

## APLICANDO LA METODOLOGIA DMAIC-SIM A LA MEJORA DEL TIEMPO DE ATENCIÓN EN MIGRACION EN EL AEROPUERTO DE SAN PEDRO SULA

*Jared Roberto Ocampo\**

Profesor, Departamento Postgrado, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

*(Agosto, 2012)*

**Resumen.** El presente trabajo describe la metodología seguida para presentar una propuesta que mejore la operación del área de migración del Aeropuerto Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula. Esta metodología, denominada DMAIC-Sim incorpora el método de resolución de problemas DMAIC de Seis Sigma junto con la simulación de eventos discretos usando Flexsim de forma sincronizada para analizar diferentes escenarios en cualquier tipo de sistema que requiera mejora. El modelo creado toma en consideración las cantidades y proporciones de pasajeros que viajan hacia San Pedro Sula. Esta información es introducida al modelo y así se corren diferentes escenarios para obtener la mejor asignación de oficiales que minimice el tiempo de espera de los pasajeros en migración. Esta metodología permitió la optimización de la asignación de los oficiales de migración en esta área y la propuesta de otras soluciones para mejorar el funcionamiento de este sector del aeropuerto. Los resultados obtenidos son presentados en este trabajo.

**Abstract.** This paper describes the methodology used to present a proposal to improve the operation of the migration area at the Ramón Villeda Morales' Airport in San Pedro Sula. This methodology called DMAIC-Sim incorporates the DMAIC problem-solving method of Six Sigma with discrete event simulation with Flexsim in a synchronized way, to analyze different scenarios in any type of system that requires improvement. The model developed takes into consideration the amounts and proportions of passengers traveling to San Pedro Sula. This information is input into the model and different scenarios are run to obtain the best allocation of officers to minimize the waiting time of passengers in the migration area. This methodology allowed the optimization of the allocation of immigration officials in this area and proposed other solutions to improve the way this area of the airport functions. The results obtained are presented in this paper.

**Palabras claves:** *Seis Sigma, Simulación, DMAIC, Flexsim, Aeropuerto, Optimización*

[\\*JARED.OCAMPO@UNITEC.EDU](mailto:JARED.OCAMPO@UNITEC.EDU)

## INTRODUCCIÓN

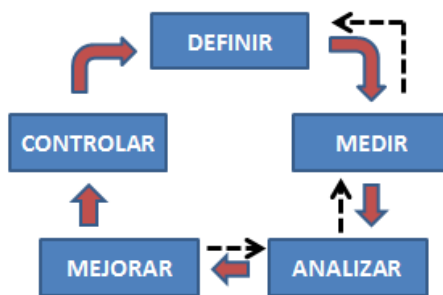
Tanto para un viajero extranjero que viene por primera vez a Honduras como para uno nacional que regresa al país luego de una larga estadía fuera, el aeropuerto es la primera imagen que este viajero tiene del país. Lastimosamente esta primera imagen en aeropuertos como el Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula, Honduras, ha significado una larga y tediosa espera antes de poder recoger su equipaje y ser luego autorizado para salir de la terminal del aeropuerto. Son muchas las quejas que la Cámara de Comercio e Industrias de Cortes recibe de parte de sus socios referente al largo tiempo que les toma a ellos y al resto de pasajeros ingresar finalmente al país (Reina, 2010). Es por eso que se solicitó un estudio de la situación actual del área de arribo de pasajeros del aeropuerto de San Pedro Sula y la propuesta de posibles soluciones para esta problemática.

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar la metodología DMAIC-Sim (Ocampo 2012) para buscar una solución que mejore los tiempos de espera de los pasajeros en el área de migración del aeropuerto de San Pedro Sula. Esta metodología toma las ventajas del método DMAIC de Seis Sigma y de la simulación de eventos discretos y las une para ofrecer una metodología versátil y poderosa. En este documento se describe como se siguieron las cinco fases de dicha metodología y se listan las herramientas estadísticas y no estadísticas usadas. Además se describe el modelo de simulación construido utilizando en software de simulación Flexsim y la manera en este fue validada, así como los diferentes escenarios evaluados.

## MARCO TEÓRICO

### EL METODO DMAIC PARA EL MEJORAMIENTO

Para poder realizar mejoras significativas de manera consistente dentro de una organización, es importante tener un modelo estandarizado de mejora a seguir. DMAIC es el proceso de mejora que utiliza la metodología Seis Sigma y es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty et al., 2004). DMAIC consistente de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) ilustrado en la figura 1. Cada una de estas fases utiliza diferentes herramientas que son usadas para dar respuesta a ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora.



**Figura 1 El proceso iterativo DMAIC de Seis Sigma**

Son varias las herramientas que cada una de estas fases utiliza con entregables claves que se usan para responder preguntas que dirigen al usuario a través del proceso de mejora. En la etapa de Definir se busca identificar proyectos de mejora dentro de la empresa y de acuerdo a Bersbach (2009), responder a preguntas tales como: ¿por qué es necesario hacer (resolver) esto ahora? ¿Cuál es el flujo de proceso general del sistema? ¿Qué se busca lograr en el proceso? ¿Qué beneficios cuantificables se esperan lograr del proyecto? ¿Cómo sabrá que ya terminó el proyecto (criterio de finalización)? ¿Qué se necesita para lograr completar el proyecto exitosamente? En la etapa de Medir se establecen que características determinan el comportamiento del proceso (Brue, 2002). Para esto es necesario identificar cuáles son los requisitos y/o características en el proceso o producto que el cliente percibe como clave (variables de desempeño), y que parámetros (variables de entrada) son los que afectan este desempeño. A partir de estas variables se define la manera en la que será medida la capacidad del proceso, por lo que se hace necesario establecer técnicas para recolectar información sobre el desempeño actual del sistema, es decir que tan bien se están cumpliendo las expectativas del cliente.

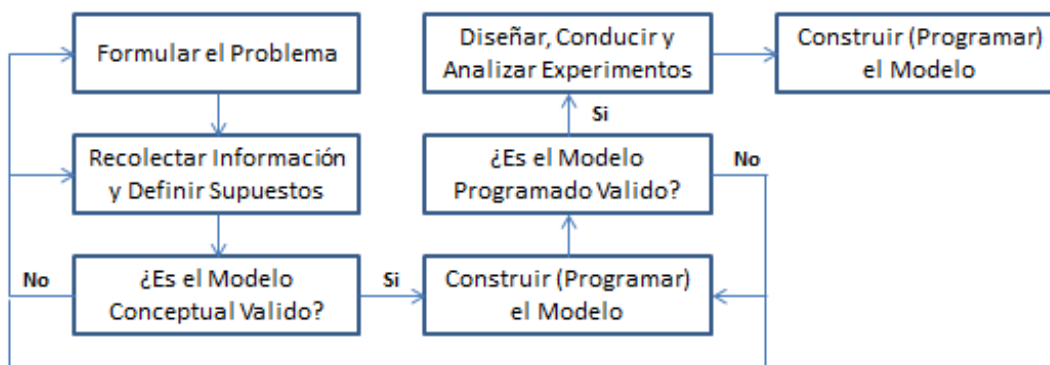
En la etapa de Analizar se examinan los datos obtenidos del estado actual del proceso y se determinan las causas de este estado y las oportunidades de mejora. En esta fase se determina si el problema es real o es solo un evento aleatorio que no puede ser solucionado usando DMAIC. En la etapa de Mejorar se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso. Para hacer esto se requiere de una lluvia de ideas que genere propuestas, las cuales deben ser probadas usando corridas piloto dentro del proceso. La habilidad de dichas propuestas para producir mejoras al proceso debe ser validada para asegurar que la mejora potencial es viable. De estas pruebas y experimentos se obtiene una propuesta de cambio en el proceso, es en esta etapa en donde se entregan soluciones al problema. Finalmente, una vez encontrada la manera de mejorar el desempeño del sistema, se necesita encontrar como asegurar que la solución

pueda sostenerse sobre un período largo de tiempo. Para esto, en la etapa de Controlar se diseña e implementa una estrategia de control que asegure que los procesos sigan corriendo de forma eficiente.

### ***Pasos para desarrollar un estudio de simulación***

En general se puede decir que la simulación sigue el método científico ya que el usuario inicia formulando una hipótesis de cómo espera que el sistema se comportará ante cierto escenario. A partir de esta hipótesis o escenario propuesto, el usuario desarrolla un modelo de simulación que le permita experimentar con dicha configuración de variables de entrada. Una vez que el modelo ha sido construido y validado, el usuario lo usa para correr diferentes experimentos de simulación con el fin de probar su hipótesis. Finalmente, mediante la observación del comportamiento de las variables de desempeño o salida, el usuario puede hacer conclusiones acerca de la validez de su hipótesis al confirmar si estas se comportaron como se esperaba, es decir si se pudo o no rechazar la hipótesis inicial. Si la hipótesis fue correcta, entonces se puede proceder a recomendar con confianza la adopción de la configuración simulada. Si la hipótesis se rechaza, el proceso antes descrito se repite y se prueban otros escenarios hasta que el usuario esté satisfecho con los resultados obtenidos.

