

ESTRATEGIA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS AERONAVES Y LAS DEMORAS DE LOS PASAJEROS EN AEROPUERTOS SATURADOS

Introducción

Los problemas de congestión en el transporte se presentan cuando la demanda de la infraestructura excede la capacidad, generando demoras como uno de sus principales síntomas (Roosens, 2008). Desde hace varios años ha sido reportado que hay una falta de suficiente capacidad aeroportuaria para cumplir con las demandas del tránsito aéreo. Esto ha resultado en problemas de congestión y demoras en muchos de los principales aeropuertos del mundo (Hamzawi, 1992). Durante las pasadas seis décadas ha habido un rápido incremento del tránsito aéreo a nivel mundial y el pronóstico de su tendencia es que continúe su crecimiento. Conforme los tránsitos continúen incrementándose el problema empeorará. Hoy en día, la saturación de los principales centros concentradores y distribuidores de la actividad aérea (hubs) es un problema significativo, debido a que se generan demoras, cancelaciones de vuelos y pérdidas de conexiones, lo que en consecuencia afecta tanto a las aerolíneas como a los viajeros (Flores, 2010). La congestión incrementa los costos de operación de las aerolíneas debido a que las demoras consumen recursos adicionales en la operación de las aeronaves. Además, los pasajeros son adversamente afectados al perder tiempo en las líneas de espera.

Los pilotos deben seguir las regulaciones y procedimientos establecidos por el control de tránsito aéreo (CTA). El propósito fundamental de los servicios de CTA es prevenir las

colisiones de las aeronaves tanto en el aire como en tierra, y expedir y mantener un flujo ordenado del tránsito aéreo (ICAO, 1996). La autorización de los aterrizajes y despegues de aeronaves se realiza por el CTA, de acuerdo con el orden de cada solicitud de servicio. Aunque existen algunas excepciones, la regla seguida generalmente es primeras-entradas primeras-salidas (o por sus sigla en inglés, first-come-first-served, FCFS) (FAA, 2010).

Para mitigar el desbalance demanda/capacidad en los aeropuertos han sido propuestas diferentes soluciones. Sin embargo, todas éstas han sido aplicadas siguiendo la regla tradicional de prioridad de servicio (FCFS). Una excepción parcial se ha presentado en los Estados Unidos en donde ha sido utilizado un asesor administrador de

CONTENIDO

ESTRATEGIA PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS AERONAVES Y LAS DEMORAS DE LOS PASAJEROS EN AEROPUERTOS SATURADOS	1
PRUEBAS ÍNDICE PARA VERIFICAR LA EFECTIVIDAD DE UN ESTABILIZANTE QUE POTENCIALIZA LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO	10
GLOSARIO	16
PROYECTOS EN MARCHA	16
PUBLICACIÓN	17
EVENTOS ACADÉMICOS	18

tránsito (traffic management advisor, TMA) (Janic, 2009). Además, ha habido otras investigaciones que abandonan el principio FCFS, aunque han estado enfocadas sólo a los aterrizajes. Por ejemplo, Soomer y Koole (2008); Wen (2005); y Lee (2008).

La regla FCFS no considera que los costos de operación y la capacidad de pasajeros de los distintos tipos de aeronaves son diferentes. Por ejemplo, el costo de operación de un Boeing 747, con capacidad para 452 pasajeros es ocho veces mayor que el de una aeronave ATR-42, de 48 pasajeros. La aeronave Boeing-747 puede transportar 9.4 veces más pasajeros que la aeronave ATR-42, ver Tabla 1. Consecuentemente, si la secuencia de atención de las aeronaves en una línea de

espera es reordenada, existe la posibilidad de obtener ahorros significativos en los costos de operación y en la reducción de las demoras de los pasajeros. La solución al problema consiste en determinar la secuencia de atención que reduce tales costos y demoras.

En este artículo se establece y evalúa una estrategia para determinar el orden de atención de los despegues y aterrizajes en aeropuertos saturados con objeto de reducir los costos de operación de las aeronaves y las demoras de los pasajeros. El enfoque utilizado para resolver el problema consiste en un procedimiento que determina el orden de atención, sin enumerar todas las alternativas posibles. Por ello, la solución puede ser obtenida en un tiempo muy reducido.

Tabla 1
Características operacionales típicas de diferentes tipos de aeronaves

Aeronave	Costo de operación (dólares/segundo)	Número típico de asientos	Máximo peso bruto al despegue (lb)	Clasificación por estela de turbulencia	Duración particular de la operación (segundos)	
					Despegue	Aterrizaje
Learjet 36	0.2656	6	18,000	Pequeña	78	79
EMB-120	0.4060	30	25,300	Pequeña	79	80
DHC 8-100	0.4337	39	34,400	Pequeña	71	96
ATR-42	0.4497	48	36,800	Pequeña	57	93
ATR-72	0.5812	70	49,600	Grande	48	78
Boeing 737-300	0.8434	140	124,000	Grande	66	67
Boeing 737-500	0.8939	108	115,500	Grande	65	66
DC-9-30	0.9410	115	121,000	Grande	65	66
MD-80	0.9683	145	149,500	Grande	59	80
Airbus A320	1.0137	150	162,000	Grande	62	84
Boeing 727-200	1.1366	163	209,000	Grande	41	61
Boeing 767-300	1.4596	269	350,000	Pesada	52	53
Airbus A300-600	1.7031	267	363,760	Pesada	52	53
Airbus A300-300	1.7805	328	458,600	Pesada	53	54
Boeing 777-200	1.8440	440	514,000	Pesada	47	64
DC-10-30	2.6032	250	572,000	Pesada	50	67
Boeing 747-200	3.7632	452	833,000	Pesada	54	67

Fuente: Elaboración propia

Los costos de operación presentados en la Tabla 1 fueron obtenidos al actualizar al año 2010 los costos respectivos establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (ICAO, 2000). De acuerdo con la OACI el costo de operación total es igual a la suma del costo de combustible más otros costos. El componente relacionado con el precio del combustible de aviación fue actualizado utilizando el índice de precios del combustible de aviación establecido por la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) (www.iata.org). El índice utilizado (222.2) corresponde al establecido en febrero de 2010; este índice tenía un valor igual a 100 en el año 2000. En el caso de otros costos fue considerado un incremento anual de 3%. La clase de las aeronaves por estela de turbulencia está basada en el peso de despegue máximo certificado (maximum certificated takeoff weight, MCTOW). Los estándares actuales en los Estados Unidos consideran tres clases: aeronaves pesadas, grandes y pequeñas (FAA, 2010). Los valores de los tiempos particulares de operación son cifras promedio obtenidas de operaciones observadas en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

Metodología

Enfoque que lista todas las alternativas posibles

Una primera aproximación para encontrar la solución óptima del problema consiste en listar todas las alternativas posibles. Este método es confiable, sin embargo ya que la cantidad de soluciones posibles se incrementa rápidamente de acuerdo con el número de variables, no es factible obtener una solución en un tiempo de cómputo razonable, sobre todo en problemas que consideran un número de variables de tamaño medio o grande. En el caso de una línea de espera con n aeronaves solicitando servicio en la pista de un aeropuerto, existen n! secuencias posibles para atenderlas.

