



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS
DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL
"BAHÍAS DE HUATULCO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
JAIME GALLEGOS HUICOCHEA

MEXICO, D. F.

1985.



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.2	<u>Ensayes a los materiales para capa subra-</u> <u>sante</u>	25
3.3	<u>Ensayes a materiales para pavimentos as-</u> <u>fálticos</u>	26
3.4	<u>Ensayes a los materiales para concreto.</u>	28

CAPITULO 4

ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES.	29
------------------------------	----

CAPITULO 5

RECOMENDACIONES GEOTECNICAS	33
5.1 <u>Terracerías</u>	33
5.2 <u>Cimentación de obras menores</u>	35
5.3 <u>Recomendaciones para la construcción de las</u> <u>terracerías.</u>	36

CAPITULO 6

PROYECTO DE PAVIMENTACION	43
6.1 <u>Datos para el diseño de los pavimentos</u>	43
6.2 <u>Criterios de diseño</u>	
6.3 <u>Estructuración de los pavimentos</u>	54
6.4 <u>Normas de calidad y procedimientos de cons</u> <u>trucción de los pavimentos</u>	57
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	62

INTRODUCCION:

Debido a que la infraestructura turística es una de las más grandes captadoras de divisas y generadoras de empleo en nuestro país, se ha visto la posibilidad de crear nuevos desarrollos turísticos en los diferentes estados de la República. Tal es el caso de Oaxaca en donde FONATUR proyecta, el Desarrollo Turístico "Bahías de Huatulco", contemplándose dentro de esta infraestructura la construcción del Aeropuerto Internacional del mismo nombre, que quedará a cargo de la S.C.T.

Este trabajo tiene por objeto diseñar las secciones estructurales de las áreas de la aeropista, plataformas, caminos de acceso y caminos perimetrales. También se describen las investigaciones geotécnicas, de los materiales que se utilizarán en la construcción de las mismas secciones. Además se proporcionan las normas de calidad y procedimiento de construcción, tanto de las terracerías como de los pavimentos.

El diseño de los pavimentos se basa en el análisis de las características físicas de la subestructura, que a su vez se fundamenta en los trabajos de campo y laboratorio.

Dentro del estudio geotécnico se incluye, un estudio geofísico (geosísmico de refracción) ya que el aeropuerto se ubica en una zona de lomerío donde obviamente existirán cortes y terraplenes de gran magnitud constructivamente hablando. El estudio geosísmico tiene por objeto delimitar la frontera entre la roca intemperizada y la roca sana, para que así se pueda tener una idea del material aprovechable, en cuanto a bancos, del movimiento de tierras y la cantidad de explosivo a utilizar.

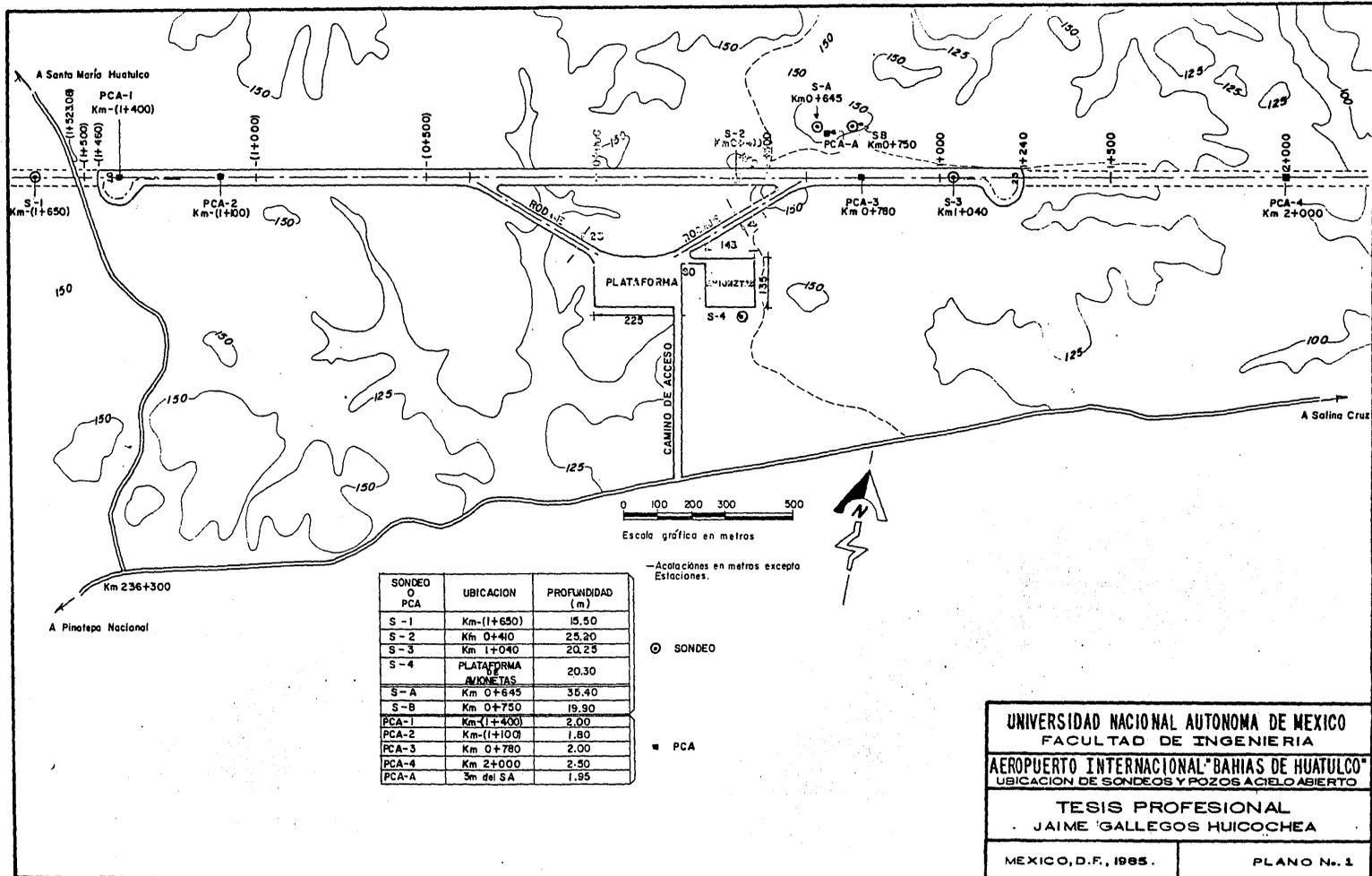
El proyecto geométrico contempla la construcción de una pista con denominación 07-25, de 2,700 m. de longitud por 45 m. de ancho; contará además, con cabeceras de retorno, dos tramos de acceso de alta velocidad (rodajes A y B), una plataforma de operaciones de 135 x 225 m., en su etapa inicial y una plataforma de avionetas de 135 x 143 m. Las instalaciones del aeropuerto se encuentran a escasos 350 m. de la carretera Costera del Pacífico, tramo Pochutla-Salina Cruz, y a unos 12 Km al Sur del poblado de Santa María Huatulco, Oax. La ubicación del aeropuerto en estudio se muestra en el Fig. 1. La distribución de las diversas áreas e instalaciones por construir, se muestran en el Plano No. 1.

