



# UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U. N. A. M.

ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LA  
CONSTRUCCION DE UNA PISTA NUEVA  
Y LA REHABILITACION DE LA EXISTENTE  
EN EL AEROPUERTO DE LA CIUDAD  
DE MEXICO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
ERNESTO BAÑUELOS ITT

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TEMARIO

|  | PAG. |
|--|------|
| INTRODUCCION                                       | 1    |
| I. ESTUDIO DE PLANEACION.                          | 2    |
| II. ANTECEDENTES DE LA PISTA OSD -231.             | 16   |
| III. COMPORTAMIENTO DE LA PISTA<br>OSD -231.       | 20   |
| IV. ALTERNATIVAS DE REHABILITACION.                | 27   |
| V. PRESUPUESTO Y DURACION DE LAS<br>ALTERNATIVAS.  | 35   |
| VI. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS<br>ALTERNATIVAS. | 43   |
| VII. EVALUACION DE PROYECTOS.                      | 46   |
| VIII. TOMA DE DECISIONES.                          | 52   |
| CONCLUSIONES                                       | 64   |
| ANEXO  | 66   |
| FIGURAS  | 68   |
| BIBLIOGRAFIA.                                      | 75   |

## I N T R O D U C C I O N

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se encuentra en la zona del lago de Texcoco, que se caracteriza por su notable compresibilidad, aún bajo pequeños incrementos de presión, es por ello que la conservación de la pista 05D-23I al igual que la de buena parte de los elementos de operación terrestre del aeropuerto, ha sido motivo de periódicas rehabilitaciones en cuanto al pavimento se refiere, con el fin de corregir las distorsiones sufridas en la superficie de rodamiento, atribuibles a la acumulación de hundimientos diferenciales que a través del tiempo se vienen sucediendo.

El lapso entre las rehabilitaciones efectuadas se ha ido acortando a través del tiempo, los intervalos que hasta una década atrás eran de cuatro años, han sido reducidos en la actualidad a tan sólo dos, y en un futuro podrían reducirse más.

El principal objetivo de la presente tesis es el de valorar el comportamiento que ha tenido la pista a lo largo de 47 años de servicio y analizar las posibilidades de emprender una rehabilitación más duradera.

**CAPITULO I**  
**ESTUDIO DE PLANEACION**

La variable de mayor importancia es la meteorología, ya que define la dirección de la pista y su longitud.

La meteorología es un pronóstico de desarrollo de la atmósfera, toma en cuenta a la lluvia, las nevadas, el viento, el estado del mar, la temperatura, la niebla, el soleamiento y el índice de confort.

La aviación es quien más requiere de la meteorología debido a que es en la atmósfera donde se desarrolla.

Los mapas de tiempo significativo dan información del tiempo en ruta o trayectoria de vuelo (nubosidad, precipitación, engelamiento, turbulencia y viento).

El pronóstico del aeródromo da información para el aterrizaje en el aeropuerto de destino y los alternos en caso de emergencia.

Anemocinemógrafo: registra dirección y velocidad del viento.

Higrotermógrafo: registra humedad y temperatura.

Pluviógrafo: registra velocidad de precipitación.

Proyector de Techo: registra altura de las nubes.

El análisis de vientos se realiza a través de la rosa

de los vientos, que es una representación gráfica de la forma en que inciden los vientos en el lugar de estudio, componiéndose el análisis de rosa de vientos directos y rosa de vientos cruzados.

Este análisis de vientos indica la dirección que debe tener la pista y se calcula como sigue: (ver anexo 1).

- 1o. Graficar las direcciones y velocidades de los vientos procedentes de anemocinógrafo.
- 2o. Clasificar esta información de acuerdo a la dirección.

3°. Clasificar cada dirección en:

Viento en calma: velocidad de 0 a 4.8 km/hr  
(0 a 2.6 nudos)

Viento rango I: 4.9 a 24 km/hr  
(2.7 a 13 nudos)

Viento rango II: 24.1 a 48.3 km/hr  
(13.1 a 26 nudos)

Viento rango III: mayor a 48.3 km/hr  
(mayor a 26 nudos)

4°. Vaciar datos a hoja "selección manual de datos"

5°. Sumar total de lecturas de cada dirección.

6°. Con los resultados se procede a dibujar la rosa de los vientos directos y cruzados del aeródromo en --  
cuestión.

A continuación se presentan la rosa de vientos directos y la rosa de vientos cruzados del Aeropuerto de la Ciudad de México.

La tabla de rosa de vientos directos indica la construcción de una pista de dirección 04 - 22.

En la Ciudad de México se construyó la pista en direco



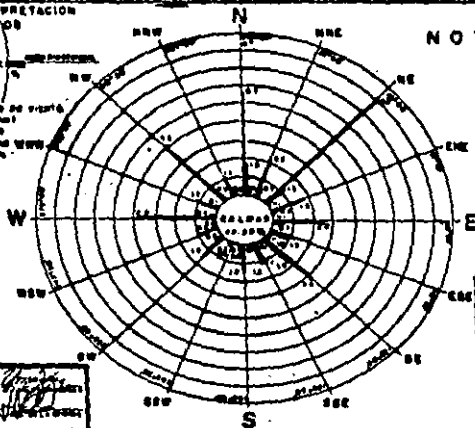
TABLA DE PORCENTAJE DE VIENTOS DIRECTOS SUJETOS EN CADA UNA DE LAS DIRECCIONES DE PISTA MARCADAS

| DIRECCION DE LA PISTA   | 01-05 | 06-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 | 31-35 | 36-40 | 41-45 | 46-50 | 51-55 | 56-60 | 61-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | 81-85 | 86-90 | 91-95 | 96-100 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| % de Vientos Directos   | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00  |
| % de Vientos Indirectos | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00  |
| Total                   | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00  |

DIAGRAMA PARA INTERPRETACION  
ROSA DE VIENTOS



CONVERSIONES DE INTENSIDAD DE VIENTO  
1 KNOTO ES IGUAL A 0.5144 M/S  
1 M/S ES IGUAL A 1.944 KNOTS



NOTAS:

PERIODO DE OBSERVACIONES DEL  
MES DE ENERO DE 1966 AL MES  
DE DICIEMBRE DE 1967, CON UN  
PROGRAMA DE RECOLECCION BASADO  
CON DATOS PROPORCIONADOS  
POR LA CIA MEXICANA DE  
AVIACION

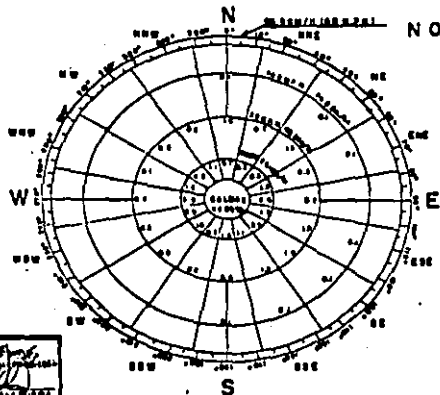
LOS NUMEROS QUE APARECEN EN  
EL CENTRO DE LAS CARRAS IN-  
DICAN EL PORCENTAJE DE VIENTOS  
DE ESA DIRECCION.

Elaborado por el Sr. [Signature]  
Revisado por el Sr. [Signature]  
Fecha: 15 de Mayo de 1968

S. O. P.  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
Oficina de Proyectos de Aeropuertos  
AEROPUERTO DE LA CD. DE MEXICO  
ROSA DE VIENTOS DIRECTOS  
Elaborado por el Sr. [Signature]  
Revisado por el Sr. [Signature]  
Fecha: 15 de Mayo de 1968  
Hoja No. 8208

TABLA DE PORCENTAJE DE VIENTOS CRUZADOS CUBIERTOS EN CADA UNA DE LAS DIRECCIONES DE PISTA INDICADAS.

| DIRECCION DE LA PISTA  | 0-10 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 | 81-90 | 91-100 | 11-10 | 12-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 | 81-90 | 91-100 |     |     |     |
|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|-----|-----|
| Norte del eje de pista | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    |     |     |     |
| Norte del eje de pista | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0 |     |     |
| Sur del eje de pista   | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0 | 0.0 |     |
| Total General          | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0 | 0.0 | 0.0 |



NOTAS:

PERIODO DE OBSERVACIONES DEL MES DE ENERO DE 1964 AL MES DE DICIEMBRE DE 1965, CON UN PROMEDIO DE 24 LECTURAS DIARIAS, CON DATOS PROPORCIONADOS POR LA COMPAÑIA MEXICANA DE AVIACION

*[Handwritten signatures and stamps]*  
 DIRECTOR GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 SISTEMA DE PROYECTOS AERONAUTICOS

S. O. P.  
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 SISTEMA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
 AEROPUERTO DE LA CD. DE MEXICO  
 ROSA DE VIENTOS CRUZADAS

*[Handwritten signature]*  
 DIRECTOR GENERAL  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
 MEXICO, D.F. EN 1967. (Folio No. 6304)

ción 05 - 23 (dentro de la tolerancia) debido a los obstáculos que se presentan en la dirección 04 - 22 y a los problemas que éstos ocasionarían en el aterrizaje y despegue.

La tabla de rosa de vientos cruzados, indica la construcción de una pista con la dirección 16 - 34.

Debido a la función de las pistas para dar seguridad a las operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves, - y para diseñar estas (tamaño, cantidad de pistas, orientación), es necesario proceder con los siguientes estudios:

- 1) La longitud de la pista se calcula con base en el avión crítico. Los métodos para calcular las longitudes de pista para despegues y aterrizajes se describen en los apuntes de sistemas aeroportuarios. - Ing. Edmundo Barrera.

Los factores que determinan la longitud de una pista son:

- 1o. A mayor viento de frente al avión, menor longitud de pista.
- 2o. A mayor temperatura, mayor longitud.
- 3o. A mayor altitud del aeropuerto, mayor longitud de pista.

Para diseñar las pistas es necesario conocer el performance de los aviones que la van a utilizar.

A continuación se presenta el performance de la Ciudad de México y las longitudes de pista para despegue y aterrizaje.