La formulación del problema es como sigue: considere que la pista de un aeropuerto debe atender las solicitudes de servicio de un cierto número de aeronaves $n = \{A, B, C, \dots, N\}$. Cada una de las aeronaves tiene dos características importantes: el costo de operación por unidad de tiempo (c_i) y el tiempo particular de servicio de cada operación (t_i) durante los despegues o aterrizajes. El tiempo total de servicio que corresponde a la aeronave n de acuerdo con la secuencia de atención se define como T_n . Éste representa el intervalo de tiempo entre la solicitud de servicio de la aeronave n y el momento en que éste es completado. Para un grupo de aeronaves esperando servicio, la aeronave n tendrá un tiempo total de servicio igual a:

$$T_{n=} \sum_{i=1}^{i=n} t_i \tag{1}$$

Para un grupo de n aeronaves el costo de operación (CO) es:

$$CO= C_A(T_A)+C_B(T_B)+C_C(T_C)+\dots C_N(T_n) \tag{2}$$

Solución exacta para dos aeronaves

En el caso de dos aeronaves en una línea de espera (A y B), hay dos secuencias posibles de atención ($2! = 2$). La primera consiste en atender a la aeronave A y después a la aeronave B (A→B); la otra posibilidad es atender primero a la aeronave B y después a la aeronave A (B→A).

Los costos de operación para estos casos son:

$$CO_{A,B}= C_A(T_A)+C_B(T_B)= C_A(t_A)+ C_B(t_A+ t_B) = C_A t_A + C_B t_B + C_B t_A \tag{3}$$

$$CO_{B,A}= C_B(T_B)+C_A(T_A)= C_B(t_B)+ C_A(t_B+ t_A) = C_A t_A + C_B t_B + C_A t_B \tag{4}$$

Solución exacta para tres, cuatro y cinco aeronaves

En el caso de tres aeronaves (n = 3), hay seis secuencias posibles de atención (3! = 6). Aplicando la ecuación (2) se pueden estimar los costos de operación:

$$CO_{A,B,C} = C_A(t_A) + C_B(t_A+t_B) + C_C(t_A+t_B+t_C)$$

$$CO_{A,C,B} = C_A(t_A) + C_C(t_A+t_C) + C_B(t_A+t_C+t_B)$$

$$CO_{B,A,C} = C_B(t_B) + C_A(t_B+t_A) + C_C(t_B+t_A+t_C)$$

$$CO_{B,C,A} = C_B(t_B) + C_C(t_B+t_C) + C_A(t_B+t_C+t_A)$$

$$CO_{C,A,B} = C_C(t_C) + C_A(t_C+t_A) + C_B(t_C+t_A+t_B)$$

$$CO_{C,B,A} = C_C(t_C) + C_B(t_C+t_B) + C_A(t_C+t_B+t_A)$$

En el caso de cuatro aeronaves (n = 4) hay 24 secuencias de atención posibles (4! = 24). Utilizando la ecuación (2) es posible obtener los costos de operación. A continuación se muestra la primera y última secuencia.

$$CO_{A,B,C,D} = C_A(t_A) + C_B(t_A+t_B) + C_C(t_A+t_B+t_C) + C_D(t_A+t_B+t_C+t_D)$$

· ·

· ·

· ·

$$CO_{D,C,B,A} = C_D(t_D) + C_C(t_D+t_C) + C_B(t_D+t_C+t_B) + C_A(t_D+t_C+t_B+t_A)$$

En el caso de cinco aeronaves (n = 5) hay 120 secuencias de atención posibles (5! = 120). Aplicando nuevamente la ecuación (2) se obtienen los costos de operación.

A continuación se lista la primera y última secuencia.

$$CO_{A,B,C,D,E} = C_A(t_A) + C_B(t_A+t_B) + C_C(t_A+t_B+t_C) + C_D(t_A+t_B+t_C+t_D) + C_E(t_A+t_B+t_C+t_D+t_E)$$

· ·

· ·

· ·

$$CO_{E,D,C,B,A} = C_E(t_E) + C_D(t_E+t_D) + C_C(t_E+t_D+t_C) + C_B(t_E+t_D+t_C+t_B) + C_A(t_E+t_D+t_C+t_B+t_A)$$

Observe que si hay pocas aeronaves en la línea de espera, es posible resolver el problema utilizando una hoja de cálculo electrónica, sin embargo, mientras más aeronaves se sigan considerando esta tarea es cada vez más difícil. Por ejemplo, en el caso de 10 aeronaves, hay 3,628,800 secuencias posibles; y para 20 aeronaves habrá más de 2 trillones de posibilidades, 20! = 2,432,902,008,176,640,000.

Enfoque mediante un algoritmo heurístico

Este enfoque se fundamenta en tres principios que fueron establecidos mediante la observación del comportamiento relacionado con las secuencias de las líneas de espera de dos, tres, cuatro y cinco aeronaves. En todos estos casos las ecuaciones señaladas antes fueron aplicadas, y los tres principios fueron verificados. Además, los resultados muestran que al aplicar estos principios, no sólo es posible reducir los costos de operación y las demoras de los pasajeros, sino también obtener los valores mínimos, al menos para líneas de espera de entre dos y cinco aeronaves.

Principio uno: Considere un grupo de n-1 aeronaves en el cual es conocida la secuencia de atención que genera el costo de operación mínimo. Suponga que posteriormente es agregada un n-ésima aeronave; el orden de atención que presenta el costo de operación mínimo para este nuevo grupo corresponde a alguna de las n alternativas, en las cuales la aeronave n es colocada al inicio, entre, o al final de la secuencia de atención que inicialmente ofrece el costo de operación mínimo para las n-1 aeronaves. Este principio permite obtener la secuencia de atención que ofrece el costo de operación mínimo, de una manera rápida y sin la necesidad de enumerar y calcular todas las alternativas.

Principio dos: El orden de atención que genera el costo de operación máximo es el orden inverso de la secuencia que genera el costo de operación mínimo. Por ejemplo, si el costo de operación mínimo corresponde a la secuencia A, B, C, ...N, entonces el orden inverso de esta secuencia (N...C, B, A) genera el costo de operación máximo.

Principio tres: El valor del costo de operación promedio es la media de los costos de operación mínimo y máximo.

El enfoque aplicado a las demoras de pasajeros

Utilizando el procedimiento anterior es posible obtener el orden de atención que genera la demora de pasajeros mínima, si en lugar de los costos de operación por unidad de tiempo (c_i) se utiliza el número de pasajeros en cada aeronave (p_i).

La demora de los pasajeros (DP) para un conjunto de aeronaves A, B, C, ...N, es:

$$DP_{A,B,C,\dots,N} = p_B(t_A) + p_C(t_A + t_B) + \dots + p_N(t_A + t_B + t_C + \dots + t_{N-1}) \quad (5)$$

Observe que esta ecuación tiene la misma estructura obtenida para los costos de operación, ver ecuaciones para los casos de líneas de espera de tres, cuatro, y cinco aeronaves. Por lo tanto, los principios equivalentes previamente señalados aplican también al caso de las demoras de pasajeros.