En el Capítulo 1 se describen las condiciones regionales, incluyendo las que se refieren a su morfología, geología

general, climatología y condiciones de drenaje. Los estudios de campo, incluyendo los geosísmicos de refracción, se reportan en el Capítulo 2. En el Capítulo 3 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio.

La estratigrafía y propiedades en el área del aeropuerto que se establece en el Capítulo 4, dan lugar a las recomendaciones geotécnicas y de construcción de las terrazas del Capítulo 5.

El proyecto de pavimentación se describe en el Capítulo 6 y las normas de calidad y procedimiento de construcción de los pavimentos quedan contenidas en el Inciso 6.4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AEROPUERTO INTERNACIONAL BAHIAS DE HUATULCO
 UBICACION DE SONDEOS Y POZOS A CIELO ABIERTO
 TESIS PROFESIONAL
 JAIME GALLEGOS HUICOCHEA
 MEXICO, D.F., 1985. PLANO N.º 1

CAPITULO I

CONDICIONES REGIONALES

1.1 Morfología.

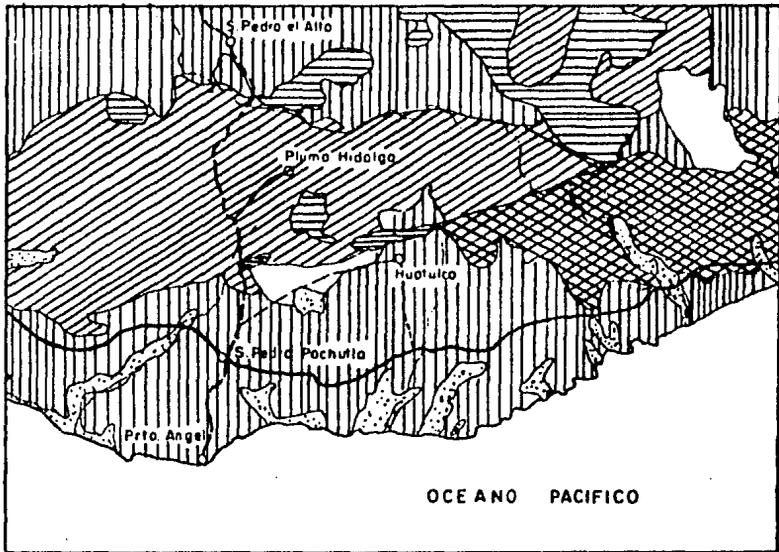
La configuración natural del terreno donde quedará emplazado el aeropuerto, corresponde a una zona de lomerío suave a fuerte, con desnivel máximo de 95 m, aproximadamente, que obligará a cortes máximos del orden de 30 m. y terraplenes de 25 m.

El área en estudio pertenece a las estribaciones finales de la cadena montañosa de la Sierra Madre del Sur que desciende hacia el Océano Pacífico en una zona de rocas plegadas y erosionadas.

1.2 Geología.

La geología regional que ilustra la Fig. 2, corresponde a la provincia de la Sierra Madre del Sur.

Las rocas que afloran en la región corresponden_



-  Pleistaceno y Reciente
-  Intrusivo del Cenozoico inferior.
-  Mesozoico intrusivo (granitas)
-  Cretácico medio (calizas)
-  Paleozoico intrusivo (granitas)
-  Pre-Cámbrico metamórfico (gneiss)

Fig. 2 Geología Regional

a un complejo de granitos y gneisses por inyección (migmatitas), cuyos cambios laterales entre uno y otro tipo de rocas pueden ocurrir en distancias cortas.

Existen opiniones contradictorias en cuanto al origen de las rocas, ya que algunos autores indican que los granitos del complejo fueron producidos por fenómenos de granitización de rocas metamórficas preexistentes, en tanto que otros autores opinan que los gneisses son producto de metamorfismo de los granitos.

La edad geológica de la formación Acatlán a la que pertenecen estas rocas, se ubica a fines del Precámbrico o Inicios del Paleozóico.

Al norte de esta unidad, entre los poblados de Sta. María Huatulco y Benito Juárez afloran rocas calizas en las prominencias más elevadas -- (Cerro Huatulco, Cerro El Espinal, etc), pertenecientes al Cretácico Medio.

En los cauces de los escurrimientos y en las pequeñas zonas deprimidas se localizan suelos aluviales (arenas predominantemente), que corresponden

den al Pleistoceno y Reciente.

Las rocas intrusivas y metamórficas de la zona determinan una costra, con espesor medio de 5 m., de suelos residuales muy compactos, mezclados con roca muy alterada de diferentes tamaños. En el área también pueden apreciarse algunos bloques redondeados de roca granítica muy duros embebidos en la capa de interperismo descrita.

1.3 Climatología.

De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger el clima regional se clasifica como subecuatorial tipo sudanés caluroso regular. Los factores climatológicos se consignan en la Tabla 1, obtenidos de la estación meteorológica de San Pedro Pochutla, Oax.

T A B L A I

CLASIFICACION CLIMATOLOGICA

DATOS DE LA ESTACION METEOROLOGICA EN SAN PEDRO POCHUTLA,
OAX.

M E S	OBSERVACIONES PLUVIOMETRICAS (MM)	OBSERVACIONES TERMOMETRICAS (°C)		
		MEDIA MENSUAL	MAXIMA EXTREMA	MINIMA EXTREMA
ENE	2.0	25.3	33.0	15.0
FEB	0.0	25.3	34.0	17.0
MAR	0.0	26.2	35.0	15.0
ABR	0.0	27.3	35.0	20.0
MAY	51.5	28.5	36.0	21.5
JUN	501.5	27.3	35.5	20.0
JUL	38.5	27.6	35.5	20.5
AGO	168.5	26.6	34.5	20.0
SEP	136.0	27.0	34.5	20.0
OCT	132.0	26.0	34.0	18.5
NOV	0.0	26.5	34.0	19.0
DIC	0.0	26.0	35.0	17.0
	p(mm) 830.30	ƒ 26.63	T 36.00	t 15.00

1.4 Drenaje.

El sistema de avenamiento regional es de tipo -
dendrítico con escurrimientos escasos, de tipo -
torrencial constituido por arroyos de poca impor-
tancia de los cuales los principales son "El Za-
pote" y el "CuaJinicuil".

Los ríos de mayor importancia, con escurrimien-
tos todo el año, son "El Coyula" y "El Copalita",
a una distancia del aeropuerto de 5 y 24 Km., --
respectivamente.