A E R O M E X I C O

| AVION    | PESO MAX<br>DESPEGUE<br>(KG) | LONGITUD<br>PISTA<br>DESPEGUE<br>(M) | LONGITUD PISTA<br>ATERRIZAJE (M) |        | PESO MAX<br>ATERRIZAJE<br>(KG) |
|----------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------------------------------|
|          |                              |                                      | SECA                             | HUMEDA |                                |
| DC-10-30 | 209000                       | 4500                                 | 2360                             | 2700   | 182800                         |
| DC-8-51  | 121427                       | 3911                                 | 2524                             | 4902   | 90492                          |
| DC-9-32  | 44453                        | 3901                                 | 1699                             | 1954   | 44453                          |

M E X I C A N A

|         |       |      |      |      |       |
|---------|-------|------|------|------|-------|
| 727-100 | 71000 | 4146 | 1966 | 2256 | 64637 |
| 727-200 | 84000 | 4070 | 2088 | 2408 | 70080 |

A I R F R A N C E

|          |  |      |      |      |  |
|----------|--|------|------|------|--|
| CONCORDE |  | 4100 | 2783 | 3200 |  |
|----------|--|------|------|------|--|

| MODELOS          | PESO MAXIMO<br>DE DESPEGUE | PESO MAXIMO<br>DE ATERRIZAJE | PESO BASICO<br>DE OPERACION | PESO CERO<br>COMBUSTIBLE | NUMERO DE<br>PASAJEROS | PESO DE<br>EXPRES | CARGA<br>PAGABLE  | VELO-<br>CIDAD |
|------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
|                  | lb<br>kg                   | lb<br>kg                     | lb<br>kg                    | lb<br>kg                 | P A X                  | lb<br>kg          | lb<br>kg          |                |
| DOUGLAS DC-9-15  | 90 619<br>41 105           | 81 627<br>37 026             | 52 350<br>23 746            | 73 932<br>33 536         | 65                     | 3 780<br>1 715    | 21 582<br>9 790   | 473            |
| DOUGLAS DC-9-32  | 108 000<br>48 989          | 98 100<br>44 498             | 60 800<br>27 579            | 87 000<br>39 463         | 115                    | 2 115<br>959      | 26 200<br>11 884  | 473            |
| DOUGLAS DC-9-82  | 147 000<br>66 579          | 128 000<br>50 061            | 80 900<br>36 696            | 22 000<br>35 339         | 185                    | 3 988<br>1 809    | 36 450<br>16 334  | 473            |
| BOEING B-727-300 | 190 496<br>86 409          | 142 496<br>64 636            | 101 027<br>45 626           | 139 998<br>53 503        | 155                    | 8 216<br>3 727    | 38 970<br>17 677  | 500            |
| DOUGLAS DC-8-51  | 285 998<br>129 729         | 199 499<br>90 493            | 141 417<br>64 147           | 173 498<br>75 699        | 153                    | 1 724<br>782      | 32 081<br>14 552  | 473            |
| DOUGLAS DC-10-15 | 454 990<br>206 744         | 363 494<br>164 881           | 263 046<br>110 245          | 334 046<br>151 953       | 315                    | 29 447<br>13 357  | 91 497<br>41 707  | 480            |
| DOUGLAS DC-10-30 | 354 990<br>251 744         | 402 993<br>182 796           | 264 109<br>119 800          | 367 993<br>166 922       | 301                    | 40 844<br>18 527  | 103 884<br>47 122 | 477            |
| BOEING B-747     | 710 000<br>322 054         | 564 000<br>255 829           | 383 750<br>174 060          | 526 500<br>231 819       | 490                    | 42 300<br>19 187  | 142 750<br>64 751 | 500            |

| Modelo de Avión            | Clave | Longitud mínima de pistas, en m | Envergadura, en m |
|----------------------------|-------|---------------------------------|-------------------|
| Dash 7 DHC 7               | 1C    | 689                             | 28.4              |
| Learjet 24F                | 2A    | 1005                            | 10.9              |
| Learjet 28/29              | 2A    | 912                             | 13.4              |
| Shorts SD3-30              | 2B    | 1106                            | 22.8              |
| MC YS-11                   | 2D    | -                               | -                 |
| Hawker Siddeley HS125-400  | 3A    | 1646                            | 14.3              |
| Hawker Siddeley HS125-600  | 3A    | 1646                            | 14.3              |
| Hawker Siddeley HS125-700  | 3A    | 1768                            | 14.3              |
| Learjet 24D                | 3A    | 1200                            | 10.9              |
| Learjet 35A/36A            | 3A    | 1287/1458                       | 12.0              |
| Learjet 54                 | 3A    | 1217                            | 13.4              |
| Learjet 55                 | 3A    | 1292                            | 13.4              |
| Canadair CL600             | 3B    | 1310                            | 18.8              |
| Fokker F28-1000            | 3B    | 1646                            | 23.6              |
| Fokker F28-2000            | 3B    | 1646                            | 23.6              |
| Nord 262                   | 3B    | 1260                            | 21.9              |
| Antonov AN-24              | 3C    | 1600                            | 29.2              |
| Convair 240                | 3C    | 1301                            | 28.0              |
| Convair 440                | 3C    | 1564                            | 32.1              |
| Convair 580                | 3C    | 1341                            | 32.1              |
| Convair 600                | 3C    | 1378                            | 28.0              |
| Convair 640                | 3C    | 1570                            | 32.1              |
| McDonnell Douglas DC-3     | 3C    | 1204                            | 28.8              |
| McDonnell Douglas DC-4     | 3C    | 1542                            | 35.8              |
| McDonnell Douglas DC-6A/6B | 3C    | 1375                            | 35.8              |

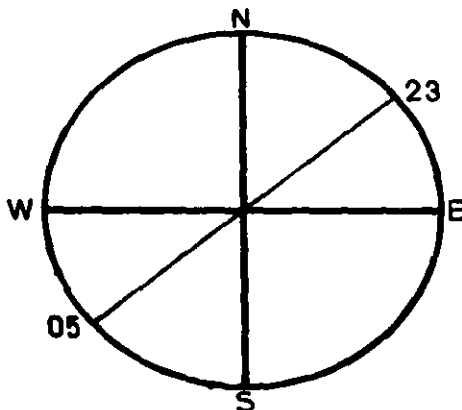
| Modelo de avión                            | Clave | Longitud mínima de pistas, en m | Envergadura, en m |
|--|-------|---------------------------------|-------------------|
| Beaver DHC 2                               | 1A    | 381                             | 14.6              |
| Turbo Beaver DHC - 2T                      | 1A    | 427                             | 14.6              |
| Beechcraft A24R                            | 1A    | 603                             | 10.0              |
| Beechcraft A36                             | 1A    | 670                             | 10.2              |
| Beechcraft 76                              | 1A    | 430                             | 11.6              |
| Beechcraft B55                             | 1A    | 475                             | 11.5              |
| Beechcraft B60                             | 1A    | 793                             | 12.0              |
| Beechcraft B100                            | 1A    | 579                             | 14.0              |
| Britten Norman Islander BN2A               | 1A    | 353                             | 19.9              |
| Cessna 152                                 | 1A    | 408                             | 10.0              |
| Cessna 172                                 | 1A    | 381                             | 10.9              |
| Cessna 185                                 | 1A    | 416                             | 10.9              |
| Cessna Stationair 6                        | 1A    | 543                             | 10.9              |
| Cessna Stationair Turbo 6                  | 1A    | 500                             | 10.9              |
| Cessna Stationair 7                        | 1A    | 600                             | 10.9              |
| Cessna Stationair Turbo                    | 1A    | 567                             | 10.9              |
| Cessna Skylane                             | 1A    | 479                             | 10.9              |
| Cessna Turbo Skylane                       | 1A    | 479                             | 10.9              |
| Cessna 310                                 | 1A    | 518                             | 11.3              |
| Cessna 310 Turbo                           | 1A    | 507                             | 11.3              |
| Cessna Golden Eagle 421C                   | 1A    | 708                             | 12.5              |
| Cessna Titan 404                           | 1A    | 721                             | 14.1              |
| Beechcraft E185                            | 1B    | 753                             | 15.0              |
| Beechcraft B80                             | 1B    | 427                             | 15.3              |
| Beechcraft C90                             | 1B    | 488                             | 15.3              |
| Beechcraft 200                             | 1B    | 579                             | 16.6              |
| De Havilland Twin Otter OH-3               | 1B    | 479                             | 17.7              |
| De Havilland Twin Otter Short SC7-3/SC7-3A | 1B    | 616                             | 19.8              |
| De Havilland Twin Otter OH-6               | 1B    | 695                             | 19.8              |



| Modelo de Avión                | Clave | Longitud mínima de pistas, en m | Envergadura, en m |
|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------------------|
| Airbus A310                    | 4D    | 1845                            | 43.9              |
| Airbus A300 B4                 | 4D    | 2605                            | 44.8              |
| Boeing B-707-100               | 4D    | 2454                            | 39.9              |
| Boeing B-707 Advanced-100      | 4B    | 3206                            | 39.9              |
| Boeing B-707-200               | 4D    | 2697                            | 39.9              |
| Boeing B-707-300               | 4D    | 3088                            | 44.4              |
| Boeing B-707-400               | 4D    | 3277                            | 44.4              |
| Boeing B-720                   | 4D    | 1981                            | 39.9              |
| Boeing B-757-200 (Preliminary) | 4B    | 2057                            | 38.0              |
| Boeing B-767-200 (Preliminary) | 4D    | 1981                            | 47.6              |
| Canadair Cl-44D-4              | 4D    | 2240                            | 43.4              |
| Convair 980                    | 4D    | 2652                            | 36.6              |
| Convair 980 M                  | 4D    | 2316                            | 36.6              |
| Convair 990-10-5               | 4D    | 2788                            | 36.6              |
| Convair 990-10-6               | 4D    | 2956                            | 36.6              |
| McDonnell Douglas DC-8-43      | 4D    | 2947                            | 43.4              |
| McDonnell Douglas DC-8-55      | 4D    | 3048                            | 43.4              |
| McDonnell Douglas DC-8-61      | 4D    | 3048                            | 43.4              |
| McDonnell Douglas DC-8-63      | 4D    | 3179                            | 45.2              |
| McDonnell Douglas DC-10-10     | 4D    | 3200                            | 47.4              |
| McDonnell Douglas DC-10-30     | 4D    | 3170                            | 50.4              |
| McDonnell Douglas DC-10-40     | 4D    | 3174                            | 50.4              |
| Ilyushin IL-18V                | 4D    | 1980                            | 37.4              |
| Ilyushin IL-63M                | 4D    | 3280                            | 43.2              |
| Lockheed L-100-20              | 4D    | 1829                            | 40.8              |
| Lockheed L-100-30              | 4D    | 1829                            | 40.4              |
| Lockheed L-188                 | 4D    | 2066                            | 30.2              |
| Lockheed L-1011-1              | 4D    | 2426                            | 47.3              |
| Lockheed L-1011-200            | 4D    | 2469                            | 47.3              |
| Lockheed L-1011-500            | 4D    | 2844                            | 47.3              |
| Tupolev TU-134A                | 4D    | 2400                            | 29.0              |
| Tupolev TU-154                 | 4D    | 2160                            | 37.6              |
| Boeing B-747-100               | 4E    | 3060                            | 59.6              |
| Boeing B-747-200               | 4E    | 3150                            | 59.6              |
| Boeing B-747-SR                | 4E    | 1860                            | 59.6              |
| Boeing B-747-SP                | 4E    | 2710                            | 59.6              |