Sturrock (2009) menciona que el desarrollo de un proyecto de simulación va más allá de simplemente construir un modelo en un software de simulación en particular. Para que el desarrollo de un estudio de simulación pueda realmente dirigir al usuario hacia la mejor solución posible al problema bajo estudio, es necesario seguir una serie de pasos específicos y tomar ciertas precauciones. Muchos autores han planteado diferentes pasos para el desarrollo de un estudio de simulación exitoso. Sin embargo, en general todos estos intentos parecen converger o pueden ser resumidos en los pasos presentados por el Dr. Averill Law (2009) y que son mostrados en la figura 2:

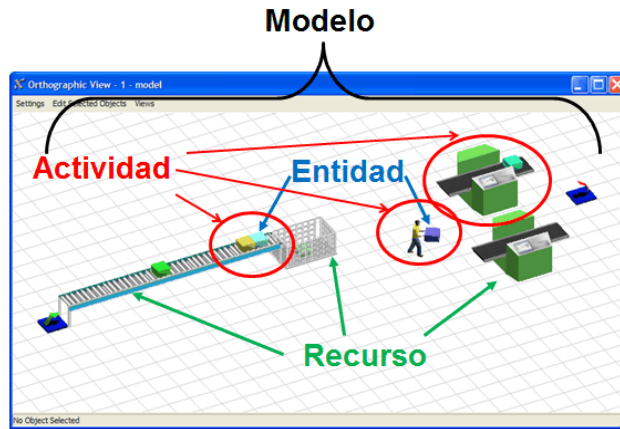


**Figura 2: Los pasos para conducir un estudio de simulación exitoso**

White e Ingalls (2009) explican que a pesar de los diferentes paradigmas de simulación de eventos discretos que existen, hay una estructura básica que es usada por la mayoría de los paquetes de simulación de hoy en día. Esta estructura está conformada por los siguientes elementos (ilustrados en la figura 3):

1. Entidades – El arribo de entidades dinámicas genera las entradas del sistema. Estas entidades o productos fluyen a través del sistema y son los elementos que propician los cambios de estado en las variables del sistema. Ejemplos de entidades son clientes, cajas o cualquier elemento que se mueve a través del sistema y al cual el sistema le agrega valor con cada proceso que se realiza.
2. Actividades – Son las tareas desarrolladas de manera directa o indirecta en soporte al procesamiento de las entidades. Son los procesos y lógica en la simulación. Las entidades interactúan con las actividades para crear eventos. Cada vez que una actividad inicia o finaliza un evento sucede y el sistema cambia de estado. Las actividades pueden ser de tres tipos: retraso, espera y lógica. Las actividades de retraso suceden cuando una entidad es detenida por un periodo específico de tiempo (para simular algún procesamiento). Las actividades de espera ocurren cuando el flujo de una entidad se suspende por un periodo no específico de tiempo debido a que están esperando por un recurso o por una condición especial del sistema (para simular una fila de espera). Las actividades de lógica simplemente permiten que las entidades afecten los estados del sistema al manipular variables de estado y lógica de decisión.
3. Recursos – Son los medios mediante los cuales se realizan las actividades y usualmente tienen capacidad limitada. Son objetos que pueden restringir el procesamiento al limitar el ritmo al cual las actividades pueden ser realizadas.

Ejemplos de estos recursos son: operarios, máquinas, espacio, información, etc.



**Figura 3: Elementos de un modelo de simulación**

Uno de los paquetes de software de simulación mas utilizados actualmente es Flexsim Simulation Software. William Nordgren (2002), CEO de Flexsim Software Products define a Flexsim como un “ambiente de software orientado a objetos usado para desarrollar, modelar, simular, visualizar y monitorear flujos de proceso dinámicos de actividades y sistemas.” Entre las características que tiene este ambiente es que trae integrado dentro de sí el compilador C++ y permite el uso de este lenguaje o el de una librería pre compilada llamada Flexscript para la programación de rutinas dentro del software. Toda la animación usada por el software es OpenGL lo que hace que esta pueda ser mostrada en 2D y 3D con una calidad de realidad virtual excepcional y en tiempo real. Además, todas las imágenes y gráficos usados son objetos estándar de la industria tales como .DXF, .3DS, .WRL y .SKP.

### ***Metodología DMAIC-Sim***

Son muchas las compañías que utilizan la metodología DMAIC para la mejora de sus procesos. De hecho, de acuerdo a Demirkan (2011), la institucionalización del proceso DMAIC dentro de una organización lleva a desarrollar un gran número de personal con cinturones verdes y negros enfocados en iniciativas de mejora de proceso. Al entrenar a este personal en el uso de simulación de eventos discretos sus capacidades de resolución de problemas mejorarán notablemente ya que podrán usar estas herramientas para modelar y analizar mejor las consecuencias de sus propuestas.

Tradicionalmente se ha considerado que la simulación de eventos discretos es solamente una de muchas otras herramientas usadas en un proyecto de mejora Seis Sigma, particularmente dentro de las fases de Analizar y Mejorar de DMAIC. Sin embargo, la habilidad que la simulación tiene de tomar en cuenta la variabilidad y las interdependencias, de probar muchas soluciones alternativas de forma rápida y fácil, así como de realizar pruebas sin interrumpir procesos existentes hace de la simulación una de las herramientas más importantes para el análisis y mejora de sistemas y por lo tanto un aliado perfecto para DMAIC. Por lo tanto, si el sistema a ser analizado es complejo y dinámico, es un candidato a usar una variación de DMAIC que use simulación. Adicionalmente, si la mejora requiere de un respaldo estadístico debido al largo tiempo y/o alto costo de implementación, entonces es también candidato a usar una variación de DMAIC con simulación para analizar y verificar la mejora.

Haciendo un análisis comparativo de las cinco fases que componen la metodología DMAIC y los siete pasos requeridos para realizar un estudio de simulación, se identificó la congruencia existente entre ambas herramientas (Tabla 1) y se planteó la metodología DMAIC-Sim la cual puede ser usada en el estudio y diseño de sistemas, evaluación de alternativas de mejora y respaldo de los resultados de procesos mejorados. De acuerdo a Ocampo (2012), la metodología denominada DMAIC-Sim consta de los siguientes cinco pasos:

1. Identificar y definir el problema que debe resolverse. El entregable en este paso es el chárter del proyecto definiendo el objetivo, alcances, criterios de éxito y entregables. Este chárter es creado usando como herramientas la voz del cliente (VOC) y lluvia de ideas en conjunto con un diagrama de afinidad para identificar y definir el problema a solucionar siguiendo la metodología DMAIC-Sim. El chárter debe definir bien el objetivo, especificar el alcance y los criterios de éxito del proyecto, así como los entregables finales.

**Tabla 1: Las fases DMAIC y su relación con un estudio de simulación**

DMAIC	Simulación
1. Definir el problema	1. Formular el problema
2. Medir el desempeño actual	2. Recolectar información y definir supuestos
	3. Validar el modelo conceptual
3. Analizar el sistema y determinar causas	4. Construir (programar) el modelo
	5. Validar el modelo programado
4. Mejorar el desempeño del sistema	6. Diseñar, conducir y analizar experimentos
5. Controlar y mantener el desempeño	7. Documentar y presentar los resultados

2. Construir un modelo del sistema para medir su desempeño. El entregable en este paso es el modelo conceptual en términos de un diagrama de flujo de objetos (OFD) del sistema y los correspondientes modelos estadísticos de los datos recolectados. Para su desarrollo es necesario obtener un mapa SIPOC y diagrama de flujo del sistema, así como recolectar y procesar los datos asociados (estructurales, operacionales y numéricos). En este paso se obtienen distribuciones estadísticas teóricas (pruebas de bondad de ajuste) de los datos numéricos usando el software Expert Fit.
3. Analizar el sistema mediante simulación para identificar causas que afectan su desempeño. Los entregables en este paso serán el modelo computarizado validado del sistema (desarrollado en el software Flexsim) y el listado de variables a estudiar. Para esto se debe construir el modelo al convertir el OFD en un layout de objetos de Flexsim, conectar sus diferentes puertos y editar su comportamiento y aspecto. Una vez construido el modelo este debe de validarse usando los resultados de las corridas del modelo y mediante una prueba de hipótesis (comparando sus resultados contra los del sistema real).
4. Explorar escenarios para mejorar el desempeño del sistema. El entregable de este paso es un informe con los resultados de los escenarios construidos y simulados. A partir de una lluvia de idea de posibles soluciones, se proponen ideas y las más prometedoras se implementan en el modelo validado corriendo varias réplicas del mismo. Los resultados pueden visualizarse mejor usando Flexsim Chart. Usando pruebas de hipótesis se busca ver cual de los escenarios cumple de mejor manera la condición de salida (criterio de éxito) del proyecto.



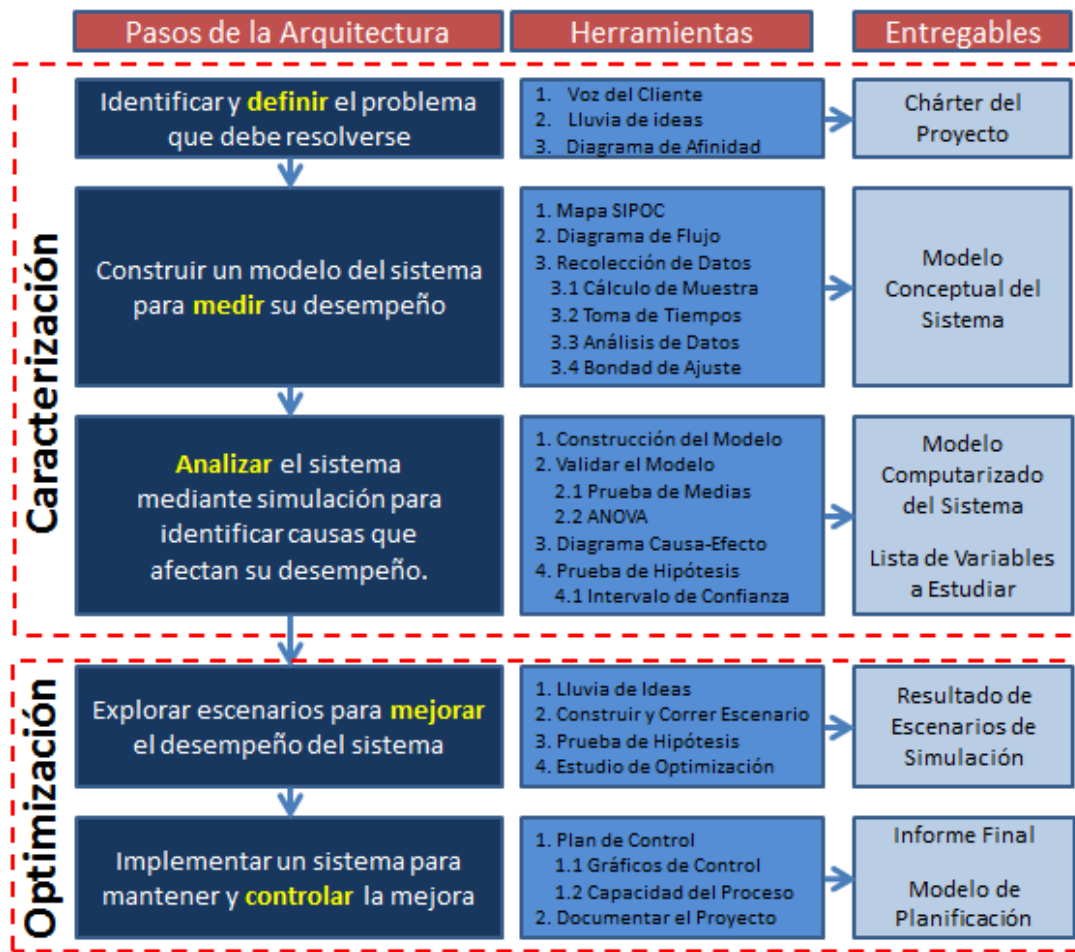


Figura 4. Arquitectura integrada DMAIC-Sim

5. Implementar un sistema para mantener y controlar la mejora. Los entregables en este paso son el informe final del estudio con recomendaciones sobre cual escenario representa la mejor solución al problema y como este debe de implementarse y un modelo de simulación del sistema que pueda convertirse en una herramienta de planificación al poder ser alimentado con datos reales. El informe debe contener una propuesta de seguimiento para poder tener bajo control el sistema.