Aplicación de la metodología

La metodología señalada antes fue aplicada para determinar los beneficios potenciales de reordenar la secuencia de atención de las aeronaves, durante los despegues y aterrizajes en un aeropuerto hipotético. Los beneficios fueron cuantificados en términos de la reducción de los costos de operación y de las demoras de los pasajeros. Se supuso que aproximadamente el 50% de las operaciones

en las pistas correspondían a despegues y el restante 50% a los aterrizajes, debido a que ésta es la proporción que normalmente se presenta en los aeropuertos. Con objeto de ejemplificar la aplicación de la metodología fueron considerados tamaños de líneas de espera de cinco y diez aeronaves. Los valores promedio obtenidos de los costos de operación y de las demoras de pasajeros corresponden a la política actual FCFS; y los valores obtenidos mediante el algoritmo heurístico corresponden a la estrategia propuesta. Los datos utilizados para aplicar la metodología fueron tomados de la Tabla 1.

El caso para líneas de espera de cinco aeronaves

La Tabla 2 muestra los resultados para los costos de operación. En este caso fueron considerados grupos de cinco aeronaves en diferentes proporciones de acuerdo con su clase por estela de turbulencia (pequeña, grande y pesada). Debido a que cada grupo está formado por cinco aeronaves, la unidad mínima de incremento fue de 20%. Esta tabla está ordenada de acuerdo con la sexta columna, que representa la reducción de los costos de operación al utilizar la estrategia propuesta en lugar de la política actual. La última columna muestra dicha reducción en términos porcentuales. Es importante señalar que el tiempo total de servicio tuvo un rango de entre 4 minutos 37 segundos y 6 minutos 36 segundos.

En relación con la secuencia de atención que reduce los costos de operación y las demoras, los resultados indican que en todos los casos estos grupos de aeronaves fueron ordenados de acuerdo con sus clases, y que la secuencia para atender a estos grupos siempre siguió la prioridad: pesadas, grandes y pequeñas. También se observó que en la mayoría de los casos dentro de una misma clase de aeronaves, los valores más altos de c_i para los costos de operación, y p_i para las demoras, correspondieron a las aeronaves que fueron

Tabla 2
Costos de operación obtenidos para una línea de espera de cinco aeronaves considerando la política actual y la estrategia propuesta

Porcentaje de aeronaves en la línea de espera clasificadas por estela de turbulencia (%)			Costo de operación (dólares)		Reducción de los costos de operación considerando la estrategia propuesta en lugar de la política actual	
Pequeñas	Grandes	Pesadas	Estrategia propuesta	Política actual (FCFS)	Dólares	Porcentaje
100	0	0	427.70	461.84	34.14	7.39%
0	100	0	812.55	877.17	64.61	7.37%
80	20	0	437.68	534.38	96.70	18.10%
20	80	0	696.82	809.92	113.10	13.96%
60	40	0	488.59	614.37	125.78	20.47%
40	60	0	584.04	723.17	139.12	19.24%
0	0	100	1705.28	1949.84	244.56	12.54%
0	80	20	908.69	1201.48	292.79	24.37%
20	60	20	764.63	1133.32	368.68	32.53%
40	40	20	643.04	1041.74	398.70	38.27%
80	0	20	528.45	933.08	404.63	43.37%
0	20	80	1468.76	1876.17	407.41	21.72%
60	20	20	585.25	998.08	412.83	41.36%
0	60	40	1074.67	1497.32	422.65	28.23%
20	40	40	921.09	1421.04	499.94	35.18%
20	0	80	1367.46	1875.46	508.01	27.09%
0	40	60	1256.34	1768.47	512.13	28.96%
40	20	40	846.86	1393.57	546.71	39.23%
60	0	40	782.77	1366.69	583.92	42.73%
20	20	60	1160.28	1758.97	598.69	34.04%
40	0	60	1079.69	1745.74	666.05	38.15%

Fuente: Elaboración propia

atendidas al inicio. Siguiendo el mismo procedimiento y estructura utilizada para los costos de operación, la Tabla 3 muestra los resultados para el caso de las demoras, en términos de pasajeros-minuto.

El caso para líneas de espera de diez aeronaves

El mismo procedimiento utilizado para las líneas de espera de cinco aeronaves fue

aplicado para el caso de diez. Ahora fueron considerados grupos de diez aeronaves en todas sus combinaciones posibles, considerando las tres clases de aeronaves.

Los resultados muestran que el tiempo total de servicio varía entre 9 minutos 14 segundos y 13 minutos 12 segundos. En relación con la secuencia de atención que reduce los costos de operación y las demoras, se observó el mismo comportamiento que se presentó

Tabla 3
Demoras obtenidas para líneas de espera de cinco aeronaves
considerando la política actual y la estrategia propuesta

Porcentaje de aeronaves en la línea de espera clasificadas por estela de turbulencia (%)			Demoras (pasajero-minuto)		Reducción de las demoras considerando la estrategia propuesta en lugar de la política actual	
Pequeñas	Grandes	Pesadas	Estrategia propuesta	Política actual (FCFS)	Pasajeros-minuto	Porcentaje
100	0	0	281.13	406.76	125.63	30.88%
0	100	0	1,222.23	1,457.32	235.09	16.13%
80	20	0	343.36	674.16	330.80	49.07%
20	80	0	858.43	1,253.47	395.04	31.52%
0	0	100	2,740.91	3,184.93	444.01	13.94%
40	60	0	584.02	1,039.08	455.06	43.79%
60	40	0	409.45	880.40	470.95	53.49%
0	80	20	1,200.69	1,811.22	610.54	33.71%
0	20	80	1,978.28	2,696.92	718.64	26.65%
0	60	40	1,249.13	2,079.91	830.78	39.94%
20	60	20	806.17	1,644.83	838.67	50.99%
80	0	20	321.58	1,201.83	880.25	73.24%
0	40	60	1,631.33	2,559.28	927.95	36.26%
40	40	20	596.18	1,555.49	859.30	61.67%
60	20	20	395.67	1,377.06	981.38	71.27%
20	0	80	1,616.93	2,664.58	1047.65	39.32%
20	40	40	956.99	2,030.99	1074.00	52.88%
40	20	40	702.62	1,922.67	1220.05	63.46%
20	20	60	1,274.34	2,502.72	1228.38	49.08%
60	0	40	498.17	1,774.46	1276.29	71.93%
40	0	60	1,012.15	2,431.35	1419.19	58.37%

Fuente: Elaboración propia

en el caso de las líneas de espera de cinco aeronaves.

Análisis de los resultados

En general cuando una línea de espera tuvo sólo una clase de aeronaves, los beneficios observados fueron más bajos que cuando se presentó una mezcla de clases. En términos relativos, los resultados mostraron que se pueden obtener reducciones significativas de

hasta un 47.6% en los costos de operación y de hasta un 73.2% en las demoras de pasajeros, dependiendo de las distintas proporciones de las clases aeronaves en las líneas de espera.

En el caso de las líneas de espera de cinco aeronaves, los beneficios máximos en términos absolutos para los costos de operación y las demoras fueron obtenidos cuando hubo una proporción de 40% de aeronaves pequeñas

y 60% de aeronaves pesadas. Sin embargo, para el caso de diez aeronaves el beneficio máximo, en términos de costos de operación, se presentó para una proporción de 60% de aeronaves pequeñas y 40% de pesadas, y en relación con las demoras para un 40% de pequeñas y 60% de pesadas.

