un programa de simulación, la culminación de más de una década de experiencia en desarrollo de simulación basada en la programación. Esta experiencia ha permitido desarrollar un entorno de simulación visual y de interpretación sin necesidad de compilación [6].

Algunas características de este simulador son:

- Es un software orientado fuertemente a las máquinas.
- Utiliza varios elementos para simular sistemas de manufactura discretos.
- Contiene elementos para procesos continuos como flujo de fluidos a través de procesadores, tanques y tuberías.
- Combina los elementos permitiendo usarlos en varios modelos. El elemento máquina puede ser sencilla, de lotes, de producción, de ensamble, multi-estaciones y multi-ciclos.
- El comportamiento de cada elemento es descrito en forma detallada permitiendo la interacción con el usuario.
- Tiene animación 2-D y permite visualizar el flujo del proceso.
- La familia WITNESS permite animación en 3-D, documentación de los procesos y optimización.
- El software permite correr el programa a diferentes velocidades con la opción de detenerlo en cualquier tiempo t.

### **LIBRERÍAS**

- **WITNESS VR:** Software de Simulación de Realidad Virtual; este modulo ofrece la mejor calidad de modelización en 3D para PC. Este módulo de WITNESS combina la potencia de simulación con los gráficos en tres dimensiones. Como resultado se obtiene una excelente herramienta de visualización.
- **WITNESS Optimizer:** Este módulo reduce significativamente el tiempo de experimentación, automatizando la solución óptima para satisfacer los criterios que se elijan. Usando las últimas y más sofisticadas técnicas matemáticas, ofrece un interface fácil de usar y una presentación de resultados óptima a través de tablas y gráficos. Como resultado, el usuario gana en ayuda eficiente.

- **WITNESS Visio Link:** Este módulo permite la fácil transferencia de información entre Microsoft VISIO y WITNESS. El módulo está diseñado para que los usuarios de WITNESS puedan colaborar con usuarios de VISIO dentro de una organización, amortizando la inversión ya existente para diagramación y siendo capaces de importar y exportarlos de y desde WITNESS para la realización del modelado de sistemas dinámicos y el análisis mediante simulación.

## **2.8 INVESTIGACIONES RECIENTES**

Se ha tomado como referencia las siguientes investigaciones que han utilizado simulación para llegar a sus resultados.

### **ESTUDIO MEDIANTE SIMULACIÓN DE UNA SUCURSAL BANCARIA**

En este trabajo se pretende estudiar el comportamiento de modelos de congestión donde hay recursos solicitados. Estos recursos son limitados y cuando no están disponibles los clientes esperan y el sistema se puede congestionar. El principal problema en el estudio de muchos de estos sistemas es que la tasa de llegadas de clientes varía a lo largo del tiempo [7].

Para desarrollar el modelo se ha elegido una oficina de una entidad bancaria. Mediante simulación, se variarán los parámetros del sistema (número de cajeros abiertos, afluencia de clientes, etc.) y se estudiará cómo afectan estos cambios al modelo.

La oficina 0047 de Bancaixa tiene un horario de atención al cliente de 8:30 a 14:30 ininterrumpidamente. En la oficina se dan varios servicios: algunos por cajas, otros por cajeros automáticos y otros vía despacho. El estudio se centrará en el comportamiento de las cajas y de los clientes que las utilizan (longitud de la cola, tiempo medio de espera, tiempo de servicio, etc.)

## **AJUSTE DE DISTRIBUCIONES TEÓRICAS**

Los datos de tiempos entre llegadas fueron recogidos en dos días diferentes y, por tanto, se podría dudar de que procedan de la misma distribución de probabilidad. Para asegurar que son dos muestras de la misma población (y que se pueden combinar para hacer el estudio) se lleva a cabo un test de homogeneidad (Kruskal-Wallis). Este tipo de tests contrastan[7].:

H0: las dos funciones de distribución son iguales (o las observaciones proceden de la misma población)

H1: no H0

El SPSS realiza el test de Mann-Whitney que es equivalente al test de Kruskal-Wallis. Aplicando este test a las observaciones de tiempo entre llegadas de los dos días se obtiene el pvalor 0.818 que es aceptable.

Evidentemente, este resultado no puede hacer aceptar la distribución Poisson homogénea como distribución teórica porque la tasa de llegadas al banco depende fuertemente de la hora. Además, si se lleva a cabo este test con los parámetros fijos para un intervalo de tiempo de una hora, se rechaza la hipótesis nula.

Es conocido que las horas de máxima afluencia de clientes son las horas centrales de la mañana, cosa que queda confirmada por el gráfico anterior. Se elige la división en intervalos de 30'

Como distribución de llegadas se considera, por tanto, una Poisson no homogénea donde el parámetro varía cada media hora.

## **Servidores**

Sin tener en cuenta, por tanto, las observaciones anómalas (aquellas que superan los 142.5 segundos), el resto de tiempos de servicio pueden provenir de una mezcla de poblaciones normales:

$$f(x) = \sum_{i=1}^8 p_i \cdot f_i(x)$$

donde  $f_i(x) \approx N(\mu_i, \sigma^2)$ ;

Cada población normal representa un tipo de operación. Por otra parte, los parámetros  $p_i$  representan la probabilidad de que un cliente escogido al azar realice la operación  $i$ .

Dos apuntes sobre el ajuste de las observaciones anómalas: se ha de tener en cuenta que a la hora de ajustar la distribución exponencial para aquellas observaciones que superan los 142.5 segundos se ha tenido que sumar este valor como constante (ya que la exponencial va de 0 a  $+\infty$ ). Se ha utilizado el estimador máximo verosímil del parámetro de la exponencial con la función de verosimilitud calculada con las observaciones anómalas transformadas (restando 142.5).

Por otro lado, la distribución exponencial es la que mejor se ajusta. Es esta la razón por la cual se ha utilizado aunque pueda parecer paradójico (debido a la falta de memoria) que los tiempos de servicio sigan esta distribución.

Se considerarán, por otro lado, dos casos: Estimaciones sobre la totalidad de la réplica (toda la mañana). Estimaciones sobre un intervalo reducido (horas centrales).

## **Conclusiones**

La simulación confirma, por tanto, la impresión que tuvimos mientras recogíamos los datos: no hay congestión del sistema y los tres cajeros abiertos son suficientes para absorber el flujo de clientes. Incluso modificando ligeramente los parámetros (reduciendo en un 20% los tiempos medios entre llegadas), la media de espera se encuentra alrededor de 3'30". No obstante, no son aceptables las observaciones extremas que se dan en estos casos (14' de espera media en una réplica y estimación tiempo máximo: 13'). Este problema se puede resolver, como ya se ha

comentado, abriendo los cajeros ininterrumpidamente durante los momentos de congestión.

## **SIMULACIÓN Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS APLICADOS AL TAMAÑO DE CAJEROS EN UN SUPERMERCADO EN COLOMBIA**

El objetivo de esta investigación fue crear un marco general de supermercados de Colombia para hacer frente a la decisión sobre el número mínimo de cajeros y guarda bolsas necesarios para un nivel de servicio, poner en un modelo de simulación el efecto de los principales factores definidos y su segundo nivel de interacciones a través de un diseño experimental basado en datos reales [8].

Después de revisar la literatura disponible y de entrevistas con los supervisores en tres cajeros diferentes cadenas de supermercados, han sido elegidos tres factores para ser simulado: el escenario por día del mes, el tamaño y el tema de supermercados registro del tiempo.

Dos decisiones de supervisores de supermercados fueron evaluadas: número de cajeros y el número de guarda bolsas. Además, un método de selección de cajero (por el cliente) se ha desarrollado.

Todos los supermercados tienen cajeros de regulares y un rápido cambio en efectivo para los clientes que tiene menos de once artículos para pagar. La promesa de servicio fue del 98% de los clientes en menos de 7 minutos.

### **ESCENARIO DEL DÍA DEL MES**

En el contexto colombiano, hay cuatro diferentes tipos de días que considerar para diferentes escenarios de comportamiento de la demanda, incluye el número de los artículos comprados por cliente. Esos son: regular de días laborables, sábados, feriados y días de pagos quincenales. No sólo las medias son diferentes, también la densidad de probabilidad también lo sea. Los sábados son los días más demandados, seguido de los pagos quincenales, vacaciones son

menos pero el horario de atención es más corto; los días regulares de trabajo están en último lugar.

## **TAMAÑO DE CAJERO**

Diferentes tamaños de supermercados-refiriéndose a la situación real superficie del suelo y el número de cajeros disponibles-conduce a diferentes cantidades de clientes. La simulación se evalúa en ocho tamaños diferentes de supermercados, que van de cinco a cuarenta cajeros disponibles, y desde 1210 m<sup>2</sup> a 9696 m<sup>2</sup>

## **DISEÑO EXPERIMENTAL**

Cada combinación de tamaño supermercado del día del mes fue tratada como un escenario diferente en el modelo.

Dentro de cada escenario, fue usado un diseño factorial de 3 períodos completos (Kenett y Zacks, 2000). Los factores fueron el registro de tiempo (dos niveles), el número de cajeros expresado en porcentaje de la capacidad disponible, (cinco niveles), y el número de empaquetadores como un porcentaje del número de cajeros (tres niveles), resultando en un diseño de 2x3x5 para cada 8x4 escenarios.

Para cada uno de los tratamientos, fueron simulados 100 días de operación. El número de corridas estuvieron basadas en la propuesta de Kuehl de dos factores, con un 95% de la potencia para una diferencia de 0,8 minutos entre los tratamientos y  $\alpha = 1\%$ (Kuehl, 2001). El experimento se realizó con PROMODEL.

## **CONCLUSIONES**

Un contexto general el reto de supermercados de Colombia fue desarrollado con éxito, y demostró ser útil para encontrar una combinación de cajero-empaquetadores con el fin de satisfacer un promedio de nivel de servicio y para

sugerir que esta combinación cumple con la promesa de servicio la mayor parte de los clientes.

Modelo de simulación incluye más refinados modos de abordar los desafíos de supermercado, incluidos la norma de decisiones de clientes y conductas diferentes, tanto para los clientes y número de artículos demanda. En particular, se refleja específicas cuestiones relacionadas con los supermercados de Colombia, como formas de pago y las restricciones legales. Por último, el experimento demostró la mayoría de resultados esperados, pero descubrieron dos comportamientos extraños que se deberían investigar: Un sistema de más largo de tiempo promedio para una plena utilización de capacidad disponible esperada, y una interesante interacción entre los cajeros y empacadores que puedan ayudar a los administradores para decidir cuándo puede ser muy valioso aumentar número de empaquetadores y cuándo podría ser simplemente inútil.



## **CAPÍTULO 3**

### **3. ANÁLISIS INFERENCIAL E IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se realiza un detalle de cada variable, identificando la distribución de cada variable de acuerdo a las pruebas estadística Kolmogorov y Anderson Darling. Luego se describen los elementos utilizado en el modelo de simulación de crédito para un almacén de electrodomésticos.

#### **3.2 Especificación de variables**

A continuación se procede a describir las variables que se utilizan para realizar la simulación de los procesos de crédito.

Las variables que se definen de acuerdo a las actividades de cada subproceso especificados en el capítulo 1, se detallan a continuación:

### **Proceso de Crédito**

#### **Crédito nuevo**

- Tiempo de envío de mail
- Tiempo de central de riesgo
- Tiempo de realizar llamadas
- Tiempo de ingreso al sistema
- Tiempo de verificación de terreno
- Tiempo de análisis y aprobación de crédito.

En este proceso existen tiempos entre actividades que también fueron calculados y que serán colocados como variables:

- Tiempo antes de central de riesgo
- Tiempo de otras actividades antes de llamadas
- Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema
- Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis

#### **Recolección de datos**

Se recolectaron 25 datos para determinar cual es la distribución y parámetros que se ajusta a los datos que corresponden a la recolección de una semana típica desde lunes a domingo.

A continuación se detallan los datos que se requieren para la modelación del sistema actual, considerando que todas las variables son expresadas en minutos pues algunos subprocesos son muy cortos y se necesita mantener la misma unidad de medición en todas las variables.

### **3.3 Descripción de Variables de Crédito nuevo**

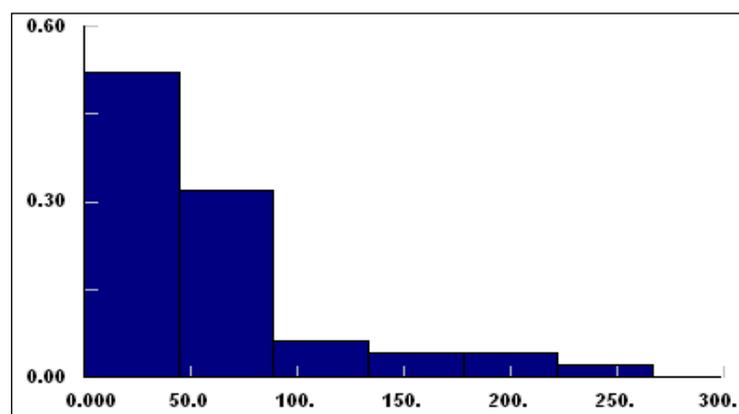
#### **3.3.1 Tiempo entre arribos de solicitudes**

La primera variable que se detalla es aquella que determina el tiempo entre arribos entre cada solicitud de crédito. Esta variable es muy importante pues es la variable inicial del modelo que alimenta a los procesos de envío de mail y verificación de crédito.

Los datos de esta variable se encuentran en el anexo A.

Se obtuvo el histograma que se muestra en la figura 1.

Figura 1. Histograma de tiempo entre arribos de solicitudes



Dado el histograma, se presume un comportamiento exponencial y para comprobarlo se aplica la prueba de Kolmogorov para conocer a que distribución se ajustan los datos de esta variable. Para tal efecto, se plantean las siguientes hipótesis:

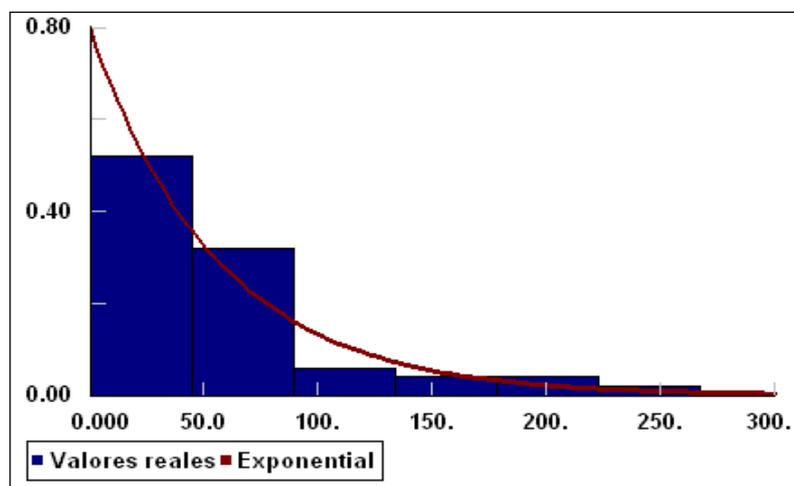
Ho: Los datos siguen una distribución exponencial

Ho: Los datos NO siguen una distribución exponencial

Se obtuvo el valor p de 0.81 que indica que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se concluye que los datos se ajustan a una distribución exponencial cuyo parámetro es 55.8.

El gráfico con la distribución ajustada se puede observar en la figura 2.

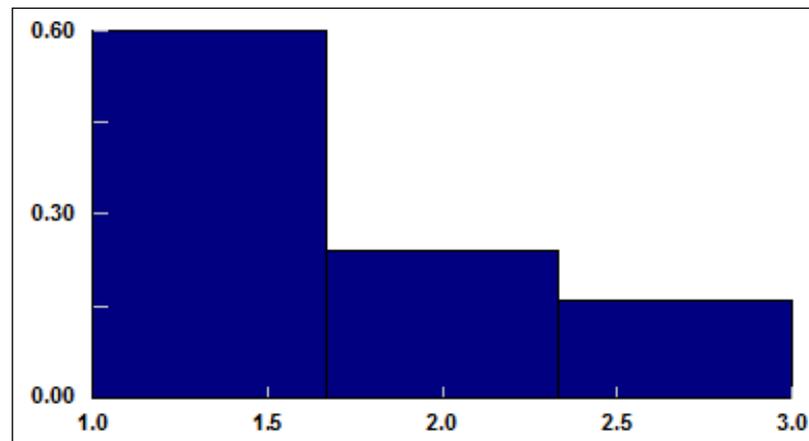
Figura 2. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo entre arribos



### 3.3.2 Tiempo de envío de mail

Al iniciar el proceso de aprobación de un crédito se envía un mail hacia la central de créditos comunicando el número de créditos que tendrán que procesar ese día. Los datos de esta variable que se los muestra en el anexo B, se procesaron para obtener histograma de la figura 3.

Figura 3. Histograma de Envío de mail



Se aplicó la prueba de Kolmogorov para conocer la distribución de los datos, por lo que se plantea las hipótesis nula y alternativa:

Ho: Los datos siguen una distribución uniforme

Ho: Los datos NO siguen una distribución uniforme

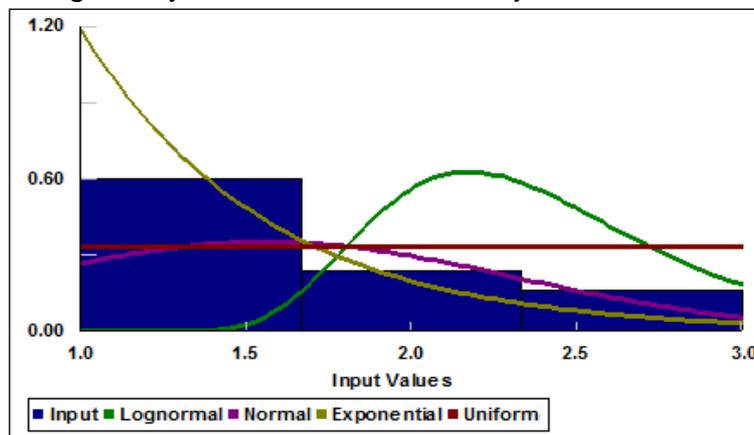
El valor p-obtenido para este prueba, 0.002618, por lo tanto existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de envío de mail no siguen una distribución uniforme.