| Modelo de avión            | Clave | Longitud mínima de pistas, en m | Envergadura, en m |
|----------------------------|-------|---------------------------------|-------------------|
| McDonnell Douglas DC-9-20  | 3C    | 1551                            | 28.5              |
| Fokker F27-500             | 3C    | 1670                            | 29.0              |
| Fokker F27-600             | 3C    | 1670                            | 29.0              |
| Fokker F28-3000            | 3C    | 1640                            | 25.1              |
| Fokker F28-4000            | 3C    | 1640                            | 25.1              |
| Fokker F28-6000            | 3C    | 1400                            | 25.1              |
| Buffalo DHC-50             | 3C    | 1471                            | 29.3              |
| Airbus A300 B2             | 3C    | 1676                            | 44.8              |
| BAC 1-11-200               | 4C    | 1884                            | 27.0              |
| BAC 1-11-300               | 4C    | 2484                            | 27.0              |
| BAC 1-11-400               | 4C    | 2420                            | 27.0              |
| BAC 1-11-475               | 4C    | 2286                            | 28.5              |
| BAC 1-11-500               | 4C    | 2408                            | 28.5              |
| Boeing B-277-100           | 4C    | 2502                            | 32.9              |
| Boeing B-727-200           | 4C    | 3117                            | 32.9              |
| Boeing B-737-100           | 4C    | 2499                            | 28.4              |
| Boeing B-737-200           | 4C    | 2295                            | 28.4              |
| Boeing B-737 Advanced 200  | 4C    | 2707                            | 28.4              |
| Aerospatiale Caravelle 12  | 4C    | 2600                            | 34.3              |
| Concorde                   | 4C    | 3400                            | 25.5              |
| McDonnell Douglas DC-9-10  | 4C    | 1975                            | 27.2              |
| McDonnell Douglas DC-9-30  | 4C    | 2134                            | 28.5              |
| McDonnell Douglas DC-9-40  | 4C    | 2091                            | 28.5              |
| McDonnell Douglas DC-9-50  | 4C    | 2451                            | 28.5              |
| McDonnell Douglas DC-9-80  | 4C    | 2195                            | 32.9              |
| Hawker Siddeley Trident 1E | 4C    | 2590                            | 29.0              |
| Hawker Siddeley Trident 2C | 4C    | 2780                            | 29.0              |
| Hawker Siddeley Trident 3  | 4C    | 2670                            | 29.0              |
| Viscount 800               | 4C    | 1859                            | 28.6              |

- 2) La cantidad de pistas está en función del tránsito aéreo y de la demanda de proximidades medidas en una hora crítica.
  
- 3) Es muy importante orientar la pista en dirección igual a la dirección del viento predominante. Un factor muy importante es la designación de las cabeceras de las pistas que se hace por medio de dos dígitos, los cuales representan a los azimutes directo e inverso respectivamente, medidos a partir del norte magnético. Cada designación se hace de acuerdo con el sentido de la aproximación del avión por ejemplo, si se tiene una pista 05-23 la cabecera 05 estará en el tercer cuadrante y la 23 en el primero.



Una vez visto el procedimiento en el que se construyeron las pistas 05D-23I y 05I-23D tanto en la dirección como en la longitud y la designación de cabeceras se hace notar - que se toma como base la pista 05D-23I para la realización de la presente tesis tomando en cuenta los antecedentes y el comportamiento que ha desarrollado a través de los años, a la cual se le proporcionan alternativas para un mejor funcionamiento.

**CAPITULO II**

**ANTECEDENTES DE LA PISTA OSD - 231**

La construcción de la pista 05 D - 231 data del año de 1940, la que disponía de una longitud de 1130 m y un pavimento cuya estructura estaba constituida por una base de fragmentos de roca acomodados, de 30 cm de espesor, como base tipo -- Telford, recubierta por una delgada capa de macadam asfáltico, con el desarrollo de la aviación esta pista sufre modificaciones, tanto en su estructura como en su longitud, al igual que periódicas rehabilitaciones, como se describe en la siguiente cronología.

1940.- Construcción de la pista 05D - 231, con un pavimento -- consistente en base Telford y macadam asfáltico, con una longitud total de 1130 m.

1949.- Se prolonga la pista hasta una longitud de 3 000 m. con pavimento consistente en una capa de base de grava cementada, de 60 cm de espesor y carpeta asfáltica de 8 cm.

1958.- Renivelación general de la pista mediante capas asfálticas y prolongación de la cabecera 231 en 300 m, con un pavimento similar al empleado en 1949.

1963.- Renivelación general (renivelación total de la pista).

1967.- Renivelación general.

1971.- Renivelación general y prolongación de la cabecera --

231 en 6 00 m, para alcanzar una longitud de 3900 m. El pavimento se construyó utilizando una nueva sección estructural mediante el empleo de materiales ligeros en sustitución del terreno natural, con el fin de compensar en buena parte el peso del mismo.

1977.- Renivelación parcial (renivelación de partes muy afectadas.)

1979.- Renivelación parcial.

1982.- Renivelación parcial.

1984.- Renivelación general.

1986.- Renivelación general.

En las figuras 1 y 2 se representan las sucesivas etapas de su crecimiento y la forma en que han variado los espesores de las capas asfálticas.

Con respecto a las rehabilitaciones, es necesario señalar que éstas han consistido fundamentalmente en la colocación de capas de concreto asfáltico, cuya principal misión ha sido la de tratar de restituir mediante renivelaciones, las pendientes longitudinal y transversal que paulatinamente se ven modificadas por el fenómeno de consolidación en el subsue

10. De esta manera se han llegado a acumular espesores de capas asfálticas hasta de 1.5 m., en los primeros 3 km., aproximadamente, correspondientes al tramo más antiguo de la pista. A partir de este tramo, el espesor de las capas asfálticas se reduce paulatinamente hasta alcanzar en los últimos 600 m. -- aproximadamente 45 cm. Esta disminución es por una parte, a que en el último tramo de pista tiene una menor edad, y por otra parte a que el diseño de la estructura permitió reducir el incremento de las presiones debidas al peso propio del pavimento, mediante la aplicación del principio de compensación de masas, este principio contempla materiales de peso ligero como lo muestra la fig. 6 y la fig. 7.



**CAPITULO III**

**COMPORTAMIENTO DE LA PISTA 05D - 23I**

Debido a la alta compresibilidad del subsuelo, el pavimento de la pista ha sido sometido a una serie de renovaciones desde el año de 1958, lo que ha dado como resultado el que la conservación haya caído en un círculo vicioso, en el que la corrección de la superficie de rodamiento se hace en base a incrementar las presiones en el subsuelo.

Si se cuantifica el incremento de presión que la aplicación de dichas renovaciones ha producido al subsuelo desde un principio a la fecha, se tiene que los primeros dos kilómetros éste alcanza un valor cercano a 3 ton/m<sup>2</sup>, de las cuales las dos últimas renovaciones efectuadas, en 1984 y 1986, han contribuido cada una con alrededor de 0.33 ton/m<sup>2</sup>. Del km. 2 al 3 + 300, estos valores se reducen prácticamente en un 65% y del 3 + 300 al 3 + 900 a tan solo un 35%, aproximadamente. Esta última reducción es debido a que en la mayor parte de la longitud de este tramo el peso del pavimento fue com pensado parcialmente. (ver anexo 2). A lo largo de la pista existen variaciones en cuanto a sus características, que permiten subdividirla en las tres zonas, que se describen a continuación:

ZONA 1.- Está comprendida entre las estaciones 0+000 y 2 + 000 aproximadamente, sus características más relevantes son:

1) El perfil longitudinal con posterioridad a cada re

nivelación tiende a presentar una mayor distorsión a través del tiempo.

2) El espesor total de las capas asfálticas alcanza - en la actualidad magnitudes que oscilan entre 1.0 y 1.5 m. en el centro de la pista, reduciéndose aproximadamente a la mitad en las orillas.

3) Las dos últimas nivelaciones efectuadas en 1984 y 1986 consistieron en capas asfálticas de 10 y 15 cm. de espesor en cada caso, mediante las cuales se aprecia que las correcciones modificaron tanto el perfil transversal como longitudinal.

4) El nivel de la superficie del pavimento es inferior al de las fajas laterales, debido al hundimiento producido por el peso del pavimento. En este tramo los hundimientos totales al centro alcanzan magnitudes del orden de 1.5 m.

ZONA 2.- Se ubica entre el km. 2 + 000 y 3 + 300 y se diferencia básicamente de la anterior en que los espesores totales de las capas asfálticas y el de las últimas 2 nivelaciones son menores en aproximadamente 20%, ocurriendo algo semejante con los hundimientos totales. Las distorsiones que se producen en la superficie de rodamiento, tienden a ser menores que en la primera zona.

ZONA 3.- Corresponde al tramo comprendido entre el Km. 3 + 300 y 3 + 900. Este tramo es muy diferente a los -- anteriores, ya que por una parte tanto los espesores totales de las capas asfálticas, como los de las dos renivelaciones recientes (1984 y 1986) son notoriamente inferiores, siendo de 40 cm. los primeros y de 5 cm. los de cada renivelación.

En resumen, desde el punto de vista de la problemática de hundimientos, el pavimento se ha comportado razonablemente bien, y las renivelaciones que se han aplicado, han sido delgadas y obligadas por su continuidad de las rehabilitaciones del tramo contiguo. El buen comportamiento es por la utilización de la sección compensada.

Cabe aclarar que en la zonificación descrita, no se involucra en forma específica a los tramos que corresponden a la intersección de la pista con las calles de rodaje, ya que en éstos los espesores de las capas asfálticas se ven influidos significativamente que las variaciones que se observan en sus espesores, obedecen más bien a razones de carácter geométrico, y no necesariamente reflejan aspectos de comportamiento del pavimento.