Los escurrimientos en la zona de aeropuerto tie-
nen una tendencia general a la socavación verti-
cal.

CAPITULO 2

ESTUDIOS DE CAMPO

Conforme a las condiciones morfológicas y geológicas - del área en estudio, descritas en el Capítulo 1, así - como el proyecto geométrico de la aeropista, que impli - can cortes de gran magnitud, la investigación del sub - suelo requiere estudios fuera de lo común, si se compa - ra con la mayoría de los aeropuertos del país que gene - ralmente quedan emplazados en zonas sensiblemente pla - nas.

Uno de los aspectos a determinar es la profundidad de - intemperismo de las formaciones rocosas y la forma en - que varía este espesor, por lo menos hasta el nivel de subrasante.

Como método más rápido y económico se optó por el méto - do de exploración geosísmico de refracción, tanto para determinar la incógnita antes señalada, como para cla - sificar la roca en cuanto a su atacabilidad, a partir - de la velocidad de ondas longitudinales detectadas.

En cualquier forma, es indispensable efectuar sondeos_ estratégicamente ubicados para relacionar los resultados de geofísica con el tipo de calidad de la roca.

2.1 Estudio geosísmico de retracción.

El programa adoptado consistió en la exploración geosísmica, hasta una profundidad comprendida - entre 25 y 30 m., en las siguientes tres áreas:

- a) A lo largo del eje de la pista, entre las estaciones - (1+800) y 1+600, con una longitud total del orden de 3000 m.
- b) En una prominencia ubicada a 170 m. a la izquierda de la pista, en su estación U+650, - como posible préstamo de materiales, en virtud de que el proyecto geométrico contempla_ una sección en corte, ya que cae dentro de - las franjas de seguridad de la aeropista.
- c) En un lomerío en donde se va a ubicar la plataforma de instalaciones, donde también se - tendrán secciones en corte.

El método empleado para llevar a cabo el estudio fué el sísmico de refracción, cuyos fundamentos se describen a continuación.

El método de investigación por sísmica-refracción se basa en el análisis de las oscilaciones producidas por solicitaciones instantáneas.

La propagación de ondas elásticas sigue las leyes de refracción óptica y por lo tanto se rige con el principio de Snell que relaciona ángulos de refracción y velocidades.

En el caso de un estrato de velocidad V_2 mayor que V_1 , se observará que el tiempo de propagación de la onda V_1 decrecerá a partir de una cierta distancia al transmitirse las vibraciones por la capa de fondo de velocidad V_2 .

La profundidad (h) hasta la capa de velocidad V_2 puede ser calculada por las ecuaciones de la refracción que se incluyen en la Fig. 3, en ella se indica también la fórmula general para una sucesión de capas de velocidad $V_1 < V_2 < V_3 \dots \dots < V_n$.

De este modo, las mediciones geofísicas de espesores por el método de sísmica-refracción, en --escensia, quedan limitadas a la obtención de los tiempos que las ondas de comprensión emplean a -recorrer una distancia conocida variable; ésto -permite calcular las velocidades de los diferen--tes estratos y sus respectivos espesores, si se_adoptan dispositivos de medición adecuados, en -relación con la profundidad por investigar.

El aparato de medición empleado es un laborato--rio portátil de tipo galvanométrico de 12 trazas, con regulación manual del nivel de amplificación. La base de tiempo es de 10 milisegundos. El registro de las trazas luminosas, correspondientes a las ondas de propagación, se realiza por medio de fotografías Polaroid, a revelación instantá--nea.

El aparato va unido a 12 geófonos por medio de -un cable a lo largo del cual se sitúan, en orden progresivo, las conexiones de los diferentes re--ceptores o geófonos.

La señal de tiempo cero llega al aparato en sin--cronización con la explosión.

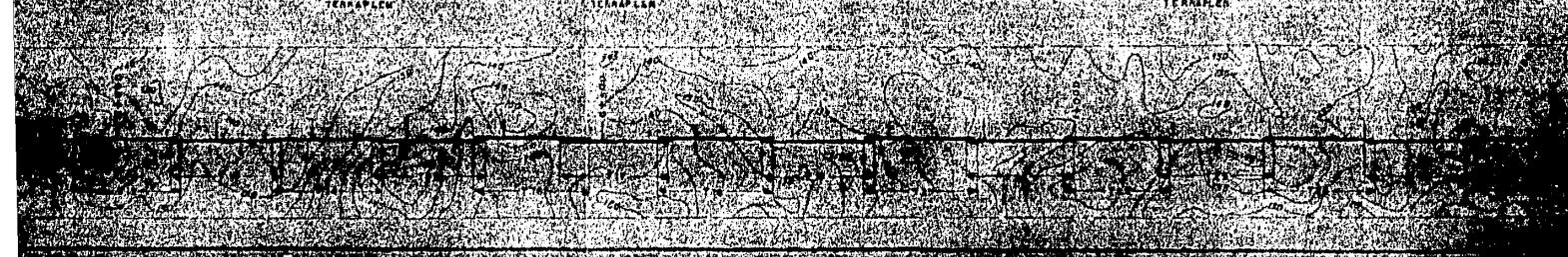
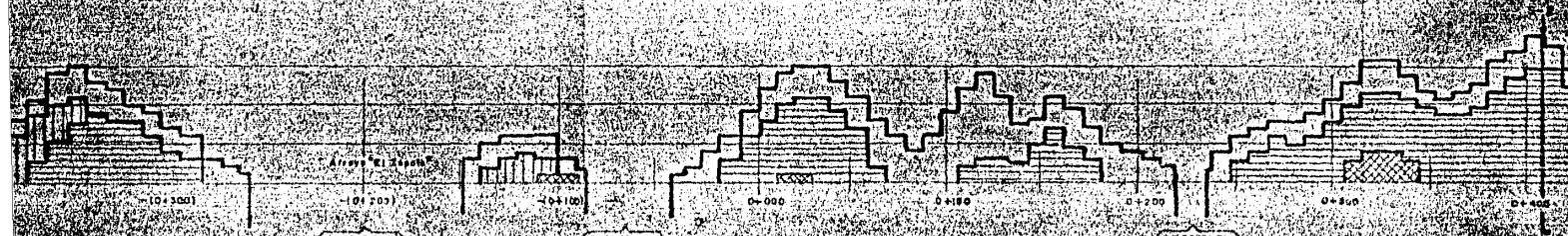
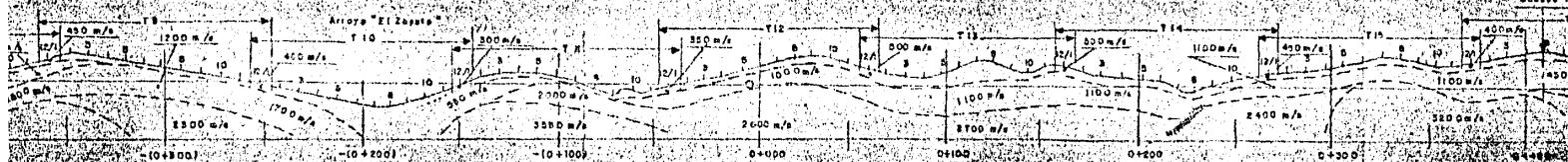
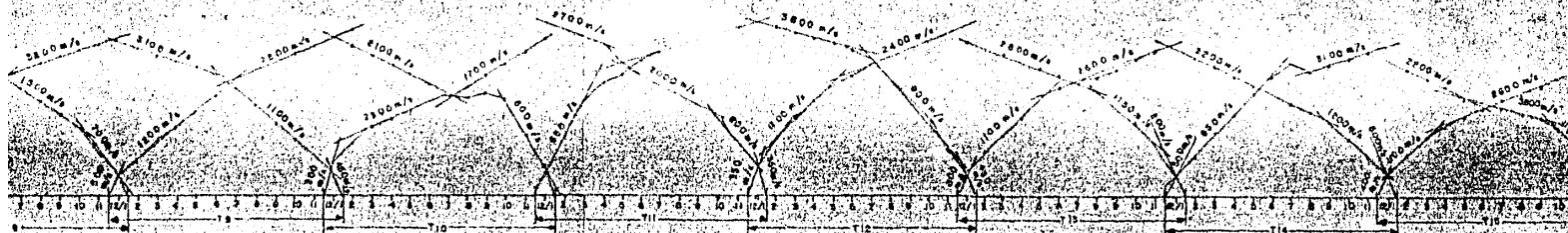
Los cálculos e interpretación de las mediciones_ de sísmica-refracción se realizaron en varias -- etapas e incluyen los siguientes trabajos:

