

## DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL

### Infraestructura de aviación

### Planeación de Aeropuertos y Desarrollo de Infraestructura

**Presentado por: Tata Technologies de Mexico S.A. de C.V.**

**Referencia: Jorge Gonzalez Velazquez**

[jorge.gonzalez@tatatechnologies.com](mailto:jorge.gonzalez@tatatechnologies.com)

**Título:** Desarrollo de un sistema de análisis de capacidad operacional y de procedimientos de emergencia vía simulación tridimensional con aplicación a la planeación de Aeropuertos y desarrollo de Infraestructura.

**Áreas de conocimiento:** Ingeniería e Industria

**Áreas de desarrollo:** Desarrollo de la red Aeroportuaria, desarrollo Industrial y Tecnológico

**Demandas Específicas:** - Convocatoria de la Dirección General de Aeronáutica Civil para la definición de la nueva política aeronáutica nacional, dentro de las temáticas de seguridad operacional y seguridad de la aviación civil, así como la de infraestructura de aviación y planeación de aeropuertos.

### ***Breve Descripción:***

De acuerdo al objetivo de conocer la visión de la sociedad sobre las principales oportunidades y retos que enfrenta el sector aeronáutico en México, así como sus propuestas para mejorarlo, y también a las necesidades de la infraestructura aeroportuaria y específicamente de la planeación y desarrollo de Infraestructura, se requiere el desarrollo e implementación de un sistema de simulación y análisis tridimensional para la optimización y/o maximización de capacidades operativas en los procesos y planes de seguridad internos de los aeropuertos (plan de emergencia), que contemple las disposiciones de OACI, las normas de protección civil, el funcionamiento del tránsito de pasajeros, carga, equipajes, vuelos de aeronaves y otros servicios auxiliares.

En función del procesamiento de estas variables y de sus resultados, se deberán tomar decisiones sobre logística y necesidades de recursos humanos y materiales para optimizar la ejecución en eventos discretos. El sistema debe de ser capaz de simular los eventos en las instalaciones al tiempo presente y en escenarios futuros, así como interactuar con los diferentes sistemas con que cuenta el aeropuerto, con la finalidad de hacer uso eficiente de los espacios destinados para cada una de las actividades operativas dentro del aeropuerto; también deberá determinar capacidades máximas de pasajeros, carga, equipaje y sus diferentes tiempos de respuesta.

El proyecto se sustenta en el uso de herramientas de software para la simulación tridimensional de procesos productivos, y en específico del software Delmia Quest, el cual previamente se ha probado en el Aeropuerto Internacional Ezeiza, en Argentina. Asimismo al proyecto se integraran las capacidades de especialistas que desarrollan simulaciones.

Para el desarrollo del proyecto se utilizará una adaptación de la Metodología General de Simulación de Procesos, y en forma particular para el análisis de capacidad de instalaciones, se utilizará la Técnica de Simulación de Eventos Discretos.

La metodología consistirá en:(1) Revisión bibliográfica general y local; (2) Definición de requerimientos; (3) Definición de metodología de trabajo; (4) Desarrollo de escenarios de trabajo; (5) Construcción de modelos de geometrías; (6) Construcción de simuladores; (7) Pruebas; (8) Ajustes y validación; (9) Documentación y; (10) Aprobación final.

Cada proyecto de aeropuerto se realizará en dos etapas, la primera que se refiere al diseño del sistema de análisis de capacidad que incluye las actividades 1 a 4 y la etapa 2 que incluye las actividades 5 a 10, con un periodo de ejecución de 7 meses.

### ***Objetivo General:***

Diseñar, implementar y validar una metodología dinámica de trabajo y uso de las técnicas y herramientas de soporte, para las particularidades de los Aeropuertos que forman la red aeroportuaria de la Nación, capaz de realizar un análisis integral de la capacidad de los sistemas que conforman la infraestructura aeroportuaria, para los distintos escenarios de demanda, emergencia, recursos y procesos planteados.