Se procedió a probar varias distribuciones de lo que se obtuvieron los siguientes valores p para cada contraste de hipótesis planteado. Se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valor p para tiempo de envío de mail

DISTRIBUCIÓN	VALOR P	CONCLUSIÓN
Exponencial	3.89e-009	Rechazo Ho
Lognormal	3.08e-010	Rechazo Ho
Normal	1.32e-003	Rechazo Ho

Figura 4. Histograma y curva de distribución ajustada de Envío de mail



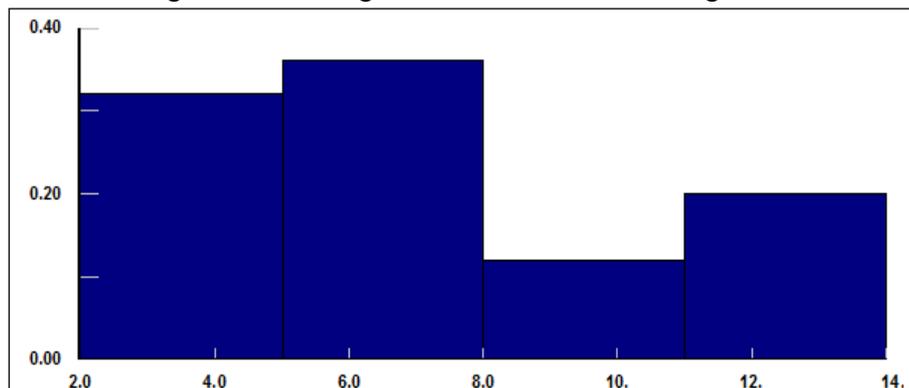
Dado que ninguna distribución conocida se ajustó a los datos de esta variable, se procedió a calcular la distribución personalizada, de lo que se obtuvo lo siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} 0.60; & 1 \leq x < 2 \\ 0.24; & 2 \leq x < 3 \\ 0.16; & x = 3 \end{cases}$$

### 3.3.3 Tiempo de central de riesgo

El siguiente paso es revisar la situación financiera del cliente que está solicitando un crédito. Existen 3 bases donde se revisa, si el cliente posee deuda con instituciones financieras o casas comerciales de electrodomésticos. Los datos de esta variable se encuentran en el anexo C y fueron utilizados para obtener el histograma que se muestra en el figura 5.

Figura 5. Histograma de central de riesgo



Se aplicó la prueba de Kolomogorov para conocer la distribución de los datos. Donde se definen las hipótesis nula y alternativa:

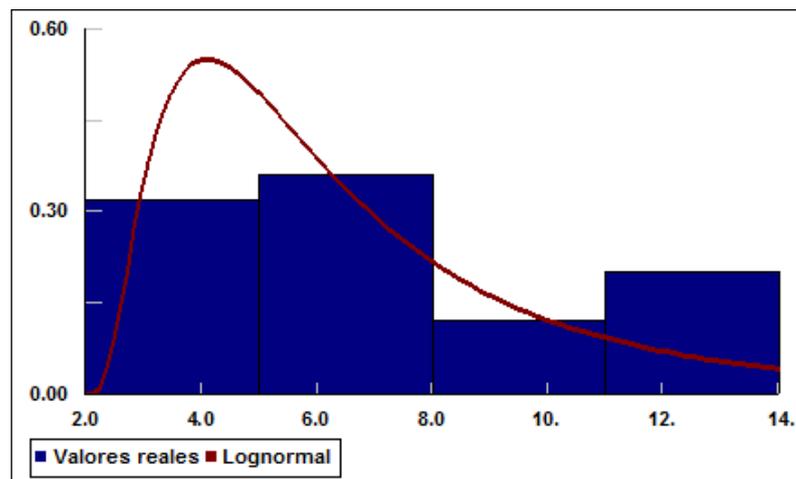
Ho: Los datos siguen una distribución lognormal

Ho: Los datos NO siguen una distribución lognormal

El valor p-obtenido para este prueba, fue 0.339, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de revisión de central de riesgo siguen una distribución lognormal cuyos media estimada es 1.34, y desviación estándar es 0.77.

La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 6.

Figura 6. Histograma y curva de distribución ajustada de central de riesgo

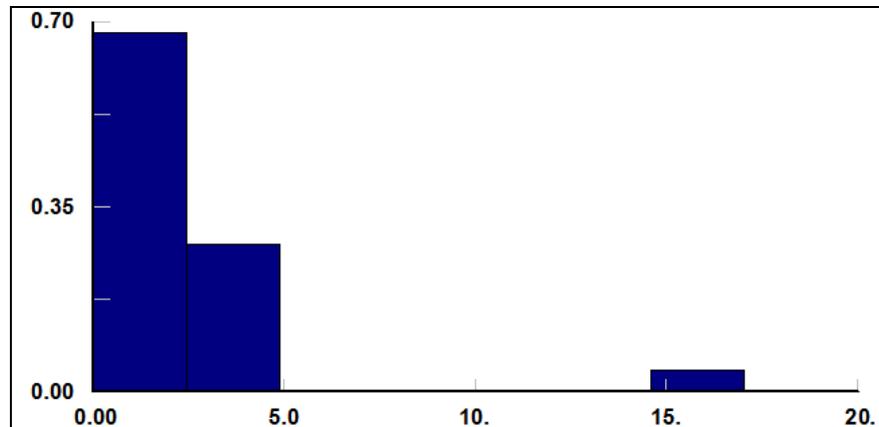


### 3.3.4 Tiempo de realizar llamadas

Luego de realizar la revisión en la central de riesgo de los clientes, el analista debe realizar llamadas de verificación de las referencias personales anotadas en la solicitud de crédito.

Los datos recolectados de esta variable que se muestran en el Anexo D fueron procesados para obtener el histograma que se observa en la figura 7.

Figura 7. Histograma de tiempo de realizar llamadas



De acuerdo al comportamiento de los datos, se presume que la distribución que más se ajusta es una lognormal. Para comprobarlo se aplicó la prueba de Kolomogorov y se definieron la hipótesis nula y alternativa, como siguen:

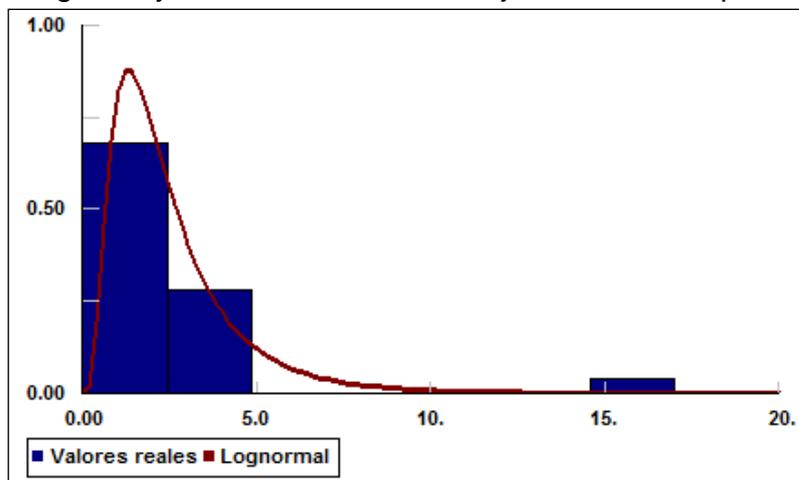
Ho: Los datos siguen una distribución lognormal

Ho: Los datos NO siguen una distribución lognormal

El valor p-obtenido para este prueba, 0.162, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de revisión de central de riesgo siguen una distribución lognormal con parámetros estimados que son: media igual a 0.72 y desviación estándar 0.67.

La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 8.

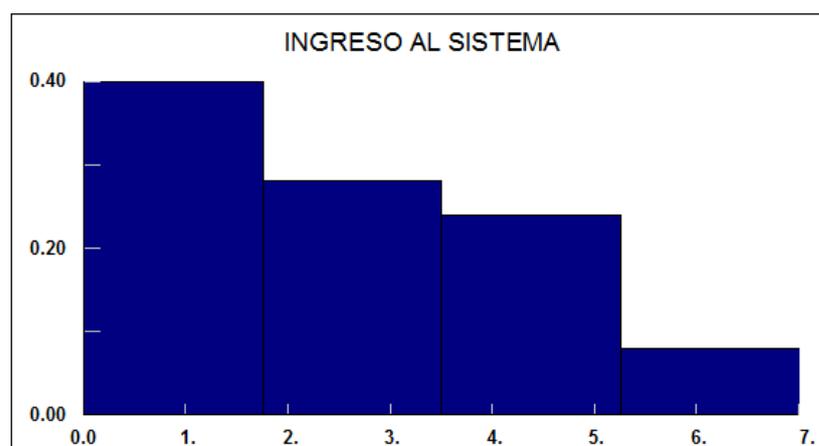
Figura 8. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de llamadas



### 3.3. 5 Tiempo de ingreso al sistema

Una vez completados los procesos anteriores, el analista ingresará la solicitud al sistema de crédito del almacén, colocando los resultados y observaciones para ese cliente. Los datos del tiempo de ingreso al sistema que fueron recolectados se presentan en el Anexo E, estos fueron tomados para realizar el histograma de la figura 9.

Figura 9. Histograma de tiempo de ingreso al sistema



Aplicamos la prueba de Anderson-Darling para conocer la distribución de los datos, consecuentemente se definen las hipótesis nula y alternativa:

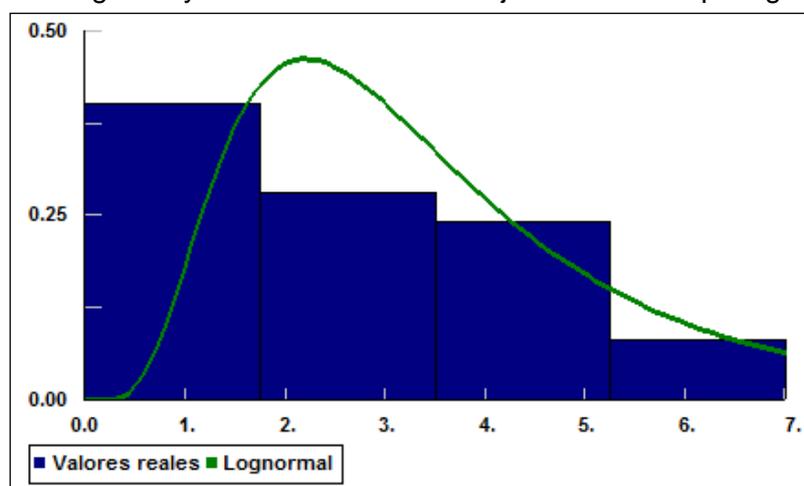
Ho: Los datos siguen una distribución lognormal

Ha: Los datos NO siguen una distribución lognormal

Se utilizó el software stat fit para calcular el valor p de este contraste de hipótesis y se obtuvo 0.716. Con esto podemos afirmar que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo que se asume que los datos de ingreso al sistema siguen una distribución lognormal cuyos parámetros basados en el histograma de datos son media 1.13 y desviación estándar 0.58.

La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 10.

Figura 10. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo ingreso al sistema



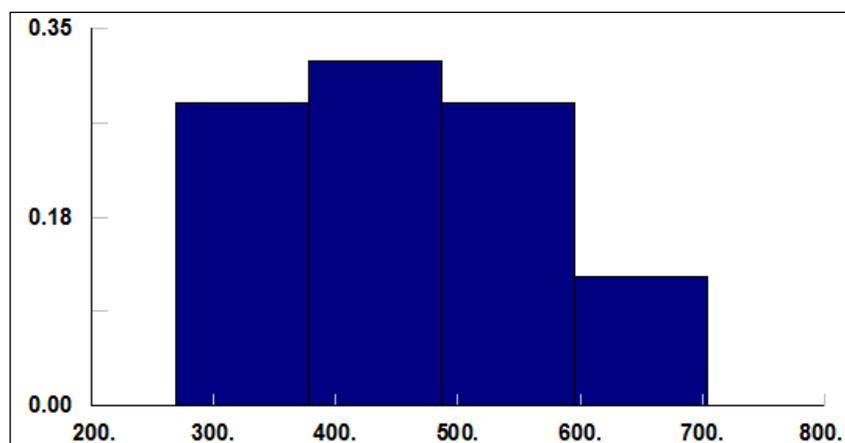
### 3.3.6 Tiempo de verificación de terreno

En el momento que la solicitud ingresa al departamento de crédito para ser analizada, esta participa en dos procesos paralelos, pues una parte de la solicitud física permanece con el analista de crédito y la otra en la que consta el croquis del

domicilio del solicitante; es entregada al verificador de terreno, quien se encargará de confirmar la dirección detallada y procederá a evaluar el domicilio de acuerdo a la zona de ubicación y aspectos calificativos del hogar.

El verificador de terreno empieza su labor a partir de las 08:00 pues de esta manera puede acceder a sectores más populares evitando el peligro posible en la zona. Los tiempos de esta actividad se muestran en el Anexo F, con estos se obtuvo el histograma de la figura 11.

Figura 11. Histograma de tiempo de verificación de terreno



Para simular este proceso se debe conocer cual es la distribución que se ajusta al comportamiento de estos datos, se aplicará la prueba de Kolmogorov, por lo que se procederá a plantear las siguientes hipótesis:

$H_0$ : Los datos siguen una distribución exponencial

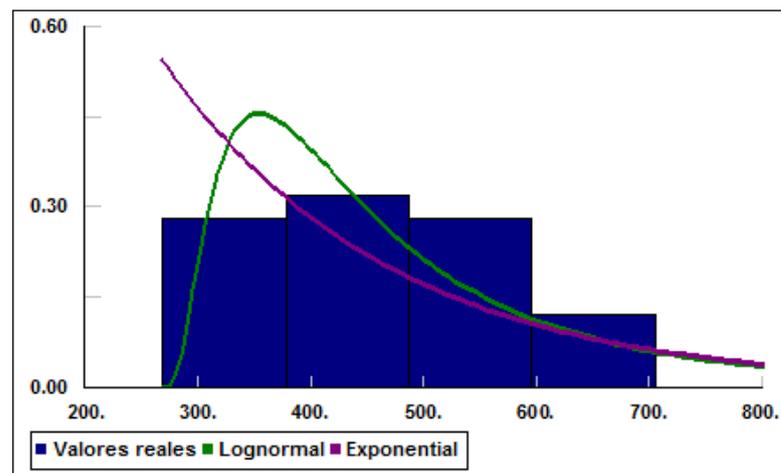
$H_a$ : Los datos NO siguen una distribución exponencial

Se obtuvo el valor p 0.0107, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula a favor de la alternativa y se afirma que no los datos no siguen una distribución exponencial.

Se procedió a probar si los datos siguen una distribución lognormal y se obtuvo un valor p de 0.043. Este valor indica que se rechaza la hipótesis nula por lo tanto se afirma estadísticamente que los datos no siguen una distribución lognormal. El

histograma de los datos junto con las curvas de las distribuciones probadas se muestran en la figura 12.

Figura 12. Histograma y curvas de distribuciones probadas de tiempo de verificación de terreno



Dado que no se encontró una distribución que se ajusta a los datos, se elaboró una distribución personalizada basada en el histograma.

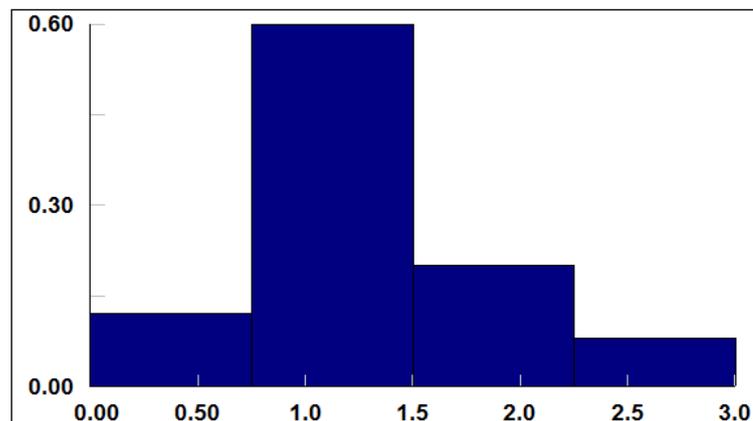
$$f(x) = \begin{cases} 0.24; & 269 \leq x < 346 \\ 0.04; & 346 \leq x < 423 \\ 0.32; & 423 \leq x < 500 \\ 0.28; & 500 \leq x < 577 \\ 0.04; & 577 \leq x < 654 \\ 0.08; & 654 \leq x < 731 \end{cases}$$

### 3.3.7 Tiempo de análisis y aprobación de crédito.

Una vez entregada la verificación de terreno y entregado el reporte del analista sobre el estado de central de riesgo, llamadas y verificación de datos personales, el jefe de crédito procede a analizar la solicitud y califica el crédito como aprobado o rechazado. Este proceso es muy corto pues básicamente si uno de los procesos antes mencionado no se cumple, entonces la solicitud queda rechazada. Sin embargo, existen casos especiales que el jefe debe analizar y que

depende exclusivamente de su respuesta. Los datos de esta variable se muestran en el Anexo G y fueron utilizados para obtener el histograma de la figura 13.