Cálculos efectuados sobre el hundimiento que debe corresponder a cada una de las renivelaciones promedio que se vienen aplicando, indican que éste es del mismo orden que el del espesor de la capa asfáltica colocada, es decir, que si

estos espesores en el centro y orilla son de 15 y 5 cms., respectivamente, los hundimientos serán semejantes, y por consiguiente la sección transversal reducirá su pendiente en forma co-relativa, de manera que si la diferencia de elevaciones de ambos puntos se reduce en 10 cm., la pendiente sufrirá una disminución apreciable, cercana a 0.5%.

Basicamente puede decirse que la evolución de los hundimientos medidos a través de un lapso cercano a siete años, responde a la siguiente ecuación: (ver anexo 3).

$$\frac{30}{st} = 1 + \frac{56}{t}$$

de donde:

st = asentamiento en cm. para un tiempo t dado,  
en meses.

Si se aplica la ecuación anterior al caso de la pista, tomando en cuenta que una renivelación dada tiene un espesor medio de 0.15 m., y por consiguiente la presión aplicada es de 0.33 ton/m<sup>2</sup>, el hundimiento total a tiempo infinito sería de 30 cm. aceptando que existe proporcionalidad y su evolución, según dicha ecuación es la siguiente:

**CAPITULO IV**

**ALTERNATIVAS DE REHABILITACION**

Es evidente que el intensivo mantenimiento a que se ha venido sometiendo la pista, está relacionado en gran medida con la problemática de los hundimientos que ésta experimenta, como consecuencia del peso del pavimento y sus respectivas renivelaciones, dada la reconocida comprensibilidad del subsuelo.

Aún cuando el subsuelo a lo largo de la pista es razonablemente uniforme, el comportamiento de ésta desde el punto de vista de las distorsiones que sufre por el fenómeno de consolidación, tiene diferencias apreciables, manifestándose en la actualidad mayores deformaciones en la porción más antigua, correspondiente aproximadamente a la primera mitad, que en las subsecuentes en donde progresivamente se reducen, hasta ser de un orden sensiblemente menor en los últimos 600 m. (cabeza 23I), en donde el pavimento, además de ser el más reciente, cuenta con una sección estructural cuyo diseño permite reducir los incrementos de presión, al ser parcialmente compensado su peso.

La práctica adoptada para rehabilitar la pista, consiste en la periódica colocación de capas asfálticas, destinadas a corregir la superficie de rodamiento, esta debe ser abandonada debido a la tendencia a reducirse cada vez más los lapsos correspondientes a las sucesivas rehabilitaciones.

De continuarse con dicha práctica, el costo de la re-

habilitación de la pista será cada vez más elevado, y así mis  
mo aumentarán los inconvenientes que representan las respecti  
vas interferencias con la operación aeronáutica.

Para evitar o cuando menos reducir sustancialmente  
los problemas de la conservación que se vienen dando en la -  
pista, deberá optarse por una de las siguientes alternativas.



**Alternativa 1.- Rehabilitación del pavimento corri-  
giendo las distorsiones sufridas, me-  
diante el desbaste de las capas asfál-  
ticas producto de la renovación más  
reciente. (Fig. 3)**

ALTERNATIVA 1

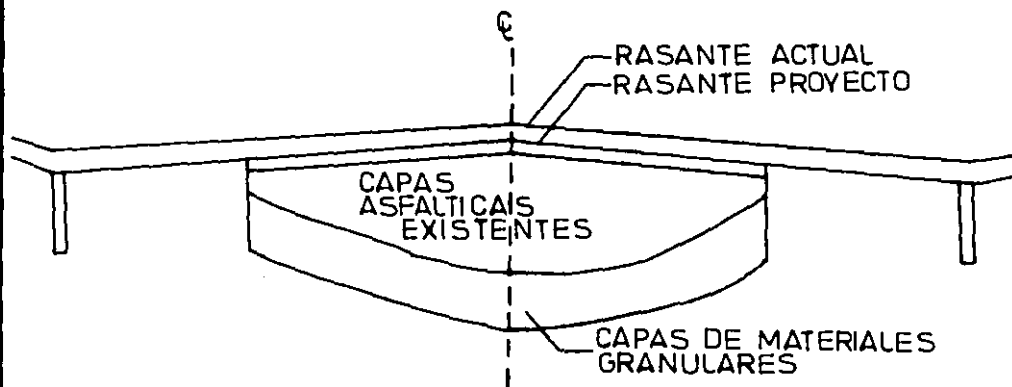


FIGURA 3

ESC HOR. 1:400 VER. 1:40

**Alternativa 2.- Construcción de una nueva en el mismo sitio. (Fig. 4).**

ALTERNATIVA 2

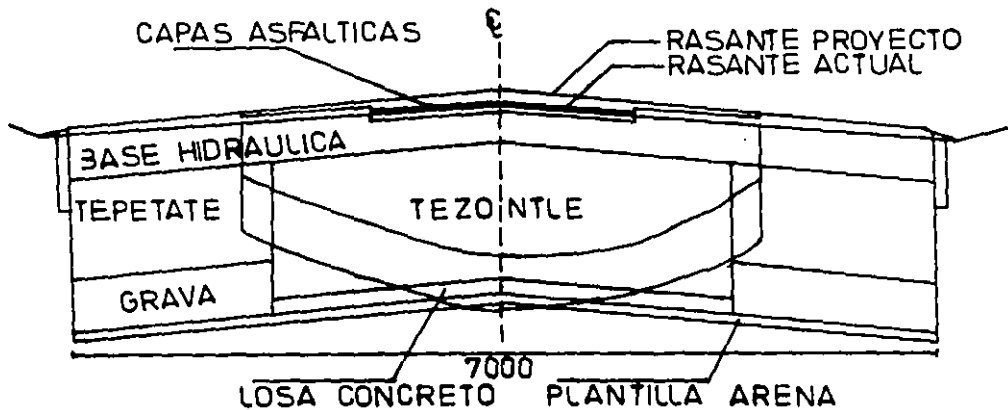


FIGURA 4

ESC. HOR. 1:400 VER. 1:40 ACOT. (CM)

**Alternativa 3.- Reconstrucción de la porción central de la pista en 25 m. de ancho, en -- donde se sustituiría el pavimento actual por uno nuevo. (Fig. 5).**

ALTERNATIVA 3

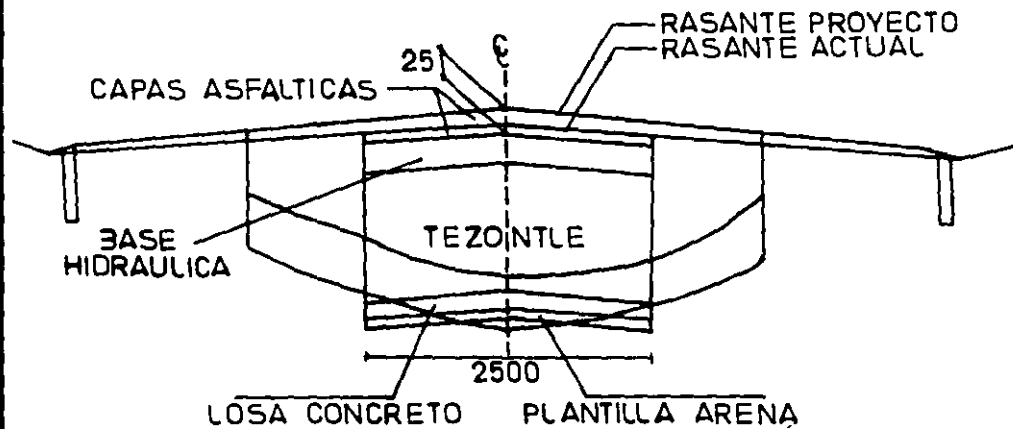


FIGURA 5

ESC. HOR. 1400 VER. 140 ACOT. (CM)

En cuanto a la primera alternativa se deben tomar en cuenta los lineamientos siguientes como control de calidad:

1) La nueva rasante debe proyectarse buscando que en la zona de mayor sobrecarga aplicada en la pista, sea la que dé lugar a su vez a un mayor recorte de la carpeta, tratando de que el espesor desbastado tenga en promedio 15 cm., del mismo orden que el de la renovación aplicada en el año de 1986, al espesor anterior se le debe añadir el correspondiente al del desbaste necesario para construir una nueva carpeta de 10 cm. de espesor.

2) En la construcción de la nueva carpeta se deben utilizar agregados de la más alta calidad posible y su diseño debe satisfacer los requisitos más estrictos que permitan lograr una alta resistencia al desgaste producido por las pesadas aeronaves.

Por lo que concierne a la segunda alternativa, la de construir una nueva pista en el mismo sitio, deben tenerse presentes los siguientes lineamientos:

1) La sección estructural del pavimento debe diseñarse de manera tal que las nuevas presiones transmitidas al subsuelo sean de menor magnitud que las que actualmente aplica el pavimento, utilizando el principio de compensación.

2) Recurrir a procedimientos de construcción apropiados y de riguroso cumplimiento en la práctica.

3) Selección apropiada de las fuentes de abastecimiento de los materiales que intervienen en la obra y anticipo de ellos con el fin de garantizar el suministro, y la uniformidad que debe de lograrse en su colocación y en su comportamiento.

En cuanto a la tercera alternativa, los lineamientos a seguir para su diseño y construcción, son básicamente los mismos de la segunda alternativa.

Se considera que cualesquiera de las alternativas presentadas constituye un medio más racional que el que actualmente se aplica para afrontar el problema de conservar la pista en condiciones apropiadas para la operación aeronáutica.



**CAPITULO V**

**PRESUPUESTO Y DURACION DE LAS  
ALTERNATIVAS**

Con base en los lineamientos establecidos en el capítulo anterior, se elaboraron los respectivos presupuestos de las diferentes alternativas, con el fin de disponer de los elementos indispensables, tanto para su evaluación como para su correspondiente análisis comparativo.

Los datos para la elaboración del presupuesto de las diferentes alternativas tanto cantidades como precios unitarios y conceptos, fueron proporcionados por el Ing. Sergio -- Sanchez López Subdirector de Estudios para Ampliación del -- Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México de la Dirección General de Aeropuertos.

Los datos proporcionados fueron de junio de 1987, por medio de índices de inflación se trasladaron a junio de 1988.

Las tablas de presupuesto y duración de cada alternativa se presentan a continuación.