### ***Antecedentes:***

Desde hace ya tres décadas, los aeropuertos a nivel mundial han dejado de ser vistos simplemente como proveedores de infraestructura a las Aerolíneas y Pasajeros; ahora mas bien son verdaderas entidades comerciales, sociales, culturales y genuinos polos de crecimiento económico, social, motores de las economías locales y regionales. Sin embargo este cambio vertiginoso de escenario no ha podido ser acompañado de manera apropiadamente por la Infraestructura Aeroportuaria,

salvo en contadas excepciones aún se aplica una estrategia reactiva a los cambios de escenario y el estudio preventivo de escenarios catastróficos anticipando la conducta y organización de tales eventos. A la luz de los más de 20 años del inicio del proceso de privatización de la infraestructura aeroportuaria en Latinoamérica, y salvando las particularidades de cada proceso de privatización llevado a cabo en cada país, existen tres grandes beneficios que ha traído este proceso: **la introducción de un nuevo modelo de gerenciamiento**, que quizá se corresponde más con los tiempos que corren, dirigidos a brindar servicios de calidad a los usuarios de la infraestructura, **decisiones inteligentes de inversión** que buscan el balance entre infraestructura y **la calidad de estos servicios** y mejoras en la eficiencia operativa. En la actualidad, menos del 5% de los aeropuertos comerciales en el mundo están administrados o son propiedad del sector privado. Sin embargo, el éxito de la gestión privada está despertando atracción de los grandes grupos operadores de aeropuertos para extender su conocimiento y experiencia hacia otras regiones. Varios factores hacen que esta industria sea atractiva para los inversores, tales como: un alto crecimiento sostenido del tráfico aéreo observado durante los últimos años, grandes barreras para el ingreso de nuevos competidores y optimismo general en el mercado. Pero quizá haga más atractivo el negocio para los actuales operadores y administradores, las importantes barreras para nuevas organizaciones que pretenden entrar al ruedo. En la actualidad existen herramientas y técnicas poderosas de análisis capaces de aproximarse a parcialidades de la solución al problema del análisis cuantitativo y cualitativo de capacidad de la infraestructura aeroportuaria.

Varias de estas herramientas y técnicas se focalizan en la observancia de la configuración de la infraestructura y al análisis estático del flujo de procesos haciendo uso de esquemas, diagramas, planos, imágenes realísticas y la animación tridimensional entre los de mayor aceptación. Aún cuando muchos autores sugieren como componente fundamental del Máster Plan de todo aeropuerto, la verificación de capacidad mediante el uso de modelos de simulación, en la práctica existen cuatro métodos ya ampliamente difundidos: (a) Copiar y Optimizar Configuraciones de Arquitectura Desarrolladas para otros Aeropuertos; (b) Análisis Gráfico Utilizando Diagramas Acumulativos; (c) Aplicación Práctica de la Teoría de Colas y; (d) Simulaciones detalladas por computadora.

Para el proyecto motivo de la presente propuesta en un proyecto previo en un Aeropuerto de Argentina (Esponzoa-Bryson, J., 2007), donde se aplicaron técnicas de análisis vía simulación para el análisis de capacidad, se recomendó el uso de la técnica de simulación de eventos discretos (Empresa Aeropuertos Argentina 2000; [www.aa2000.com.ar](http://www.aa2000.com.ar)). Se analizó la capacidad del ante proyecto de infraestructura del aeropuerto Ezeiza para el Año de Diseño, donde se tuvieron los siguientes resultados: Metodología estandarizada para el dimensionamiento de Áreas Operativas y Funcionales de una terminal; Observancia de Nivel de Calidad de Servicio; Incorporación de múltiples escenarios de demanda; Incorporación de distintas alternativas de configuración de la infraestructura. La simulación tridimensional dinámica permitió una comunicación eficaz de requerimientos de distinta naturaleza por parte de los interesados y su incorporación. Esta técnica de simulación actualmente está en uso intensivo en el dimensionamiento de áreas operativas y funcionales y se pretende extender el uso a otras áreas tales como la validación de la arquitectura y la operación por Personas con Movilidad Reducida (PMR), análisis de planes de evacuación entre otras aplicaciones.