También fue observado que generalmente una proporción de 80% de las aeronaves de clase pequeña y un 20% de la clase pesada genera los máximos beneficios en términos relativos. Esta proporción de aeronaves sigue aparentemente el principio de Pareto, lo cual podría ser considerado para una futura investigación.

La relevancia del tamaño de las aeronaves para determinar la prioridad de atención en las líneas de espera fue probada midiendo el coeficiente de correlación Spearman (R) del tamaño de las aeronaves, en términos de su peso de despegue máximo certificado versus la prioridad de atención. Por otra parte, se observó que con objeto de obtener el costo de operación mínimo, la clase de aeronaves pesadas siempre tuvo prioridad sobre las clases grande y pequeña; y que la clase grande tuvo prioridad sobre la pequeña.

Discusión

Es importante señalar que la estrategia propuesta no reduce el tamaño de las colas, sólo reordena la secuencia de atención para reducir los costos de operación y las demoras de los pasajeros.

De acuerdo con los resultados es evidente que con objeto de reducir los costos de operación y las demoras, las aeronaves más grandes deben ser atendidas primero y las más pequeñas al final. Esto genera dos importantes implicaciones. Por un lado, esta condición promueve la utilización de aeronaves más grandes, debido a que éstas tendrían la ventaja de ser atendidas al inicio.

Por otro lado, la utilización de aeronaves de grandes dimensiones aunque puede disminuir la congestión en las pistas, también puede propiciar la saturación de otras instalaciones dentro del aeropuerto, como por ejemplo, el área de reclamo de equipaje (Chiu y Walton, 2003). Por lo tanto, la aplicación de la estrategia propuesta debe considerar este problema potencial.

Observe que el tiempo total de servicio representa el valor máximo que una aeronave debe esperar antes de ser atendida. En consecuencia, este valor podría servir como referencia para determinar si la estrategia propuesta debe ser aplicada o no. Por ejemplo, si una aeronave no debe ser demorada más de 15 minutos, es posible aplicar la estrategia para líneas de espera de hasta 10 aeronaves.

Conclusiones

Los resultados mostraron que al aplicar la estrategia propuesta puedan ser alcanzadas reducciones significativas de hasta un 47.6% en los costos de operación y de un 73.2% en las demoras de los pasajeros. Los beneficios obtenidos dependen de la proporción de las distintas clases de aeronaves, clasificadas por estela de turbulencia. En general, los mayores beneficios fueron obtenidos cuando hay una mezcla de diferentes clases y cuando se presenta una proporción de 40% de aeronaves pequeñas y 60% de pesadas. Como resultado, al aplicar la estrategia propuesta es posible obtener beneficios significativos tanto para las aerolíneas como para los pasajeros.

Se observó que con objeto de reducir los costos de operación y las demoras, las aeronaves de mayores dimensiones deben ser atendidas al inicio, y las más pequeñas al final. Esta condición promueve la utilización de aeronaves de grandes dimensiones, lo cual podría congestionar otras instalaciones dentro del aeropuerto, como por ejemplo, el sistema de reclamo de equipaje.

Aunque los beneficios potenciales de aplicar la estrategia propuesta fueron cuantificados, se requieren posteriores trabajos de investigación con objeto de vincular la estrategia con un modelo de simulación que permita calcular los beneficios, no sólo en un tamaño específico de línea de espera, sino en la operación diaria de un aeropuerto para obtener información que soporte la implementación de la estrategia.

Referencias

- Chiu Chiung-Yu and Walton C. Michel (2003). Impacts of new large aircraft on passenger flows at international airport terminals. Research Report SWUTC/03/167530-1.
- Southwest Region University Transportation Center. Center for Transportation Research. University of Texas at Austin. Austin, Texas. USA.
- Federal Aviation Administration (FAA) (2010). Air Traffic Control. JO 7110.65T. U.S. Department of Transportation. Effective Date: February 11, 2010.
- Flores Fillol Ricardo (2010). Congested hubs. Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 44, Issue 3, March. Pergamon Press, U.K.
- Hamzawi Salah G. (1992) Lack of airport capacity: Exploration of alternative solutions. Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol. 26A, No. 1, January. Pergamon Press, U.K.
- Herrera García Alfonso. (2011). Estrategia para minimizar los costos de operación de las aeronaves y las demoras de los pasajeros en aeropuertos saturados. Publicación Técnica No 343. Instituto Mexicano del Transporte. México.
- International Civil Aviation Organization (ICAO) (1996). Procedures for Air Navigation Services, Rules of the Air and Air Traffic Services (PANS-RAC). Doc. 4444-RAC/501.
- ICAO (2000). ALLPIRG/4-WP/28 Appendix. Summer 2000. Available at: www.icao.int/icao/en/ro/allpirg/allpirg4/wp28app.pdf (consultada en febrero de 2010).
- Janic Milan (2009). Concept for Prioritizing Aircraft Operations at Congested Airports. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2106, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009, pp. 100-108.
- Lee Hanbong. (2008). Tradeoff evaluation of scheduling algorithms for terminal-area air traffic control, thesis (S.M.). Massachusetts Institute of Technology, Department of Aeronautics and Astronautics.
- Roosens Paul (2008). Congestion and Air Transport: a challenging phenomenon. EJTIR, 8 No. 2, pp. 137-146.
- Soomer M.J. and Koole G.M. (2008). Fairness in the Aircraft Landing Problem. VU University and National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, the Netherlands.
- Wen M. (2005). Algorithms of Scheduling Aircraft Landing Problem, MSc thesis. Technical University of Denmark, (DTU).
- www.iata.org. The jet fuel price index is available at: http://www.iata.org/whatwedo/economics/fuel_monitor/price_development.htm (consultada en febrero de 2010).

HERRERA Alfonso
aherrera@imt.mx
MORENO Eric
emoreno@imt.mx

PRUEBAS ÍNDICE PARA VERIFICAR LA EFECTIVIDAD DE UN ESTABILIZANTE QUE POTENCIALIZA LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

Introducción

La construcción de un camino secundario o de una carretera de altas especificaciones requiere como principal insumo una serie de materiales de diferentes calidades. Estos pueden acarrear de bancos aledaños a la obra o pueden ser producto de los cortes o excavaciones que se realicen a lo largo del trazo del proyecto.

De acuerdo con las especificaciones de construcción de carreteras, los materiales que se coloquen en las capas de terraplén, subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica deberán de cumplir con los requisitos especificados en las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Es importante hacer énfasis en que lo deseable es que se puedan utilizar los materiales que se van encontrando a lo largo del trazo del camino o carretera para evitar costos de acarreo, sin embargo, esto no siempre es posible, ya que en muchas ocasiones los materiales no cumplen con los requisitos de calidad. En respuesta a esto, se han puesto a disposición del constructor varios productos estabilizantes que de acuerdo con el productor mejoran las propiedades de los materiales que no cumplen con los requisitos de calidad. Estos se clasifican en productos tradicionales (cemento, cal, cenizas volcánicas, etc.) y no tradicionales (polímeros, enzimas, agentes iónicos, etc). No obstante, antes de decidir mezclar el material de construcción con un cierto producto habrá que responder preguntas como: ¿Cuáles son las ventajas del producto? ¿Cuáles son las propiedades que mejora? ¿En qué medida se presenta el

cambio de propiedades mecánicas? ¿Cuál es la cantidad de aditivo que se debe agregar al material?, etc.