En esta arquitectura los pasos 1 al 3 constituyen la caracterización del sistema, es decir, identificar el problema a solucionar y definir el sistema a partir del cual se propondrán las mejoras. En los pasos 4 y 5 se realiza la mejora y/u optimización del sistema, es decir la experimentación en el modelo tratando de encontrar la solución óptima al problema propuesto. En el sitio <https://sites.google.com/site/>

[dmaicsim/](#) se encuentran algunas plantillas dinámicas diseñadas para facilitar el uso y seguimiento de esta metodología.

### ***Implementación de la Metodología***

El proceso de mejora fue desarrollado siguiendo los cinco pasos de la metodología DMAIC-Sim:

#### ***Identificar y definir el problema que debe resolverse***

En vista que la solicitud de parte de la Cámara de Comercio e Industria de Cortes fue directa y específica no fue necesario hacer un análisis exhaustivo de la voz del cliente. Por lo tanto, el carácter fue el siguiente:

**Tabla 2. Perspectiva general del proyecto**

<b>Nombre del Proyecto</b>	Reducción del tiempo de espera del área de migración del aeropuerto internacional de San Pedro Sula.
<b>Objetivo del Proyecto</b>	Proponer una solución que reduzca significativamente el tiempo que esperan en migración los pasajeros que arriban aéreamente al aeropuerto de San Pedro Sula.
<b>Patrocinador del Proyecto</b>	Cámara de Comercio en Industrias de Cortes
<b>Fecha de Inicio</b>	10 Marzo 2011
<b>Fecha de Finalización</b>	13 Mayo 2011
<b>Esfuerzo estimado</b>	120 horas

#### ***Alcance del Proyecto***

El proceso de mejora a desarrollar y el modelo de simulación a construir no considerarán todo el aeropuerto y sus operaciones, sino que se limitará al área de arribo de pasajeros que llegan al aeropuerto en aviones comerciales. El sistema que se analizará y modelará tomará entidades que arriban a partir del pasillo en el primer piso, al pie de las escaleras, y culminará con los pasajeros saliendo del

área de migración a través de las puertas de apertura automática. Los escenarios que serán estudiados se limitarán a explorar cómo se comporta el sistema ante cambios en la política de atención en las áreas de migración y búsqueda e inspección de equipaje dentro del área de arribo de pasajeros del aeropuerto.

**Tabla 3. Involucrados Claves del Proyecto**

<b>Gerente del Aeropuerto de San Pedro Sula</b>	Ing. Allan Padilla	Permisos de acceso al aeropuerto y sus diferentes terminales
<b>Jefe de Migración del Aeropuerto de SPS</b>	Sr. José Hipólito Zelaya	Información histórica y de lógica de proceso, acceso al área de migración.
<b>Director Ejecutivo de la Cámara de Comercio de Industrias de Cortes</b>	Lic. Raúl Reina	Patrocinador del proyecto, autorizaciones y contactos.
<b>Oficial Encargado de Laboratorios en UNTEC</b>	Ing. Allan Villatoro	Acceso a laboratorios con software de simulación y análisis estadístico.
<b>Administrador del Proyecto</b>	Ing. Jared R. Ocampo	Ingeniero encargado de coordinar y desarrollar el proyecto de mejora.

### ***Entregables del Proyecto***

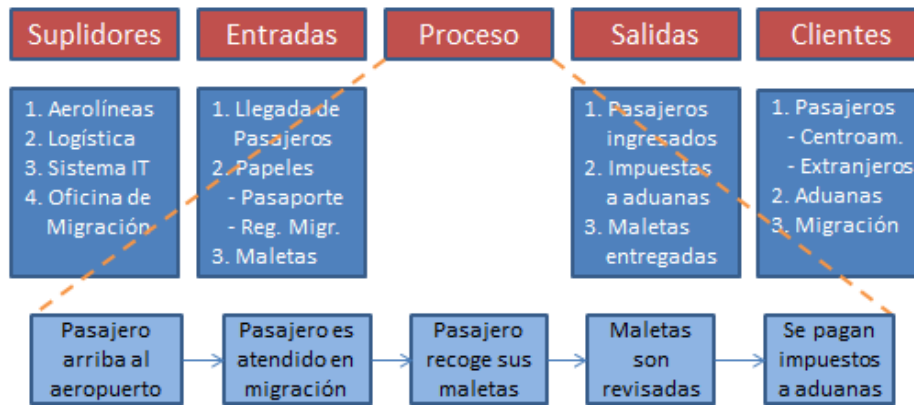
1. Modelo de simulación del sistema actual y del sistema con mejoras creado usando el software Flexsim.
2. Informe final conteniendo la validación del modelo y propuestas de mejora que disminuya el tiempo promedio de espera de los pasajeros en migración en un 20% del tiempo actual.

### ***Construir un modelo del sistema para medir su desempeño***

Para poder construir un modelo de simulación del sistema es necesario iniciar construyendo un modelo conceptual del mismo. De acuerdo a Harrell et. al (2000), este modelo conceptual es el resultado de la recolección de datos y la formulación en la mente del modelador (suplementado con diagramas y notas) de cómo un sistema opera.

**Mapa SIPOC del Sistema**

Para construir el modelo conceptual se inició desarrollando un mapa SIPOC para entender a grandes rasgos como funcionaba el sistema y determinar las fuentes y los procesos.



**Figura 5. Mapa SIPOC del sistema de migración del aeropuerto**

**Diagrama de Flujo del Sistema**

El aeropuerto internacional Ramón Villeda Morales es una de las terminales aéreas más importantes de Honduras, ubicado en la ciudad de San Pedro Sula, la cual es conocida como la capital industrial del país. El aeropuerto cuenta con dos terminales, ambas equipadas con oficinas de migración, puertas y escaleras eléctricas, aire acondicionado, etc. y es administrada por la empresa Interairports propiedad del Grupo Terra. De acuerdo a José Hipólito Zelaya, jefe de Migración del aeropuerto, “Más de 30,000, entre hondureños residentes en el extranjero y turistas, han ingresado durante lo que va de este mes por el aeropuerto Ramón Villeda Morales”. De hecho, de acuerdo a las estadísticas que maneja Migración, en promedio se han estado recibiendo durante el mes de Diciembre entre 1,800 y 2,000 personas diarias (La Prensa, 21/12/2010). Sin embargo, el promedio diario de personas durante el resto del año es de aproximadamente 1,000 personas.

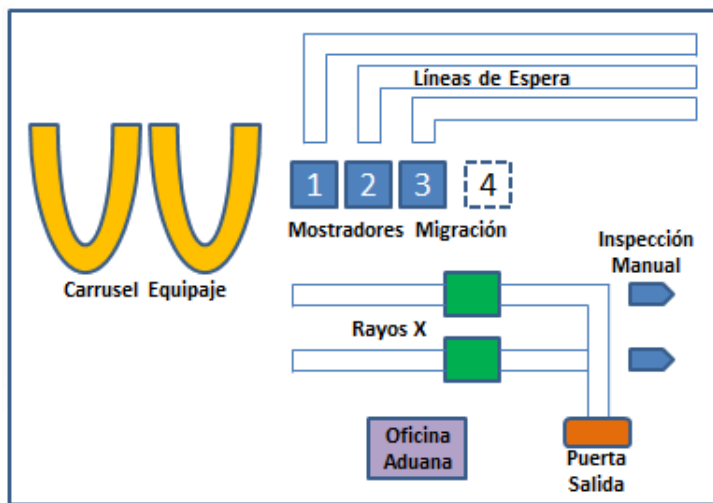
El flujo que todos estos pasajeros deben de seguir para ser autorizados por la oficina de Migración para ingresar legalmente al país puede ser dividido en ocho pasos, los cuales pueden ser seguidos total o parcialmente por los pasajeros dependiendo de sus circunstancias:

1. Traslado a Migración: Consiste en caminar desde la puerta del avión, a través de la manga telescópica y del pasillo, hasta la parte inferior de las escaleras

que conectan el área de recepción de pasajeros con el área de espera de Migración. Este paso no será considerado en el modelo.

2. Fila para Migración: El pasajero espera en fila para ser atendido en uno de los mostradores de Migración. Este paso inicia al ingresar el pasajero al pasillo que conecta las gradas con los mostradores. El pasillo de conexión tiene marcado en el piso tres líneas de espera que guían a los pasajeros a tres mostradores que permiten acomodar a 6 oficiales de migración (2 por mostrador). Existe un mostrador adicional que normalmente no está en uso pero que está disponible para casos de emergencia. A pesar que los mostradores están señalizados sugiriendo que cada uno de ellos atiende diferentes tipos de pasajeros (residentes hondureños, extranjeros y casos especiales) en realidad esta separación no se respeta.
3. Revisión en Migración: El pasajero o grupo de pasajeros (si viajan en familia) es atendido por un oficial de Migración. En vista que hay diferentes tipos de pasajeros (residentes hondureños, residentes de Centroamérica, extranjeros y casos especiales), así como diferentes niveles de experiencia en los oficiales de Migración, el tiempo de atención varía de acuerdo a estas variables.
4. Búsqueda de Equipaje: Una vez que Migración ha dado el visto bueno para que el pasajero ingrese al país, si éste trae equipaje consigo entonces procede a buscar su equipaje, de otra manera sale directamente al área de inspección para que su equipaje de mano sea inspeccionado. En el diagrama de la figura 6 se puede observar que el aeropuerto cuenta con dos carruseles en donde el personal de la aerolínea coloca el equipaje de los pasajeros. A los primeros pasajeros que salen les toma más tiempo recoger sus maletas en vista que los toca esperar a que estas sean colocadas en el carrusel, esto luego se normaliza una vez que el flujo de equipaje se estabiliza.
5. Fila para Inspección de Equipaje: Una vez que el pasajero tiene consigo su equipaje, éste se forma en fila a esperar que el mismo sea inspeccionado usando rayos X. Esta inspección se hace para asegurarse que el pasajero no trae consigo objetos que debieron ser declarados ante el personal de aduana. Para hacer esto, el pasajero se coloca frente a una de las dos máquinas de rayos X disponibles.
6. Inspección de Equipaje: Todos los pasajeros deben de pasar sus pertenencias a través de una de las dos máquinas de rayos X para que el personal de aduana pueda observar lo que el pasajero trae. Si el contenido del equipaje está de acuerdo a las normativas establecidas el pasajero puede pasar a la puerta de salida y abandonar la terminal.