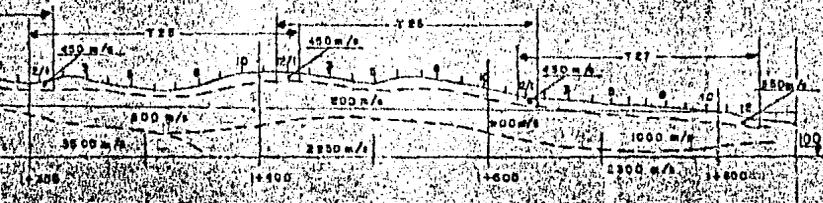
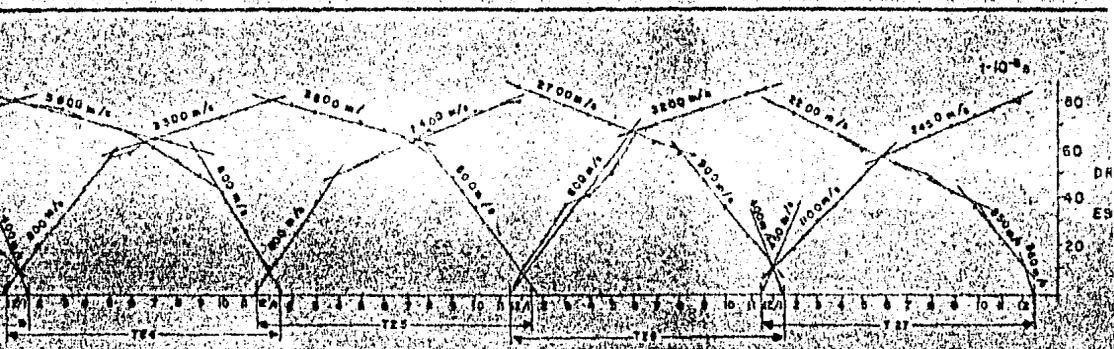
- a) Determinación, por medición directa sobre el terreno de la distancia entre geófonos y punto de tiro.
- b) Localización en planta de los puntos de tiro y colocación de geófonos.
- c) Cuando sea necesario, cálculo de la distan-- cia real entre un punto de tiro y sus respectivos geófonos (distancia mínima a traves -- del terreno).
- d) Análisis de los sísmogramas obtenidos por registro y determinación de los tiempos entre_ el instante de la explosión y de la llegada_ del frente de onda longitudinal, a los rec-- pectivos geófonos.
- e) Construcción de dromocrónicas o gráficas de_ velocidades, con ordenadas en milisegundos (tiempos) y abscisas en metros (distancias -

reales).

- f) Interpretación cualitativa de los gráficos.
- g) Análisis cuantitativo de las dromocrónicas: definición de "codos", velocidades aparentes, zonas de distintas velocidades, pérdidas de tiempo locales, etc., teniendo en cuenta los resultados anteriores.
- h) Análisis y correlación de los resultados obtenidos con los datos de observación directa y los sondeos mecánicos efectuados.
- i) Correlación con los datos de estudios similares anteriores y de las características geotécnicas del terreno. En esta última etapa de interpretación, se tiene en cuenta la experiencia de numerosas investigaciones similares.

Las mediciones que se realizaron a lo largo del eje de la pista proyectado (Plano No. 2), se llevaron a cabo mediante tendidos. Entre las estaciones - (1+800) y - (1+400), se efectuaron cua-





PERFIL DE RESULTADOS
 ESCALA: N 1:2000



ESTRATIGRAFIA	DESCRIPCION	ESPAESOR (m)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

UNIDAD	DESCRIPCION	ESPAESOR (m)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

UNIVERSIDAD NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNICA
 GEOLOGIA Y GEOTECNICA

MEXICO, D.F., 1971

tro tendidos sísmicos y entre las estaciones - -
- (0+790) y 1+620, los veintidos tendidos restan-
tes. En estas dos zonas se localizan los cortes
del terreno por estudiar. Cada tendido está - -
constituido por doce geófonos espaciados entre -
sí 10 m. conforme la configuración natural del -
terreno; dos puntos de excitación (explosión de_
dinamita), situados en ambos lados del tendido y
a cinco metros de los geófonos extremos, según -
el eje de proyecto, permitieron la obtención de
veinticuatro sismogramas por tendido. Lo ante-
rior, repetido veintisiete veces, permitieron ob-
tener un total de seiscientos cuarenta y ocho --
sismogramas.

En la segunda área estudiada que se localiza en_
la prominencia situada a unos 170 m. al NNW del -
eje de pista proyectado a la proyección de las -
estaciones 0+645 y 0+750, se ubicaron tres tendi-
dos (T28 a T30), de doce geófonos cada uno, con_
las mismas características que los realizados en
la primera área y cuya ubicación se expone en la
parte izquierda del Plano No. 3. El total de --
sismogramas obtenidos fué de setenta y dos.