Figura 13. Histograma de tiempo de análisis y aprobación de crédito



Se probaron 3 distribuciones, de lo que se obtuvo que ninguna de estas se ajusta a los datos, pues los valores p son menores a 0.05 como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Valor p para tiempo de análisis y aprobación de crédito

<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>VALOR P</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
Exponencial	8.65e-005	Rechazo Ho
Lognormal	1.79e-005	Rechazo Ho
Uniforme	7.11e-004	Rechazo Ho

Dado que ninguna de estas distribuciones conocidas se ajusta, se elaborará la distribución de los datos, obteniendo la función de distribución que se muestra a continuación:

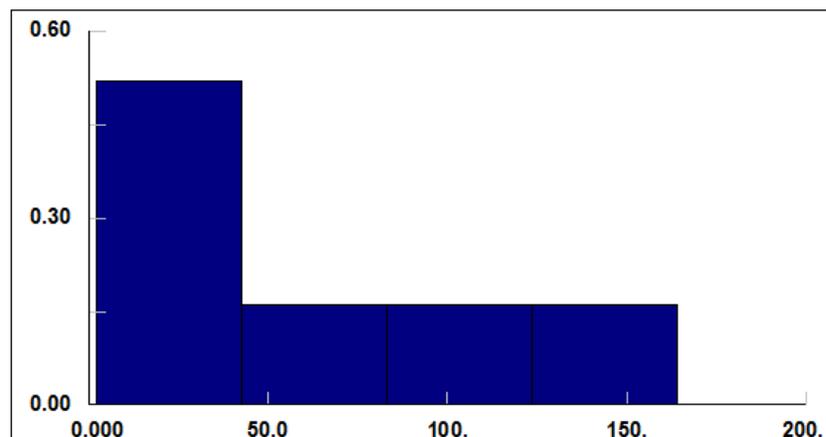
$$f(x) = \begin{cases} 0.72; & 0 \leq x < 1 \\ 0.2; & 1 \leq x < 2 \\ 0.08; & 2 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

A continuación se explicarán las variables que se presentan entre cada proceso, es decir miden el tiempo transcurrir entre el fin de un proceso y el inicio del siguiente.

### **3.3.8 Tiempo antes de central de riesgo**

Esta variable describe el tiempo que transcurre entre envío del mail con las solicitudes que se debe realizar en el día y el inicio de la verificación del cliente en la central de riesgo. Los datos de esta variable se muestran en el Anexo H, con estos se obtuvo el histograma de la figura 14.

Figura 14. Histograma de tiempo antes de central de riesgo



Se aplicó la prueba de Kolomogorov para conocer la distribución de los datos.

Se definen las hipótesis nula y alternativa:

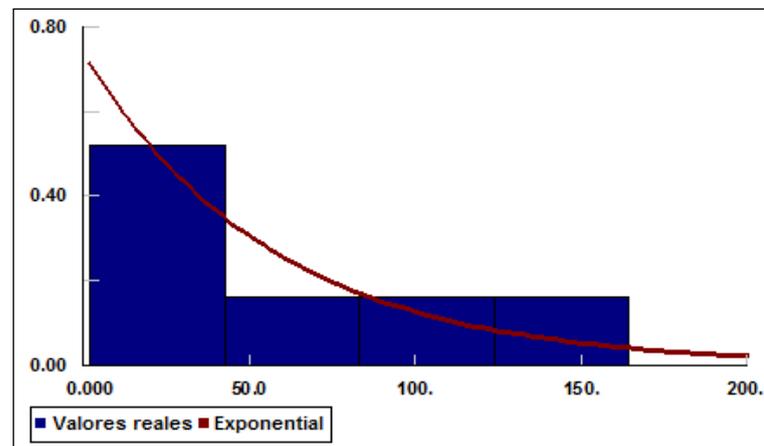
Ho: Los datos siguen una distribución exponencial

Ho: Los datos NO siguen una distribución exponencial

El valor p-obtenido para este prueba, 0.784, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de actividades antes de la revisión de central de riesgo siguen una distribución exponencial con media 56.88 que fue calculada en base al

histograma. La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 15..

Figura 15. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central

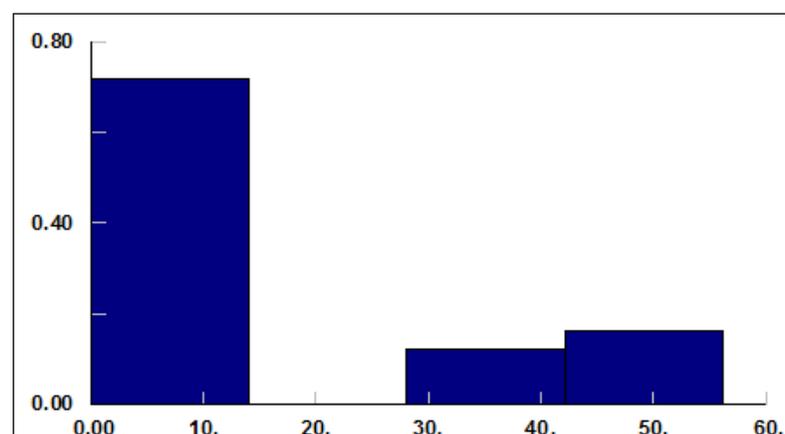


### 3.3.9 Tiempo de otras actividades antes de llamadas

Esta variable describe el tiempo que transcurre entre la finalización del proceso de revisión de central de riesgo y el inicio de las llamadas que se realizan para verificar las referencias personales que fueron mencionadas por el solicitante del crédito. Las llamadas no siempre son válidas en el primer intento, y puede llegar a tomar hasta 3 intentos por contactar a la persona de referencia.

Los datos recolectados para obtener este tiempo se presentan en el anexo I y de cuyos valores se obtuvo el histograma de la figura 16.

Figura 16. Histograma de tiempo antes de llamadas

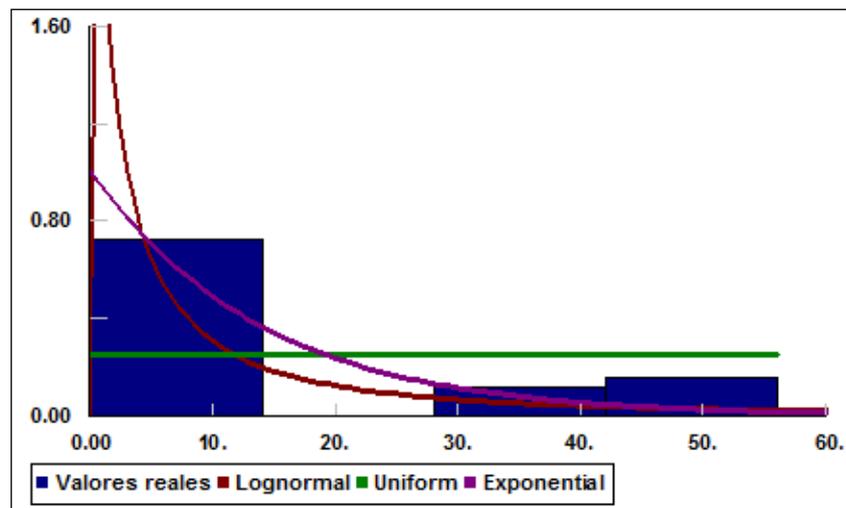


Se probaron tres distribuciones de lo que se obtuvo que ninguna de estas se ajusta a los datos reales. En la tabla 3.3 se muestra los valores p obtenidos para cada distribución y la ilustración se aprecia en la figura 17.

Tabla 3.3 Valor p para tiempo de otras actividades antes de llamadas

DISTRIBUCIÓN	VALOR P	CONCLUSIÓN
Exponencial	1.17e-007	Rechazo Ho
Lognormal	2.71e-004	Rechazo Ho
Uniforme	1.22e-010	Rechazo Ho

Figura 17. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo antes de llamadas



Dado que ninguna de estas distribuciones conocidas se ajusta se procederá a calcular la distribución empírica.

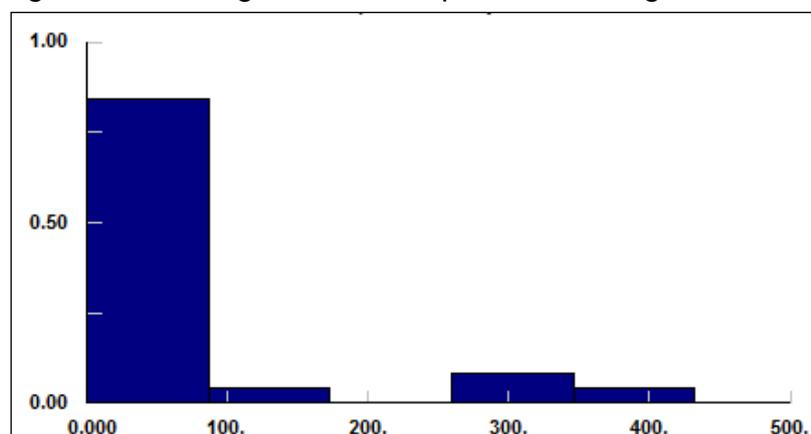
$$f(x) = \begin{cases} 0.72; & 0 \leq x < 7 \\ 0 & ; 7 \leq x < 14 \\ 0 & ; 14 \leq x < 21 \\ 0 & ; 21 \leq x < 28 \\ 0 & ; 28 \leq x < 35 \\ 0.42; & 35 \leq x < 42 \\ 0.04; & 42 \leq x < 49 \\ 0.12; & 49 \leq x < 56 \end{cases}$$

### 3.3.10 Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema

Antes de ingresar las solicitudes al sistema, existen ciertas actividades que suelen realizar los analistas y el jefe de crédito.

Existen casos en los que los analistas se ven interrumpidos por ampliaciones de crédito, que son solicitudes de clientes que tiene un cupo asignado para el crédito pero que este monto no es suficiente para comprar lo que ellos desean y entonces solicitan un ampliación de cupo que puede ser a cualquier hora del día y son estas las que interrumpen las actividades para aprobar un crédito nuevo que es el objetivo de este análisis. Los tiempos recolectados para esta variable se muestran en el Anexo J y se utilizaron para obtener el histograma de la figura 18.

Figura 18. Histograma de tiempo antes de ingreso al sistema



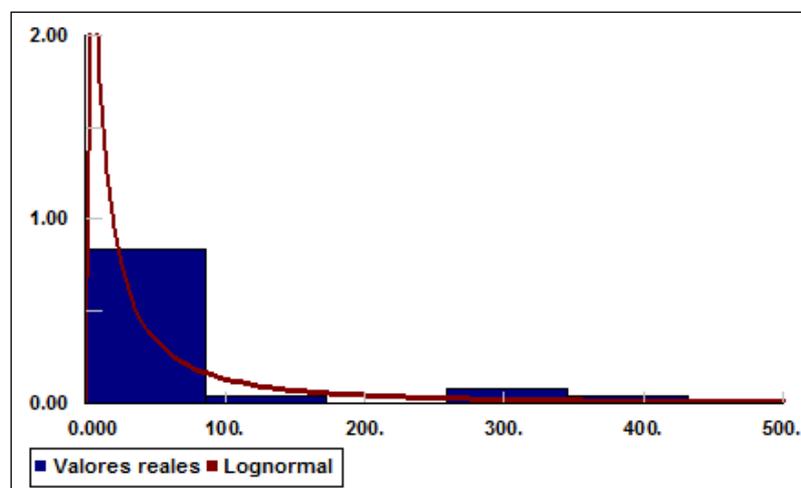
Se realizó la prueba de hipótesis, aplicando el contraste planteado por Anderson-Darling:

H<sub>0</sub>: Los datos siguen una distribución lognormal

H<sub>1</sub>: Los datos NO siguen una distribución lognormal

El valor p de este contraste de hipótesis que se obtuvo fue de 0.674. Con lo que podemos afirmar que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los datos de otras actividades antes de ingresar al sistema siguen una distribución lognormal con parámetros estimados (3.06, 1.79). La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 19.

Figura 19. . Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo antes de ingreso al sistema

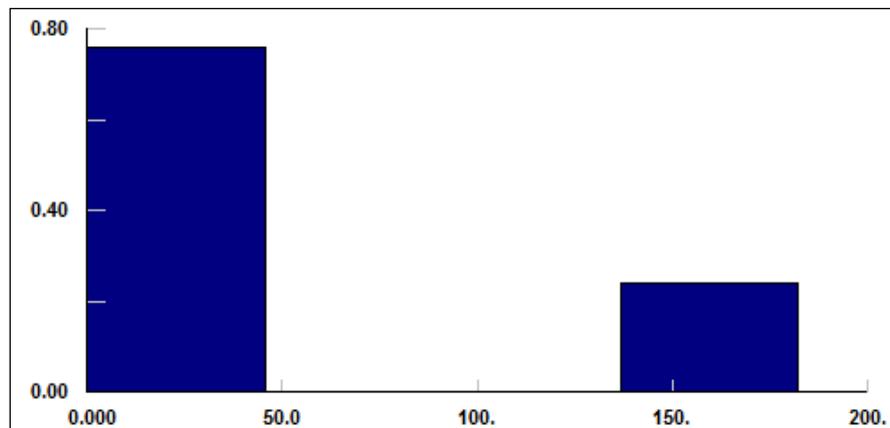


### 3.3.11 Tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis

Luego que el analista completa todos los procesos anteriores, envía la solicitud al jefe de crédito quien a su vez recibe el reporte de la verificación de terreno. Con esta documentación el jefe de crédito decide si puede aprobar o rechazar un crédito. Existen otras actividades que podrían presentarse antes de realizar el

análisis, inclusive este tiempo puede ser de espera pues en algunos casos el jefe de crédito debe esperar por el reporte de verificación de terreno a pesar de tener los otros procesos completos. Los datos de esta variable se encuentran en el Anexo K y fueron procesados para graficarlos en el histograma de la figura 20.

Figura 20. Histograma de tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis



Se probaron 3 distribuciones, de lo que se obtuvo que ninguna de estas se ajusta a los datos, pues los valores p son menores a 0.05 como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Valor p para tiempo de otras actividades antes de realizar el análisis

<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>VALOR P</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
Exponencial	1.05e-007	Rechazo Ho
Lognormal	3.56e-002	Rechazo Ho
Uniforme	7.82e-012	Rechazo Ho

Dado que no se encontró una distribución conocida que se ajusta a los datos de esta variable, se elaboró una distribución que se muestra a continuación.

$$f(x) = \begin{cases} 0.76; & 0 \leq x < 22.5 \\ 0; & 22.5 \leq x < 45 \\ 0; & 45 \leq x < 67.5 \\ 0; & 67.5 \leq x < 90 \\ 0; & 90 \leq x < 112.5 \\ 0; & 112.5 \leq x < 135 \\ 0.08; & 135 \leq x < 157.5 \\ 0.08; & 157.5 \leq x < 180 \\ 0.08; & 180 \leq x < 202.5 \end{cases}$$

### **3.4 Elementos básicos utilizados en el modelo de simulación de crédito.**

Los elementos básicos que se utilizan en el modelo de simulación propuesto son:

#### **Parties o entities**

Las partes (Entities) son usadas para representar los ítems que se mueven en la corrida de simulación.

Las partes que se han creado se la ha nombrado “solicitud” y representa de manera ficticia la solicitud que atraviesa los diferentes procesos que debe realizar el analista.

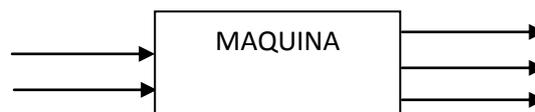
La otra parte o entities creada es nombrada “Part001” y representa un lote de solicitudes que empieza a procesar el verificador en el primer día de simulación, pues el empieza sus actividades 2 horas antes que los analistas y en la vida real el siempre tendrá solicitudes del día anterior que procesar a las 07h00.

#### **Máquinas/ Actividades**

En WITNESS, existen 6 tipos de máquinas/actividades que se pueden crear, dependiendo del número de partes que se procesen y que salgan de la misma actividad/operación en un tiempo determinado, a continuación se describirán los tipos de máquinas que se van a utilizar en el modelo:

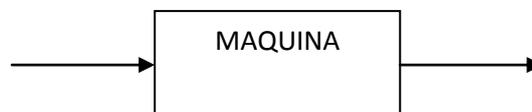
- 1) "Production/Activity".- Toma una parte y expulsa un determinado número de partes. Se debe especificar la cantidad a producir. El número de partes que se expulsa desde este tipo de máquina es igual a la cantidad de producción más uno. La figura 21 muestra un esquema de esta máquina

Figura 21. Production Machine



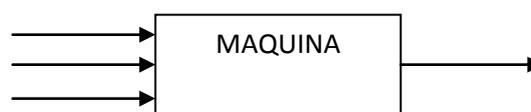
- 2) "Single Machine/Activity".- Toma una parte y en un tiempo determinado expulsa esa única parte o entity. La figura 22 muestra un esquema de esta máquina.

Figura 22. Single Machine



- 3) "Assembly Machine or Join Activity".- Toma un número de partes y después del respectivo proceso expulsa una sola. La figura 23 muestra un esquema del tipo de producción o procesamiento de esta Máquina/actividad.

Figura 23. Assembly Machine



Las máquinas o actividades que se han creado para el modelo son:

### **1) Inicio\_envio\_mail, Inicio\_mail\_envio01**

Tipo de máquina: Production

Esta máquina representa una actividad que es el envío del mail con el número de solicitudes a procesar en el día y recibe una parte que en este caso es la solicitud y la divide en dos partes. Una parte la envía a la siguiente actividad y la otra parte la envía a la verificación de terreno.