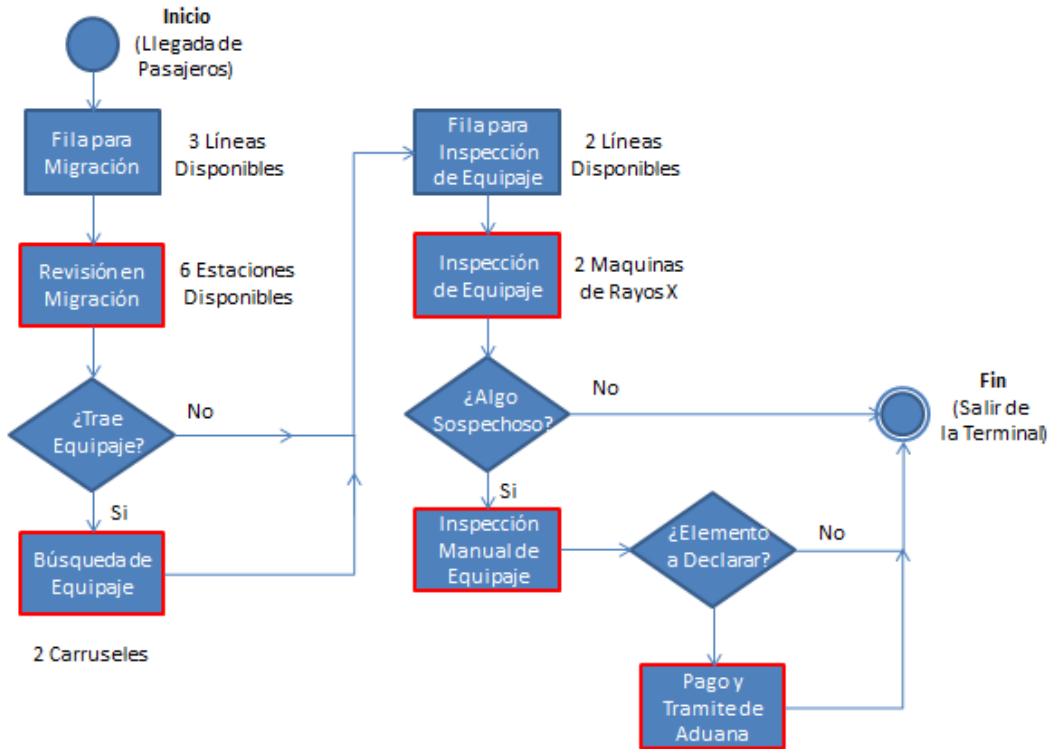
7. Inspección Manual de Equipaje: Si se ven irregularidades en los contenidos del equipaje de un pasajero, éste pasa a una inspección manual en donde un agente abre las maletas y hace una revisión minuciosa de sus contenidos. Si todos los contenidos están de acuerdo a las normativas establecidas el pasajero puede abandonar la terminal. Sí se descubren elementos dentro del equipaje que debieron ser declarados en aduana el pasajero pasa a la oficina de aduana para hacerlo y pagar la cuota correspondiente.
8. Pago y Trámites de Aduana: El pasajero pasa a una oficina para realizar el pago correspondiente a la introducción de mercancía al país. Una vez que el pasajero ha hecho el correspondiente pago este puede salir de la terminal con su equipaje y mercancía.



**Figura 6. Layout del área total de arribo de pasajeros del aeropuerto**

Toda la información estructural del sistema (entidades y recursos) puede ser obtenida de la lista de pasos que siguen los pasajeros para ser procesados en el sistema y de su correspondiente diagrama de flujo. Las entidades son los pasajeros que arriban, los cuales pueden ser de cuatro tipos: hondureños residentes, centroamericanos que están dentro del tratado de libre circulación (CA4), extranjeros y pasajeros con casos especiales (personas de la tercera edad, embarazadas o con discapacidad). Estos pasajeros pueden venir solos, en parejas o en grupos (3 o más pasajeros). Adicionalmente las maletas que los pasajeros recogen pueden ser consideradas entidades que luego son unidas a los pasajeros en el paso 4 (búsqueda de equipaje). En el caso de los recursos se pueden identificar cinco lugares en los que las entidades se detienen para ser procesadas: los mostradores de migración, el carrusel de equipaje, las máquinas de rayos x,

las estaciones de revisión manual y la oficina de aduana. Previo a estos recursos siempre existe una línea de espera para manejar la diferencia entre la tasa de servicio de los recursos y la tasa de llegada de las entidades. La figura 7 muestra un diagrama de flujo de todo el proceso.



**Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de arribo de pasajeros**

***Tasa de llegada de pasajeros y maletas***

La información del arribo de pasajeros fue obtenida de registros históricos del aeropuerto recopilados y la del tiempo de descarga de las maletas de toma empírica de tiempos. Para hacer esto se obtuvo el itinerario semanal de llegadas de aviones al aeropuerto junto con el promedio de pasajeros que traía cada avión tomando en consideración una semana de información. Del análisis se observó tres sets de horas pico y se decidió usar el horario entre las 11:41 AM y la 1:00 PM para establecer las llegadas de pasajeros y los tiempos de operación del modelo. En lugar de usar una política de inter-arribo se decidió simular directamente los horarios de llegada junto con cantidades de pasajeros mediante una secuencia de arribos en Flexsim.

**Tabla 4. Resumen del itinerario semanal de llegadas de aerolíneas**

Aerolínea	Vuelo	Hora	Pasajeros	Aerolínea	Vuelo	Hora	Pasajeros
SPIRIT	829	01:16 a.m.	34	DELTA	575	12:51 p.m.	66
TACA	575	06:25 a.m.	65	AEROMEXICO	674	12:55 p.m.	47
TACA	724	06:35 a.m.	72	AMERICAN	941	01:00 p.m.	75
TACA	702	07:00 a.m.	57	CM AIR	2301	02:40 p.m.	53
CENTRAL	732	07:40 a.m.	33	TACA	222	03:35 p.m.	57
CM AIR	3005	07:45 a.m.	35	MAYA	1007	03:50 p.m.	47
TACA	720	07:50 a.m.	110	TACA	371	04:30 p.m.	64
MAYA	1017	08:10 a.m.	25	CENTRAL	739	04:40 p.m.	42
SOSA	60	08:30 a.m.	13	CM AIR	3007	05:15 p.m.	28
CM AIR	3011	08:50 a.m.	23	CENTRAL	734	05:55 p.m.	35
TACA	370	09:48 a.m.	46	TACA	723	06:25 p.m.	64
CENTRAL	740	09:55 a.m.	38	TACA	574	08:35 p.m.	57
CONTINENTAL	762	11:41 a.m.	137	AMERICAN	949	08:40 p.m.	176
TACA	729	12:15 p.m.	56	COPA	795	09:08 p.m.	54
DELTA	575	12:51 p.m.	76	TACA	703	09:20 p.m.	46

Luego, fue necesario conocer la proporción de los tipos de pasajeros existentes para poder modelar los arribos de pasajeros de acuerdo a estos porcentajes. Usando registros históricos del movimiento migratorio del aeropuerto se logró determinar que el 50% de los pasajeros que arriban son hondureños, el 5% son centroamericanos con tratado de libre circulación (CA4), 43% son pasajeros internacionales y un 2% son pasajeros que requieren de alguna acomodación especial (embarazadas, discapacitados, etc.)

En el caso del equipaje, se determinó que el 12% de los pasajeros que llegan al aeropuerto solo traen maletas de mano y por lo tanto no necesitan ir al carrusel a buscar equipaje. Sin embargo, el restante 88% debe de buscar sus maletas antes de poder salir del aeropuerto. En vista que la mayoría del tiempo el equipaje llega en el mismo avión que los pasajeros, la búsqueda de equipaje puede modelarse mediante dos tiempos: posicionamiento y búsqueda. El tiempo promedio que toma descargar las maletas del avión y colocarlas en el carrusel de la terminal se le llamó posicionamiento. El tiempo promedio que le toma a un pasajero encontrar su equipaje se le denominó búsqueda. Son dos las compañías que hacen el trabajo de posicionamiento (dependiendo de la aerolínea).



**Tabla 5. Tiempo de posicionamiento y búsqueda de equipaje**

Proceso	Distribución Estadística Teórica		
Tiempo de traslado de maletas <i>Agencia Warren</i>	Normal	Media	709.82
		Desv. Est.	422.89
Tiempo de traslado de maletas <i>Tecnol. Unidas</i>	Normal	Media	943.75
		Desv. Est.	507.37
Tiempo de localización de equipaje dentro de la terminal (area carrusel)	Pearson VI	Location	0.000
		Scale	844.33
		Shape #1	1.15
		Shape #2	4.06

***Tiempos de procesamiento en las estaciones***

En vista que el aeropuerto no cuenta con datos históricos de los cuales se puede hacer uso, la información de los tiempos de ciclo tuvo que ser obtenida por medio de una toma directa de tiempos de proceso. Los procesos de los que se obtuvo información fueron:

1. Atención en los mostradores de migración (de acuerdo al tipo de pasajeros siendo atendido y cantidad de personas siendo atendidas a la misma vez)
2. Carga de equipaje en carrusel
3. Identificación y recolección de equipaje en carrusel
4. Inspección en la máquina de rayos x
5. Inspección manual de equipaje
6. Pago y trámites en la oficina de aduana

Para poder calcular dicho tiempo de proceso se realizaron tomas de tiempos usando principios de ingeniería de métodos. Para esto se debió determinar la cantidad de pasajeros a considerar (tamaño de la muestra) para cada actividad. El tipo de muestreo que se usó fue aleatorio simple y se usó un nivel de confianza del 95% con un 10% máximo de error de muestreo. En vista que la dispersión de la variable que se quería medir no era conocida y era muy difícil realizar una muestra piloto, se utilizó la siguiente ecuación para calcular el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Usando los parámetros  $p = q = 50\%$ , y considerando el peor escenario para establecer la población (la llegada simultanea de varios aviones produciendo una población durante hora pico de aproximadamente 460 pasajeros):

$$\frac{460 \times 1.96^2 \times 0.5(0.5)}{459 \times 0.10^2 + 1.96^2 \times 0.5(0.5)} = 79 \text{ personas}$$