PRESUPUESTO DE ALTERNATIVA 1 DESBASTE DE CAPAS ASFALTICAS

| CONCEPTO  | UNIDAD | P.U        | CANTIDAD | IMPORTE             |
|---|--------|------------|----------|---------------------|
| 1.- Corte en frio de carpeta<br>de concreto asfáltico (1)           | m 3    | 111 700.00 | 37,000   | 4 132 900 000.00    |
| 2.- Capas de concreto asfáltico en nivelaciones y sobre carpeta (4) | m 3    | 167 500.00 | 21,600   | 3 618 000 000.00    |
| 3.- Riego de liga con asfalto PR-1 (3)                              | l t    | 800.00     | 250,000  | 200 000 000.00      |
| 4.- Corte de terracerías (2)  | m 3    | 7 730.00   | 24,000   | 185 520 000.00      |
|   |        |            |          | <hr/>               |
|   |        |            |          | \$ 8 136 420 000.00 |

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 2 RECONSTRUCCION INTEGRAL  
DE LA PISTA

| CONCEPTO                               | UNIDAD | P.U.       | CANTIDAD | IMPORTE              |
|--|--------|------------|----------|----------------------|
| 1.- Capas asfálticas (11)              | m 3    | 167 500.00 | 28,730   | 4 812 275 000.00     |
| 2.- Base hidráulica (8)                | m 3    | 77 300.00  | 98,600   | 7 621 780 000.00     |
| 3.- Sub-base tezontle (6)              | m 3    | 51 550.00  | 170,000  | 8 763 500 000.00     |
| 4.- Losa de concreto (4)               | m 3    | 137 500.00 | 20,400   | 2 805 000 000.00     |
| 5.- Tepetate (7)                       | m 3    | 51 550.00  | 102,000  | 5 258 100 000.00     |
| 6.- Grava (5)                          | m 3    | 68 750.00  | 51,000   | 3 506 250 000.00     |
| 7.- Plantilla arena (3)                | m 3    | 51 550.00  | 23,800   | 1 226 890 000.00     |
| 8.- Riego de impregnación (9)          | 1 t    | 800.00     | 168,300  | 134 640 000.00       |
| 9.- Riego de liga (10)                 | 1 t    | 800.00     | 122,400  | 97 920 000.00        |
| 10.- Excavación de pavimento (1)       | m 3    | 43 000.00  | 306,000  | 13 158 000 000.00    |
| 11.- Excavación en terreno natural (2) | m 3    | 20 600.00  | 170,000  | 3 502 000 000.00     |
|  |        |            |          | \$ 50 886 355 000.00 |

**PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 3 RECONSTRUCCION DE LA  
PORCION CENTRAL DE LA PISTA**

| CONCEPTO                         | UNIDAD | P.U.       | CANTIDAD | IMPORTE              |
|----------------------------------|--------|------------|----------|----------------------|
| 1.- Capas asfálticas (10)        | m 3    | 167 500.00 | 28,050   | 4 698 375 000.00     |
| 2.- Base hidráulica (7)          | m 3    | 77 300.00  | 25,500   | 1 971 150 000.00     |
| 3.- Sub-base tezontle (6)        | m 3    | 51 550.00  | 106,250  | 5 447 187 500.00     |
| 4.- Losa de concreto (5)         | m 3    | 137 500.00 | 12,750   | 1 753 125 000.00     |
| 5.- Plantilla arena (4)          | m 3    | 51 550.00  | 8,500    | 438 173 000.00       |
| 6.- Corte en frío (3)            | m 3    | 111 700.00 | 2,050    | 227 868 000.00       |
| 7.- Cuñas terracería (2)         | m 3    | 43 000.00  | 7,650    | 328 950 000.00       |
| 8.- Riegos de impregnación (8)   | 1 t    | 800.00     | 93,500   | 74 800 000.00        |
| 9.- Riegos de liga (9)           | 1 5    | 800.00     | 68,000   | 54 400 000.00        |
| 10.- Excavación en pavimento (1) | m 3    | 43,000.00  | 170,000  | 7 310 000 000.00     |
|                                  |        |            |          | \$ 22 334 030 500.00 |

DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ALTERNATIVA 1 DESBASTE DE  
CAPAS ASFALTICAS

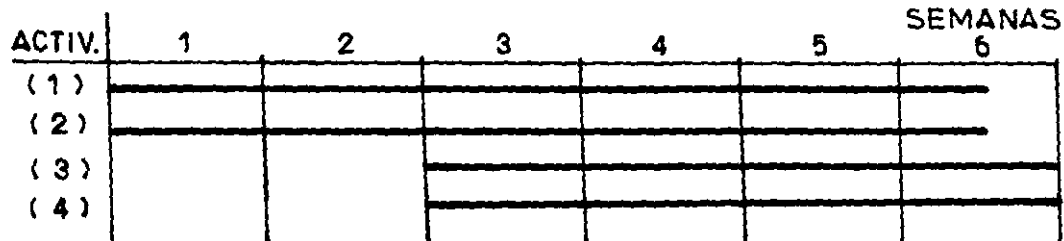


DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ALTERNATIVA 2 RECONSTRUCCION INTEGRAL DE LA PISTA

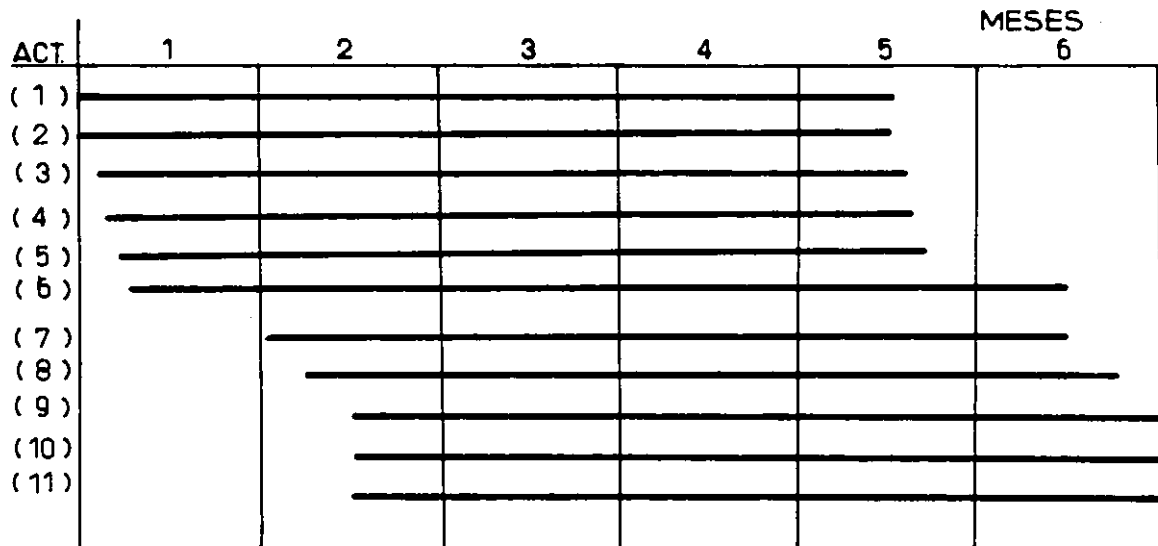
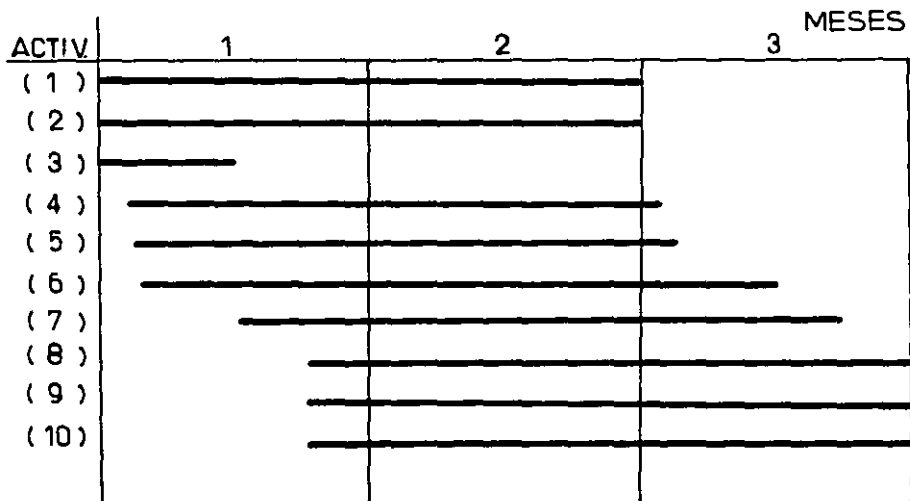


DIAGRAMA DE BARRAS DE LA ALTERNATIVA 3 RECONSTRUCCION DE LA PORCION CENTRAL DE LA PISTA





**CAPITULO VI**

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS  
ALTERNATIVAS**

Las principales ventajas de la primera alternativa - son su economía y su menor tiempo de ejecución.

Otra ventaja es la de presentar una mayor sencillez - de los procedimientos constructivos, siendo mínimos los conceptos de obra, mucho menores los volúmenes de materiales que intervendrán y menor número de imponderables.

Lo que pudiera considerarse como desventaja, sería el que su horizonte de servicio tendría una proyección más reducida que el de una nueva pista y el hecho de que ciertas --- irregularidades, que el hundimiento de la pista viene presentando, como consecuencia a su vez de irregularidades constructivas, podrían atenuarse pero no necesariamente abolirse.

La construcción de una nueva pista, en cuanto a su futuro comportamiento y mayor simplicidad de conservación son su principal ventaja.

Si se considera que en los últimos 600 m. la pista - fue construida con las ideas de compensación ya expresadas, y que además ha tenido un buen comportamiento, este tramo no sería motivo de una reconstrucción total.

Como ventaja adicional, cabría mencionar el beneficio que en última instancia representa en la funcionalidad el hecho que queda implícito en la modernidad de una pista nueva.

Las desventajas son fundamentales en el aspecto de costos y en las dificultades que representa su construcción en un aeropuerto en operación, con la categoría de la de Ciudad de México.

En cuanto a la tercera alternativa, prácticamente - tiene las mismas desventajas que la construcción de una pista nueva con un costo menor, ya que es del orden de la mitad, así como de mayores facilidades de construcción y por consiguiente requiere de un menor lapso para su ejecución.

**CAPITULO VII**  
**EVALUACION DE PROYECTOS**

Para la obtención de la mejor alternativa de las presentadas en la tesis es necesaria la aplicación de algún método que analice y evalúe proyectos.