En la tercera y última área involucrada en el es

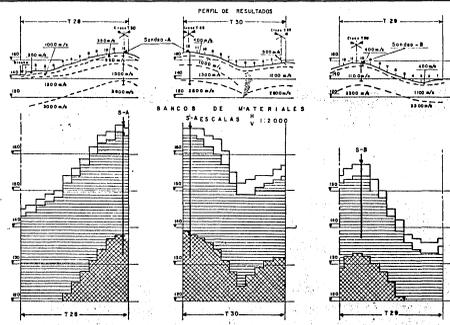
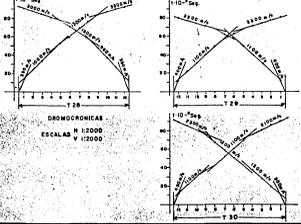
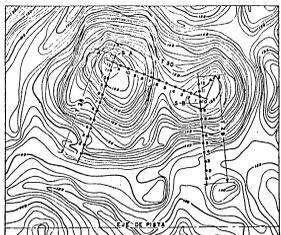
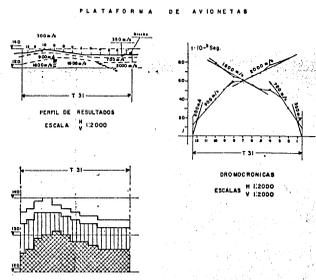
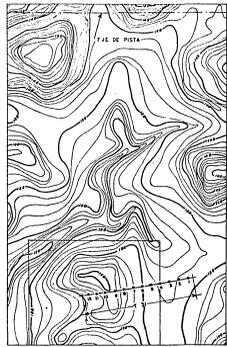


TABLA N° 2

MATERIAL	DE	CORTE	VOLUMEN DE MATERIALES
EST. SE TRABAJE EN EL SE W	TANTAMIENTO	DESCRIPCION	EN CUBICOS METROS
L08	L08	SUELO RESIDUAL Y ROCA MUY ALTERADA	00 - 100 - 00 158 154 127
L13	L08	ROCA FRACTURADA Y ALTERADA	00 - 50 - 50
---	L13	ROCA FRACTURADA Y ALGO ALTERADA	00 - 50 - 70 8-8 3-3 8-3
---	L25	ROCA SANA	00 - 00 - 100 8-8 1-8 4

En este plano se indica la tabla No 1



El barrido S-4 se hizo en el plano de localización de los caminos y puentes a este trabajo.
 Para los bancos de materiales y en plataformas de concreto se usó la cota 120 como referencia.
 Para la sección de proyecto se usó la cota 127 como referencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE CIENCIAS RURALES
 AEROPUERTO INTERNACIONAL BAHAS DE HUATUCO
 RESULTADOS GEOGRAFICOS EN LAS AREAS DEL BANCO DE MATERIALES Y PLATAFORMA DE AVIONETAS
 TESIS PROFESIONAL
 JAIME GALEGOS HUICOCHEA
 MEXICO D.F. 1988 PLANO No. 8

tudio, que corresponde a un lomerío en donde el proyecto planea ubicar la futura plataforma de instalaciones, se colocaron doce geófonos, a lo largo de un tendido (T31) de ciento diez metros. Se obtuvieron veinticuatro sismogramas a partir de dos puntos de excitación (explosión). La ubicación correspondiente a ésta área se expone en la parte derecha del Plano No. 3.

2.2 Investigación directa del subsuelo.

Con el objeto de conocer las propiedades físicas del subsuelo y poder relacionar los resultados de la geofísica, se efectuó una exploración mediante seis sondeos (S-1 a S-4, S-A y S-B) y cinco pozos a cielo abierto (PCA-1 a PCA-4 y PCA-A), localizados como se muestra en el Plano No. 1. En el mismo plano se incluye una tabla donde se reporta la longitud explorada en pozos y sondeos, así como su ubicación.

En la tabla 2 se resumen todos los datos de interés inherentes a los trabajos de exploración.

Tabla 2. Ubicación, longitud explorada, elevación aproximada del brocal y del nivel freático en los sondeos y pozos.

Sondeo o Pozo (No.)	Ubicación Estación	Elevación Brocal (cm)	Longitud Explorada (m)	Longitud Ademe (m)	Elevación N.A.F. (m)
S - 1	-(1+650)	145.00	15.50	3.20	137.00
S - 2	0 +410	148.00	25.20	10.00	127.15
S - 3	1 +040	139.50	20.25	8.25	122.25
S - 4	Plataforma de instalaciones.	129.00	20.30	-	-
S - A	0 +645	150.00	35.40	25.20	126.30
S - B	0 +750	150.00	19.90	5.30	145.15
PCA-1	-(1+400)	135.06	2.00	-	-
PCA-2	-(1+100)	125.00	1.80	-	-
PCA-3	0 +780	132.50	2.00	-	-
PCA-4	2 +000	120.00	2.50	-	-
PCA-A	3m de S-A	150.00	1.95	-	-

Los sondeos A y B fueron realizados en la prominencia ubicada a 170 m. a la izquierda de las - estaciones 0+645 y 0+750, para correlacionar -- ius resultados del estudio geosismico efectuado

en la misma, como posible préstamo de terracerías y en virtud de esperarse los cortes más profundos en esta zona.

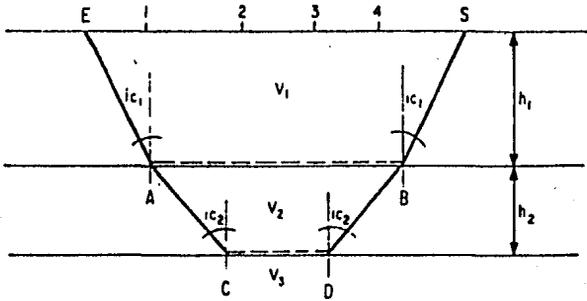
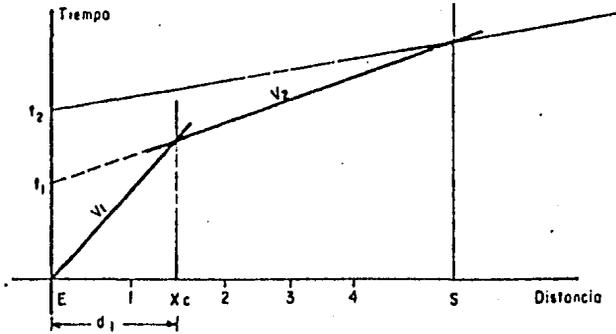
En los sondeos se utilizó el procedimiento de penetración estándar, conforme a la norma ASTM-D-1586, para recuperar muestras alteradas representativas de los suelos y medir el número de golpes, N, necesarios para hincar los 30 cm. centrales del muestreador; la variación de esos golpes con la profundidad aparece en las Figs. 4 a 9.

A partir del contacto entre la zona intemperizada y la roca más sana se empleó barril doble giratorio, provisto con broca de diamante, para la obtención de núcleos en diámetro N (5.7 cm).

Para mantener estables las paredes en las perforaciones de los sondeos, se utilizó ademe metálico, combinándolo con lodos de perforación.