Por lo tanto, para encontrar que distribución estadística mejor representa los tiempos de proceso en migración, carrusel, inspección por rayos x, inspección manual y pago de aduana se le tomo el tiempo a 80 pasajeros. Con esta información y usando el software de bondad de ajuste ExpertFit se obtuvieron los siguientes modelos:

**Revisión en migración:**

**Tabla 6. Tiempo de atención en migración a pasajeros individuales por tipo**

Tipo de Pasajero	Distribución Estadística Teórica		
Hondureños y Centroamericanos (CA4)	Log-Logistic (E)	Location	57.48
		Scale	39.12
		Shape	2.11
Internacionales	Johnson SB	Lower E.P.	74.99
		Upper E.P.	385.17
		Shape #1	0.97
		Shape #2	0.54
Casos Especiales	Beta	Lower E.P.	50.96
		Upper E.P.	206.71
		Shape #1	1.88
		Shape #2	1.85
Indiferente de Nacionalidad (situación actual)	Inverse Gaussian	Lower E.P.	12.35
		Upper E.P.	109.36
		Shape #1	114.08

En el caso de los pasajeros que son atendidos como familia (en grupo), no se consideraron grupos de más de 5 pasajeros, ya que en su gran mayoría solo se presentan en casos especiales de grupos de Iglesias que vienen a dar servicio al país. Estos casos los maneja migración de forma especial y no serán considerados en este modelo. Se consideraron entonces grupos de menos de 5 pasajeros y de este análisis se determinó que solo el 6% de los pasajeros atendidos en migración son atendidos en grupo (como familia). Se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) para determinar si existía una diferencia significativa entre el tiempo de servicio de grupos de 3, 4 o 5 pasajeros o si se

podía asumir que tomaba el mismo tiempo atender a cualquiera de estos grupos. Los resultados mostraron que la hipótesis nula debía rechazarse, por lo tanto, el tiempo promedio entre grupos es distinto.

**Tabla 7. ANOVA del tiempo de atención de grupos en migración**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2931391.725	2	1465695.863	<b>102.0302702</b>	4.139E-14	<b>3.315829501</b>
Dentro de los grupos	430959.124	30	14365.30413			
<b>Total</b>	<b>3362350.849</b>	<b>32</b>				

Debido a que no se puede asumir que el tiempo de atención es igual para los grupos, se buscó validar si se podía usar los tiempos de atención calculados individualmente para simular el tiempo de atención de dichos grupos (Tabla 7). Para hacer esto se dividió el tiempo que tomaba atender al grupo entre el número de personas que lo componían para calcular de esta manera el tiempo de atención individual. Con estos valores se realizó una prueba de hipótesis para la diferencia entre dos medias, en donde la hipótesis nula era que la media del tiempo de atención de individuos calculado previamente era la misma que la media de atención en grupos, si este tiempo se separa en tiempo de atención individual. Usando un 95% de confiabilidad se encontró que las medias son estadísticamente iguales (Tabla 8) y por lo tanto no se simulará la atención a grupos, sino que se usarán tiempos de atención individual.

**Tabla 8. Prueba de hipótesis de medias para la atención de grupos**

Pooled Variance	0.28645
Difference in Sample Means	0.27
<b>t Test Statistic</b>	<b>1.12804</b>
<b>Two-Tail Test</b>	
Lower Critical Value	-2.10092
Upper Critical Value	2.100922
p-Value	0.274115
<b>Do not reject the null hypothesis</b>	

**Inspección de equipaje y Trámite de aduana:**

Al igual que con los otros tiempos de proceso, se registraron los tiempos de inspección en ambas estaciones de rayos x así como en las cuatro mesas de inspección manual y se realizó el análisis estadístico correspondiente. Los datos fueron ajustados usando ExpertFit y de este análisis se concluyó que las distribuciones estadísticas teóricas que mejor se ajustan a los datos recolectados son la distribución Pearson 6 y la Inverse Gaussian (E) respectivamente (ver Tabla 9). También se observó que la proporción aproximada de maletas que deben ser inspeccionadas manualmente es del 18%.

En el caso del trámite de aduanas, aquellos que requieren declarar bienes ante aduana pasan a la oficina de aduana para pagar el impuesto correspondiente. De acuerdo a datos históricos del aeropuerto y la observación, se calculó que solo un 5% de todos los pasajeros que arriban al aeropuerto pasan por la oficina de aduana. De este porcentaje, 3.5% declara directamente que necesita ir a aduanas y 1.5% es enviado al descubrirse en la inspección que traen objetos que debieron ser declarados y no lo fueron. El tiempo que un pasajero típico pasa en la oficina de aduana pagando impuestos correspondientes puede observarse en la tabla 10.

**Tabla 9. Tiempo de inspección de equipaje en aeropuerto**

Proceso	Distribución Estadística Teórica		
Inspeccion en Maquina de Rayos X	Pearson VI	Location	0.00
		Scale	161.18
		Shape # 1	1.40
		Shape # 2	6.70
Inspeccion Manual de Equipaje	Inverse Gaussian	Location	8.47
		Scale	138.96
		Shape	114.32

**Tabla 10. Tiempo pagando impuestos en aduana**

Proceso	Distribución Estadística Teórica		
Declaracion y pago de impuestos en Aduana	Beta	Lower E.P.	2.53568
		Upper E.P.	10.4826
		Shape #1	0.29085
		Shape #2	0.37860

### ***Tiempo de movimiento de pasajeros***

En Flexsim el tiempo de movimiento de pasajeros se calcula internamente en el software a partir de la velocidad a la que se trasladan las entidades. Para calcular esto se tomó una muestra de pasajeros sin maletas y con maletas y usando una distancia conocida se calculó el tiempo que se tardaban en trasladarse en dicho tramo (sin maletas = 0.92 mts/seg, con maletas = 0.89 mts/seg). Se hizo una prueba t para la diferencia entre las dos medias y no se pudo rechazar la hipótesis nula que la velocidad promedio es la misma y por eso se utilizó la misma velocidad para el movimiento de las entidades con o sin maletas (0.92 mts/seg).

### **ANALIZAR EL SISTEMA MEDIANTE SIMULACIÓN PARA IDENTIFICAR CAUSAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO**

Un modelo de simulación es una representación computarizada de cómo los elementos de un sistema particular se comportan e interactúan entre sí. Usando el paradigma de programación de Flexsim se construyó un modelo de simulación de sistema a partir del modelo conceptual creado. Para hacer esto se simularon los arribos de pasajeros y de maletas usando Sources, las filas de espera usando Queues y en algunas ocasiones Conveyors, se usaron Separators, Combiners, Processors y Multiprocessors para las operaciones de procesamiento de pasajeros y se usaron flownodes para simular el flujo de los pasajeros.

Para facilitar la creación del modelo, este fue construido por partes (sub-modelos) y luego estas partes fueron unidas dentro del modelo final. Inicialmente se construyó el sub-modelo de las ventanillas de migración en donde se validó las llegadas de pasajeros, la distribución de los mismos dentro de las líneas de espera y el tiempo de atención de estos en las ventanillas de migración dependiendo del tipo de pasajero siendo atendido. El siguiente sub-modelo que se construyó fue el de la búsqueda de equipaje. En este sub-modelo se trabajó el tiempo de arribo del equipaje a partir del tiempo de llegada de los pasajeros así como la unión de los pasajeros y su equipaje mediante combinadores. El último sub-modelo que se desarrolló fue el de inspección y salida. En este sub-modelo se programó la separación del pasajero y su equipaje (para su inspección mecánica y manual), las proporciones de inspección y pago de aduanas y la unión final del pasajero y su equipaje para su salida del sistema.

### ***Arribo de entidades***

Los arribos de entidades definen el tiempo, la cantidad y la frecuencia de los pasajeros que entran al sistema. En este caso los pasajeros llegan todos de una sola vez (con cada vuelo), por lo que se usó un Source para generar entidades

utilizando el modo de operación “Arrival Schedule”. Bajo este modo de operación el usuario especifica en una tabla la cantidad de entidades que arriban y el tiempo en que éstas arriban. Para hacer más fácil el ingreso de datos por parte del usuario, se utilizó la herramienta dentro de Flexsim “excel interface” que permitió ingresar la información de arribo de pasajeros en el Source a través de una tabla global de Flexsim conectada por medio de una hoja electrónica creada en Excel.

En la hoja electrónica se colocó y codificó la hora de llegada de los vuelos y la cantidad de pasajeros que viene en cada uno de ellos (“Arribo de Pasajeros”), así como el tiempo de posicionamiento de las maletas dependiendo de la aerolínea y la distribución de pasajeros (Tabla 11). La hoja electrónica fue protegida para evitar problemas de configuración y sólo se dejaron habilitados los campos en los que el usuario debía de introducir datos. También, se creó una lista de validación para evitar errores de escritura. La creación de este interfaz permitió poder configurar de manera rápida y flexible diferentes elementos dentro del modelo y crear diferentes escenarios.

**Tabla 11. Interfaz en Excel de ingreso de pasajeros del modelo de simulación**

**Modelo de Simulacion del Aeropuerto Internacional de San Pedro Sula**

Arribo de Pasajeros		
Aerolínea	Llegada	# Pasajeros
1 Continental	11:41 a.m.	137
2 Taca	12:15 p.m.	56
3 Delta	:51 p.m.	76
4 CM Air Maya	:51 p.m.	66
5 Sosa	:55 p.m.	47
6 Continental	:00 p.m.	75
7 Aeromexico		
8 American A. Copa		
9		
10		
Total		457

Distribución	
Categoría	Porcentaje
Hondureño	55%
Internacional	43%
Caso Especial	2%
Total	100%

Maletas	
Empresa	Xbar, Desv.
Warren	11.83
	7.04
Tec. Unidas	15.73
	8.45

Las entidades usadas fueron “TaskExecuters” los cuales permiten simular un pasajero caminando. Para hacer esto se configuro cada objeto que procesaba a la entidad escogiendo en la viñeta de “Flow” la caja de selección “Use Transport” y en la opción “Request Transport From” seleccionando “Task Executer as a

Flowitem”. La creación de los diferentes tipos de pasajeros se hizo en el Trigger “OnExit” del Source que genera las entidades. Para hacer esto se usó una distribución empírica creada a partir de la sección “Distribución” del interfaz de Excel. Este código convierte las entidades entrantes en tres itemtypes diferentes diferenciados por color y con las cantidades correspondientes a la proporción establecida en el interfaz. El envío de pasajeros a la fila adecuada se logró programando la caja de selección “Send to Port” de la viñeta Flow del Queue conectado al Source para que lo hiciera de acuerdo al itemtype de la entidad.