En este artículo se comparan los resultados de especímenes de arcilla estabilizados con cemento y otros estabilizados con cemento y un aditivo que potencializa las propiedades del cemento (de acuerdo con información del fabricante).

Propiedades a evaluar durante la verificación del comportamiento de los materiales estabilizantes

Las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes requieren que los materiales de construcción de carreteras cumplan con propiedades como:

- Granulometrías
- Límites de consistencia
- Expansión
- Valor relativo de soporte
- Equivalente de arena
- Desgaste de Los Ángeles, etc.

Las propiedades a cumplir dependen de si los materiales serán colocados en las capas inferiores (subyacente, terraplén, subrasante) o superiores (subbase, base y carpeta asfáltica).

Entonces, para evaluar el comportamiento de una mezcla suelo-producto estabilizante, es común que las propiedades más estudiadas sean los límites de consistencia, la expansión y el valor relativo de soporte.

En la literatura se han reportado varios estudios sobre estabilización de materiales.

En estas investigaciones se proporcionan resultados de resistencia a la compresión simple (Geiman, 2005), módulo de resiliencia (Pérez y Garnica, 2011), valor relativo de soporte (Pérez y Garnica, 2011), etc, sin embargo, las propiedades como resistencia a la compresión no confinada y el módulo de resiliencia se llevan a cabo en equipos costosos que no todos los laboratorios tienen disponibles. Existen otras pruebas como la de humedecimiento-secado y desgaste de los Ángeles que no requieren del uso de equipos tan complejos y que se pueden llevar a cabo en cualquier laboratorio de materiales. Estas pruebas pueden ser un indicador de cómo se comporta la mezcla suelo-aditivo. Los resultados de este tipo de pruebas son las que se reportan en este trabajo.

Propiedades índice del material estudiado

Arcilla en estado natural

Cualquiera de los materiales que se colocan en la estructura del pavimento pueden ser candidatos a ser estabilizados (exceptuando el material de la carpeta asfáltica), sin embargo, en este trabajo se utilizó un material clasificado como arcilla de alta compresibilidad según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Es frecuente que este tipo de material se encuentre en el terreno de cimentación de cualquier proyecto carretero, pero también es cierto que es uno de los menos deseables por presentar características de expansión

y contracción cuando sufre cambios en su contenido de agua. Por lo tanto, es uno de los materiales que se eligen para verificar la efectividad de ciertos productos estabilizantes.

La Tabla 1 resume las propiedades índice de este material así como las características de compactación del material en estado natural.

Curva de compactación de la arcilla estabilizada con cemento y aditivo

Los especímenes de prueba se compactaron con un peso volumétrico seco máximo (γ_{dmax}) y con contenido de agua óptimo (w_{opt}) de acuerdo con la norma ASTM D1557, por lo tanto, el primer paso de la investigación fue la determinación de la curva de compactación del material estabilizado con cemento y aditivo (la curva de compactación sólo con cemento se consideró igual a la de cemento y aditivo). De acuerdo con los resultados de la prueba, el contenido de agua óptimo fue de 27 % con un peso volumétrico seco máximo de 13.92 kN/m³ (Figura 1).

Preparación de los especímenes para las pruebas de humedecimiento-secado y de desgaste de Los Ángeles

El compactador giratorio (Figura 2) es un equipo utilizado en la preparación de especímenes de asfalto, pero en esta investigación se usó para preparar especímenes cilíndricos de suelo de 6.6 cm de espesor y 10 cm de diámetro.

Tabla 1
Resumen de las propiedades índice y propiedades de compactación

Clasificación SUCS	Límites de Atterberg			Pasa malla No. 200 (%)	G _s	Características de compactación (ASTM D 1557)	
	LL (%)	LP (%)	IP (%)			W _{opt} (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)
CH	55	30	25	81.4	2.59	30.5	13.69

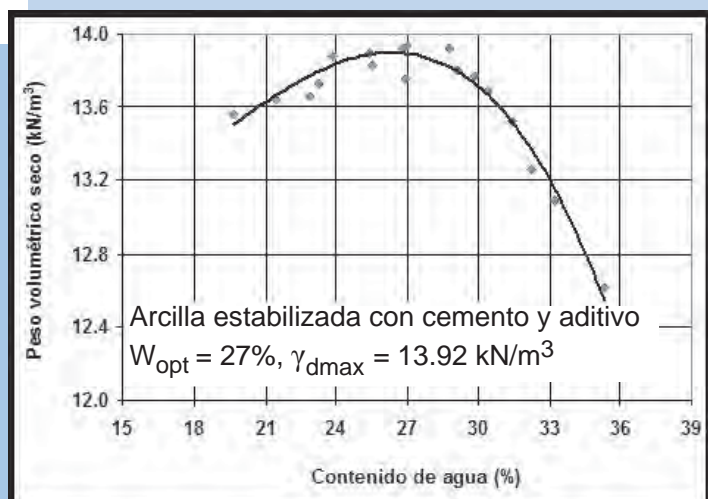


Figura 1
Curva de compactación Proctor modificada de la mezcla arcilla-aditivo-cemento

El control de la compactación se puede llevar a cabo haciendo variar la presión vertical, ángulo de giro, velocidad de aplicación de los giros, altura del espécimen y número de giros. En este caso, los especímenes se compactaron con una presión vertical de 600 kPa, 1.25° de ángulo de giro, 30 giros/minuto y el número de giros fue tal que la altura del espécimen fuera de 6.6 cm.

Una vez que se definió la forma de compactación, se siguieron los siguientes pasos para la preparación de los especímenes de prueba:

1. Se cribó el suelo por la malla No. 4 y se dejó secar a temperatura ambiente.
2. Se pesó la cantidad de suelo necesario para la preparación de un espécimen.
3. Para el caso de las muestras que sólo fueron estabilizadas con cemento, el material se mezcló con 8 % de cemento y con la correspondiente cantidad de agua para alcanzar el contenido de agua óptimo (se permitió una variación de ± 0.5 %).
4. Para el caso de suelo estabilizado con cemento y con aditivo, primeramente se

mezcló el suelo con el 0.3 % de aditivo y posteriormente con 8% de cemento; luego se mezcló con el agua necesaria para alcanzar el contenido de agua óptimo.

5. Una vez mezclado el suelo con cemento o con cemento y aditivo, se compactó en el equipo giratorio. El equipo terminó el proceso cuando la altura del espécimen era de 6.3 cm. La cantidad de material colocada en el molde fue tal que se alcanzara el peso volumétrico seco máximo (en este caso también se permitió una variación de ± 1 %).

6. Después de compactar los especímenes, algunos se ensayaron inmediatamente (tiempo de curado = 0 días) y otros se colocaron en un cuarto húmedo hasta que cumplieron con el tiempo de curado (1, 3, 7, 14, 28 y 90 días).