Los pozos a cielo abierto fueron excavados a pico y pala hasta una profundidad máxima de 2.50 m., recuperándose muestras representativas alteradas y se observaron directamente las características de la formación granítica más intemperizada.

Fig. 3 Interpretación y ecuaciones aplicables en el método de sísmica de refracción



$$h_1 = \frac{d_1}{2} \sqrt{\frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}} \quad h_2 = \left(t_2 - \frac{2v_1 \sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{v_3 + v_1} \right) \cdot \frac{v_3 + v_2}{2\sqrt{v_3^2 - v_2^2}}$$

$$h_{1(n-1)} = \left(t_n - \frac{2h_1 \sqrt{v_n^2 - v_1^2}}{v_n + v_1} - \frac{2h_2 \sqrt{v_n^2 - v_2^2}}{v_n + v_2} - \dots - \frac{2h_{(n-2)} \sqrt{v_n^2 - v_{(n-2)}^2}}{v_n + v_{(n-2)}} \right) \frac{v_n + v_{(n-1)}}{2\sqrt{v_n^2 - v_{(n-1)}^2}}$$

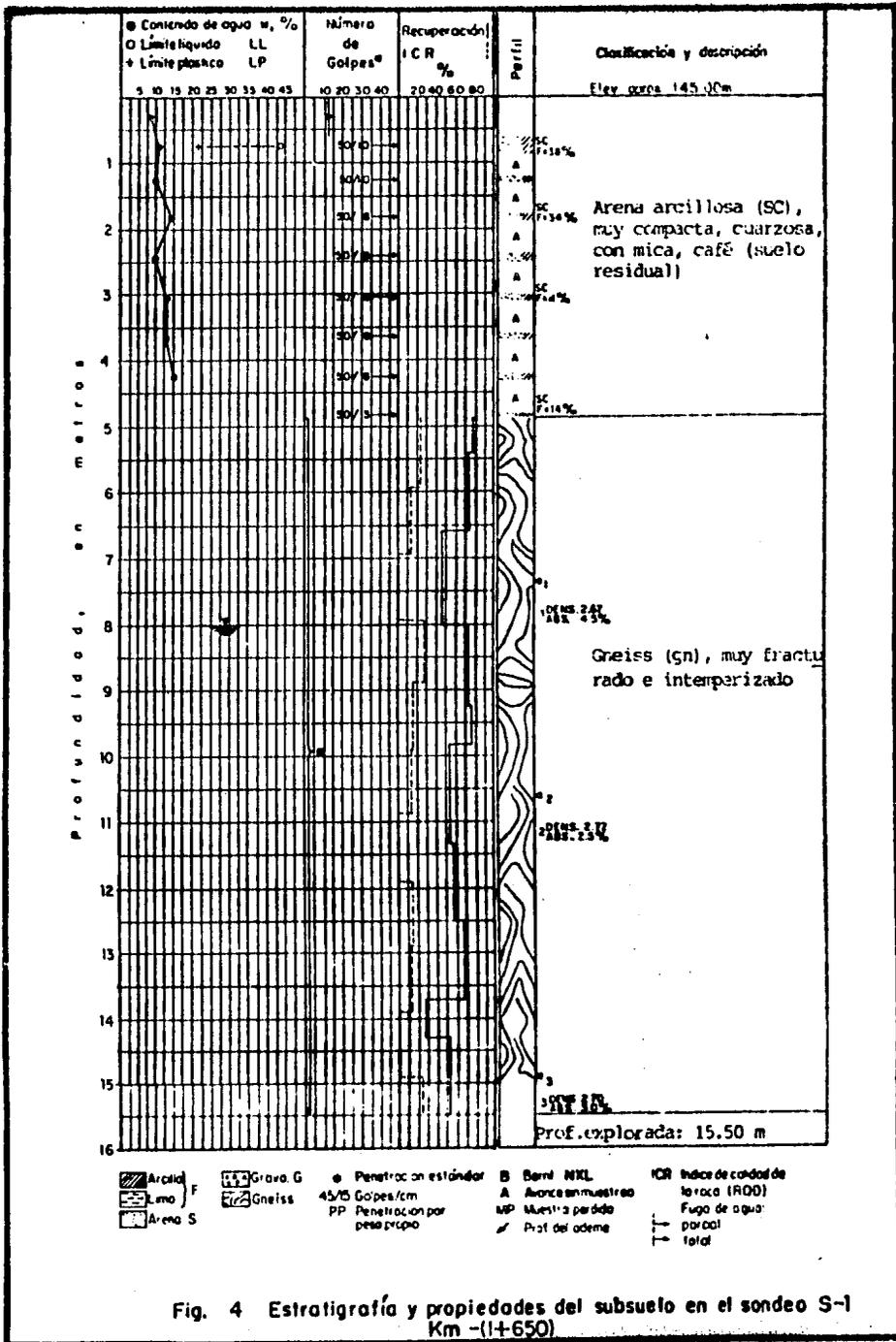


Fig. 4 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-1 Km -(1+650)