También se creó en cada entidad una etiqueta (label) llamada “aerolínea” la cual es creada a partir de la aerolínea en la que el pasajero viaja para controlar así a que carrusel debe de dirigirse para recoger su equipaje y en cuanto tiempo recogen su equipaje. Los pasajeros (entidades) procedentes de las aerolíneas Continental, Taca, Aeroméxico y Delta reciben una etiqueta 1 y los que proceden del resto de las aerolíneas reciben la etiqueta 2. Mediante el uso de un Queue colocado al salir de las cabinas de migración se realiza dicho control. Las entidades con etiqueta 1 se dirigen al primer carrusel (el más grande) y las entidades con etiqueta 2 al segundo carrusel.

### ***Filas de espera y procesadores***

Las filas de espera se programaron usando una combinación de Queues (Filas) y NetworkNodes (nodos de red). Los queues se configuraron en cuanto al tamaño y posición (altura y rotación) para ajustarse al funcionamiento y distribución del sistema real. Para asegurarse que la orientación de las entidades dentro de los queues fuera la correcta se usó el trigger “OnEntry” para rotar las entidades apropiadamente. Las velocidades de tránsito de los pasajeros fueron ajustadas globalmente al cambiar la velocidad del TaskExecuterFlowItem en base al cálculo de velocidad de movimiento de los pasajeros descrito previamente. Esto permitió modelar adecuadamente el tiempo de movimiento de los pasajeros a través de todo el sistema.

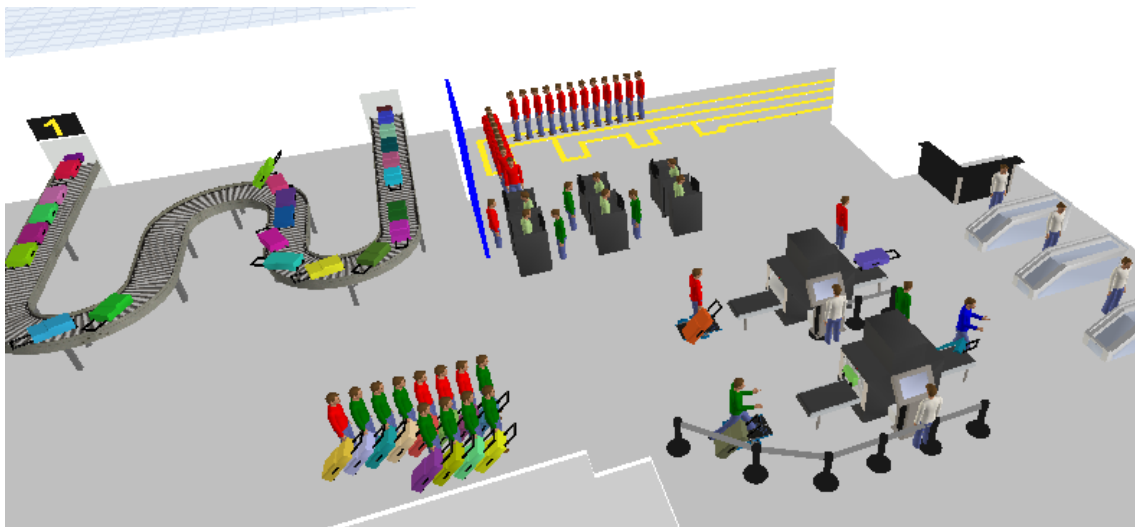
Las actividades que requieren de procesamiento fueron modeladas usando objetos Processor configurados con un tiempo de proceso correspondiente a la distribución estadística calculada usando el software Expertfit. La distribución usada para el tiempo de espera en migración puede verse en la Tabla 6, y la forma en que se manejaron los casos para cada uno de los tipos de pasajeros puede verse en la Figura 8.

```

3 /**Cases by Value*/
4 /** \nValue: */
5 int value = /**/getitemtype(item)/**/;
6 /** \nCases:*/
7 switch(value)
8 {
9 /**/
10 case 1: return loglogistic(57.48, 39.12, 2.11, 0);
11 case 2: return johnsonbounded(74.99, 385.17, 0.97, 0.54, 0);
12 case 3: return beta(50.96, 206.71, 1.88, 1.85, 0);
13 case 4: return inversegaussian(12.35, 109.36, 114.08, 0);
14 default: return 0;/**/
15 }
    
```

**Figura 8. Configuración de tiempos de proceso por tipo de entidad**

Para mejorar la representación visual del modelo se dibujaron las diferentes estaciones del sistema (mostradores de migración, máquina de rayos x, estación de revisión manual), así como la arquitectura del edificio utilizando el software CAD Solidworks. Para poder usarlos dentro de Flexsim estos objetos fueron convertidos a formato VRML y sustituidos en el 3D Shape de los objetos estándar de simulación (Figura 9). Además los elementos fueron ajustados usando los factores de forma (Shape Factors) para que éstos se vieran de forma visualmente correcta.



**Figura 9. Modelo en 3D del área de migración del aeropuerto**



### ***Inspección de maletas y salida de sistema***

Una vez que el pasajero obtiene su maleta, este debe de llevarla a la estación de inspección de equipaje. Se usó un separador para simular la máquina de inspección por rayos x. Los pasajeros fueron dirigidos a un queue mientras que las maletas se detenían de acuerdo al tiempo calculado previamente (Tabla 5). Una vez que la maleta fue inspeccionada, ésta se volvió a unir al pasajero usando un combinador para continuar el proceso. De acuerdo al modelo conceptual, el 18% de las maletas deben pasar una inspección manual, por lo que en la viñeta Flow se configuró la opción “Send to Port” para enviar el 18% de las maletas a la inspección manual y el resto a la salida (By Percentage). La inspección manual igualmente fue simulada usando un procesador. El 88% de los pasajeros saliendo de la inspección por rayos X y el 100% de los pasajeros saliendo de la inspección manual se conectaron a un queue (cola) con dos destinos, el 5% dirigiéndose a la aduana y el 95% a un queue de salida del sistema. La aduana fue simulada usando un procesador con tiempo de procesamiento según la distribución calculada en la Tabla 10. Una vez procesados estos pasajeros fueron también enviados al queue de Salida del Sistema.

Los queues Fila1 (final de la fila de pasajeros nacionales), Fila 2 (final de la fila de pasajeros internacionales) y Salida del Sistema (final de todo el sistema) fueron programados para registrar los tiempos que a las entidades les tomo llegar a esos lugares en tablas globales para su posterior análisis (Figura 10).

```

10 string tablename = /**/"TiempoEnSistema"/**/;
11 /** \nNumber of Columns: */
12 int columns = /**/3/**/;
13 /** \nColumn Format (1 = number, 2 = string): */
14 intarray array = makearray(columns);
15 fillarray(array,**/1/**/);
16
17 if(getinput(current) == 1)
18 {
19     settablesize(tablename,1,columns);
20     for(int index=1; index<=columns; index++)
21     {
22         nodeadddata(gettablecell(tablename,1,index),array[index]);
23     }
24 }
25 else
26 {
27     settablesize(tablename,gettablerows(tablename)+1,columns);
28 }
29
30 double rows = gettablerows(tablename);
31
32 /** \nCommands to set the data in the new row:*/
33 /**/
34 settablenum(tablename,rows,1,time()-getcreationtime(item));
35 settablenum(tablename,rows,2,getitemtype(item));
36 settablenum(tablename,rows,3,getlabelnum(item,"aerolinea"));/**/

```

**Figura 10. Código para la creación de tablas globales con tiempo de espera**

### ***Verificación y validación del modelo de simulación***

Debido a lo complejo que es convertir un sistema del mundo real a un modelo conceptual y éste a su vez en un modelo de simulación, es necesario validar que el modelo final es una buena representación del sistema real. Para hacer esto es necesario establecer un estándar de comparación para saber si el modelo está corriendo adecuadamente. En este caso se siguieron tres pasos para establecer que el comportamiento de las salidas del modelo tiene la suficiente exactitud como para que el usuario pueda confiar en los resultados de la simulación y usarlos para tomar decisiones en el mundo real:

1. Revisar el código por errores de sintaxis y semántica – Usando la consola de compilación de Flexsim se aseguró que todo el código había sido programado adecuadamente y que no existían errores de sintaxis.
2. Observar que la animación sigue el comportamiento establecido en el modelo conceptual y que se observa en el sistema real – El modelo construido fue

corrido para revisar que la animación se veía y se comportaba de acuerdo a lo esperado. Para hacer esto el modelo se corrió a una velocidad lenta y se observaron diferentes áreas del modelo para buscar inconsistencias. También, se revisaron los porcentajes de pasajeros generados de cada tipo, de maletas que pasan al sector de inspección manual y los porcentajes de pasajeros que van a la aduana. Todos estos valores coincidieron con los valores obtenidos del modelo conceptual previamente realizado. Además se aseguró que las rutas de desplazamiento fueran correctas y que los tiempos de movimiento se acercaran a los del sistema real.

3. Revisar que las variables de desempeño entreguen valores que son razonables de acuerdo a lo observado en el sistema real – Para poder validar el modelo se decidió usar como variable de desempeño comparativa el tiempo promedio que los pasajeros pasan en el sistema. Para hacer esto se tomó una muestra aleatoria de 80 pasajeros en el sistema real y se calculó el tiempo que a estos les tomo salir del sistema (23.59 minutos). Luego, se procedió a correr el modelo de simulación usando 15 réplicas estadísticamente independientes y se hizo una prueba de medias de una muestra compararon ambos valores usando una prueba de hipótesis con la que comprobó que el tiempo promedio de salida del sistema generado por el modelo de simulación es estadísticamente igual al del sistema real (ver Tabla 12).