El ciclo de esta actividad es cero pues es solo una actividad de inicio que sirve para direccionar la solicitud.

**Inicio\_envio\_mail** se refiere a la actividad que realiza el analista A

**Inicio\_mail\_envio01** se refiere a la actividad que realiza el analista B

### **2) Fin\_envio\_mail y Fin\_envio\_mai01**

Tipo de máquina: Single

**Fin\_envio\_mail** representa el tiempo que tarda el envío de mail con el número de solicitudes a procesar en el día para el analista A.

**Fin\_envio\_mai01** representa el tiempo que tarda el envío de mail con el número de solicitudes a procesar en el día para el analista B.

### **3) Inicia\_verificación de riesgo e Inicia\_verificación de riesgo1**

Tipo de máquina: Single

**Inicia\_verificación de riesgo** representa el tiempo que se tarda el analista A en iniciar la actividad de verificación de la central de riesgo, luego de terminar el envío de mail.

**Inicia\_verificación de riesgo1** representa el tiempo que se tarda el analista B en la actividad de verificación de la central de riesgo, luego de terminar el envío de mail.

#### **4) Fin verifica el riesgo y Fin\_verifica\_el\_riesgo01**

Tipo de máquina: Single

**Fin verifica el riesgo** representa el tiempo que se tarda el analista A en revisar los datos del cliente en verificación de crédito

**Fin verifica el riesgo 01** representa el tiempo que se tarda el analista B en revisar los datos del cliente en verificación de crédito

#### **5) Inicio\_llamadas e Inicia\_llamadas\_01**

Tipo de máquina: Single

**Inicio\_llamadas** simula el tiempo antes de iniciar las llamadas de referencias personales que realiza el analista A.

**Inicia\_llamadas\_01** simula el tiempo antes de iniciar las llamadas de referencias personales que realiza el analista B.

#### **6) Fin\_llamadas y Fin\_llamadas01**

Tipo de máquina: Single

**Fin\_llamadas** representa el tiempo que tarda el analista A en realizar las llamadas de referencias personales.

**Fin\_llamadas01** representa el tiempo que tarda el analista B en realizar las llamadas de referencias personales.

## **7) Inicio\_sistema e Inicio\_sistema01**

Tipo de máquina: Single

**Inicio\_sistema** representa el tiempo que transcurre antes de que el analista A ingrese al sistema las solicitudes de crédito.

**Inicio\_sistema01** representa el tiempo que transcurre antes de que el analista B ingrese al sistema las solicitudes de crédito.

## **8) Inicio\_analisis**

Tipo de máquina: Single

**Inicio\_analisis** representa el tiempo que transcurre antes de iniciar el análisis realizado por el jefe de crédito

## **9) Fin análisis**

Tipo de máquina: Assembly

**Fin análisis** representa el tiempo que transcurre para analizar la solicitud por parte del jefe del crédito quien debe recibir los reportes de los analistas y verificador de terreno.

## **10) Entrega\_doc\_verificador**

Tipo de máquina: Single

**Entrega\_doc\_verificador** representa la actividad de verificación de terreno que lo realiza un verificador. Esta actividad se hace paralelamente a las otras actividades que realizan los analistas.

## **11) Otras\_act\_antes \_ analisis**

Tipo de máquina: Single

**Otras\_act\_antes \_ analisis** representa el tiempo que transcurre entre la finalización de la verificación de terreno y el inicio del análisis. En algunos casos este puede ser grande pues el verificador suele llegar al final del día con las verificaciones mientras que las otras actividades se encuentran completas, ocasionando que el jefe de crédito no pueda procesar las solicitudes por falta de la información del verificador.

### **Buffer**

Se han creado los siguientes Buffer :

**Solicitud\_ap:** Este Buffer almacena todas las solicitudes aprobadas.

**Solicitud\_suspendida:** En este objeto se almacenan las solicitudes que son suspendidas debido a documentos incompletos, o por no encontrarlos en domicilio, entre otros.

**Bf\_1:** Buffer que almacena las solicitudes que se quedan en espera antes de ser procesadas en la actividad central de riesgo para el analista A.

**Bf\_2:** Buffer que almacena las solicitudes que se quedan en espera antes de ser procesadas en la actividad central de riesgo para el analista B.

**Bf\_3:** Buffer que acumula las solicitudes que esperan ser procesadas para verificar las referencias personales a través de llamadas telefónicas. Esta actividad lo hace el analista A.

**Bf\_4:** Buffer que acumula las solicitudes que esperan ser procesadas para verificar las referencias personales a través de llamadas telefónicas. Esta actividad lo hace el analista B.

**Bf\_5:** Este buffer se encarga de almacenar las solicitudes que esperan ser ingresadas al sistema por el analista A.

**Bf\_6:** Este buffer se encarga de almacenar las solicitudes que esperan ser ingresadas al sistema por el analista B.

**Reportes\_entregados:** Este Buffer muestra las solicitudes procesadas por los analistas que esperan ser procesadas por el jefe de crédito quien toma la decisión final de aprobación.

**Bf\_analisis:** Se utiliza este buffer para acumular las solicitudes que el verificador ha entregado dentro de su reporte y que esperan ser procesadas por el jefe de crédito.

**Verificaciones\_entregada:** Se utiliza para almacenar las verificaciones realizadas que han sido entregadas en el reporte que el verificador envía al jefe de crédito pero que esperan para ser procesadas por este, pues realiza otras actividades antes de realizar el análisis final junto con los reportes de los analistas.

**Buffer\_verifica:** En este buffer se almacenan las solicitudes que deben ser verificadas en el día.

### **Labor's (Operarios)**

Los operarios creados para la simulación son los siguientes:

- 1) **Analista:** Este operario en la simulación representa el analista A que realiza todas las actividades para la aprobación de un crédito y que entrega este reporte al jefe de crédito.
- 2) **Analista2:** Este operario representa el analista B que realizar las actividades para la aprobación de un crédito y reporta este análisis al jefe de crédito.
- 3) **Verificador:** Representa al verificador de terreno quien se encarga de verificar si el domicilio indicado por el cliente es correcto y reporta esto al jefe de crédito.

- 4) **Jefe:** Representa al jefe de crédito quien recibe reportes de analistas y verificador de terreno y se encarga de tomar la decisión final de aprobación o rechazo del crédito solicitado.

### **Contadores**

**Contador:** Cuenta el número de solicitudes procesadas por el analista A.

**Contador 2:** Cuenta el número de solicitudes procesadas por el analista B.

**Contador\_Jefe:** Cuenta el número de solicitudes procesadas por el jefe de crédito.

**Contador\_verific:** Cuenta el número de solicitudes verificadas por el verificador de terreno y que ha reportado en el día.

### **Tiempo de simulación**

Los analistas, verificador y jefe de crédito tienen un horario de trabajo dentro del cual aprueban o rechazan las solicitudes, por tal motivo se procedió a simular los tiempos de trabajo y descanso.

### **Shift Crédito**

Los turnos que trabajan los colaboradores del departamento de crédito es de 09: a 13:00 y de 14:00 a 18:00. Tiene un receso a las 13:00 hasta las 14:00 destinado al almuerzo.

Se simuló este horario con el fin de conocer cuantas solicitudes por día son aprobadas y poder luego validar con los datos reales.

### **Shift Verificador**

Representa el horario que trabaja el verificador de terreno que empieza a las 07h00 hasta las 18h00 con receso de 60 minutos que inicia a las 12h00 hasta las 13h00.



## **CAPÍTULO 4**

### **4. MODELO ACTUAL DINÁMICO**

#### **4.1 Introducción**

En este capítulo se explica en detalle el modelo actual que representa el proceso de crédito de un almacén de electrodomésticos. Luego se realiza la verificación y validación del modelo de tal forma que el modelo represente de mejor forma posible el comportamiento real de este sistema.

La verificación consiste en asegurar que el modelo conceptual represente adecuadamente el modelo computarizada (entradas y salidas). Mientras que la validación implica construir correctamente el modelo de la manera que represente exactamente el sistema real.

#### **4.2 Verificación del modelo**

La verificación del modelo consiste en realizar las siguientes sugerencias [1]. :

- Hacer revisar el modelo de otro experto.

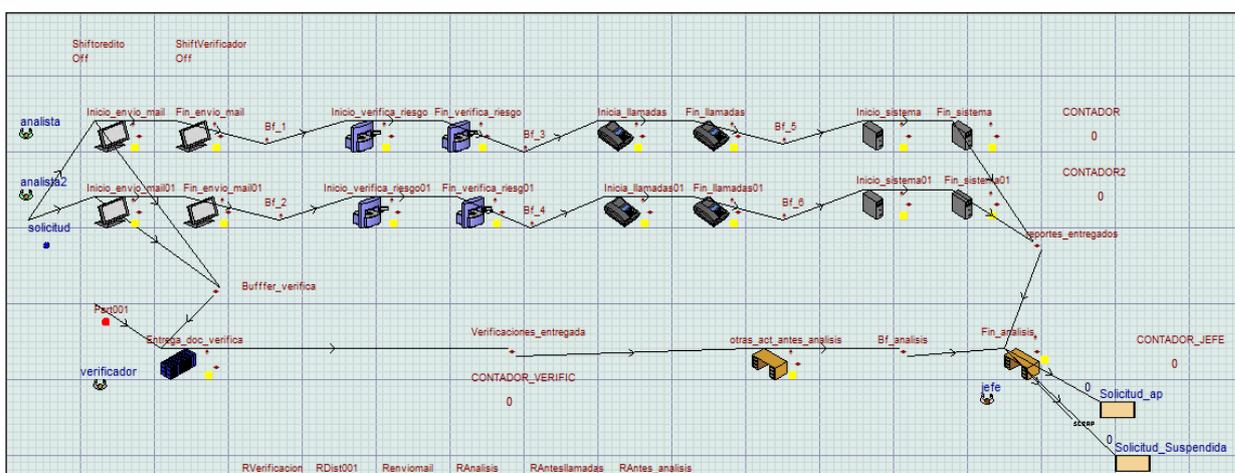
- Hacer un diagrama de flujo que incluya las posibles acciones lógicas que el sistema pueda realizar cuando ocurra un evento.
- Revisar los resultados y comprobar su concordancia con las entradas.
- Imprimir los parámetros de entrada al final de la simulación para comprobar que no se han realizado cambios inadvertidos.

Las herramientas para la verificación del modelo son:

- Sentido común:  
Una revisión general del modelo en busca de inconsistencia en el mismo.
- Documentación:  
Una manera de aclarar la lógica del modelo y verificar si esta completo.
- Uso de un localizador:  
Una impresión detallada de la simulación a través del tiempo.

El modelo de simulación que representa al proceso de crédito contiene todas las actividades de cada subproceso que se definieron anteriormente y cuya ilustración se muestra en la figura 24.

Figura 24. Modelo Actual del proceso de crédito de simulación



Las herramientas que se usaron para la verificación del modelo son:

Revisión de un experto quien examinó varias veces el modelo y que aportó de acuerdo a su experiencia en esta área. El experto fue el Dr. Kleber Barcia profesor de la materia de simulación matemática y director de esta tesis.

Verificación de las acciones lógicas de las actividades o eventos dentro de la simulación, es decir que el funcionamiento del sistema sea lo más parecido al real. Para esto se elaboró un diagrama de flujo con las acciones lógicas del modelo de simulación, comprobando que se cumplen para cada actividad o evento presentado. El diagrama de flujo se presenta en el cuadro 4.1.

Los resultados de la simulación fueron evaluados de acuerdo a los datos de la variable de interés que se eligió, que fue el número de créditos aprobados. Esta variable es la que se utilizó para validar el modelo y que se muestra más adelante en este capítulo.

### **4.3 Validación del modelo**

Es importante mencionar que ningún modelo es una representación perfecta de un sistema y es el moderador quien debe considerar entre mejorar la exactitud del modelo versus el costo del esfuerzo de continuar la validación [1].

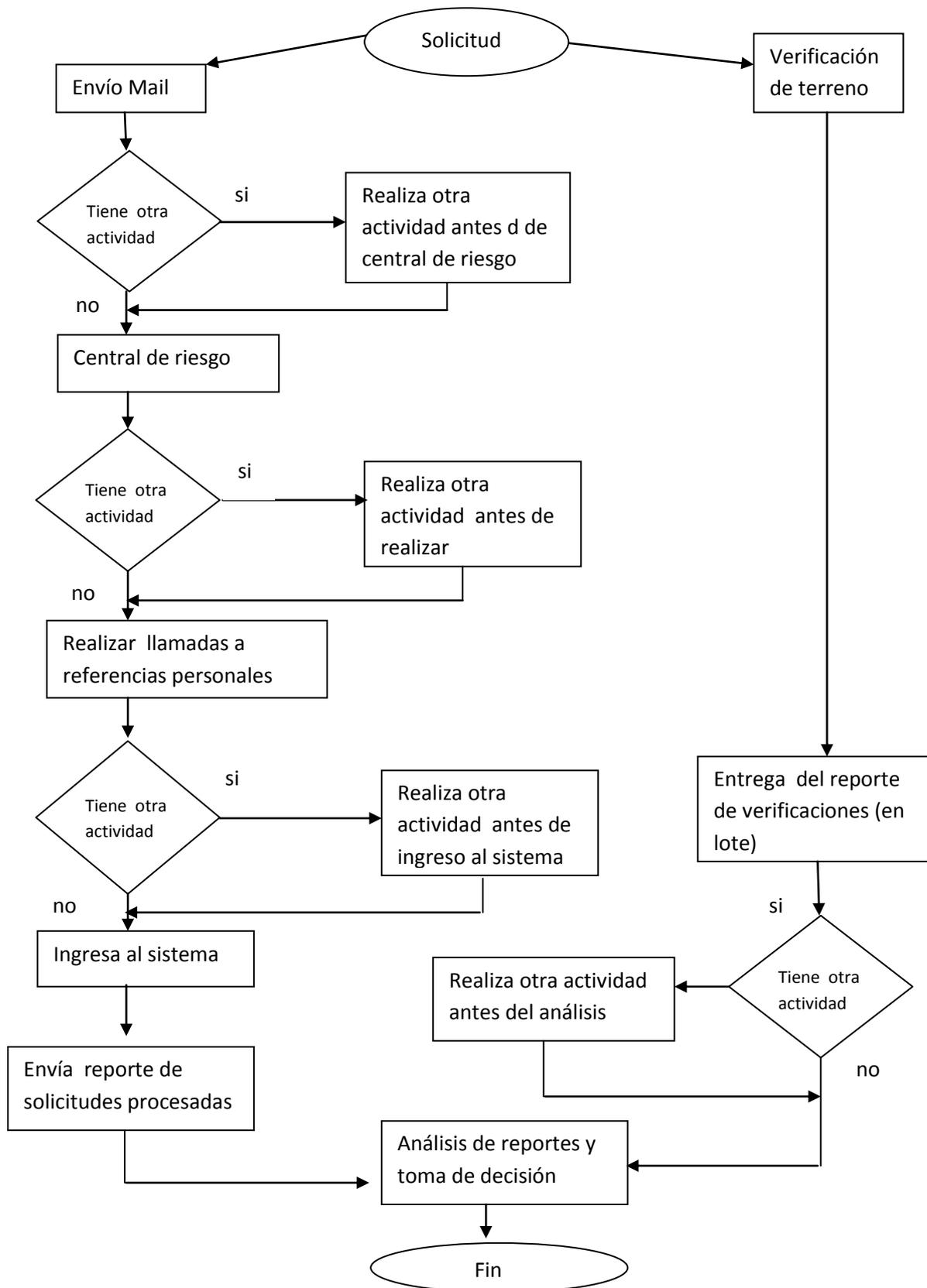
Los pasos a seguir son:

- Construir un modelo realista.
- Validar las asunciones del modelo.
- Comparar las transformaciones en la entrada-salida del modelo con los datos del sistema real.

Al construir un modelo realista se debe asegurar de un alto grado de realismo.

Es por esto que se participó en el proceso de definición de procesos, recolección de datos y análisis es este estudio.

Cuadro 4.1 Diagrama de flujo de las acciones lógicas del modelo de simulación



Para validar las asunciones del modelo se debe mencionar que existen dos tipos de asunciones:

- Estructurales: como opera el sistema.
- De datos: Precisión de los datos y sus consideraciones estadísticas.

Las asunciones estructurales que se realizaron para este sistema son:

- Cola antes de entregar las verificaciones a procesar al verificador de terreno, en el modelo de simulación, el nombre de este objeto es *Buffer\_verifica*.
- Cola de reportes entregados, estos son los reportes que entregan los analistas y que se mantienen en espera mientras el jefe de crédito no los analice junto con las verificaciones de crédito. El nombre del objeto es *reportes\_entregados*.
- Cola de verificaciones entregadas, representa las solicitudes verificadas que el verificador de terreno ha entregado para que sean procesadas por el jefe de crédito pero se mantienen en espera hasta que el jefe de crédito le de trámite. El nombre del objeto en el modelo es *Verificaciones\_entregadas*.

Las asunciones de datos que se hizo para elaborar este modelo de simulación son:

- Tiempo entre arribos de solicitudes de crédito nuevo, para la que se halló una distribución que mejor se ajuste al comportamiento de estos datos.
- Tiempo de verificaciones de terreno, este tiempo es considerado muy importante pues esta actividad es vital para la aprobación de un crédito.

Se encontró una distribución personalizada para este tiempo pues presentó una alta variabilidad.

- Tiempo de análisis de jefe de crédito, este tiempo corresponde a la última actividad antes de aprobar un crédito que está a cargo del jefe de crédito, para la que se encontró una distribución personalizada a sus datos.