El método del valor anual equivalente y el método del valor presente del incremento en la inversión son simples y son los utilizados para obtener la mejor opción de las alternativas que presenta la tesis, para su realización es necesario contar con una inversión inicial, gastos anuales, valor de rescate y vida de las alternativas.

Consiste en obtener el costo mínimo anual posible y en comparar entre sí las alternativas para obtener un valor presente neto respectivamente.

El método de la tasa interna de retorno no se aplica debido a que se están tomando en cuenta únicamente egresos, y los valores que generan las tasas ( $i$ ) son muy altos.

Para mayor información de los métodos ver anexo (4)

A continuación se presenta la solución del método anual equivalente y del método del valor presente del incremento en la inversión.

FLUJOS DE EFECTIVO:

|                         | 1)Desbaste de ca-<br>pas asfálticas | 2) Reconstrucción<br>integral de la<br>pista. | 3) Reconstrucción<br>de la porción<br>central de la<br>pista. |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Inversión inicial (Ii)  | 8,136 420,000.00                    | 50,886,355,000.00                             | 22, 334,030,500.00  |
| Gastos anuales (5i Ii)  | 406,821,000.00                      | 2,544,317,700.00                              | 1, 116,701,525.00   |
| Valor de rescate (Ii/V) | 0                                   | 8,481,059,100.00                              | 3, 722,338,383.00   |
| Vida (V)                | 3                                   | 6   | 6   |

Se considera una tasa de valor de capital (T V C ) = 25%

Si se considera un horizonte de planeación a 3 años

$$Vr(2) = 2544317700 (P/A, 25\%,3) + 8481059100 (P/F, 25\%,3) =$$

$$Vr(2) = 2544317700 (1.9520) + 8481059100 (0.4658) =$$

$$Vr(2) = 4966508100 + 3950477300$$

$$Vr(2) = 8916985400$$

$$Vr(3) = 1116701525 (1.9520) + 3722338383 (0.4658) =$$

$$Vr(3) = 2179801372 + 1733865143 =$$

$$Vr(3) = 3913666515$$

FLUJOS DE EFECTIVO CORREGIDOS:

|                   | 1) Desbaste de capas asfálticas. | 2) Reconstrucción integral de la pista | 3) Reconstrucción de la porción central de la pista. |
|-------------------|----------------------------------|--|--|
| Inversión Inicial | 8,136,420,000.00                 | 50,886,355,000.00                      | 22,334,030,500.00                                    |
| Gastos anuales    | 406,821,000.00                   | 2,544,317,700.00                       | 1,116,701,525.00                                     |
| Valor de rescate  | 0                                | 8,916,985,400.00                       | 3,913,666,615.00                                     |
| Años              | 3                                | 3                                      | 3  |

(1) Método del valor anual equivalente (VAE)  
Obtener el menor costo anual posible

$$C = \text{gasto anual} + (i_i - V_r) (A/P, 25\%, 3) + V_r (25\%)$$

$$C_1 = 406,821,000 + 8,136,420,000 (0.5123) = \underline{4,575,108,900}$$

$$C_2 = 2,544,317,700 + 41,969,369,600 (0.5123) + 8,916,985,400 (0.25) = \underline{26,274,471,400}$$

$$C_3 = 1,116,701,525 + 18,420,363,985 (0.5123) + 3,913,666,615 (0.25) = \underline{11,305,300,156}$$

'La mejor alternativa es la 1) por ser la de menor costo'

(2) METODO DEL VALOR PRESENTE DEL INCREMENTO EN LA INVERSION

Se considera a 1) como la mejor alternativa por ser la de menor costo, por lo cual sería la defensora y a 2) como la retadora.

$$VPN = -42\,749\,935\,000 - \frac{2\,137\,496\,700}{(1 + 0.25)} - \frac{21\,374\,967\,000}{(1+0.25)^2} - \frac{67\,794\,887\,000}{(1 + 0.25)^3} =$$

$$VPN = -49\,299\,028\,300$$

Puesto que el VPN es negativo, se elimina la alternativa 2), y pasa la alternativa 3) a ser la retadora, y la 1) sigue siendo la defensora.

$$VPN = -14\,197\,610\,500 - \frac{709\,880\,525}{(1 + 0.25)} - \frac{709\,880\,525}{(1 + 0.25)^2} - \frac{3\,203\,785\,990}{(1+0.25)^3} =$$

$$VPN = -16\,860\,176\,794$$

Puesto que el VPN es negativo se elimina la alternativa 3), por lo que la alternativa 1) es la selección óptima.



VALOR PRESENTE NETO DE CADA ALTERNATIVA:

ALTERNATIVA 1)

$$VPN = -8\ 136\ 420\ 000 + \frac{406\ 821\ 000}{(1 + 0.25)} + \frac{406\ 821\ 000}{(1 + 0.25)^2} - \frac{406\ 821\ 000}{(1 + 0.25)^3} =$$

$$VPN = -8\ 136\ 420\ 000 + 325\ 456\ 800 + 260\ 365\ 440 - 208\ 292\ 350 =$$

$$VPN = -7\ 758\ 890\ 110$$

ALTERNATIVA 2)

$$VPN = -50\ 886\ 355\ 000 + \frac{2\ 544\ 317\ 700}{(1 + 0.25)} + \frac{2\ 544\ 317\ 700}{(1 + 0.25)^2} + \frac{6\ 372\ 667\ 700}{(1 + 0.25)^3} =$$

$$VPN = -50\ 886\ 355\ 000 + 2\ 035\ 454\ 100 + 1\ 628\ 363\ 300 + 3\ 262\ 805\ 800 =$$

$$VPN = -43\ 959\ 731\ 800$$

ALTERNATIVA 3)

$$VPN = -22\ 334\ 030\ 500 + \frac{1\ 116\ 701\ 525}{(1 + 0.25)} + \frac{1\ 116\ 701\ 525}{(1 + 0.25)^2} + \frac{2\ 796\ 964\ 990}{(1 + 0.25)^3} =$$

$$VPN = -22\ 334\ 030\ 500 + 893\ 361\ 235 + 714\ 688\ 965 + 1\ 432\ 046\ 070 =$$

$$VPN = -19\ 293\ 934\ 230$$

' La mejor alternativa es la 1) por ser la menos negativa '

**CAPITULO VIII**  
**TOMA DE DECISIONES**

El método del valor anual equivalente y el método del valor presente del incremento en la inversión proponen llevar a cabo la alternativa 1) desde el punto de vista de costos, sin embargo, es necesario tomar en cuenta las opciones que proporcionaría la construcción de una pista nueva en la categoría que se encuentra el aeropuerto internacional de la ciudad de México.

Es necesario tomar en cuenta la sencillez de los procedimientos constructivos al igual que el futuro comportamiento y simplicidad de conservación de la pista.

La funcionalidad y el tiempo de una rehabilitación a otra, son dos conceptos que no se deben pasar por alto en la toma de decisiones.

Para llevar a cabo una toma de decisiones correcta se utilizarán los modelos compensatorios y los modelos no compensatorios en los que se encuentran la utilidad aditiva y dominación, satisfacción (conjuntivo), lexicográfico respectivamente (ver anexo (5), donde se evaluarán todos los puntos anteriores para tomar diferentes puntos de vista y hacer una mejor toma de decisiones.

A continuación se presenta la teoría de la utilidad y la aplicación de modelos compensatorios y no compensatorios, para la toma de decisiones.

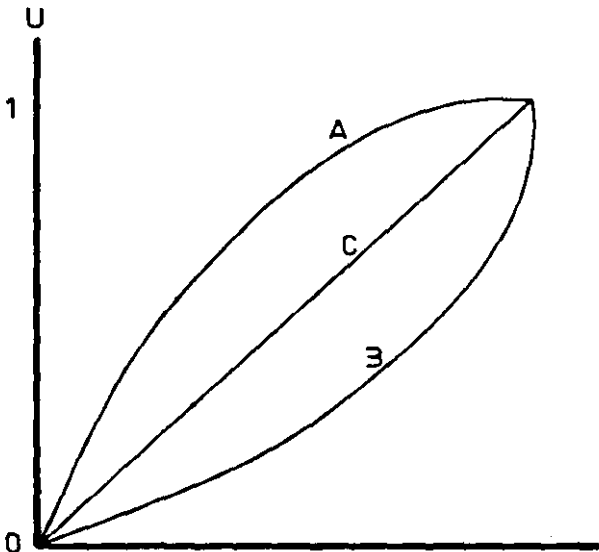
La teoría de la utilidad proporciona un modelo que además de los aspectos monetarios, incluye otros factores importantes en la situación de decisiones bajo riesgo.

Si la unidad de toma de decisiones actúa con el propósito de satisfacer una serie de supuestos razonables, existe una función de utilidad de la toma de decisiones, que elige como estrategia más apropiada a la que maximice la utilidad esperada. La función de utilidad toma en cuenta todos los aspectos de la actitud de toma de decisiones con respecto a las consecuencias posibles, monetarias y no monetarias, de determinada situación de decisiones. Por lo tanto, la función de utilidad tiene que ser algo muy subjetivo y suficientemente flexible para adecuarse a las características de la toma de decisiones.

Una función de utilidad no pretende representar el valor del dinero, como tal, sino que refleja la integración de un conjunto de diversos elementos que tiene que ser tomados en consideración, como beneficios, pérdidas, patrimonio financiero, actitudes de preferencia o aversión al riesgo.

Los índices de utilidad se proponen de tal forma que las decisiones pueden tomarse sobre la base del valor esperado sin necesidad de incluir otras consideraciones posteriores. Una función de utilidad, derivada de un problema de decisiones con respecto a las consecuencias del problema.

La forma de la curva de utilidad de una toma de decisiones depende fundamentalmente de su grado de aversión al riesgo. Cuando asigna índices de utilidad a las consecuencias de cierto problema de decisiones, la toma de decisiones afirma que, a su juicio, la utilidad esperada a largo plazo aumentará si actúa con un criterio de carácter conservador hasta que se haya consolidado una posición financiera más sólida.