**Tabla 12. Prueba de hipótesis para la validación del modelo de simulación**

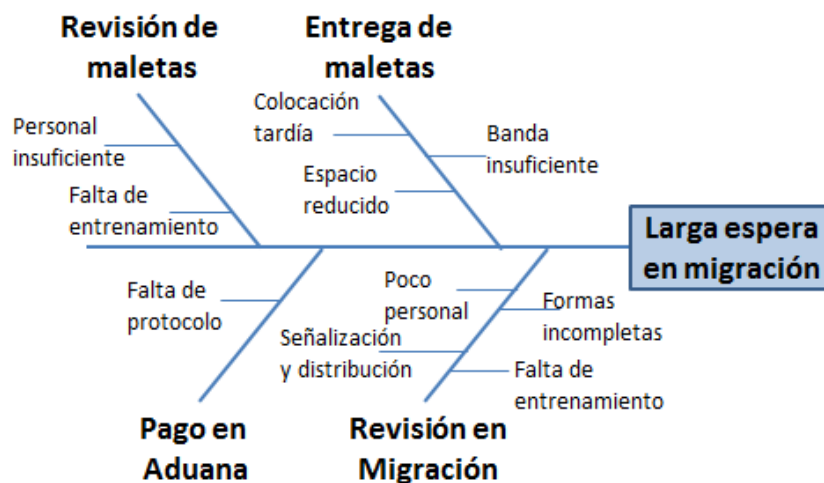
Data	
Null Hypothesis $\mu=$	23.59
Level of Significance	0.05
Sample Size	15
Sample Mean	24.58
Sample Standard Deviation	1.921504123
Intermediate Calculations	
Standard Error of the Mean	0.496130231
Degrees of Freedom	14
<b>t Test Statistic</b>	<b>2.000818745</b>
Two-Tail Test	
Lower Critical Value	-2.144786688
Upper Critical Value	2.144786688
p-Value	0.065190575
<b>Do not reject the null hypothesis</b>	

**EXPLORAR ESCENARIOS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA**

La simulación de eventos discretos no provee por sí mismo una solución a un problema, sino que provee los medios para evaluar soluciones propuestas al estimar como estas se comportan cuando son simuladas. Con el modelo del área de migración del aeropuerto ya construido y validado ahora es necesario identificar las causas del problema bajo estudio, generar ideas para solucionarlo y analizar estas posibles soluciones en modelos de simulación construidos a partir del modelo que ha sido validado.

**Identificar las causas del problema**

El problema bajo estudio es el largo tiempo que tienen que esperar los pasajeros para salir del área de migración del aeropuerto. Si bien es cierto el promedio de este tiempo es  $24.6 + 1.06$  minutos, hay pasajeros (los últimos) que les toca esperar hasta 43 minutos para terminar todo el proceso. Para identificar las causas de esta espera tan larga se realizó un diagrama de causa efecto (Figura 11) en donde se identificó cuatro posibles factores del problema: retraso en la revisión en migración, en la entrega del equipaje, en la revisión de las maletas y en el pago en aduana. De estos cuatro factores solo se analizaron los retrasos en migración y en la entrega de equipaje, los cuales se vislumbraron como los lugares con mayores oportunidades de mejora del sistema.



**Figura 11. Diagrama de causa y efecto para la espera en arribos**

### ***Retrasos en la revisión en migración:***

Se observó que normalmente 4 agentes de migración atienden a todos los pasajeros que ingresan al aeropuerto, uno está asignado a los pasajeros nacionales y 3 asignados a pasajeros internacionales y casos especiales. Solo cuando los pasajeros internacionales han sido atendidos uno de los agentes asignados a ellos atiende a los nacionales y los otros dos se retiran a cumplir con otras ocupaciones. También, se observó que varios pasajeros se colocan en filas equivocadas generando confusión y retraso y que algunos de ellos no llevan llenos los formularios migratorios y de aduanas lo que genera que el tiempo de atención se aumente.

Las posibles soluciones para este problema son identificar cual es la cantidad y distribución óptima de agentes de migración a asignar dependiendo de la cantidad y distribución de pasajeros para minimizar el tiempo de espera, y asignar un agente bilingüe que se encargue de guiar pasajeros a las filas correctas y que ayude a llenar los formularios de migración y aduana antes de llegar al mostrador.

### ***Retrasos en la entrega y recuperación de maletas:***

Observando tanto el sistema real como el modelo simulado se identificó que la causa más importante de retrasos en recuperación de maletas es la falta de agilidad de parte de las compañías encargadas de colocar el equipaje en el carrusel. Debido a esto a pesar que se logre mejorar el tiempo de salida de los pasajeros de migración no se puede mejorar significativamente el tiempo de estadía en todo el sistema. La única posibles solución encontrada en este momento fue el realizar un proyecto DMAIC-Sim específico para el proceso de colocado de equipaje en los carruseles del aeropuerto para buscar reducir el tiempo de entrega del equipaje en por lo menos un 20%.

### ***Optimización del número y distribución de oficiales de migración***

Esta etapa, se inició construyendo un sub-modelo del área específica de migración, es decir, las llegadas de los pasajeros, su traslado hacia los mostradores de migración y su procesamiento. Con este sub-modelo se buscó encontrar la mejor configuración (cantidad y distribución) de oficiales de migración para la atención eficiente de los pasajeros. Para hacer esto se partió del modelo validado y se borró todo lo que no estaba dentro del foco de análisis haciendo algunos cambios que facilitarían la realización de un estudio de optimización en el sub-sistema. Las varias estaciones de migración fueron simuladas usando dos

procesadores a los que se le podía aumentar el número de entidades que podían procesar simultáneamente (uno para atender pasajeros nacionales y otro para atender pasajeros internacionales). Se asumió que los pasajeros con situaciones especiales harían una tercera fila pero no tendrían oficiales de migraciones especiales para atenderlos, sino que serían atendidos por el resto de los oficiales pero de manera prioritaria (pasarían al frente de las otras dos filas). Igualmente, se programó el sub-modelo de manera que si los oficiales encargados de atender pasajeros internacionales ya no tenían pasajeros que atender pasaran a atender pasajeros nacionales y viceversa.

Para el estudio de optimización se usó el software Optquest en conjunto con Flexsim. El criterio de optimización usado fue minimizar el tiempo en espera de los pasajeros en las filas y las variables de estudio (variables dependientes) fueron el número de oficiales de migración asignados a atender a cada tipo de pasajero. Como actualmente la capacidad máxima de oficiales que pueden atender pasajeros es 6 (número de mostradores disponibles), se usó como una restricción el hecho que la suma de los oficiales no debe sobrepasar 6. Se usaron 4 variables dependientes, el promedio de estadía en las filas y el número de entidades procesadas en cada fila. Con estas variables se construyó la función objetivo a minimizar (promedio ponderado). Las variables, restricciones y función objetivo usadas puede observarse en la Figura 12.

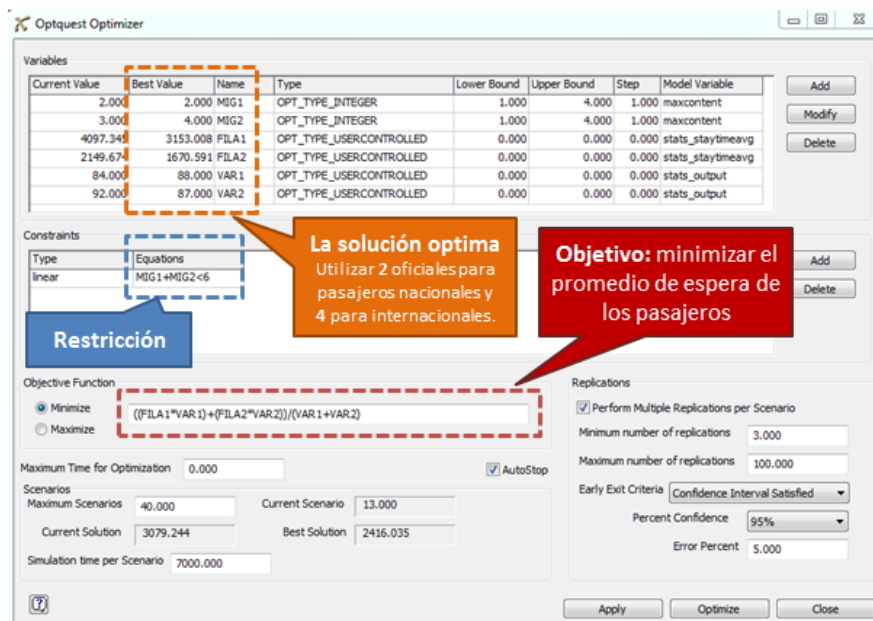


Figura 12. Pantalla de optimización de atención en migración

El resultado del estudio de optimización sugirió que deberían de usarse 4 oficiales de migración para atender pasajeros internacionales y 2 para atender pasajeros nacionales. En vista que la intención de este estudio es evaluar qué sucedería ante diferentes escenarios, se procedió a investigar cual sería la configuración apropiada si se estuviera limitando a sólo usar 3 o 4 oficiales de migración. Los resultados del estudio de optimización arrojaron que en ambos casos solo un oficial debería de ser asignado a los pasajeros nacionales y el resto a los pasajeros internacionales, esto debido a que el tiempo que toma atender a una pasajero nacional es menor. Usando estas tres propuestas se realizaron ajustes en el modelo original agregándole la condición de que si uno de los oficiales se queda sin trabajo (se acaban los pasajeros que está atendiendo), éste pasa a atender los pasajeros de las otras líneas. Estos escenarios se corrieron haciendo 10 réplicas de cada uno de ellos y los resultados fueron comparados entre sí. Los resultados para el tiempo total que les tomó a los pasajeros salir del sistema y el tiempo que esperaron en la fila de pasajeros nacionales e internacionales fueron los mostrados en la Tabla 13.