#### **4.4 Comparación con datos del sistema real**

Para validar el modelo actual se debe comparar los resultados de la simulación con los datos del sistema real, a través de la variable de interés número de créditos aprobados en día de trabajo, que se denotará como  $Y_2$ .

El día de trabajo, en el caso de los analistas y jefe de crédito empieza las 09h00 y termina a las 18h00, con un receso de una hora para el almuerzo que inicia a las 13h00.

Para el verificador de terreno su horario de trabajo empieza a las 07h00 y culmina a las 18h00, teniendo un receso a las 12h00 hasta las 13h00 para almorzar.

Se realizó la simulación para el proceso de crédito correspondiente a 6 días y se procedió a aplicar la prueba T-student para  $\mu$  con muestras pequeñas, que define las siguientes hipótesis:

$$H_0: E(Y_2) = 2.38 \text{ solicitudes}$$

$$H_a: E(Y_2) \neq 2.38 \text{ solicitudes}$$

Los supuestos para esta prueba consisten en afirmar que  $Y_2$  proviene de una distribución normal con media desconocida  $\mu$  y varianza desconocida  $\sigma^2$ . En este caso se asume un comportamiento normal pues no se conocen los datos del número de créditos aprobados y que al generarse para una muestra mayor a 30 se asume se aproxima a una distribución normal [9].

Se procedió a encontrar el estadístico de prueba para t-student, cuya fórmula se muestra a continuación [1]:

$$|t_0| = \left| \frac{\bar{Y}_2 - \mu_0}{S / \sqrt{n}} \right|$$

Donde  $\bar{Y}_2$  y  $S$  se expresan como sigue:

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{2i}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{2i} - \bar{Y}_2)^2}{n-1}}$$

Como se mencionó anteriormente, se corrió el modelo para un tamaño muestral 6 (n=6) y se obtuvieron los siguientes resultados para estos estimadores:

$$\bar{Y}_2 = 3.00$$

$$S = 1.67$$

Los datos se muestran en la tabla 4.1 Estos fueron tomados a partir del día 11 pues se dejan 10 días como periodo de calentamiento para tener los datos estables.

Tabla 4.1 Datos de número de créditos aprobados para n=6

Día	# créditos aprobados
1	1
2	1
3	4
4	3
5	5
6	4

Luego se reemplazaron los valores en el estadístico, de la siguiente manera:

$$\left| \frac{3.00 - 2.38}{\frac{1.67}{\sqrt{6}}} \right| = 0.915$$

Para determinar la región de rechazo se toma el valor de la distribución t-student tomando  $\alpha=0.05$  (para dos colas) y con grados de libertad 5. El valor obtenido es:

$$t_{\alpha/2, n-1} = 2.57 \text{ (para dos colas)}$$

Este valor define la región de rechazo, es decir si el estadístico es mayor a 2.57, cae en la región de rechazo y se afirma que el modelo no es válido. Mientras que si el estadístico es menor que 2.57, se afirma que no existe evidencia estadística suficiente para considerar el modelo inválido y se lo acepta [9].

Por lo tanto, analizando los valores obtenidos se observó que el estadístico es menor que 2.57, y permite afirmar que no existe evidencia estadística para considerarlo inválido.

Ahora se necesita saber que tan fuerte es esta prueba para considerar al modelo como válido, para esto se aplicó la potencia de pruebas que representa la probabilidad de detectar un modelo inválido ( $1 - \beta$ ).

Dado que se definió un error tipo I muy pequeño, denotado por  $\alpha$ , es decir la probabilidad de rechazar un modelo válido. Se procedió a encontrar un  $\beta$ , la probabilidad de aceptar un modelo como válido cuando es inválido. Se debe buscar siempre un  $\beta$  pequeño para asegurar que la prueba sea fuerte, el que depende de [1]:

- El tamaño muestral,  $n$
- La diferencia  $\delta$ , entre  $E(Y)$  y  $\mu$

La fórmula para encontrar  $\delta$  es:

$$\delta = \frac{|E(Y) - \mu|}{\sigma}$$

Para escoger el tamaño de la muestra se utilizan las curvas características de Operación (OC Curve) [10].

Como primer paso se evaluó el  $\beta$  que se obtuvo al realizar la prueba  $t$ -student con  $n=6$ . Se pretende que la diferencia entre el valor real de la media con el estimador sea de una unidad, valor que junto con la desviación estándar para la muestra anteriormente encontrada se reemplaza en la fórmula como sigue:

$$\delta = \frac{1}{1.67} = 0.60$$

Con este  $\delta$  se observaron las curvas características de Operación (OC Curve) y se halló que el  $\beta$  correspondiente es aproximadamente 0.80.

Se determinó que el  $\beta$  debería ser igual a 0.10 y con el mismo valor de  $\delta$  se encontró que el número de replicas necesarias para llegar a este valor es  $n=40$ .

Los datos de replicas totales con  $n=40$  se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Número de créditos aprobados para n= 40

<b>Dia</b>	<b># créditos aprobados</b>
1	1
2	1
3	4
4	3
5	5
6	4
7	7
8	2
9	4
10	3
11	1
12	3
13	2
14	4
15	1
16	1
17	3
18	2
19	2
20	2
21	1
22	2
23	1
24	4
25	2
26	3
27	2
28	4
29	4
30	7
31	4
32	1
33	3
34	4
35	3
36	0
37	4
38	2
39	3
40	1

Con estos datos se procedió a validar nuevamente el modelo con la prueba de t-student, lo que también servirá para demostrar que el modelo sigue siendo válido para el número de replicas obtenido.

Los estimadores fueron los siguientes:

$$\bar{Y}_2 = 2.75$$

$$S = 1.58$$

El estadístico se expresa como sigue:

$$\left| \frac{2.75 - 2.38}{\frac{1.58}{\sqrt{40}}} \right| = 1.50$$

Para determinar la región de rechazo se toma el valor de la distribución t-student tomando  $\alpha=0.05$  (para dos colas) y con grados de libertad 39. El valor obtenido es:

$$t_{\alpha/2, n-1} = 1.96 \text{ (para dos colas)}$$

Como se observa el valor del estadístico es menor que 1.96 por lo tanto no existe evidencia estadística suficiente para considerar el modelo inválido y se lo acepta como válido.

Dado que se verificó y validó el modelo, se tomó como referente para realizar los cambios sugeridos para optimizar el número de créditos aprobados que se mostraran en el siguiente capítulo.

Se observaron los siguientes problemas que se presentan en el proceso real y que se reflejan en el modelo de simulación actual al realizar las réplicas para la validación:

**Cola en el buffer\_verifica:** Solicitudes pendientes a procesar por el verificador de terreno.

**Cola en Verificaciones entregadas:** Solicitudes acumuladas que el verificador entregó pero el Jefe de crédito tiene pendiente de procesar.

**Retraso en Otras\_act\_antes\_análisis:** Retraso en análisis de créditos debido a otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.

**Cola en reportes\_entregados:** Solicitudes entregadas analizadas por los analistas y están pendientes de aprobación del jefe de crédito.

**Cola en Bf\_1:** Solicitudes acumuladas pendientes de realizar la actividad de central de riesgo para el analista A.

**Cola en Bf\_2:** Solicitudes acumuladas pendientes de realizar la actividad de central de riesgo para el analista B.



## **CAPÍTULO 5**

### **5. PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE MEJORAS**

#### **5.1 Introducción**

En este capítulo se proponen tres escenarios de mejoras para el modelo de simulación dinámico que se válido en el capítulo anterior.

Se explica los cambios para cada escenario cuyo objetivo es aumentar el número de solicitudes de créditos aprobados, además se considera una segunda variable de importancia como es el número de solicitudes con verificaciones entregadas que se encuentran en cola, dado que en el modelo actual se pudo notar que existía una gran acumulación de verificaciones entregadas por el verificador de terreno que no llegaban a ser procesadas.

Además, se realizó un análisis financiero para determinar la factibilidad económica de estos escenarios y conocer en que tiempo se recuperaría la inversión de los cambios propuestos.

Finalmente, se realizó un análisis de resultados donde se resume los cambios realizados y se muestra los beneficios del escenario seleccionado.

## **5.2 Escenario 1**

El primer escenario propuesto contiene dos cambios que son:

- 1.- Reducción en el tiempo de otras actividades que se realizan antes de revisar en bases de central de riesgo.
- 2.- Reducción del tiempo en actividades antes de análisis del jefe de crédito

### **1.- Reducción en el tiempo de otras actividades que se realizan antes de revisar en bases de central de riesgo.**

Como se mencionó en el capítulo 3, esta variable sigue una distribución exponencial con media 55.8 minutos por cada solicitud, lo que provoca que se produzca una cola antes de realizar esta actividad y es en muchos casos causante de que no existan muchos reportes terminados en el día que son entregados al jefe de crédito.

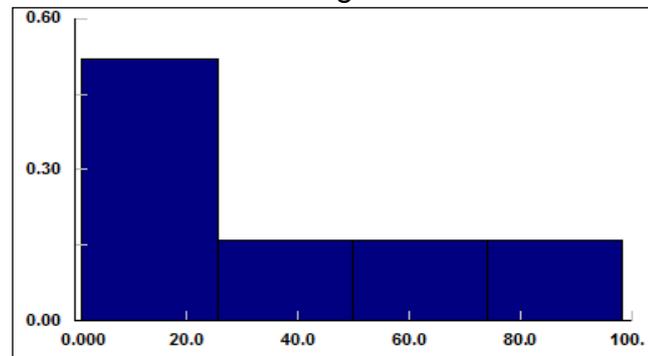
Se redujo en un 40% las actividades que realiza el analista antes de revisar los datos de la solicitud en las bases de central de riesgo.

La actividad principal que realiza el analista es atender solicitudes de ampliación de crédito que por lo general llegan en cualquier hora del día, pero que en muchos casos tiene acumulados del día anterior pues los 3 almacenes de la central de análisis tienen su horario de atención de 10h00 a 20h00.

Estas ampliaciones de crédito son solicitadas por clientes del almacén que ya fueron aprobados para un crédito nuevo y que su cupo actual no es suficiente para comprar el electrodoméstico deseado. En algunos casos los clientes ya tienen un historial de crédito excelente y es el analista quien verifica su historial y aprueba la ampliación, caso contrario se lo envía al jefe de crédito.

Dado la reducción del tiempo en esta actividad, el nuevo comportamiento de datos de esta variable se representa en el histograma de la figura 25 y los datos se muestran en el anexo L.

Figura 25. Histograma de tiempo modificado de otras actividades antes de central de riesgo



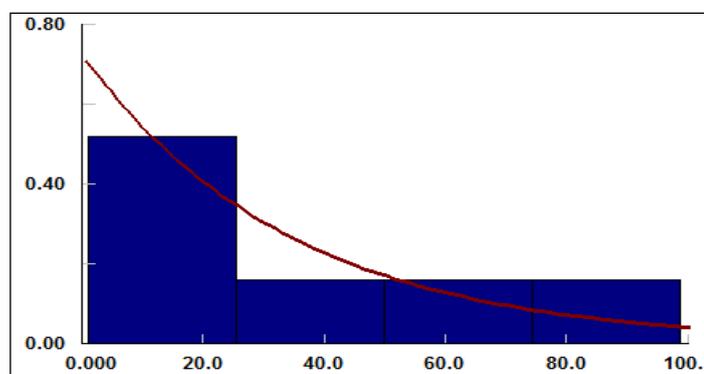
Para comprobar la distribución que mejor se aproxima al comportamiento de estos datos, se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov que plantea las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos siguen una distribución exponencial

Ho: Los datos NO siguen una distribución exponencial

El valor p-obtenido para esta prueba, 0.79, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de otras actividades antes de central siguen una distribución exponencial con media 34.33 minutos. La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 26.

Figura 26. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central

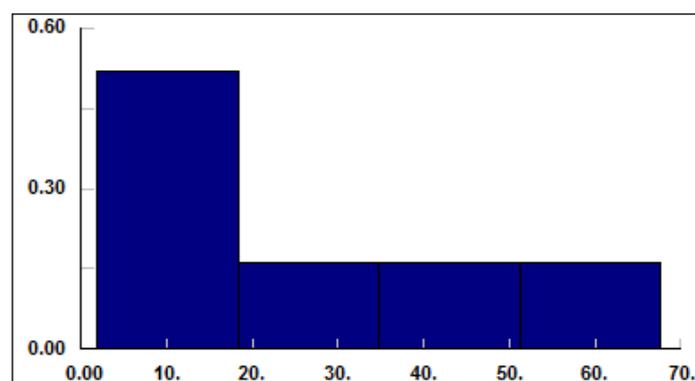


El 40% del tiempo invertido para esta actividad que interrumpe el proceso normal de la revisión del cliente en central de riesgo, se le asignará a la actividad de análisis del jefe de crédito.

El jefe de crédito tiene una ocupación del 97% pues tiene a cargo otras actividades antes de realizar el análisis de decisión de un crédito. Estas otras actividades fueron analizadas y se eliminaron aquellas que no agregan valor y esto permitió la asignación del 40% adicional del tiempo de otras actividades antes de central de riesgo. Los datos presentaron un nuevo comportamiento, por lo que se aplica la prueba de Kolmogorov para encontrar la distribución que mejor se aproxima. Los datos de esta variable se encuentran en el anexo M.

Antes de proceder a aplicar la prueba de distribución se construyó el histograma para esta variable, que se muestra en la figura 27.

Figura 27. Histograma de tiempo de análisis del jefe de crédito



Se definen las siguientes hipótesis:

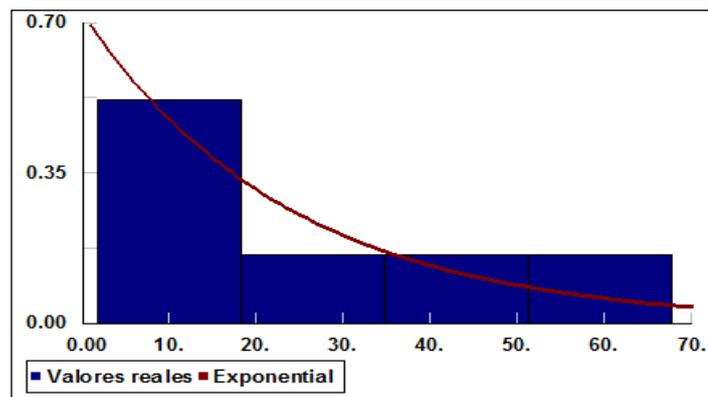
Ho: Los datos siguen una distribución exponencial

Ho: Los datos NO siguen una distribución exponencial

El valor p-obtenido para la prueba Kolmogorov fue, 0.841, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, y se concluye que los datos del tiempo de actividades antes del análisis del jefe de crédito siguen una distribución exponencial con media 23.80 minutos que fue calculada en base

al histograma. La ilustración de los datos y la distribución ajustada se puede apreciar en el figura 28.

Figura 28. Histograma y curva de distribución ajustada de tiempo de antes central



## **2.- Reducción del tiempo en actividades antes de análisis del jefe de crédito.**

Existen otras actividades que realiza el jefe de crédito que hace esperar a las verificaciones de terreno que se encuentran realizadas y provoca una gran cantidad de verificaciones en cola. La idea de esta modificación es que reduzca las unidades en cola de las verificaciones entregada, para que en conjunto con los reportes entregados por los analistas puedan ser procesados por el jefe de crédito. Se realizó un análisis de las actividades que agregan valor y las que no agregan valor al proceso de crédito nuevo. En la tabla 5.1 se muestran las tareas que el jefe de crédito realiza antes del proceso de análisis de aprobación o rechazo de solicitudes y el tiempo promedio por cada tarea.

Tabla 5.1 Tabla de tareas del jefe de crédito

<b>Tarea</b>	<b>Agrega valor</b>	<b>No agrega valor</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
Reportes de solicitudes por cada central al jefe de crédito regional.	X		0.4368
Tareas en la computadora no identificadas como válidas para el proceso.		X	10.92

Revisión de ampliaciones de crédito aprobadas por analistas.		X	4.368
Revisión de reportes de analistas y verificaciones para aprobaciones de crédito.	x		6.1152
Revisión de facturaciones que se han realizado con créditos nuevos o ampliaciones de crédito.		x	3.9312
Aprobaciones de ampliaciones de crédito de manera inmediata.		x	6.9888
Reunión con analista para casos especiales.		x	4.368
Atención al público de personas que solicitan crédito y presentan algún inconveniente.		x	6.552

La suma de todas las tareas es igual a 43.68 minutos, en el capítulo 3 se encontró la distribución personalizada para estos datos, dado que la variabilidad de estos datos es muy grande. En la tabla 5.1 se muestran los tiempos para cada tarea y se identifican aquellas que agregan valor y las que no. Se eliminaron las tareas que no agregan valor, resultando que las tareas que deben continuar en esta actividad son: los reportes de solicitudes por cada central al jefe de crédito regional y la revisión de reportes de analistas verificaciones para aprobaciones de crédito.

Al sumar los tiempos promedios de estas dos tareas se obtuvo un tiempo para esta actividad es de 6.55 minutos. Cuya nueva distribución se obtuvo de acuerdo a los datos recolectados después de aplicar el cambio antes mencionado para las tareas. A continuación se muestra la distribución construida a partir de los cambios realizados.

$$f(x) = \begin{cases} 0.64; & 0 \leq x < 5 \\ 0.08; & 5 \leq x < 10 \\ 0.16; & 10 \leq x \leq 15 \\ 0.12; & 15 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

Se debe mencionar que los tiempos de cada tarea presentan una variabilidad muy alta y es por esto que se ha decidido implementar cambios en computadoras y en redes para evitar que los retrasos del sistema provoquen la dispersión de los datos y con esto tener un promedio más estable.