## **Justificación:**

Para incrementar la capacidad de un aeropuerto, en lo último que se debe pensar es en una ampliación física. Pero puede ser que el punto de partida sea tan solo la forma de como se mide la capacidad de un aeropuerto en tierra, desde los servicios relacionados con el avión, la alimentación de combustible, el manejo de equipajes y hasta el proceso de facturación. Hoy por hoy, uno de los retos en las políticas de aviación es optimizar el rendimiento de las capacidades aeroportuarias existentes y mejorar la planificación de nuevas infraestructuras, evitando la yuxtaposición de soluciones puramente locales y la formación de cuellos de botella. En este sentido, en la actualidad existen herramientas y técnicas de análisis capaces de aproximarse a parcialidades de la solución al problema central del análisis de capacidad de la infraestructura aeroportuaria. Varias de estas herramientas y técnicas se enfocan a observar la configuración de la infraestructura por un lado y al análisis estático del flujo de procesos haciendo uso de esquemas, diagramas, planos, entre los tradicionalmente utilizados y las imágenes realísticas y animación tridimensional como los de mayor aceptación. Sin embargo cuando se trata de un riguroso análisis de capacidad de la infraestructura aeroportuaria, existen 4 métodos que ampliamente difundidos y previamente mencionados: A.- Copiar y Optimizar Configuraciones de Arquitectura Desarrolladas para otros Aeropuertos: Si el proceso de adaptación es bien conducido, siempre deja latente una necesidad de verificación que solo puede realizarse durante la operación real. B.- Análisis Gráfico Utilizando Diagramas Acumulativos: El Análisis Gráfico han demostrado eficacia en su aplicación, sin embargo tienen dos grandes limitaciones: solo representa situaciones típicas y no describen las variaciones que ocurre en la práctica. Solo permiten obtener información sobre un sistema y no dan información sobre la interrelación de los diferentes sistemas y procesos de una terminal aeroportuaria. C.- Aplicación Práctica de la Teoría de Colas: Estas aplicaciones no han sido eficaces para el diseño de terminales aeroportuarias. Esto se debe a que los procesos presentes en un aeropuerto nunca se presentan bajo condiciones uniformes que puedan ser analizadas. D.- Simulaciones detalladas por computadora: La capacidad computacional de los equipos de hoy en día crece exponencialmente mientras su costo evoluciona inversamente. Estos sistemas permiten un alto grado de realismo, mínimos riesgo e inversión, lo cual representa una importante ventaja cuando se trata de predecir el comportamiento de sistemas complejos, conocer la interacción entre ellos, cuantificar su respuesta, evaluar distintos escenarios de demanda,

dimensionar un adecuado nivel de servicio y por supuesto, evaluar técnica y económicamente distintas alternativas de explotación.

### ***Metodología:***

La capacidad de un aeropuerto es la aptitud de procesos de las instalaciones funcionales y de servicio para manejar apropiadamente un determinado volumen de tráfico. Dicha capacidad depende del tipo, tamaño, configuración y condición de todas las facilidades asociadas al viaje del pasajero desde el punto de origen hasta la aeronave y desde la aeronave hasta el punto de destino, considerando asimismo la forma en que las instalaciones son operadas, reguladas y equipadas; para hacer un análisis de capacidad adecuado, se requiere de un escenario de demanda y provocar la máxima capacidad. La demanda se refiere al volumen de pasajeros, de operaciones y las características principales de ambos, que afectan la habilidad de ser acomodadas por los componentes funcionales. Se entiende también que esa aptitud de procesamiento de la demanda debe realizarse a una determinada calidad de servicio. La Calidad de servicio de un componente funcional o subsistema, según es experimentado por los pasajeros, se constituye en nivel de servicio.