Procedimientos de prueba

Prueba de humedecimiento-secado

Para esta prueba, después de que los especímenes alcanzaron su tiempo de curado se sometieron a 7 días de saturación, se sacaron del agua y se observó el grado de disgregación. Posteriormente se secaron durante 7 días (un ciclo se consideró formado por 7 días de saturación y 7 de secado). Durante el tiempo de secado también se observó si aparecían agrietamientos o si se presentaba disgregación. En esta prueba la evaluación sólo fue visual, pero aun así se obtuvo un indicador del comportamiento de la mezcla suelo-cemento o suelo-cemento-aditivo.

Prueba de desgaste en la máquina de Los Ángeles

La prueba de Los Ángeles se usa para determinar el desgaste de materiales granulares, sin embargo, en este caso se decidió usarla como una prueba para evaluar el desgaste que sufren las probetas de suelo

estabilizadas con cemento o con cemento y aditivo. El procedimiento de prueba fue el siguiente:

Después de que las muestras se compactaron a peso volumétrico seco máximo y contenido de agua óptimo, se colocan en el cuarto húmedo hasta que cumplieran su tiempo de curado. Posteriormente, se colocaron en la máquina de Los Ángeles junto con 8 esferas de acero y se aplicaron 500 revoluciones (Figura 2). Antes de iniciar la prueba y al final de la misma se registró la masa de la probeta. El porcentaje de desgaste se calculó como la relación entre la masa perdida y la masa inicial de la probeta.



Figura 2

(a) Muestra colocada en la máquina de Los Ángeles junto con las esferas de acero al inicio de la prueba; (b) Probeta después de aplicar las 500 revoluciones

Tiempo de curado: 0 días

El comportamiento en cero días de curado mostró que después de compactar las muestras y saturarlas durante 7 días, las probetas estabilizadas con cemento se disgregan y las estabilizadas con cemento y aditivo sufren cambios mínimos, de hecho, las muestras parecen conservar sus dimensiones como se observa en la Figura 3. Las muestras 153, 154 y 155 corresponden a las estabilizadas con cemento y aditivo y las restantes a las estabilizadas sólo con cemento.



Figura 3

Apariencia de los especímenes con tiempo de curado de 0 días después de haber sido saturados durante 7 días

Para el segundo ciclo de humedecimiento y secado, las probetas estabilizadas con cemento y aditivo mostraron algo de deterioro, sin embargo, en las estabilizadas con cemento el grado de disgregación ya era muy importante (Figura 4). Nótese que la muestra 153 que fue estabilizada con cemento y aditivo aún permanece completa y presenta muy poco deterioro con respecto a la 154 y 155 que si presentan disgregación.



Figura 4

Apariencia de los especímenes con tiempo de curado de 0 días (segundo ciclo)

Re:Resultados

Pruebas de humedecimiento-secado

Como ya se describió en el inciso de procedimientos de prueba, en las pruebas de humedecimiento y secado no se tomó ningún dato cuantitativo. Todo lo que se describe en este inciso es resultado de las observaciones que se realizaron a los especímenes ensayados.

El análisis se llevó a cabo para probetas con tiempo de curado de 0, 1, 3, 7 y 14 días de curado. A continuación se describe el comportamiento con la ayuda de la fotografías.

En el tercer ciclo de humedecimiento y secado, las probetas estabilizadas con cemento siguieron disgregándose al igual que las estabilizadas con cemento y aditivo, sin embargo, una característica de las estabilizadas con cemento y aditivo es que el deterioro se presentó en forma de láminas mientras que las muestras estabilizadas sólo con cemento se disgregaron en forma de grumos (Figura 5).



Figura 5

Muestras estabilizadas con cemento y aditivo

Finalmente, en el cuarto y último ciclo, dos de las muestras estabilizadas con aditivo tienden a conservar parte de su forma mientras que las de cemento tienen una forma redonda ya que perdieron bastante material por la disgregación que sufrieron (Figura 6).



Figura 6

(a) Muestras estabilizadas con cemento y aditivo; (b) Muestras estabilizadas con cemento

Tiempo de Curado: 1 día

Las probetas para humedecimiento y secado para tiempo de curado de 1 día fueron las siguientes:

Arcilla estabilizada con cemento
228, 229 y 230

Arcilla estabilizada con cemento y aditivo
225, 226 y 227

Después de que los especímenes fueron compactados, se dejaron en el cuarto de curado durante un día. Después de esto, se llevó a cabo el procedimiento descrito para las muestras 153 a 158.

En este caso, las muestras ya sea estabilizadas con cemento o con cemento y aditivo no muestran ningún grado de desintegración, es decir, parece ser que la mezcla compactada sólo requiere de unas horas de reposo para que se presenten las reacciones, de tal forma que la resistencia del material a la desintegración se incrementa (Figura 7).



Figura 7

(a) Muestras estabilizadas con cemento y aditivo después de haber sido saturadas durante siete días; (b) Muestras estabilizadas con cemento después de haber sido saturadas durante siete días

Para los ciclos posteriores, las probetas en ambas condiciones no presentan desintegración, pero durante el ciclo de secado mostraron agrietamiento en la superficie, que es ligero con respecto al que presentaría el material en estado natural (Figura 8).

Los resultados para 3, 7 y 14 días de curado no se presentan ya que mostraron un comportamiento similar al que se describió para los especímenes con 1 día de curado.

Desgaste en la máquina de Los Ángeles

Esta prueba es una forma de mostrar el desgaste de un material en condiciones aceleradas y generalmente se aplica a materiales granulares (Prueba de Los Ángeles) y a probetas de asfalto (prueba de

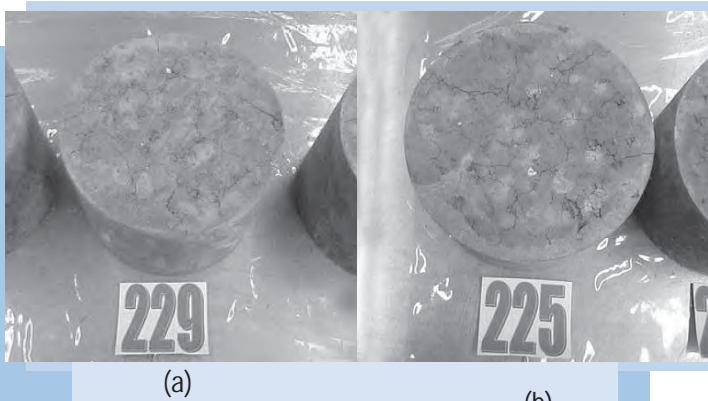


Figura 8

(a) Agrietamiento en la superficie de la muestra estabilizada con cemento y aditivo; (b) Agrietamiento de la muestra estabilizada con cemento

Cantabro), pero en este caso se utilizó para ensayar las probetas de arcilla estabilizada.

Los datos de esta prueba indican que el desgaste que sufren las probetas estabilizadas con cemento y aditivo es menor al que sufren las estabilizadas con cemento. Por ejemplo, para tres días de curado, el espécimen estabilizado con cemento muestra un desgaste de aproximadamente 88 % mientras que el que se estabilizó con cemento y aditivo indica un desgaste de 85 % (Figura 9).