### **5.3 Escenario 2**

Para el escenario 2, partiendo del escenario original se definieron dos cambios que se detallan a continuación:

1. Aumento de un verificador a medio tiempo.
2. Reducción de tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.

#### **1.- Aumento de un verificador a medio tiempo**

El verificador que se agregará a esta actividad empezará su trabajo a las 13h00 hasta las 18h00 cubriendo ciertos sectores de la zona que tiene a su cargo el verificador de tiempo completo.

De esta manera liberará de la carga al verificador de terreno quien tiende a presentar cola en las verificaciones que debe procesar.

#### **2.- Reducción de tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.**

Como se explicó anteriormente, el jefe de crédito realizaba varias tareas que no aportaban al proceso de un crédito nuevo y se eliminaron aquellas que no contribuían valor al proceso. De lo que se obtuvo un promedio de 6.55 minutos para las otras tareas que realiza el jefe de crédito antes del análisis de las solicitudes que consiste en recoger los reportes de los analistas y del verificador y tomar una decisión de aprobar o rechazar el crédito. Además en este tiempo también se incluye el tiempo de realizar y enviar reportes al jefe inmediato. La nueva distribución de los datos que se mostró anteriormente y se aplicará nuevamente en este escenario.

## **5.4 Escenario 3**

Para el escenario 3 se consideró la combinación de los 2 escenarios anteriores es decir, los cambios para el modelo de simulación dinámico realizados son:

1. Reducción en el tiempo de otras actividades que se realizan antes de revisar en bases de central de riesgo.
2. Reducción del tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.
3. Aumento de un verificador a medio tiempo.

La consideración de este escenario se realizó pues existe la hipótesis que combinando los dos escenarios anteriores se obtendrá un aumento considerable en el número de créditos aprobados. Otros escenarios que se probaron no resultaron mejores en cuanto al número de créditos aprobados y no se consideraron en este análisis.

## **5.5 Estimación del intervalo de confianza para cada escenario.**

### **5.5.1 Cálculo de número de réplicas**

Se tomó la variable de interés número de créditos aprobados acumulados para realizar el cálculo de número de replicas y para la elección de uno de los escenarios propuestos. Existe una segunda variable de interés que son el número de verificaciones entregadas que también será considerada para este análisis. El número de réplicas necesarios para calcular el intervalo de confianza para la comparación de los modelos se realizó para cada variable pues el número de verificaciones entregadas presentó un alta variabilidad con lo cual el número de réplicas aumentó considerablemente en comparación con el número de réplicas de la variable número de créditos aprobados.

Se realizó primero una muestra inicial de réplicas como se lo hizo en el capítulo 3 (para la validación del modelo), es decir con tamaño muestra 6 para el proceso actual y los 3 escenarios.

Es importante mencionar que debido a la alta variabilidad del modelo las comparaciones de los modelos fueron realizadas con el número acumulado de créditos aprobados durante 50 días pues al realizar las corridas de simulación, se notó que los promedios de solicitudes aprobadas no eran muy diferentes al de los escenarios propuestos, sin embargo sin eran significativamente diferente con los días acumulados.

Se tomó 50 días debido a que en el capítulo 4 se determinó que el tamaño muestral para validar el modelo con el real, era de 40 días y se adicionó los 10 días del calentamiento que no se consideraron para la validación del modelo según las definiciones antes expuestas.

La variabilidad del modelo es un tema que se podría trabajar en otro tipo de análisis como por ejemplo un análisis de procesos de logística basados en logística de producción y no se analizará en esta tesis pues como objetivo principal se propuso optimizar el número de créditos aprobados y se considera este un modelo inicial que podrá tomarse como partida para futuros estudios que pudiera incluir como objetivo la reducción de la variabilidad.

Las tablas 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 muestran los datos para las 6 réplicas para el modelo actual y los tres escenarios, donde cada réplica representa 50 días acumulados, considerando las dos variables de interés antes mencionadas.

Tabla 5.2 Créditos aprobados acumulados para n=50 en modelo actual

<b>Réplica</b>	<b>Créditos aprobados acumulados</b>	<b>Verificaciones entregadas</b>
1	154	268
2	154	115
3	147	196
4	141	233
5	155	293
6	138	248

Tabla 5.3 Créditos aprobados acumulados para n=50 en escenario 1

<b>Réplica</b>	<b>Créditos aprobados acumulados</b>	<b>Verificaciones entregadas</b>
1	242	8
2	248	3
3	228	23
4	241	21
5	236	0
6	251	61

Tabla 5.4 Créditos aprobados acumulados para n=50 en escenario 2.

<b>Réplica</b>	<b>Créditos aprobados acumulados</b>	<b>Verificaciones entregadas</b>
1	175	0
2	186	1
3	168	0
4	181	0
5	186	0
6	188	0

Tabla 5.5 Créditos aprobados acumulados para n=50 en escenario 3.

<b>Réplica</b>	<b>Créditos aprobados acumulados</b>	<b>Verificaciones entregadas</b>
1	242	5
2	257	13
3	228	10
4	243	0
5	250	0
6	251	193

Se determinó la desviación estándar para cada escenario con el número de réplicas realizadas.

$$S^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R (Y_i - \bar{Y})^2$$

En este caso R es igual a 6 y se determinó que la desviación estándar para cada escenario son los valores que aparecen en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Desviación estándar de cada escenario

Escenario	Desviación estándar Créditos aprobados	Desviación estándar verificaciones entregadas
Actual	7.36	63.25
Primero	8.29	22.46
Segundo	7.79	0.41
Tercero	10.07	77.15

Se calculó el R mínimo, es decir el mínimo número de réplicas que se necesita para tener un intervalo de confianza válido que compara todos los escenarios.

Se define la siguiente fórmula para calcular el R mínimo [1].

$$R_{\min} \geq \left( \frac{z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

$S_0$ : Desviación estándar inicial

$\alpha$ : nivel de confianza

$\varepsilon$ : error definido

$Z_{\alpha/2}$ : Se toma el valor de la distribución normal estándar de acuerdo al nivel de confianza.

Luego se calculó el R final con la siguiente fórmula:

$$R \geq \left( \frac{t_{\alpha/2, R-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

$t_{\alpha/2, R-1}$  : Valor de la distribución t student que se halla de acuerdo al nivel de confianza  $\alpha$  (para dos colas) y grados de libertad R-1.

A continuación se muestra el R min y R final encontrado para cada el escenario actual y los tres escenarios propuestos para mejoras.

### **Escenario actual**

El R mínimo de acuerdo al  $S_0$  mostrado en la tabla 5.6 y error definido como 5 unidades para el número de créditos aprobados. Se obtuvo lo siguiente:

$$R_{\min} = \left( \frac{1.96 * 7.36}{5} \right)^2$$

$$R_{\min} = 8.32 \cong 9$$

Se procedió luego a encontrar el R final tomando como referencia el R mínimo para considerarlos los grados de libertad menos uno. En la tabla 5.7 se muestra el valor para  $\alpha$  igual a 0.05 (para dos colas) y R-1 grados de libertad de la tabla de la distribución t student y el R final encontrado respetando la formula anteriormente expuesta.

Tabla 5.7 Cálculo de R final para escenario actual

<b>R</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.31	2.26	2.23
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0 / \varepsilon)^2$	11.522	11.088	10.757

El R final encontrado es igual a 11 para la variable créditos aprobados en el escenario actual.

Se realizó el mismo ejercicio para el número de verificaciones entregadas que están en cola, donde se obtuvo que el  $R_{\min}$  es igual a 34.85, que aproximándolo al entero más cercano es igual a 35. Con este valor se realizó el cálculo del R final que se presenta en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Cálculo de R final para escenario actual

R	35	36	37	38
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.03	2.03	2.03	2.03
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)$	37.471	37.392	37.318	37.248

El R final para esta variable en el escenario actual es 38.

### **Escenario 1**

El R mínimo de acuerdo al  $S_0$  mostrado en la tabla 5.6 y error definido como 5 unidades. Se obtuvo lo siguiente:

$$R_{\min} = \left( \frac{1.96 * 8.29}{5} \right)^2$$

$$R_{\min} = 10.57 \cong 11$$

Se procedió luego a encontrar el R final tomando como referencia el R mínimo para considerarlos los grados de libertad. En la tabla 5.9 se muestra el valor para  $\alpha$  igual a 0.05 (para dos colas) y R-1 grados de libertad de la tabla de la distribución t student y el R final encontrado respetando la formula anteriormente expuesta.

Tabla 5.9 Cálculo de R final para escenario 1

<b>R</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.23	2.20	2.18	2.16
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)^2$	13.663	13.332	13.064	12.844

El R final encontrado es igual a 14 para el escenario 1.

Se realizó el mismo ejercicio para el número de verificaciones entregadas que están en cola, donde se obtuvo que el  $R_{\min}$  es igual a 19.37, que aproximándolo al entero más cercano es igual a 20. Con este valor se realizó el cálculo del R final que se presenta en la tabla 5.10

Tabla 5.10 Cálculo de R final para escenario 1

R	20	21	22
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.09	2.09	2.08
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)$	22.091	21.942	21.808

El R final encontrado es igual a 22 para el número de verificaciones entregadas en el escenario 1

## **Escenario 2**

El R mínimo de acuerdo al  $S_0$  mostrado en la tabla 5.6 y error definido como 5 unidades. Se obtuvo lo siguiente:

$$R_{\min} = \left( \frac{1.96 * 7.79}{5} \right)^2$$

$$R_{\min} = 9.32 \cong 10$$

En la tabla 5.11 se muestra el valor para  $\alpha$  igual a 0.05 (para dos colas) y R-1 grados de libertad de la tabla de la distribución t student y el R final encontrado respetando la formula anteriormente expuesta.

Tabla 5.11 Cálculo de R final para escenario 2

R	10	11	12
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.26	2.23	2.20
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)^2$	12.418	12.047	11.756

El R final encontrado es igual a 12 para el número de créditos aprobados en el escenario 2.

Se procedió luego a calcular el Rmin para las verificaciones entregadas, de lo que se obtuvo que es igual a 2.56 que aproximado al entero superior inmediato es igual a 3, valor que se tomó como referente para calcular el R final que se muestra en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Cálculo de R final para escenario 2

R	3	4	5	6
$t_{\alpha/2, r-1}$	4.30	3.18	2.78	2.57
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)$	12.342	6.752	5.139	4.405

El R final encontrado es igual a 6 para el número de verificaciones entregadas en el escenario 2.

### **Escenario 3**

El R mínimo de acuerdo al  $S_0$  mostrado en la tabla 5.6 y error definido como 5 unidades. Se obtuvo lo siguiente:

$$R_{\min} = \left( \frac{1.96 * 10.07}{5} \right)^2$$

$$R_{\min} = 15.58 \cong 16$$

Tabla 5.13 Cálculo de R final para escenario 3

<b>R</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.13	2.12	2.11	2.10
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)^2$	18.421	18.222	18.049	17.897

El R final encontrado es igual a 19 para el escenario 3.

Se realizó el mismo ejercicio para el número de verificaciones entregadas que están en cola, donde se obtuvo que el  $R_{\min}$  es igual a 36.58, que aproximándolo al entero más cercano es igual a 37. Con este valor se realizó el cálculo del R final que se presenta en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Cálculo de R final para escenario 3

<b>R</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
$t_{\alpha/2, r-1}$	2.03	2.03	2.02	2.02
$(t_{\alpha/2, r-1} S_0/\epsilon)$	39.167	39.094	39.024	38.959

El R final encontrado es igual a 40 para el escenario 3.

Finalmente, al comparar el R final por cada escenario se tomó aquel con mayor número pues contiene a todos los demás. Para el número de créditos aprobados el R escogido es igual a 19, por lo tanto se procedió a generar 13 réplicas adicionales para completar la muestra deseada. Mientras que para el número de verificaciones entregadas el R escogido es igual a 40, por lo tanto se realizaron 34 réplicas más para esta variable.

### 5.1.1 Cálculo de intervalo de confianza

A simple vista se puede observar que el número de créditos aprobados acumulados para 50 días, difiere de la simulación del proceso actual, con el de las propuestas realizadas. Sin embargo, es necesario verificar si realmente ha habido cambios estadísticamente significativos de la variable respuesta. Se utilizó entonces el método de Bonferroni para comparar el sistema actual, con los sistemas propuestos. La Tabla 5.15 muestra el análisis de los datos de salida de la variable “Y” para obtener los valores que requiere el cálculo de los intervalos de confianza como se muestra en la siguiente fórmula [1]:

$$\bar{D}.i - t_{\alpha_i/2, R-1} se\left(\bar{D}.i\right) \leq \theta_1 - \theta_i \leq \bar{D}.i + t_{\alpha_i/2, R-1} se\left(\bar{D}.i\right)$$

D.i: Diferencia entre el escenario i y el escenario actual.

$\alpha_{i/2}$ : nivel de confianza dividido para el número de escenarios (para dos colas)

$t_{\alpha_{i/2}, R-1}$ : valor de t student para nivel de confianza  $\alpha/2$  y R-1 grados de libertad.

s.e.: Error estándar

El error estándar se define como sigue:

$$s.e.(\bar{D}) = s.e.(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) = \frac{S_D}{\sqrt{R}}$$

Donde:

$$S_D^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{r=1}^R (\bar{D}_r - \bar{D})^2$$

$$D_r = Y_{r1} - Y_{r2} \qquad \bar{D} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R D_r$$

Tabla 5.15 Cálculo de intervalo de confianza para cada escenario. Variable créditos aprobados

r	Yr1	Yr2	Yr3	Yr4	Diferencias con el sistema actual		
					Dr2 02-01	Dr3 03-01	Dr4 04-01
1	158	242	175	242	84	17	84
2	149	248	186	257	99	37	108
3	144	228	168	228	84	24	84
4	159	241	181	243	82	22	84
5	175	236	186	250	61	11	75
6	151	251	188	251	100	37	100
7	188	263	194	266	75	6	78
8	176	258	211	264	82	35	88
9	139	204	180	229	65	41	90
10	141	242	166	242	101	25	101
11	136	227	180	239	91	44	103
12	134	231	163	239	97	29	105
13	129	217	166	219	88	37	90
14	153	245	193	269	92	40	116
15	189	265	192	266	76	3	77
16	156	226	179	236	70	23	80
17	148	213	164	229	65	16	81
18	141	205	169	233	64	28	92
19	192	258	213	276	66	21	84
				D.i	81.16	26.11	90.53
				SDi	13.41	12.00	11.74
				$SDi/\sqrt{R}$	3.077	2.753	2.693

Se procedió a encontrar el  $t_{\alpha_j/2, R-1}$ .

J= 3 pues se tiene 3 escenarios de mejoras propuestos

Siendo  $\alpha= 0.05$  entonces  $\alpha_j= 0.0167$  y el valor que se buscará en la tabla de la distribución t student será  $0.0167/2$ , es decir  $\alpha_{j/2}$  será igual a 0.0083. Los grados de libertad son igual a 18.

El nivel de confianza deseado 0.0083 no se tiene exactamente en la tabla t student se realizó interpolación lineal para encontrar el valor aproximado para ese nivel de significancia y grados de libertad.

A continuación se muestra la fórmula que se utilizó para la interpolación lineal.

$$f(c) \approx f(a) + [f(b) - f(a)] \cdot \frac{c - a}{b - a},$$

Donde los valores para cada variable con los siguientes:

$$a = 0.010 \qquad f(a) = 2.552$$

$$b = 0.005 \qquad f(b) = 2.878$$

$$c = 0.0083$$

Aplicando esta fórmula se encontró que el valor para  $t_{0.0083,18}$  es igual a 2.66

Luego de tener todos los valores para completar la fórmula del intervalo de confianza, se procedió a calcularlo para cada escenario de lo que se obtuvo lo siguiente:

$$\text{Escenario 1: } 72.96 < \theta_2 - \theta_1 < 89.35$$

$$\text{Escenario 2: } 18.77 < \theta_3 - \theta_1 < 33.44$$

$$\text{Escenario 3: } 83.35 < \theta_4 - \theta_1 < 97.70$$

El análisis de la comparación de diseños afirma que si el intervalo de confianza está a la derecha del 0, existe fuerte evidencia de  $H_0: \theta_2 - \theta_1 > 0$  ( $\theta_2 > \theta_1$ ). Por lo tanto todos los escenarios difieren del escenario actual y son válidos. El intervalo de confianza que otorga una mayor diferencia con el modelo actual es del escenario 3, por lo tanto se escogerá este escenario como el óptimo.

La segunda variable de interés es el número de verificaciones acumuladas entregadas por el verificador. El número de réplicas que se utilizará es igual a 40.