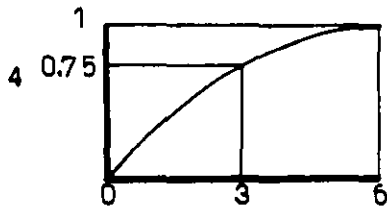
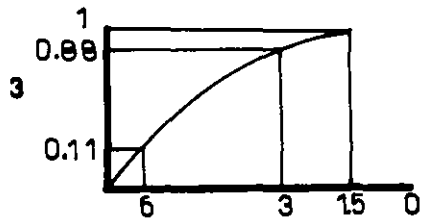
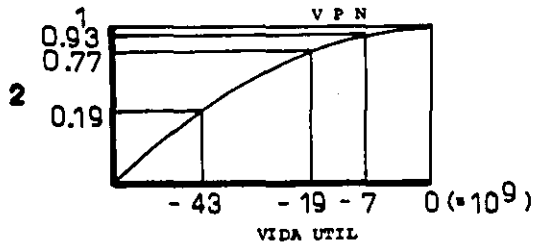
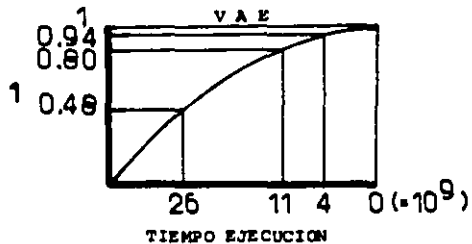


La figura representa tres tipos de funciones de utilidad. La curva A la función de utilidad de A, crece con una tasa decreciente y es cóncava hacia abajo. Esto significa - que una ganancia específica cualquiera, aumenta su utilidad en menos de lo que la disminuye una pérdida por la misma - cantidad, por lo tanto la curva de utilidad de A, tiene una aversión al riesgo. En la curva B una ganancia específica - cualquiera aumenta su utilidad, medida en el eje vertical, - en más de lo que disminuye una pérdida por la misma cantidad de dinero. Esta actitud se llama preferencia al riesgo. La curva de la función de utilidad de B, es cóncava hacia arriba, es decir, es una función creciente con tasa creciente de crecimiento. La curva de la función de utilidad de C, es lineal con respecto a las consecuencias monetarias, estas mismas son y pueden utilizarse como índices de utilidad a considerar alternativas riesgosas y tomar decisiones.

PARA LA APLICACION DE LA TEORIA DE UTILIDAD Y DE LOS MODELOS COMPENSATORIOS Y NO COMPENSATORIOS  
SE CONSIDERAN EN LA SIGUIENTE TABLA:

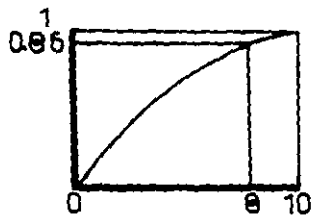
| ALTERNATIVA | V A E                 | V P N           | TIEMPO<br>(MESES)<br>EJECUCION | VIDA<br>UTIL<br>(AÑOS) | CONFIABILIDAD<br>( 1 - 10 ) | CONDICIONES<br>DE SERVICIO<br>( 1 - 10 ) | SEMPLEZ<br>PROCEDIMIE<br>TO CONSTRUC<br>TIVO (1-10) |
|-------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|
| (1)         | 4 575 108 900         | - 7 758 890 110 | 1.5                            | 3                      | 8                           | 6  | 9   |
| (2)         | <u>26</u> 274 471 400 | -43 959 731 800 | 6                              | 6                      | 10                          | 10                                       | 5   |
| (3)         | <u>11</u> 305 300 156 | -19 293 934 230 | 3                              | 6                      | 10                          | 8  | 7   |

SE CONSIDERA UN CRITERIO CONSERVADOR PARA TODOS LOS CASOS EN LA TEORIA DE LA UTILIDAD



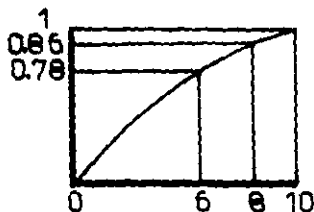


COPFIABILIDAD



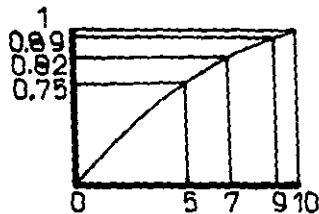
5

CONDICIONES DE SERVICIO



6

SENCILLEZ PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.



7

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Interpretación de la aplicación de la teoría de utilidad en cada caso considerando un criterio conservador.

| Número de Gráfica | Alternativa que propone ejecutar. |
|-------------------|-----------------------------------|
| (1)               | 1)                                |
| (2)               | 1)                                |
| (3)               | 1)                                |
| (4)               | 2) 6 3)                           |
| (5)               | 2) 6 3)                           |
| (6)               | 2)                                |
| (7)               | 1)                                |

Para la aplicación de los modelos compensatorios y no compensatorios es necesario considerar inaceptable una alternativa si el tiempo de ejecución excede de 9 meses o si la vida útil es menor a 3 años, o si la confiabilidad es inaceptable, o si las condiciones de servicio no son las suficientes, o si el proceso constructivo es muy complejo, menor de 5 en escala de 1 a 10, además la vida útil se estima mas importante que las condiciones de servicio, que a su vez se consideran mas importantes que el tiempo de ejecución, las demás se consideran de menor importancia.

MODELO DE SATISFACCION ( CONJUNTIVO ) :

|   |             |
|---|-------------|
| VAE   | (1) (2) (3) |
| VPN   | (1) (2) (3) |
| TIEMPO<br>EJECUCION                           | (1) (2) (3) |
| VIDA<br>UTIL                                  | (1) (2) (3) |
| CONFIABILIDAD                                 | (1) (2) (3) |
| CONDICIONES<br>DE SERVICIO                    | (1) (2) (3) |
| SENCILLEZ EN<br>PROCEDIMIENTO<br>CONSTRUCTIVO | (1) (2) (3) |

TODAS LAS ALTERNATIVAS  
SON ACEPTADAS

MODELO DE DOMINACION :

|   |                |
|---|----------------|
| VAE   | (1)            |
| VPN   | (1)            |
| TIEMPO<br>EJECUCION                           | (1)<br>(2) (3) |
| CONFIABILIDAD                                 | (2) (3)        |
| CONDICIONES<br>DE SERVICIO                    | (2)            |
| SENCILLEZ EN<br>PROCEDIMIENTO<br>CONSTRUCTIVO | (1)            |

TODAS LAS ALTERNATIVAS  
SON ACEPTADAS

MODELO LEXICOGRAFICO:

|   | (1) | (2)       | (3)      |
|---|-----|-----------|----------|
| VAE   | 4   | 26        | 11       |
| VPN   | -7  | -43       | -19      |
| TIEMPO<br>EJECUCION                           | 1.5 | 6         | 3        |
| VIDA<br>UTIL                                  | 3   | <u>6</u>  | <u>6</u> |
| CONFIABILIDAD                                 | 8   | 10        | 10       |
| CONDICIONES<br>DE SERVICIO                    | 6   | <u>10</u> | 8        |
| SENCILLEZ EN<br>PROCEDIMIENTO<br>CONSTRUCTIVO | 9   | 5         | 7        |

SE CONSIDERA LA ALTERNATIVA  
VA (2) COMO LA MEJOR

MODELO UTILIDAD ADITIVA (COMPENSATORIO):

| IMPORTANCIA                                | (1)  |                | (2)  |                | (3)  |                |
|--|------|----------------|------|----------------|------|----------------|
|  | U    | U <sub>A</sub> | U    | U <sub>A</sub> | U    | U <sub>A</sub> |
| 10 VAE                                     | 0.94 | 0.094          | 0.48 | 0.048          | 0.80 | 0.080          |
| 8 VAV                                      | 0.93 | 0.074          | 0.19 | 0.015          | 0.77 | 0.061          |
| 18 TIEMPO EJECUCION                        | 1.0  | 0.18           | 0.11 | 0.019          | 0.88 | 0.158          |
| 25 VIDA UTIL                               | 0.75 | 0.107          | 1.0  | 0.25           | 1.0  | 0.25           |
| 12 CONFIABILIDAD                           | 0.86 | 0.103          | 1.0  | 0.12           | 1.0  | 0.12           |
| 20 CONDICIONES DE -<br>SERVICIO            | 0.78 | 0.156          | 1.0  | 0.20           | 0.86 | 0.172          |
| 7 SUCESOS<br>PROCEDIMIENTO<br>CONSTRUCTIVO | 0.90 | 0.062          | 0.75 | 0.052          | 0.82 | 0.057          |
| <b>TOTAL</b>                               |      | <b>0.856</b>   |      | <b>0.704</b>   |      | <b>0.898</b>   |

Se considera como la mejor alternativa la número (3) ya que su utilidad es de 0.898

## CONCLUSIONES

La principal conclusión consiste en hacer notar que cualquier tipo de rehabilitación que tenga que realizarse en el futuro, deberá evitar que las presiones en el subsuelo sean incrementadas por el peso original del pavimento y las sucesivas renivelaciones.

En cuanto a la aplicación de los métodos para evaluar proyectos y a los modelos para la toma de decisiones es importante tomarlos en cuenta en cualquier proyecto que la solución óptima se dará en base al punto de vista más importante que se aplique.

La selección óptima de las tres alternativas que se presentan en la presente tesis es sin duda desde el punto de vista de costos la alternativa (1), desde el punto de vista de condiciones de servicio y vida útil es la alternativa (2), desde el punto de vista de sencillez en el procedimiento constructivo y confiabilidad es la alternativa (3), sin embargo, la determinación de la mejor alternativa la tienen que escoger las autoridades responsables dependiendo del punto de vista que más les convenga.

SISTEMA DE D. COLECCION

34 X 201-2  
BR

Pienso que la mejor alternativa de las propuestas en la presente tesis es la número (3), ya que su costo es notoriamente variable al de la construcción de una pista totalmente nueva y evita el incremento de las presiones en el subsuelo, pueda proporcionar los mismos beneficios que una pista completamente nueva y con un procedimiento constructivo más simple.

## ANEXO



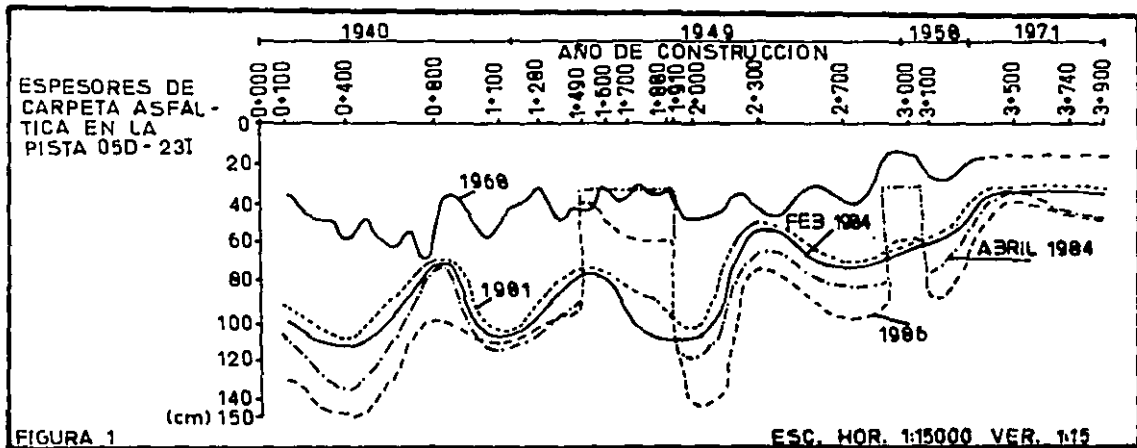
- (1) Apuntes de Sistemas Aeroportuarios  
Ing. Edmundo Barrera.
  