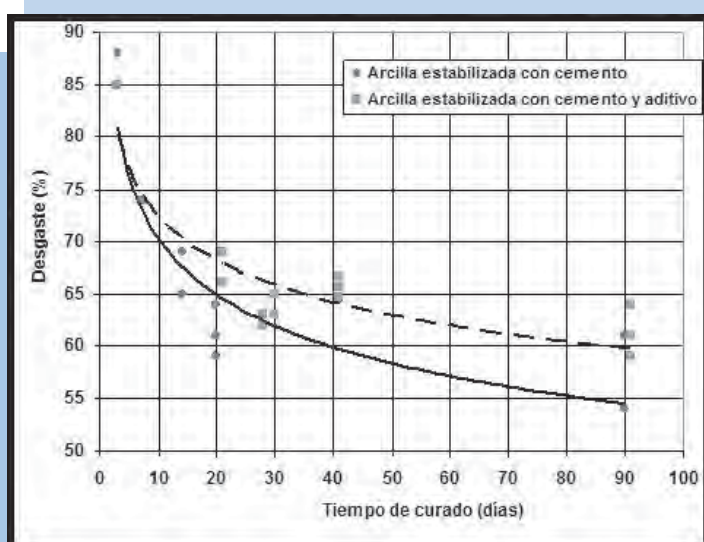


Figura 9

Curvas tiempo contra porcentaje de desgaste de probetas estabilizadas con cemento y con cemento y aditivo

Por otro lado, es importante aclarar que los datos muestran dispersión importante, por lo que es recomendable que las pruebas se lleven a cabo con un mayor número de réplicas de tal forma que la incertidumbre del resultado se pueda reducir.

Conclusiones

El tipo de pruebas a realizar en el estudio de estabilizantes depende en gran medida de las propiedades que mejoren el aditivo en estudio. En este documento se presentaron dos pruebas que se consideran simples y que pueden ser utilizadas para evaluar el comportamiento suelo-aditivo.

Las pruebas de humedecimiento-secado a 0 días de tiempo de curado parecen mostrar que la mezcla suelo-cemento-aditivo desarrolla inmediatamente ligas en la mezcla, puesto que al ser sometida a saturación no se presenta disgregación inmediata de los especímenes, no así los especímenes estabilizados con cemento. Los Ángeles también muestra que el desgaste de los especímenes estabilizados con cemento y aditivo es menor a los especímenes estabilizados sólo con cemento. Sin embargo, se recomienda ensayar un mayor número de réplicas para obtener relaciones desgaste-tiempo de curado con menor incertidumbre.

Referencias

1. Reporte de investigación del proyecto IE-11/09. 6 de Septiembre del 2010.
2. Geiman, C.M. (2005). Stabilization of soft clay subgrades in Virginia Phase I Laboratory Study. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.

PÉREZ Natalia
nperez@imt.mx
GARNICA Paul
pgarnica@imt.mx
RANGEL Daniel
jrangel@imt.mx

GLOSARIO

Artículo 1:

Algoritmo heurístico: Un algoritmo es un conjunto ordenado de instrucciones o reglas que permiten realizar una actividad mediante pasos sucesivos. A partir de un estado inicial y siguiendo los pasos establecidos se llega a un estado final y se obtiene una solución. Los objetivos fundamentales en la solución de problemas mediante la aplicación de algoritmos son obtener tiempos de ejecución prácticos y valores óptimos. Sin embargo, un algoritmo heurístico abandona uno o ambos objetivos; por ejemplo, normalmente encuentra buenas soluciones, aunque no hay pruebas de que la solución no pueda ser arbitrariamente errónea en algunos casos; o se ejecuta rápidamente, aunque tampoco existen pruebas de que siempre será así. Las heurísticas generalmente son usadas cuando no existe una solución óptima bajo las restricciones establecidas.

Congestión aeroportuaria: Problema que se presenta en los aeropuertos cuando la demanda de servicio se acerca a la capacidad máxima del sistema. Se manifiesta por incrementos

significativos en los tiempos y líneas de espera.

Artículo 2:

Cemento: Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene propiedad de endurecer al contacto con el agua.

Estabilización: Proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades.

Módulo de resiliencia: Se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido dividido entre la deformación axial recuperable.

Polímero: Son materiales tanto de origen natural como sintético, formados por moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas.

Valor relativo de soporte: Es la relación de las resistencias en porcentaje del material en estudio y de un material estándar a ser penetrados por un cilindro metálico de 19.35 cm².

PROYECTO EN MARCHA

Estudio del transporte en la Región Centro-Occidente de México

El estudio se ubica dentro de la línea de investigación denominada transporte y desarrollo regional, con el se pretenden dimensionar la magnitud y principales características del complejo sistema de transporte que se ha desarrollado para atender las necesidades de movimiento que suponen la población y las actividades económicas de

las diferentes y complementarias sub-regiones que componen la región Centro-Occidente.

El proyecto tiene como principal finalidad la de realizar y divulgar un diagnóstico general de las condiciones del sistema de transporte en el contexto económico y social específico que muestra la región económica Centro-

Occidente. Así, se desea proporcionar, a los tomadores de decisión correspondientes, la información básica para la planeación y diseño del sistema de transporte en la Región Centro-Occidente, generando, en particular, una metodología de análisis que permita estimar la demanda de transporte de pasaje y carga, que posibilite una preliminar identificación de alternativas de solución de libramientos y accesos para las zonas metropolitanas de la región, en el mediano y largo plazo.

El desarrollo de una primera etapa del estudio, ha implicado la realización de diversas actividades como son la delimitación del área de estudio, el área de influencia y segmentación geográfica de la misma, la descripción de la distribución de la población y sus principales actividades económicas, incluyendo un diseño preliminar de escenarios prospectivos basados en las tendencias simples de crecimiento de la población y el PIB (por segmentos geográficos).

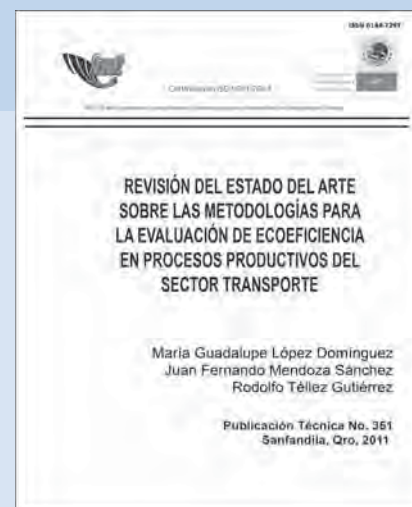
Una vez realizada dicha recopilación, selección y homogeneización de la información sobre la demanda actual de transporte, la infraestructura existente, y de las principales propuestas de proyectos de obras de infraestructura, se ha procedido a realizar las siguientes tareas: validación de la cobertura en la información, la caracterización de tendencias, patrones, y variables estratégicas del sistema regional de transporte, de tal manera que se pueda tener una primer identificación de problemas de capacidad. Con todo lo anterior, se culminará con la elaboración de recomendaciones de política sectorial regional y la definición de nuevos proyectos específicos de investigación.