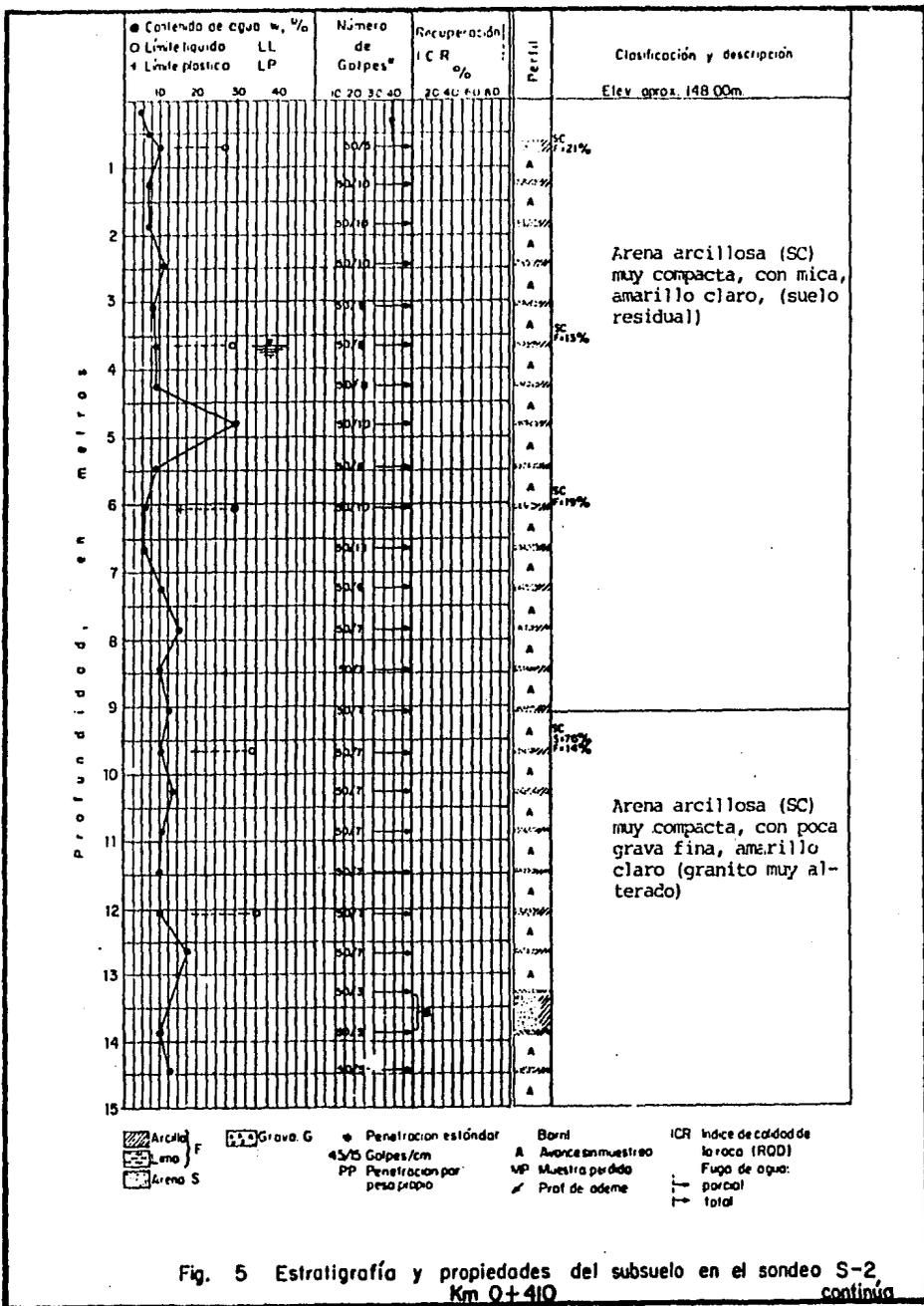


Fig. 5 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-2, Km Q+410 continúa