Se procedió a calcular el intervalo de confianza con los datos generados que se muestran en la tabla 5.16

Tabla 5.16 Cálculo de intervalo de confianza para cada escenario

r	Yr1	Yr2	Yr3	Yr4	Diferencias con el sistema actual		
					Dr2 01- 02	Dr3 01- 03	Dr4 01 - 04
1	198	8	0	59	190	198	139
2	285	3	1	138	282	284	147
3	265	23	0	100	242	265	165
4	262	21	0	0	241	262	262
5	193	0	0	0	193	193	193
6	315	61	0	193	254	315	122
7	198	47	0	95	151	198	103
8	271	44	0	123	227	271	148
9	212	25	0	58	187	212	154
10	265	30	0	135	235	265	130
11	284	12	0	110	272	284	174
12	270	48	0	135	222	270	135
13	311	39	0	122	272	311	189
14	263	2	7	0	261	256	263
15	181	53	0	87	128	181	94
16	275	20	0	102	255	275	173
17	230	14	0	10	216	230	220
18	196	0	10	10	196	186	186
19	175	7	0	60	168	175	115
20	243	9	0	34	234	243	209
21	264	31	0	115	233	264	149
22	254	9	3	34	245	251	220
23	297	10	0	20	287	297	277
24	211	12	0	78	199	211	133
25	275	32	0	49	243	275	226
26	283	52	0	168	231	283	115
27	204	6	0	14	198	204	190
28	204	6	0	14	198	204	190
29	143	4	0	28	139	143	115
30	233	0	0	68	233	233	165
31	247	31	0	93	216	247	154
32	314	26	0	39	288	314	275
33	202	7	0	77	195	202	125
34	241	19	0	113	222	241	128
35	301	8	0	62	293	301	239
36	203	17	0	21	186	203	182

37	241	40	0	44	201	241	197
38	297	3	0	95	294	297	202
39	251	22	0	103	229	251	148
40	257	0	0	124	257	257	133
				D.i	225.33	244.83	172.10
				SDi	41.12	42.84	48.61
				$SDi/\sqrt{R}$	6.501	6.773	7.686

El  $t_{\alpha/2, R-1}$  es el mismo que se utilizó en la variable de número de créditos aprobados. Para un nivel de confianza 0.0083 y grados de libertad 39 el valor correspondiente en la tabla t student , luego de aplicar la formula de distribución inversa de la distribución t student es:

Fórmula aplicada:  $DISTR.T.INV(0.0167, 39) = 2.50$

Luego de tener todos los valores para completar la fórmula del intervalo de confianza, se procedió a calcularlo para cada escenario de lo que se obtuvo lo siguiente:

Escenario 1:  $209.07 < \theta_1 - \theta_2 < 241.58$

Escenario 2:  $227.89 < \theta_1 - \theta_3 < 261.76$

Escenario 3:  $152.88 < \theta_1 - \theta_4 < 191.32$

El análisis de la comparación de diseños afirma que si el intervalo de confianza está a la derecha del 0, existe fuerte evidencia de  $H_0: \theta_1 - \theta_2 > 0$  ( $\theta_1 > \theta_2$ ). Por lo tanto todos los escenarios difieren del escenario actual y son válidos.

Aunque el mejor escenario es el 2 por tener mayor diferencia con el modelo actual, se escogió el escenario 3 pues este fue la mejor propuesta en el análisis de la variable de créditos aprobados y por ser esta la variable de mayor importancia es la elección del escenario en esta variable la que predomina.

## **5.6 Análisis financiero**

Se realizó el análisis financiero para encontrar el tiempo en el que se recuperará la inversión que se tendrá que realizar para implementar los cambios que se propusieron en el escenario 3.

Es importante mencionar que el análisis financiero se realizó para 3 sucursales de un almacén de electrodomésticos pues son las sucursales que maneja la central de crédito que ha sido estudio de esta tesis. Estas tres sucursales seleccionadas son las que manejan mayores ingresos que otras sucursales del almacén en la ciudad de Guayaquil.

### **Ingresos anuales**

Para calcular el ingreso anual ha sido considerado un ingreso promedio de ventas para un crédito nuevo, y la cantidad de unidades vendidas por año corresponden a las unidades promedios que se obtuvo al correr el escenario actual. El incremento anual será del 10% cada año.

### **Comisiones**

Las comisiones es un rubro importante en los costos de la empresa, pues depende de las ventas realizadas y del monto. Se ha asignado un 20% del monto de ventas total para las comisiones que incluye a 22 vendedores y 3 jefes de almacenes de las 3 sucursales.

### **Sueldos y salarios**

Los sueldos y salarios para los cargos que involucran la aprobación de un crédito nuevo y la atención al cliente de los tres almacenes y central de crédito se detallan en la tabla 5.17.

Tabla 5.17 Salarios de trabajadores relacionados a crédito nuevo

<b>Sueldos y salarios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Salario mensual</b>	<b>Salario anual</b>
Analistas	2	500	12000
Jefe de crédito	1	800	9600
Jefe de almacén	3	340	12240
Verificador	1	450	5400
Vendedores	22	350	92400
Bodeguero	1	300	3600
Personal de limpieza	3	250	9000
Proporcional a otros salarios	1	3500	42000
		total	186.240

### **Gastos administrativos**

Los gastos administrativos involucran servicios de Internet, agua, papelería y compra de base de datos que se muestran en la tabla 5.18

Tabla 5.18 Gastos administrativos

<b>Gastos administrativos</b>	<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>
Internet	250	3000
Agua purificada	100	1200
Papelería	750	9000
Base de datos	200	2000
Total	1300	15200

### **Servicios básicos**

Los servicios básicos están considerados en los almacenes y central de crédito.

Tabla 5.19 Servicios básicos

<b>Servicios básicos</b>	<b>Mensual</b>	<b>Anual</b>
Agua	600	7200
Teléfono	3500	42000
Energía eléctrica	6800	81600
Total	10900	130800

### **Estado de Resultados y pérdidas**

El estado de resultados y pérdidas muestra utilidad para todos los años. El estado de resultados para el escenario actual se muestra en la tabla 5.20.

Por otro lado se realizó el estado de resultados y pérdidas para el escenario mejorado, dado que se seleccionó el tercer escenario de los propuestos en este capítulo.

### **Inversión para escenario mejorado**

La inversión para el escenario mejorado consiste en contratar a un verificador de terreno adicional que trabaje medio tiempo, por lo cual el salario de este sería la mitad del verificador que trabaja actualmente.

También se necesitaría comprar una moto para la transportación del verificador y brindarle facilidades para comunicarse con el departamento de crédito y almacén, es decir se le compraría un teléfono celular y un plan celular.

Dado la reducción de actividades para el analista en otras actividades de central de riesgo que fueron asignadas al jefe de crédito, se decidió comprar dos computadores para hacer que el trabajo de cada una de ellas sea más ágil.

La inversión detallada se muestra en la tabla 5.21.

Tabla 5.20 Estado de Resultados y pérdidas manteniendo el proceso actual

	2010	2011	2012	2013	2014
Precio promedio de venta	890	979	1,077	1,185	1,303
Costo unitario de venta	356	392	431	474	521
Unidades vendidas	1,136	1,250	1,375	1,512	1,663
Ingresos por ventas	1,011,040	1,223,358	1,480,264	1,791,119	2,167,254
Costos de ventas	404,416	489,343	592,105	716,448	866,902
Utilidad bruta	606,624	734,015	888,158	1,074,671	1,300,352
<b>Costos y Gastos</b>					
Sueldos y salarios	186240	204,864	225,350	247,885	272,674
Comisiones	202208	244,672	296,053	358,224	433,451
Gastos administrativos	15200	15,960	16,758	17,596	18,476
Servicios básicos	130800	137,340	144,207	151,417	158,988
Otros gastos	10000	10,000	10,000	10,000	10,000
Total Costos y Gastos	544,448	612,836	692,368	785,122	893,589
UTILIDAD NETA	62,176	121,179	195,790	289,549	406,764

Tabla 5.21 Inversión para el escenario mejorado

	<b>Valor unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Verificador	225	1	225
Moto	2000	1	2000
Teléfono celular	50	1	50
Plan celular	20	12	240
Computador	800	2	1600
Arreglos en el sistema	15000	1	15000
Total	18095		19115

Como se puede observar en el estado de resultado del proceso mejorado, al incrementarse la venta de unidades de 157 a 246 después de implementaciones y costos incurridos la utilidad sería 3 veces mayor que la del proceso actual pues realmente el costo de los cambios no representa un monto muy significativo comparándose con el monto de ventas que se incrementaría al aplicar los cambios propuestos. Ver tabla 5.22.

Dado que las réplicas realizadas para la simulación fueron de 50 días acumulados se transformó este valor a unidades anuales, pues el estado de pérdidas y resultados presenta comparaciones anuales. De esta forma, las unidades del proceso actual del que se obtuvo 157 solicitudes aprobadas en promedio para 50 días son equivalentes a 1,136 solicitudes aprobadas en promedio anualmente.

El mismo cálculo se realizó para las unidades del modelo mejorado del que se obtuvo 246 solicitudes aprobadas en promedio durante 50 días simulados y que se transformó a aprobaciones anuales, resultando 1, 791 solicitudes aprobadas en promedio.

Se debe resaltar que tanto las unidades vendidas y precio de venta son promedios que presentan variabilidad, por el tipo de artículos que se venden pues va desde electrodomésticos pequeños para un hogar hasta electrodomésticos grandes para negocios. Además se asume un comportamiento externo similar a este período para años posteriores que ayudan a incrementar el nivel de ventas.

Tabla5.22 Estado de Resultados y pérdidas manteniendo el proceso mejorado

	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Precio promedio de venta	890	979	1,077	1,185	1,303
Costo unitario de venta	356	392	431	474	521
Unidades vendidas	1,791	1,970	2,167	2,384	2,622
Ingresos por ventas	1,593,990	1,928,728	2,333,761	2,823,851	3,416,859
Costos de ventas	637,596	771,491	933,504	1,129,540	1,366,744
Utilidad bruta	956,394	1,157,237	1,400,256	1,694,310	2,050,115
<b>Costos y Gastos</b>					
Sueldos y salarios	186240	204,864	225,350	247,885	272,674
Comisiones	318798	385,746	466,752	564,770	683,372
Gastos administrativos	15200	15,960	16,758	17,596	18,476
Servicios básicos	130800	137,340	144,207	151,417	158,988
Otros gastos	10000	10,000	10,000	10,000	10,000
Inversión fija	19115				
Total Costos y Gastos	680,153	753,910	863,068	991,669	1,143,510
UTILIDAD NETA	276,241	403,327	537,189	702,642	906,606

## **5.7 Resultados**

Para mejorar el proceso de crédito de un almacén de electrodomésticos de la ciudad de Guayaquil se tomó como variable de interés el número de créditos aprobados, una variable indicadora de mejores resultados que optimiza tiempo y recurso al procesar más solicitudes al día.

Como primer escenario se propusieron dos cambios:

- Reducción en el tiempo de otras actividades que se realizan antes de revisar en bases de central de riesgo.
- Reducción del tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito

El segundo escenario consiste en realizar los siguientes cambios:

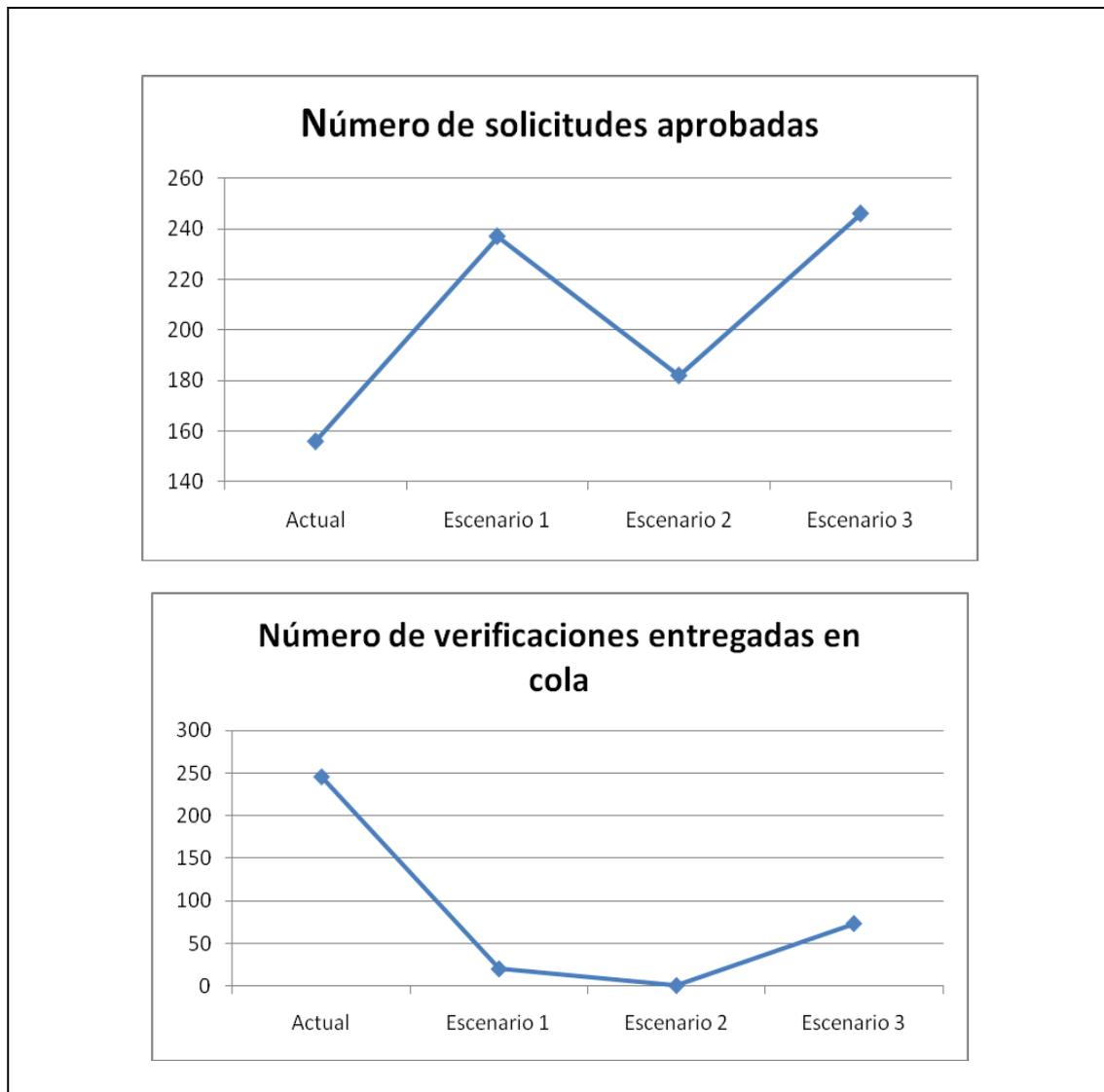
- Aumento de un verificador a medio tiempo.
- Reducción de tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.

El tercer escenario que se propuso incluye los cambios del primer y segundo escenario. Dado que los dos escenarios anteriores tienen un cambio en común, entonces los cambios consolidados para este escenario son:

- Reducción en el tiempo de otras actividades que se realizan antes de revisar en bases de central de riesgo.
- Reducción del tiempo en otras actividades antes de análisis del jefe de crédito.
- Aumento de un verificador a medio tiempo.

El aumento del verificador ayuda a que la cola de las verificaciones pendientes se reduzca, esta variable no fue considerada en este análisis pero ayuda a que el flujo de solicitudes continúe sin esperas.

Cuadro 5.1. Resultados para variables de interés analizadas



En el cuadro 5.1 se muestran las comparaciones de los resultados obtenidos para cada escenario, como se observa para la variable número de solicitudes aprobadas el escenario 3 muestra 246 solicitudes aprobadas siendo mayor a los otros 2 escenarios.

Para el número de verificaciones entregadas en cola se muestra que el mejor escenario es el 2 pues llega casi a la reducción total de unidades en cola. Si bien es cierto, el escenario 1 presenta el 52% de incremento de número de solicitudes aprobadas y presenta una reducción del 92% en verificaciones en cola, no se lo

considera óptimo pues no alcanza el máximo número de solicitudes aprobadas del total de escenarios y al reducir las verificaciones entregadas en cola presenta un incremento en la cola de verificaciones pendientes a procesar, causando retrasos en el sistema. Por lo tanto, se escogió como óptimo el escenario 3 pues la variable de mayor interés presenta el mejor incremento de solicitudes aprobadas en este escenario (58%), y es la que predomina al momento de la elección. Se debe destacar que en este escenario se observó solo una reducción del 30% de verificaciones entregadas en cola comparada con el escenario actual, pero se presenta la ventaja que el sistema funciona a un ritmo constante sin tener colas en las verificaciones pendientes a procesar lo cual le da un valor agregado a esta alternativa.



## **CAPÍTULO 6**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

- En el presente trabajo se encontraron varias soluciones para mejorar el nivel de servicio del cliente, a través de reducción de tiempos de actividades, eliminación y reasignación de actividades, consiguiendo el aumento de solicitudes aprobadas y con ello la reducción de tiempo en la aprobación de un crédito.
- Se realizó un modelo de simulación dinámico para representar el proceso de crédito de un almacén de electrodomésticos a través de la herramienta WITNESS PWE 2.0, el que se válido técnicamente y logró ser muy similar al proceso real. Este modelo fue utilizado como referente para realizar los escenarios propuestos con mejoras para el proceso de crédito.

- Uno de los objetivos de este trabajo fue reducir el tiempo de atención al cliente, lo que se logra consecuentemente al aumentar el número de aprobaciones de créditos. Pues en los tres escenarios propuestos se logra aumentar el número de solicitudes aprobadas en los que se utilizaron reducción de actividades, implementación de tecnología para disminuir la variabilidad de tiempos y contratación de un verificador de terreno. Al reducir el tiempo de atención se asegura un mejor nivel de servicio al cliente evitando que se pierdan ventas que en ciertos casos sucedía pues el cliente no esperaba tanto tiempo para que le aprobaran un crédito.
- Se logró incrementar significativamente el número de solicitudes aprobadas a través de cambios en actividades y eligiendo las variables de interés que son de vital importancia, pues se consideró al número de aprobaciones y el número de verificaciones entregadas en cola. Fue muy importante considerar esta última variable pues parte de los retrasos en el sistema se debía a las largas colas que se formaban para esta actividad y otras colas que aunque no fueron analizadas específicamente pero fueron observadas por el comportamiento que pudieron presentar con los cambios realizados al proceso actual.
- Se propusieron mejoras en asignación de actividades en el escenario 1 pues las tareas de otras actividades antes de central de riesgo fueron asignadas al jefe de crédito que presentaba disponibilidad para hacerlo. Además se elaboró un análisis de tareas que agregaban valor a las otras actividades antes de análisis que hace el jefe de crédito y se pudo reducir considerablemente este tiempo, que gracias a la implementación de tecnología puede mantenerse en los tiempos promedios expuestos y reducir la variabilidad de los datos que principalmente se debía a los retrasos que el sistema provocaba. La implementación en tecnología que se realizó fue la compra de un computador para el analista y otro para el jefe de crédito, también se consideró el arreglo del sistema que utilizan

para ingresar las solicitudes y evitar retrasos en la aprobación de un crédito nuevo.