HERNÁNDEZ Salvador
chava@imt.mx

PUBLICACIÓN

Revisión del estado del arte sobre las metodologías para la evaluación de ecoeficiencia en procesos productivos del sector transporte

En la **Publicación Técnica 351** se describen las principales metodologías de ecoeficiencia de manera general y se incluyen casos de estudio sobre proyectos a nivel internacional donde se han empleado técnicas de ecoeficiencia para la valoración ambiental sobre análisis de ciclo de vida, comparación sobre metodología en mezclas asfálticas, aplicación de herramientas informáticas y sobre la mejora de mantenimiento superficial de caminos; buscando la reducción en el consumo de energía, extracción de materiales y principalmente la reducción de gases de efecto invernadero emitidas (equivalente de dióxido de carbono).



Se puede consultar de forma gratuita en la página del Instituto: <http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/>

EVENTOS ACADÉMICOS

IMT: XXV Aniversario

En ocasión de la celebración del vigésimo quinto aniversario de creación del IMT, el pasado 15 de junio del presente año en donde nos honramos de contar con la presencia de invitados especiales, algunos de los cuales estuvieron en el presidium como el M. en C. Joaquín Contreras López (Director de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo), el Ing. Ángel Ramírez Vázquez (Director General del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro), el Ing. Óscar de Buen Richkarday (Consultor), el Ing. Juan Manuel Orozco y Orozco (Consultor), el Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro (Coordinador de Innovación y Desarrollo de la UNAM) quien ofreció la conferencia magistral "La Importancia de la Ingeniería para el Futuro de México", en ella destacó la ingeniería como una profesión al servicio de la sociedad, de la competitividad y la innovación en el país y su papel en el desarrollo de tecnología nacional, asimismo presentó aspectos de la calidad del sistema educativo mexicano y de la situación de la ingeniería de México. Resaltó la importancia del desarrollo de la infraestructura como factor de producción y de un ambiente tecnológico apropiado para la eficiencia de los procesos y la innovación, entre los principales pilares de la competitividad de los países, según el Foro Económico Mundial.

En la misma ocasión, se hizo un homenaje al M en C. Modesto Armijo Mejía, ingeniero de puentes, carreteras, plantas hidroeléctricas y acueductos, en doce naciones del continente. El quinto módulo de investigación del IMT fue nombrando en honor al Maestro Armijo, para

conmemorar su prolífica carrera en beneficio de la infraestructura del transporte en México, ya que encabezó a los equipos de diseño de más de 100 puentes en el país, muchos de los cuales fueron especialmente innovadores en su momento, tales como el Tampico, Mezcala, Espinosa, García Sela, Papagayo, Nuevo Texcapa, Belisario Domínguez, Carrizo y Pueblo Nuevo.

Fue un honor para la comunidad del IMT, que tan distinguidos miembros del gremio ingenieril de México aceptaran festejar los primeros 25 años de existencia de este centro de trabajo dedicado a mejorar la seguridad, la calidad y la competitividad del transporte y su infraestructura en nuestro país.

Para mayor información del evento, lo invitamos a visitar nuestro sitio web: www.imt.mx



DIRECTORIO

Ing. Roberto Aguerrebere Salido
Director General
 (442) 2 16 97 77 ext. 2001
 roberto.aguerrebere@imt.mx

Ing. Jorge Armendariz Jiménez
Coordinador de Administración y Finanzas
 (442) 2 16 97 77 ext. 3057
 jorge.armendariz@imt.mx

Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez
Coordinador de Normativa para la Infraestructura del Transporte
 (55) 52 65 36 00 ext. 4314
 alfonso.elizondo@imt.mx

M. en E. Victor Manuel Islas Rivera
Coordinador de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional
 (442) 216 97 77 ext. 2018
 victor.islas@imt.mx

Dr. Carlos Daniel Martner Peyrelongue
Coordinador de Integración del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2007 martner@imt.mx

Dr. Miguel Martínez Madrid
Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural
 (442) 216 97 77 ext. 2010
 miguel.martinez@imt.mx

Dr. Alberto Mendoza Díaz
Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte
 (442) 216 97 77 ext. 2014
 alberto.mendoza@imt.mx

M. en C. Tristán Ruíz Lang
Coordinador de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales
 (442) 216 97 77 ext. 2005
 tristan.ruiz@imt.mx

M. en C. Rodolfo Téllez Gutiérrez
Coordinador de Infraestructura
 (442) 216 97 77 ext. 2016
 rodolfo.tellez@imt.mx

El diseño y elaboración de la presente publicación es realizada y está a cargo de:

M. en D.G. Alejandra Gutiérrez Soria
 (442) 216 97 77 ext. 2056 agutierrez@imt.mx

INFORMACIÓN Y CONTACTOS**CURSOS INTERNACIONALES IMT**

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), a través de su Unidad de Servicios Académicos, hace una cordial invitación a los profesionales interesados en participar en los cursos que ofrece dentro del programa de capacitación IMT; el cual se publica en la página web:

<http://imt.mx/Espanol/Capacitacion/>

PUBLICACIONES, BOLETINES Y NORMAS

En dicha página web pueden consultarse sus publicaciones completas, los boletines externos "NOTAS" anteriores y las nuevas normas técnicas, ingresando a los enlaces siguientes:

<http://imt.mx/Espanol/Publicaciones/>

<http://boletin.imt.mx/>

<http://normas.imt.mx/>

INFORMES:

Tels: (442) 216 97 77, 216 97 44
 216 96 57 ext. 2034 y 2031

Fax: 216 97 77 ext. 3037

Correo: publicaciones@imt.mx

Electrónico: capacitación@imt.mx

Para cualquier comentario o sugerencia con respecto, a esta publicación o ejemplares pasados, nos podrá contactar en: notas@imt.mx

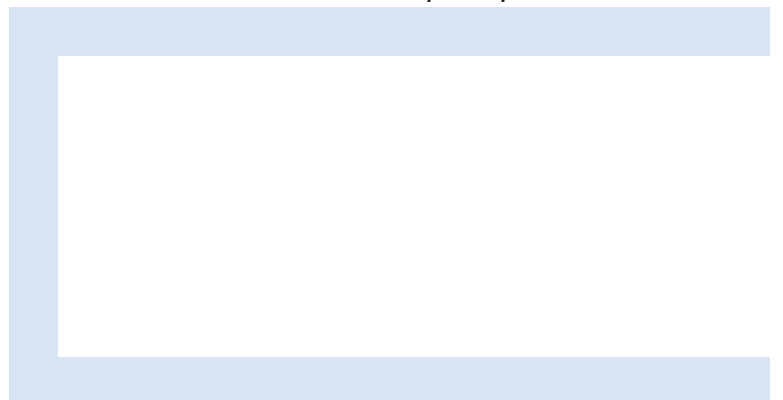
El contenido de los artículos aquí publicados es responsabilidad exclusiva de sus autores; por tanto, no refleja necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

Se autoriza la reproducción parcial o total de los artículos contenidos en este ejemplar, siempre y cuando sean citados como fuente los nombres de autor (es), título del artículo, número y fecha de este boletín.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
APARTADO POSTAL 1098
76000 QUERÉTARO, QRO
MÉXICO

Registro Postal
Cartas
CA22-0070
Autorizado por Sepomex



POR AVIÓN
AIR MAIL