- (2) GEOSOL (1981). Estudio Geotécnico y proyecto  
de los pavimentos para la ampliación del Aero  
puerto Internacional de la Ciudad de México.
  
- (3) GEOSOL (1984) Estudio del comportamiento de la  
pista 05D - 23I del Aeropuerto Internacional  
de la Ciudad de México.
  
- (4) Análisis y evaluación de proyectos de inversión  
Raúl Cosas BU.
  
- (5) Introducción a la teoría de las decisiones  
Jean Paul Rheault

Apuntes de Ingeniería de Sistemas III

Ing. Rodolfo Ambríz.

## FIGURAS

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



AICM PISTA 05D - 23I

VARIACION MEDIA DEL ESPESOR TOTAL DE LAS CAPAS ASFALTICAS EN LOS TRAMOS CORRESPONDIENTES A LAS DIFERENTES EPOCAS DE CONSTRUCCION.

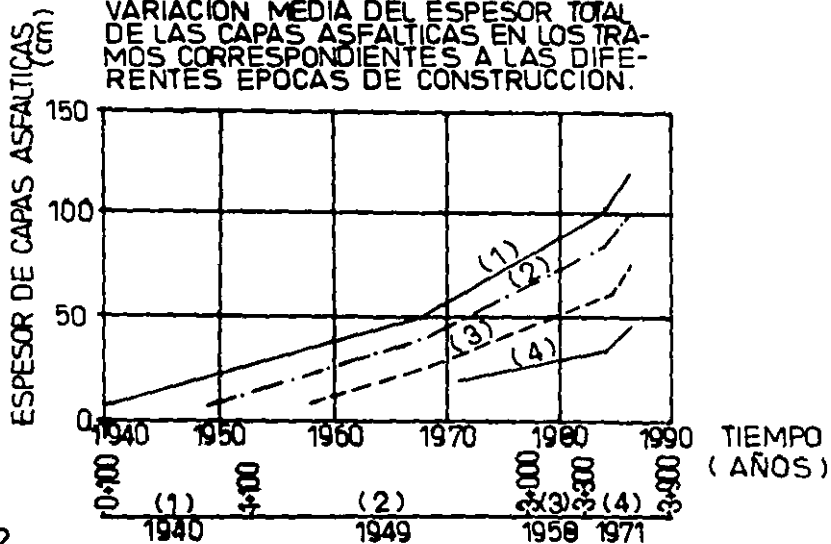


FIGURA 2

SECCION TIPICA

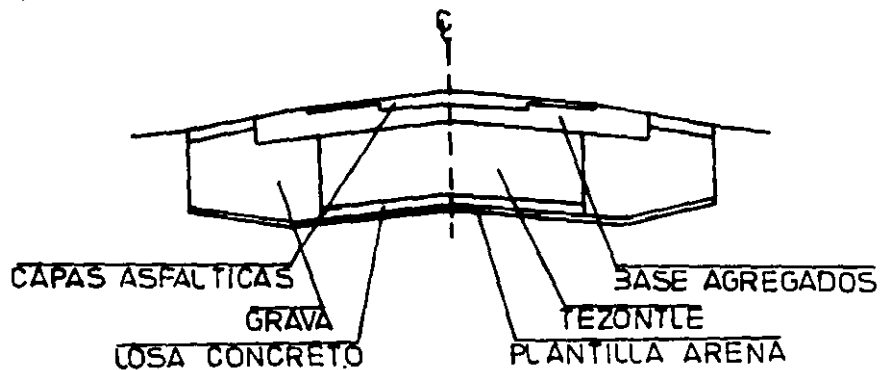


FIGURA 6

DISTRIBUCION DEL INCREMENTO  
DE PRESIONES

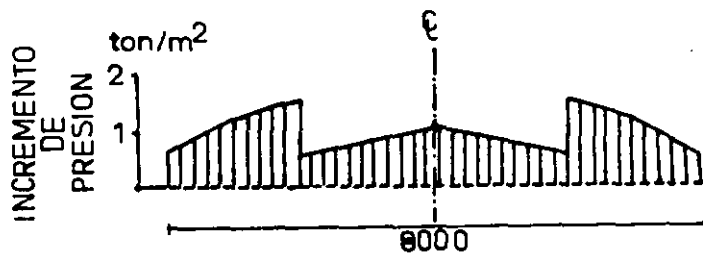
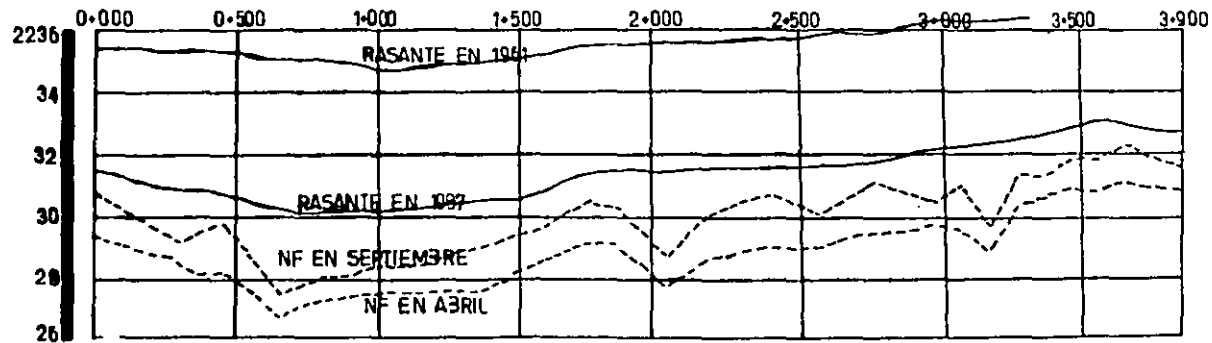


FIGURA 7

DIMENSIONES EN (CM)

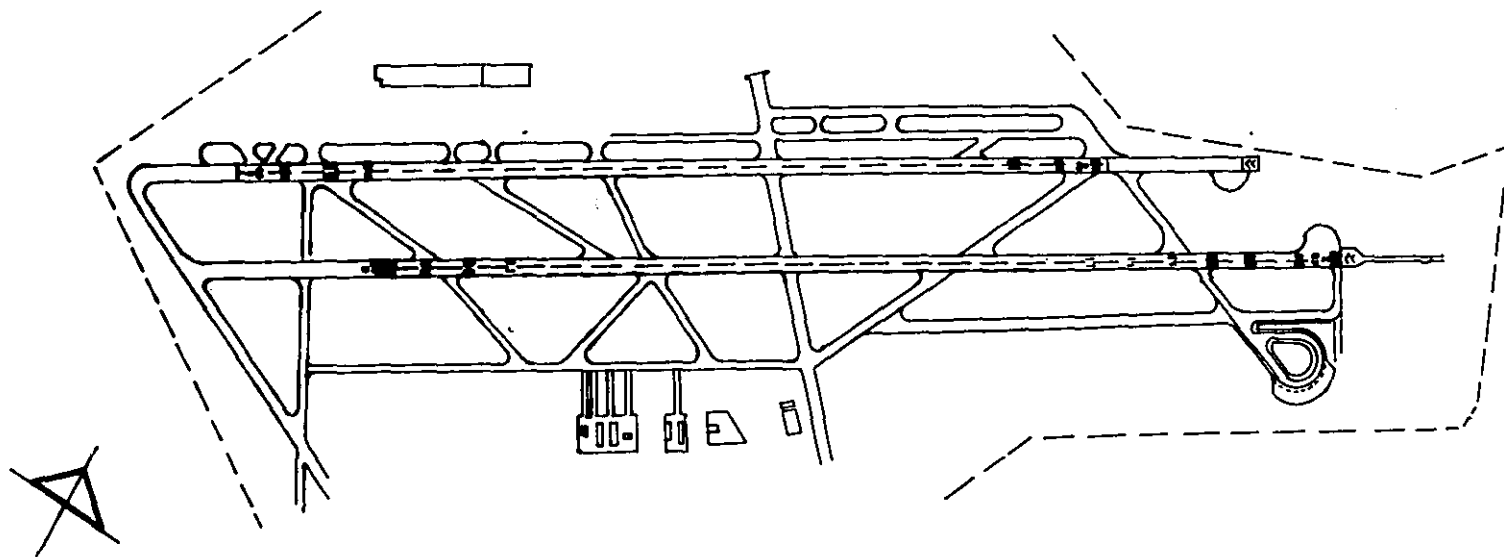
ELEVACION MSNM



POSICION DE LA RASANTE DE LA PISTA 05D-23I EN 1961 Y 1987 Y DE NIVEL EREACTICO MINIMO Y MAXIMO EN UN AÑO.

FIGURA 8

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO





## BIBLIOGRAFIA

Decisiones with multiple objectives:

Preferences and value tradeoffs

Kesney And Raiffa.

Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión

Raúl Coss BU.

Introducción a la Teoría de las Decisiones.

Jean Paul Rheault.

Manual de Conservación de Aeropuertos

Ing. Federico Dovali.

GEOSOL (1981). Estudio Geotécnico y proyecto de

los pavimentos para la ampliación del aeropuerto

Internacional de la Ciudad de México.

GEOSOL (1984). Estudio del Comportamiento de la

pista OSD - 231 del Aeropuerto Internacional de

la Ciudad de México.

Proceedings of the eleventh International  
Conference on soil mechanics and foundation  
Engineering.

San Francisco 12-16 August 1985.

Revistas Ingeniería Civil Números 242 y 243

Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C.

Apuntes de Sistemas Aeroportuarios

Ing. Edmundo Barrera.

Apuntes de Ingeniería de Sistemas III

Ing. Rodolfo Ambrís.