Factores tales como el tiempo de espera, el tiempo de proceso, la acumulación de personas y la disponibilidad y conveniencia de instalaciones para el confort son elementos de medida de la calidad del servicio. La capacidad y calidad de servicio están relacionados estrechamente y deben ser siempre considerados en conjunto. A fin de realizar un adecuado Análisis de Capacidad, cuantitativo y cualitativo, de la Infraestructura Aeroportuaria y sus alternativas de configuración, para la demanda actual y futura de corto y largo plazo, se utilizará la técnica de Simulación de Eventos Discretos para lo cual, de acuerdo con conocimientos aplicados en el Aeropuerto Internacional Ezeiza (Argentina), se aplicará esta técnica al proyecto a través de una adaptación de la metodología general de simulación de procesos, se aplicara la siguiente metodología específica. (1) Revisión bibliográfica para la asimilación de experiencias previas, así como el entrenamiento en el uso de software requeridos para el análisis y simulación por la técnica de eventos discretos (Delmia Quest y Catia); (2) Definición de Requerimientos, donde se realizará toda la recopilación de información en campo, la identificación de procesos, el mapeo de procesos, captura, toma de tiempos, redacción y revisión de especificaciones; (3) Metodología de trabajo, donde se definirá una forma estandarizada de trabajo para la captura de información gráfica para el modelado tridimensional (entre los diferentes grupos de trabajo), y la integración de los escenarios de trabajo; (4) Construcción y pruebas que incluye (a) la construcción de modelos de geometrías y (b) la construcción de simulaciones; el primero incluye las modelaciones de sillas, mesas, WC, mitorios, lavamanos, postes porta cintas, bandas de equipaje, mostradores, carros portaequipajes, aviones, autos, autobuses, postes estructurales, áreas de comida, edificio de reclamo de equipaje internacional y nacional, zona de espera, zona de bodegas y banda de equipaje, modelo de fachadas principal y posterior, servicio de renta de autos, taxis y zona de estacionamiento, otros; la segunda incluye modelado de pasajeros en partida, modelado de pasajeros en arribo, modelado de equipaje en partida, modelado de equipaje en arribo, modelado de carga en partida, modelado de carga en arribo, modelado de vuelos en arribo, modelado de vuelos en partida, revisión de modelos; (5) Pruebas para verificar la funcionalidad de los modelos, e incluye las corridas de simulación preliminares, análisis de sensibilidad, y generación de informes para análisis; (6) Ajustes al modelo general, e incluye las actividades de adecuación de escenarios, ajuste a los modelos de simulación, simulación final y documentación de resultados; (7) Documentación, que consiste en la redacción de los manuales de operación, liberación de documentación final y reporte técnico in extenso; (8) Aprobación final que consiste en la verificación de los modelos de simulación y los modelos tridimensionales en situación real, y finalmente la aprobación del proyecto.

#### **Ref. Bibliográficas:**

- 1.- Airport Planning and Development Handbook a global survey. Paul Stephen Dempsey. McGraw-Hill Handbook. 1999.
- 2.- Airport Planning and Management, Alexander T. Wells, Ed.D. & Seth B. Young, Ph.D. McGraw-Hill Professional.
3. Banks, Jerry, John S. Carson II, Barry L. Nelson and David M. Nicol. Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall, 3rd ed., 2001.
4. Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer, Tag Gon Kin. Theory of Modeling and Simulation, Academic Press 2000.
5. Handbook of Industrial Engineering, Technology and Operation Management. Edited by Gavriel Salvendy, 3rd ed., 2001.
6. Airport Systems, Planning, Design and Management, Richard de Neufville, Amedeo Odoni. Aviation Week Books, 2002.
7. Simulation, Modeling & Analysis 3ra Edición Law and Kelton, 2000.
8. Espinoza-Bryson, Jhonny, 2007. Dassault Systèmes colabora con los esfuerzos de Aeropuertos Argentina 2000. Bs. As. Argentina.

### ***Resultados Esperados:***

- 1.- Presentación del estado integral de capacidad de flujo de la infraestructura aeroportuaria.
- 2.- Diseño de una metodología dinámica de trabajo adecuada a la organización de los Aeropuertos de la Nación.
- 3.- Establecer un estándar de Aeropuertos para el Análisis de Capacidad.
- 4.- Capacitar teórica y prácticamente al personal designado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares, y los concesionarios en la metodología de trabajo y en el estándar de Análisis de Capacidad, de forma tal que sean completamente autónomos en su uso intensivo y extensivo.
- 5.- Construir los primeros modelos tridimensionales de análisis en el comportamiento del proceso de emergencia y de los distintos sistemas que conforman la infraestructura aeroportuaria.

6.- Elaborar los primeros informes de análisis de capacidad y comportamiento para el aeropuerto especificado.

**Impacto Cualitativo:** El uso de análisis apriori de modificaciones en la infraestructura operacional de un Aeropuerto Internacional ayudará a incrementar la calidad de los servicios y el nivel de seguridad que ofrece el aeropuerto, puesto que en base a simulaciones de escenarios se estudian opciones de optimización de recursos y tiempos de espera así como escenarios de contingencia en casos de emergencia.