- Se pudo establecer el escenario óptimo para satisfacer al cliente mediante la reducción de tiempos en varias actividades lo que provoca una atención más rápida y cómoda para el cliente. Se probaron tres escenarios de los que se eligió el escenario tres que presenta una combinación de los dos escenarios anteriores y logra aumentar en gran porcentaje el número de solicitudes aprobadas, además de reducir unidades en espera de verificaciones entregadas por el verificador y la reducción de unidades en cola de las verificaciones pendientes de revisar en terreno. Se comprobó que los cambios propuestos no representan una gran inversión para la empresa balanceándolo con el ingreso en ventas que obtendrían con el aumento de unidades vendidas debido a los cambios de mejora, pues mejorarían su utilidad en gran medida.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un estudio de movimientos a futuro tomando como referente esta tesis para así llegar a disminuir la variabilidad de datos y proponer tiempos estándares de atención al cliente.
- La implementación de tecnología en otras actividades que no se consideraron en este análisis sería importante para conocer en que cantidad se podría reducir los tiempos de esas actividades y cuanto aportarían al tiempo total de atención del cliente.
- De acuerdo a los cambios propuestos se recomienda colocar una persona responsable de aplicar y de hacer cumplir los cambios, pues se sospecha

de tiempo perdido en ciertas actividades que realiza el jefe de crédito que no aportan en nada al proceso de aprobaciones de crédito.

- Se podría considerar mejorar el proceso evaluando que actividades realmente son necesarias para aprobación de crédito pues se pudo notar que existen actividades que no agregan valor y son repetitivas, por ejemplo la revisión de ampliaciones de crédito que realiza el jefe de crédito cuando el analista ya lo aprobó. Este trabajo es innecesario pues deberían existir parámetros de calificación con los que autorizar o no una ampliación de crédito.
- Se recomienda un estudio para el proceso de ampliaciones de crédito pues son en muchas ocasiones las acusantes de retrasos en aprobaciones de créditos y en este estudio fueron tomados en consideración dentro del tiempo de otras actividades que precedían a una nueva actividad para la aprobación de un crédito nuevo.
- Podría probar un escenario en el que solo una persona se encargue de las ampliaciones de crédito y los otros dos analistas se encarguen de los créditos nuevos, pues actualmente solo son dos analistas que realizan estas dos tipos de aprobaciones.



## Bibliografía

- [1]. Barcia Kleber. Apuntes de clases de la materia Simulación matemática dictada en la Maestría de Control de Operaciones y logística. Febrero 2009.
  
- [2]. PROMODEL® Corporation, Manufacturing simulation software. Version 4.0. User's Guide, Utah, 1997.
  
- [3]. Departamento de Matemáticas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. Complemento 3: Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov Smirnov.
  
- [4]. Prueba de Kolmogórov-Smirnov, Wikipedia, la Enciclopedia libre. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba\\_de\\_Kolmog%C3%B3rov-Smirnov](http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Kolmog%C3%B3rov-Smirnov).
  
- [5]. Prueba de Anderson Darling. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/26816059/Prueba-de-Anderson-Darling>.
  
- [6]. Witness. © 2007 Lanner Group Ltd. Manufacturing Performance Edition. Tutorial Manual.
  
- [7]. Sociedad de Estadística e Investigación Operativa. BOLETIN Volumen 17, número 2. JUNIO 2001. ESTUDIO MEDIANTE SIMULACIÓN DE UNA

ENTIDAD BANCARIA. Francisco José Lluna Taverner y Ramon Martínez Coscollà. Universidad de Valencia.

- [8]. SIMULATION AND EXPERIMENTAL DESIGN APPLIED TO SIZING SUPERMARKET CASHIERS IN COLOMBIA. Jorge Alvarado y Luis M. Pulido. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, COLOMBIA (Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference).
- [9]. Mendenhall William. Estadística Matemática con aplicaciones. Segunda edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F. 1994.
- [10]. C. L. Ferris, F. E. Grubbs, and C. L. Weaver, "Operating Characteristics for the Common Statistical Tests of Significance", Annals of Mathematical Statistics, Junio 1946. Reproducido con permiso del Institute of Mathematical Statistics.

**ANEXO A**

**Tiempo entre arribos de solicitudes**

<b># solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	23.2
2	180.2
3	31.2
4	76.6
5	23.6
6	130.5
7	54.2
8	26.6
9	204.1
10	28.6
11	9.3
12	58.7
13	66.3
14	31.4
15	82.8
16	33.1
17	162.7
18	24.0
19	10.2
20	3.3
21	10.7
22	23.9
23	30.5
24	70.1
25	24.6
26	8.2
27	10.5
28	15.7
29	19.7
30	153.6

## **ANEXO B**

### **Tiempo de envío de mail**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	2
9	2
10	2
11	2
12	2
13	2
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1
22	3
23	3
24	3
25	3

## ANEXO C

### Tiempo de central de riesgo

# Solicitud	Tiempo
1	2
2	5
3	4
4	7
5	9
6	3
7	3
8	5
9	13
10	14
11	13
12	4
13	5
14	10
15	3
16	11
17	5
18	6
19	4
20	6
21	2
22	8
23	5
24	13
25	5

## ANEXO D

### Tiempo de realizar llamadas

# Solicitud	Tiempo
1	4
2	2
3	1
4	1
5	1
6	4
7	2
8	1
9	2
10	3
11	1
12	3
13	3
14	0
15	2
16	1
17	2
18	1
19	2
20	4
21	2
22	17
23	4
24	1
25	2

## ANEXO E

### Tiempo de ingreso al sistema

# Solicitud	Tiempo
1	7
2	1
3	1
4	2
5	5
6	7
7	4
8	2
9	5
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	5
19	3
20	2
21	4
22	3
23	2
24	3
25	5

## **ANEXO F**

### **Tiempo de verificación de terreno**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	269
2	466
3	466
4	467
5	468
6	450
7	452
8	312
9	704
10	467
11	468
12	704
13	302
14	548
15	564
16	540
17	361
18	319
19	305
20	303
21	620
22	549
23	544
24	544
25	546

## **ANEXO G**

### **Tiempo de análisis y aprobación de crédito**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	1
2	3
3	1
4	2
5	3
6	1
7	1
8	1
9	2
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	2
17	1
18	1
19	0
20	0
21	0
22	1
23	1
24	2
25	2

## **ANEXO H**

### **Tiempo antes de central de riesgo**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	2
2	4
3	9
4	13
5	20
6	31
7	34
8	29
9	35
10	61
11	78
12	95
13	106
14	145
15	159
16	164
17	10
18	4
19	11
20	18
21	50
22	48
23	100
24	109
25	137

## **ANEXO I**

### **Tiempo de otras actividades antes de llamadas**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	56
2	55
3	53
4	47
5	39
6	37
7	38
8	0
9	0
10	0
11	1
12	0
13	1
14	1
15	0
16	0
17	0
18	1
19	2
20	2
21	6
22	1
23	2
24	2
25	1

## ANEXO J

### Tiempo de otras actividades antes de ingresar al sistema

# Solicitud	Tiempo
1	19
2	33
3	33
4	33
5	34
6	34
7	39
8	121
9	431
10	14
11	9
12	50
13	2
14	1
15	2
16	2
17	75
18	318
19	316
20	0
21	14
22	1
23	0
24	0
25	0

## **ANEXO K**

### **Tiempo de otras actividades antes de realizar análisis**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	3
2	3
3	157
4	156
5	1
6	4
7	2
8	2
9	2
10	2
11	1
12	3
13	1
14	22
15	8
16	0
17	0
18	2
19	1
20	8
21	1
22	171
23	179
24	181
25	182

## **ANEXO L**

### **Tiempo de antes de central modificado para el escenario 1**

<b># Solicitud</b>	<b>Tiempo</b>
1	1
2	2
3	5
4	8
5	12
6	19
7	20
8	17
9	21
10	37
11	47
12	57
13	64
14	87
15	95
16	98
17	6
18	2
19	7
20	11
21	30
22	29
23	60
24	65
25	82

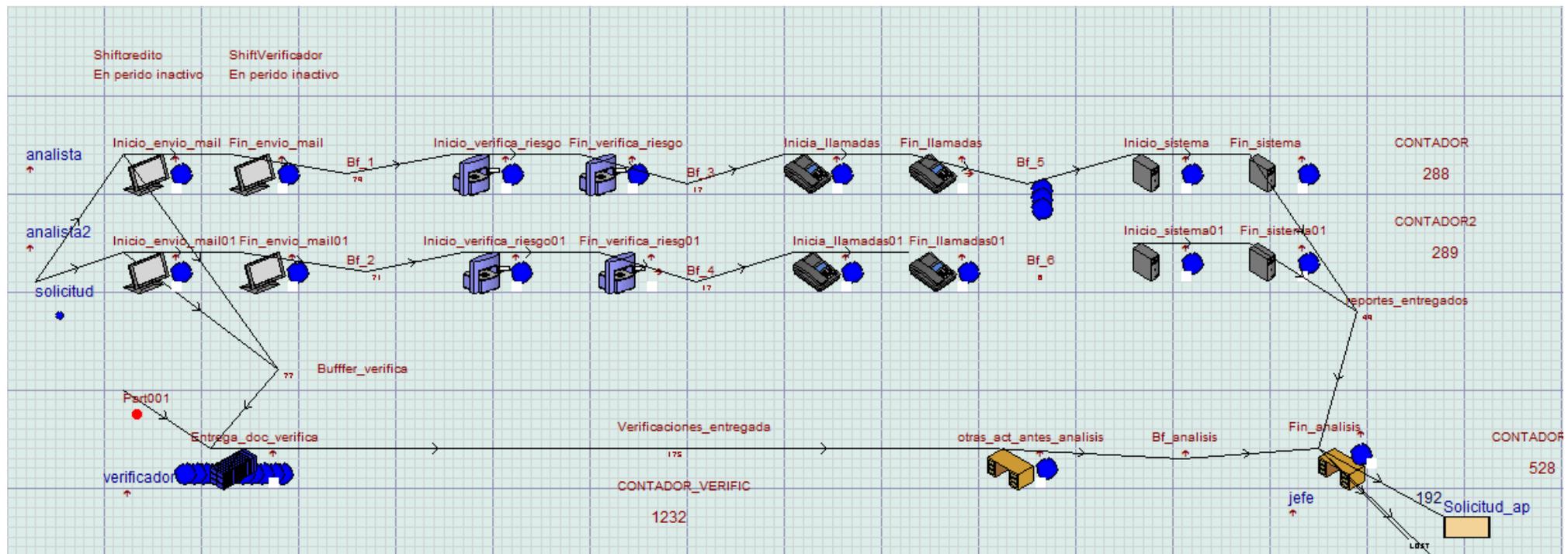
## ANEXO M

### Tiempo de análisis con el 40% del tiempo restado de antes de central

# Solicitud	Tiempo
1	2
2	5
3	5
4	7
5	11
6	13
7	15
8	13
9	16
10	25
11	32
12	39
13	43
14	59
15	65
16	68
17	5
18	3
19	4
20	7
21	20
22	20
23	41
24	46
25	57

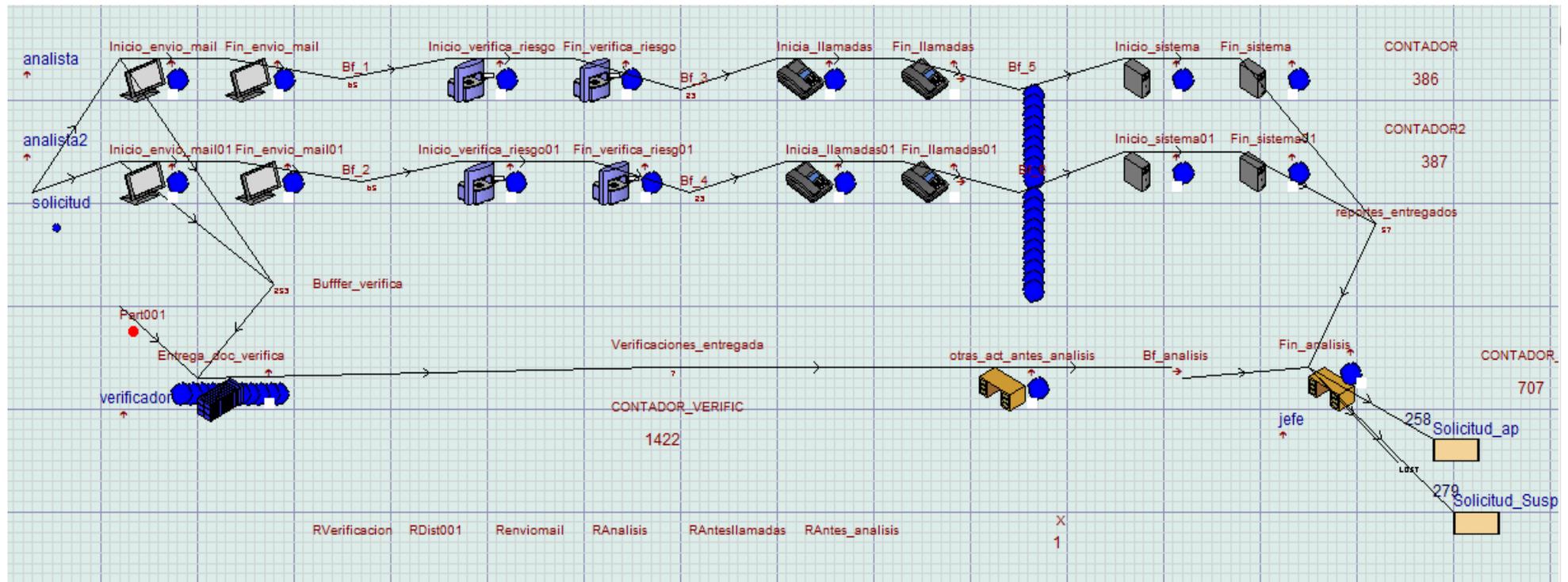
ANEXO N

Modelo de simulación del proceso de crédito realizado en Witness. Proceso actual



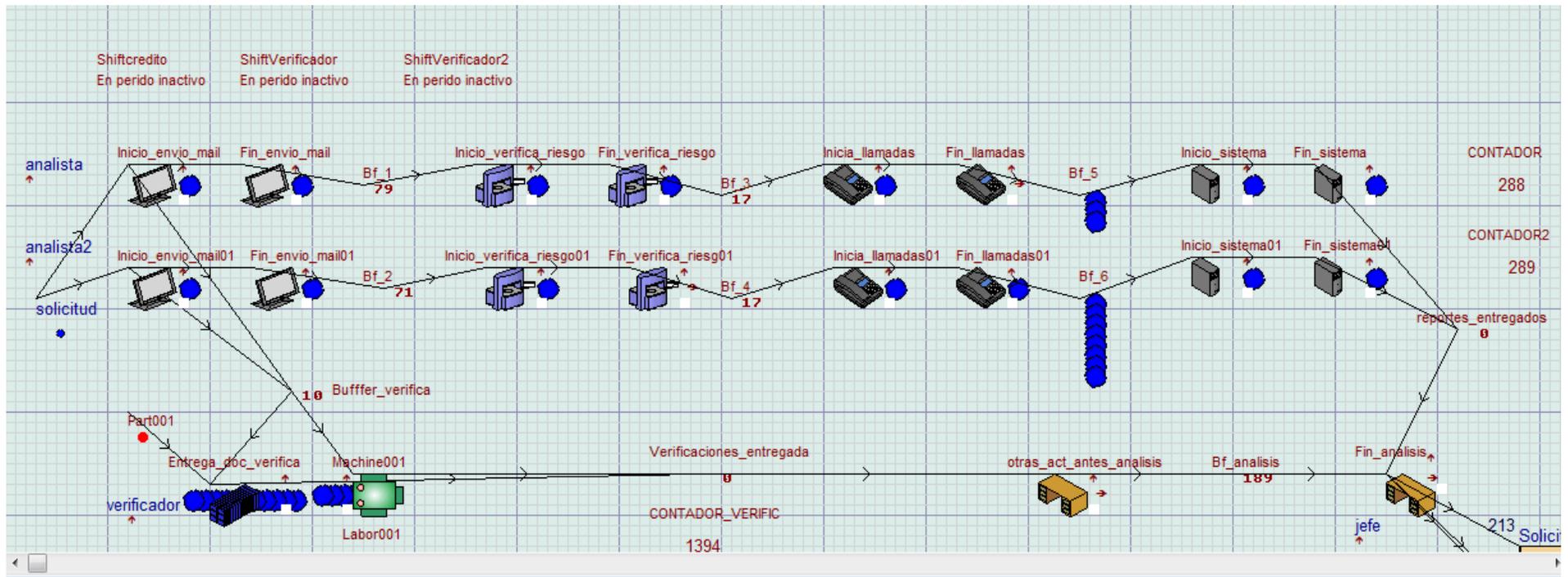
ANEXO P

Modelo de simulación del proceso de crédito realizado en Witness. Escenario 1



ANEXO Q

Modelo de simulación del proceso de crédito realizado en Witness. Escenario 2



ANEXO R

Modelo de simulación del proceso de crédito realizado en Witness. Escenario 3