**Tabla 13. Resultados de corrida de escenarios para oficiales de migración**

Tiempo Total en Sistema				Tiempo en la Fila 1				Tiempo en la Fila 2			
6 Ofic.	4 Ofic.	3 Ofic.	Orig.	6 Ofic.	4 Ofic.	3 Ofic.	Orig.	6 Ofic.	4 Ofic.	3 Ofic.	Orig.
21.37	23.51	24.1	25.31	10.69	16.05	21.99	20.65	5.87	5.26	11.74	9.24
22.34	23.99	24.22	28.17	13.25	15.7	17.95	25.01	5.54	6.91	10.95	6.03
24.12	22.51	24.14	23.41	10.51	15.36	17.26	15.89	5.13	8.19	8.94	8.45
20.93	21.3	24.09	24.15	8.26	14.91	19.93	19.68	2.3	4.67	6.61	8.4
21.43	20.81	22.83	23.43	8.71	14.66	17.43	16.64	5.56	6.41	10.06	8.93
21.16	20.43	23.53	22.1	12.2	13.59	21.6	18.52	4.92	6.91	9.27	6.95
21.57	23.68	23.49	22.7	10.05	16.26	18.31	20.6	4.02	5.97	11.57	9.18
21.31	21.04	25.15	24.85	10.4	15.41	19.63	22.17	3.78	4.94	9.45	8.18
20.36	20.95	25.36	23.51	10.72	14.05	21.44	16.71	3.16	5.31	9.45	7.54
23.2	22.99	25.77	26.14	10.1	15.52	23.22	19.24	3.27	7.21	10.59	8.58
21.779	22.121	24.268	24.377	10.489	15.151	19.876	19.511	4.355	6.178	9.863	8.148
11%	9%	0%		46%	22%	-2%		47%	24%	-21%	

De estas tablas se puede apreciar que los resultados del sistema original (la forma en que se maneja actualmente) son comparables a los del sistema mejorado usando solo tres oficiales (0% de mejoría). A medida que más oficiales de migración se agregan al sistema el tiempo promedio en fila disminuye (9% y 11% de mejoría). Sin embargo, también se puede observar que para el escenario que usa 6 oficiales de migración el tiempo promedio total en el sistema no es significativamente inferior al tiempo promedio obtenido con cuatro oficiales (Tabla 13). En vista que con 6 oficiales el tiempo promedio en fila si es significativamente

bajo, la única explicación es que a pesar que los pasajeros son despachados con prontitud, estos se quedan atascados en el resto del proceso (recolección y revisión de equipaje). Por lo que se sugiere:

1. Si se mejora el tiempo de entrega y revisión de maletas, usar 6 oficiales para atender a todos los pasajeros, 2 de ellos atendiendo pasajeros nacionales (centroamericanos incluidos) y los restantes 4 atendiendo pasajeros internacionales.
2. Si no se mejora el tiempo de entrega y revisión de maletas, usar solo 4 oficiales, 1 para pasajeros nacionales y los otros 3 para internacionales.

### ***Llenado de formularios de migración y aduana***

Una de las situaciones que genera más retrasos en el área de migración es que hay una cantidad importante de pasajeros que no traen los formularios de registro migratorio llenos. De acuerdo a conversaciones con el jefe de migración en el aeropuerto de San Pedro Sula, hasta un 30% de los pasajeros llenan estos formularios hasta que están siendo atendidos por el oficial de migración. Utilizando una muestra de 30 personas se calculó el tiempo promedio que toma llenar el registro migratorio y se obtuvo un tiempo promedio de llenado de 1.26 minutos. Para revisar que significaría en mejora de tiempo de espera el hacer este cambio, se identificaron los valores atípicos existentes dentro de las muestras tomadas usando puntuaciones z) y al 30% de estos datos se les rebajo 1.26 minutos. Luego, se volvió a calcular la distribución estadística teórica que mejor representaba el nuevo set de datos. Los cambios en los tiempos de proceso de los oficiales de migración se implementaron en el modelo de simulación y se corrieron 10 réplicas estadísticamente independientes. Los resultados comparativos obtenidos se pueden observar en la Tabla 14.



**Tabla 14. Resultados de escenarios con reducción de tiempos en migración**

Tiempo Total		Tiempo en Fila 1		Tiempo en Fila 2	
Con Form.	Sin Form.	Con Form.	Sin Form.	Con Form.	Sin Form.
21.37	21.70	10.69	9.52	5.87	4.39
22.34	20.79	13.25	8.54	5.54	4.84
24.12	20.85	10.51	8.48	5.13	5.02
20.93	21.22	8.26	9.55	2.3	4.67
21.43	21.79	8.71	8.67	5.56	4.29
21.16	22.26	12.2	8.32	4.92	3.43
21.57	22.01	10.05	6.96	4.02	6.19
21.31	20.36	10.4	9.02	3.78	3.81
20.36	21.86	10.72	8.85	3.16	4.2
23.2	21.34	10.1	8.67	3.27	5.66
<b>21.779</b>	<b>21.418</b>	<b>10.489</b>	<b>8.658</b>	<b>4.355</b>	<b>4.65</b>
11%	12%	46%	56%	47%	43%
	1%		9%		-4%

Como se puede observar, la reducción en el tiempo total que le toma a los pasajeros salir del sistema producto de la mejora propuesta es del 12% del tiempo original y solo 1% del tiempo previamente mejorado. Sin embargo, la reducción en el tiempo en fila en el caso de los pasajeros nacionales es del 9% del tiempo previamente mejorado aunque no se observó mejoría en el tiempo en fila de los pasajeros internacionales. Al igual que en el caso de la redistribución de oficiales de migración, existe un cuello de botella para mejorar el tiempo de espera que se encuentra delante de las estaciones de migración. Igualmente, se sugiere:

Colocar un agente de migración bilingüe que se asegure que los pasajeros que están haciendo fila se coloquen en la línea correcta y tengan sus formularios llenos antes de llegar a las estaciones de migración.

**IMPLEMENTAR UN SISTEMA PARA MANTENER Y CONTROLAR LA MEJORA**

La última fase del proyecto es el asegurarse que las variables que se han identificado producirán mejoras en el rendimiento del sistema y puedan mantenerse dentro de los límites definidos. De esta manera, se busca lograr que las mejoras estimadas mediante la simulación puedan llevarse a cabo y perduren a través del tiempo. Para hacer esto se propone la creación de un plan de control que mida el estado actual del sistema y sirva de alerta para mantener la calidad. Se sugiere tomar las siguientes medidas:

1. Instalar rótulos luminosos programables que permitan cambiar los títulos mostrados y así re-asignar las estaciones de atención para pasajeros nacionales e internacionales de acuerdo a la necesidad.
2. Asegurarse de mantener la proporción de oficiales atendiendo pasajeros nacionales e internacionales que ha sido descrita previamente.
3. Colocar una persona que verifique que todos han llenado sus formularios y que ayude a llenarlos a aquellos que no lo han hecho todavía.
4. Tomar el tiempo en que arriba el primer pasajero y el tiempo en el que sale el último pasajero y dividirlo entre el número de pasajeros atendidos. Con estos datos se crea una gráfica R y X-barras y se observa si los datos se mantienen dentro de control. Si no se mantienen dentro de control hay que tomar acciones correctivas.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Utilizando los cinco pasos de la metodología DMAIC-Sim se buscó una solución para el problema de largas líneas de espera en el área de migración del aeropuerto de San Pedro Sula. Para hacer esto se comenzó por construir un modelo conceptual y luego un modelo de simulación del área bajo estudio. Este modelo fue validado utilizando una prueba de hipótesis del valor promedio del tiempo de tránsito real dentro del sistema. Este modelo fue luego usado para proponer mejoras en el área de recibo de pasajeros del aeropuerto Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula, con el propósito de disminuir el tiempo de tránsito de dichos pasajeros.

Del estudio de optimización y las corridas realizadas en el paso 4 se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El tiempo promedio que le toma a los pasajeros abandonar el aeropuerto es de  $24.58 + 1.06$  minutos (línea base del modelo de simulación).
2. El tiempo promedio de estadía de los pasajeros cuando se cuenta con seis oficiales de migración, 4 atendiendo pasajeros internacionales y dos atendiendo a pasajeros nacionales es de  $21.78 + 0.81$  min.
3. El tiempo promedio de estadía de los pasajeros cuando se cuenta con cuatro oficiales de migración, tres atendiendo pasajeros internacionales y 1 atendiendo a pasajeros nacionales es de  $22.12 + 0.97$  min.
4. La diferencia entre tiempos de estadía con 6 y 4 oficiales de migración no es tan significativa debido al cuello de botella que se forma en el carrusel de recolección de equipaje y en la inspección de maletas.

5. Si se asegurara que los pasajeros traen llenos sus formularios de migración antes de ser atendidos por los oficiales el tiempo de estadía de los pasajeros sería de  $21.42 + 0.43$  minutos.
6. Si se logra una disminución del 20% en el tiempo de entrega de las maletas al carrusel de recolección de equipaje, además de las medidas antes mencionadas, el tiempo de estadía de los pasajeros sería de  $19.54 + 0.68$  minutos.

Basado en los resultados obtenidos del estudio usando la metodología DMAIC-Sim se recomienda:

1. Tener seis oficiales de migración atendiendo a los pasajeros con cuatro de los oficiales atendiendo pasajeros internacionales y dos atendiendo a los pasajeros nacionales.
2. Colocar una persona bilingüe en el área de migración a guiar a los pasajeros a las líneas correctas y asegurar que estos hayan llenado sus formularios de migración.
3. Realizar un estudio de como disminuir el tiempo de entrega del equipaje al carrusel para capitalizar en la disminución del tiempo de espera en el área de migración.
4. Realizar un estudio de como optimizar el área de inspección y revisión de equipaje para mejorar así el tiempo de espera del pasajero en el sistema.
5. Obtener información en tiempo real de la cantidad de pasajeros y si son nacionales o internacionales de parte de las líneas aéreas para hacer la asignación y distribución de oficiales de migración.

## REFERENCIAS

- Bersbach, P. (2009, Octubre 27). The first step of DMAIC – Define. Recuperado el 20 de Febrero del 2012 de <http://www.sixsigmatrainingconsulting.com/uncategorized/the-first-step-of-dmaic-%E2%80%93-define/>
- Brue, G., (2002). Six Sigma for Managers. McGraw-Hill.
- Dermikan, H., Spoher, J.C., Krishna, V. (2011). Service System Implementation, 1ra edición, Springer.
- Harrell C., Ghosh, B.K., Bowden, R. (2000). Simulation using promodel. McGraw-Hill.
- Law, A.M. (2009). How to build valid and credible simulation models. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.

- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. (2004). Six sigma black belt handbook. McGraw-Hill
- Nordgren, W.B. (2002). Flexsim simulation environment. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.
- Ocampo, J.R., (2012). Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la simulación de eventos discretos en Flexsim. Proceedings of the Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI 2012).
- Redacción. (2010, Diciembre 21) Han llegado 30,000 viajeros este mes a San Pedro Sula. La Prensa. Recuperado  
el 22 de diciembre de 2010 de <http://laprensa.hn>
- Reina R., entrevista personal, 29 Octubre de 2010
- Solding, P., Gullander, P. (2009). Concepts for simulation based value stream mapping. Proceeding of the 2009 Winter Simulation Conference.
- Sturrock, D.T. (2009). Tips for succesful practice of simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.
- White, K.P., Ingalls, R.G. (2009). Introduction to simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.