**Impacto Cuantitativo:** Los análisis tridimensionales de flujo de procesos, ayudan a incrementar la calidad del servicio, puesto que se simulan escenarios y se calcula impactos antes de realizarmedificaciones a los procesos internos del aeropuerto, ayudando así al Aeropuerto en el manejo eficiente y optimización de la administración de los recursos (finitos), así como los pasajeros que se atienden (cuantitativos).

## **Áreas de impacto**

### **Seguridad Operacional**

La normalización en la utilización de éste sistema de simulación dentro de los aeropuertos, y como parte de la política aeronáutica, proporcionará una herramienta con a cual se podrán anticipar los responsables de la seguridad operacional a los eventos producto de una emergencia que ocurra en las áreas de movimiento e instalaciones aeroportuarias.

### **Seguridad de la Aviación Civil**

De igual forma que en la anterior, la normalización en la utilización de éste sistema de simulación dentro de los aeropuertos, y como parte de la política aeronáutica, proporcionará una herramienta con a cual se podrán anticipar los responsables de la seguridad civil a los eventos producto de una emergencia dentro de las instalaciones y edificios terminales.

### **Impacto Científico:**

Derivado de este proyecto se asimilarán y adquirirán nuevos conocimientos y experiencia para análisis y optimización de flujo de procesos vía simulación tridimensional, específicamente para aeropuertos, la cual es un área donde no se han enfocado este tipo de tecnologías.

### **Impacto Tecnológico:**

El mayor impacto será el fortalecer los objetivos estratégicos de ASA y de los Aeropuertos concesionados relacionado con la optimización de los recursos y procesos involucrados en la operación de sistemas tan complejos como los aeroportuarios

### **Impacto Social:**

En cuanto se obtengan las primeras simulaciones y se procesen y analicen los procesos involucrados en el flujo de procesos, se contribuirá a la reducción de fatiga de las actividades propias de los empleados del aeropuerto y se elevará la productividad, de las aerolíneas y de los centros logísticos de carga correspondientes, al estudiar diferentes escenarios y adoptando las condiciones representadas en la simulación

### **Impacto Económico:**

Con la realización de las simulaciones de flujos de procesos y la optimización de recursos se prevee que se pueda optimizar, económicamente hablando, el proceso de operación del aeropuerto. Además, si se agilizan los procesos de operación del aeropuerto, se puede programar mayor cantidad de operaciones semanales y por ende, se incrementará la derrama económica que genera el aeropuerto en la región.

### **Impacto Ambiental:**

El uso de tecnologías de simulación, bien implementadas contribuyen en todos los ámbitos a la reducción de costos y optimización de recursos, reduciendo gastos, disminuyendo la incertidumbre de cambios de infraestructura, planificando los cambios y expansiones antes de ser materializadas, se reduce el costo ambiental de una expansión mal lograda que impacta significativamente al ecosistema en el cual opera el aeropuerto.

## **Proyectos Relacionados**

**Nombre del Proyecto:** Logística del Aeropuerto Argentina 2000

**Año de Inicio:** 2007

**Descripción:** La aplicación de la técnica de análisis vía simulación para el análisis de capacidad del aeropuerto en Argentina resultó tener éxito al utilizar la técnica de la simulación de eventos discretos. Se analizó la capacidad de infraestructura del Aeropuerto Internacional de Argentina, obteniendo los siguientes resultados: Metodología estandarizada para el dimensionamiento de Áreas Operativas y Funcionales de una terminal. Observar el Nivel de Calidad de Servicio. Incorporación de múltiples escenarios de demanda. Incorporación de distintas alternativas de configuración de la infraestructura. La simulación tridimensional dinámica permite una comunicación eficaz de requerimientos de distinta naturaleza por parte de los interesados y su incorporación. En el caso mencionado, esta técnica de simulación está actualmente en uso intensivo en el dimensionamiento de áreas operativas y funcionales y se pretende extender el uso a otras áreas tales como la validación de la arquitectura y la operación por Personas con Movilidad Reducida (PMR), análisis de planes de evacuación entre otras aplicaciones.