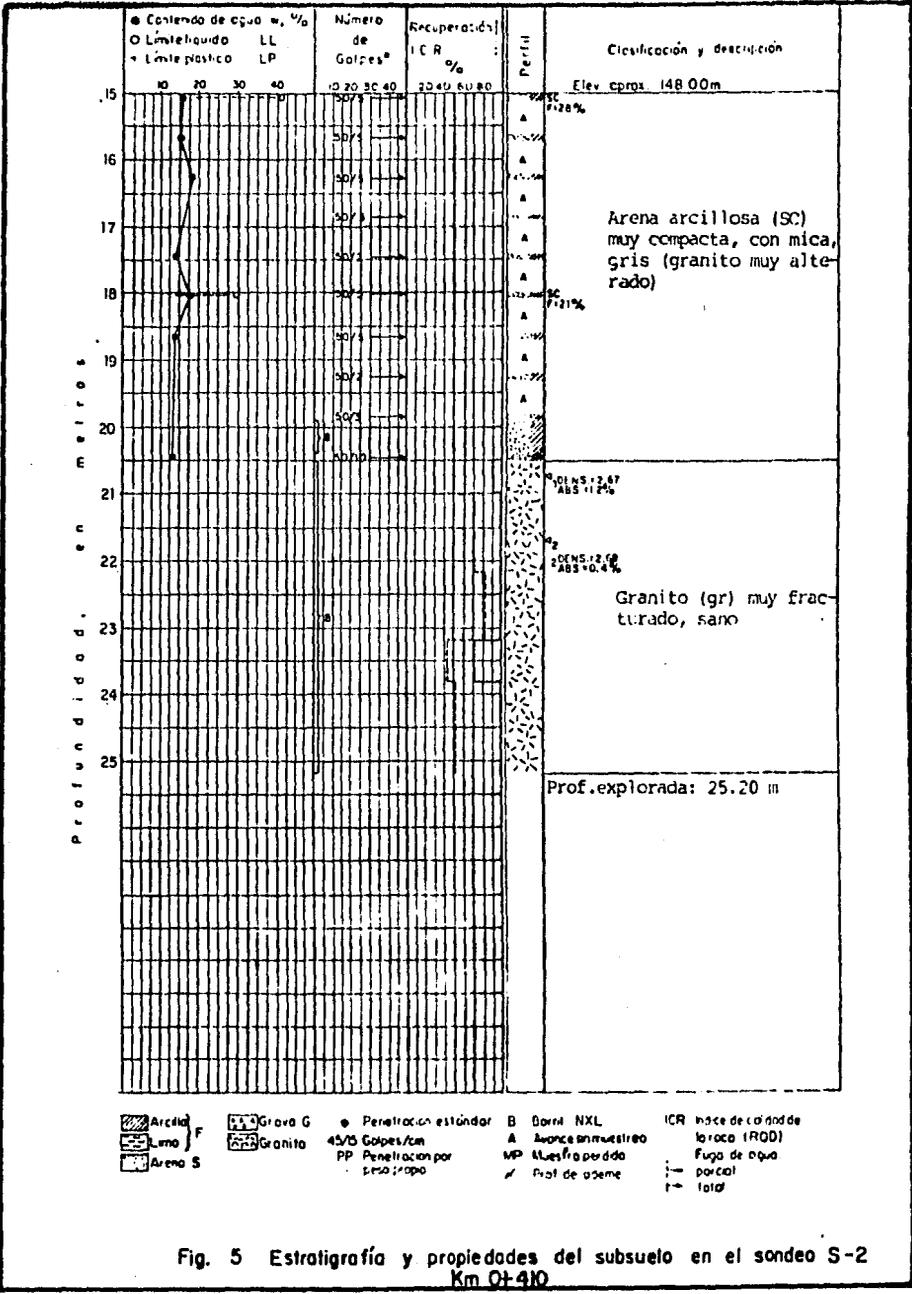


Fig. 5 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-2 Km Q-410

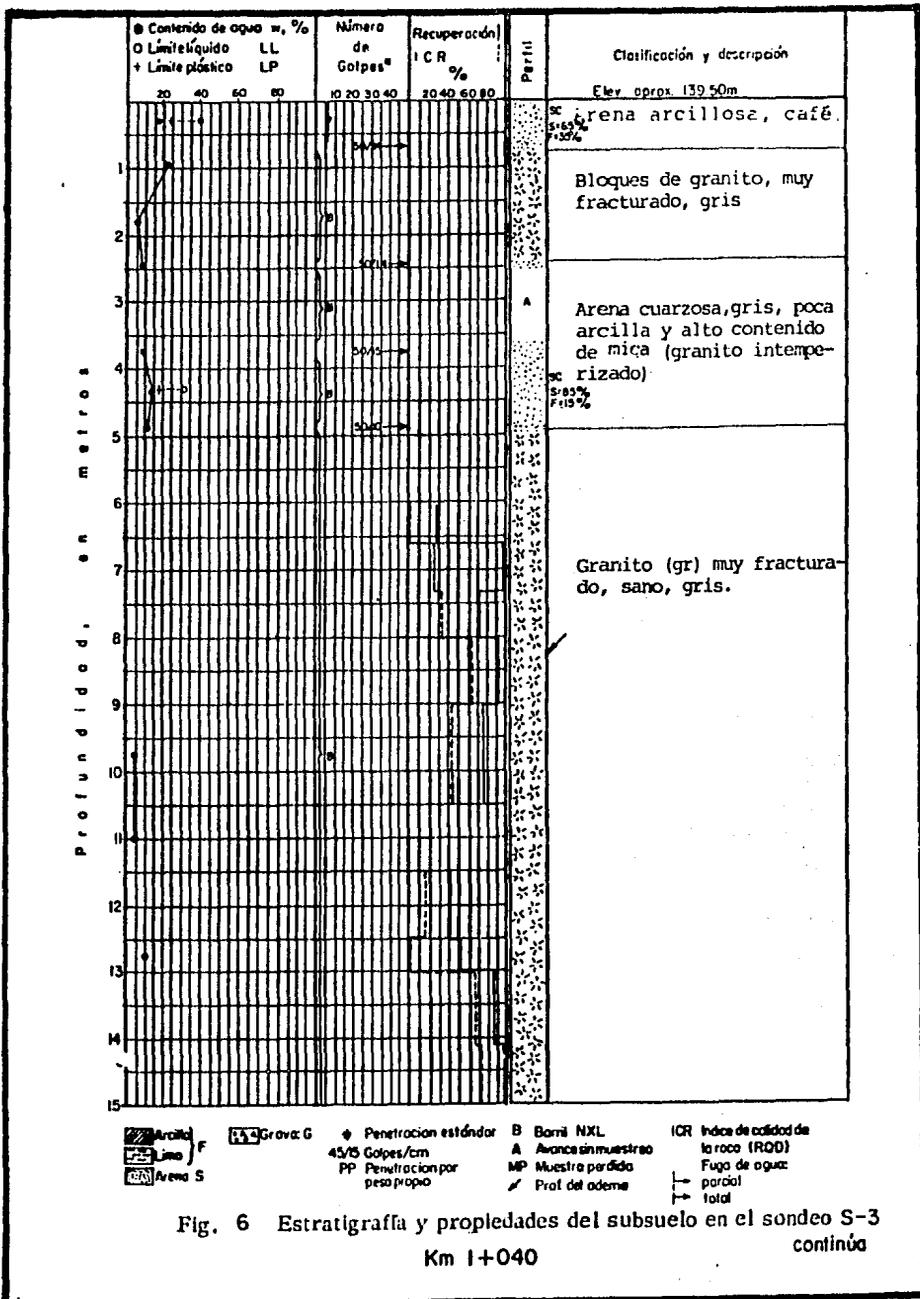
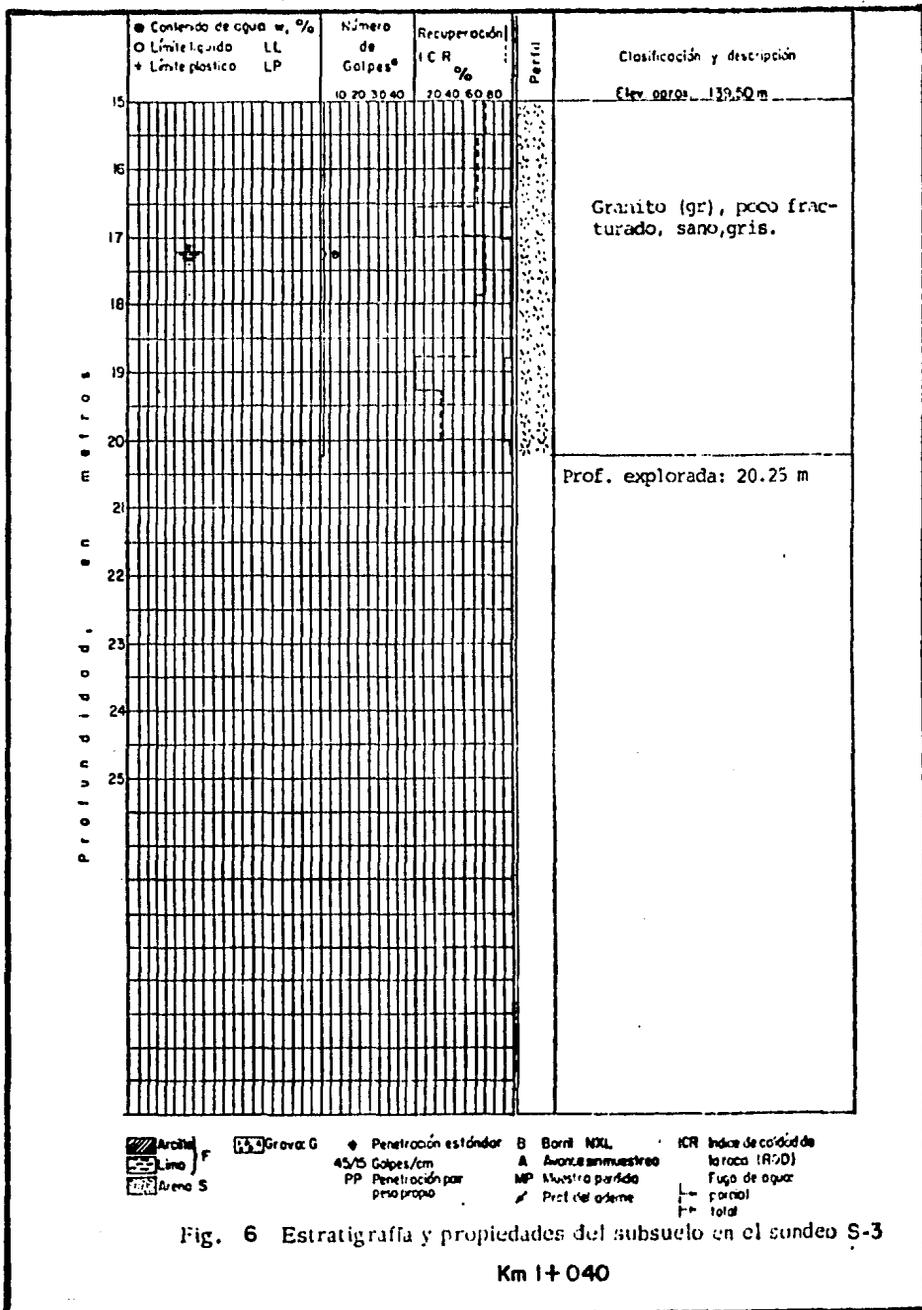


Fig. 6 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-3
Km 1+040 continúa



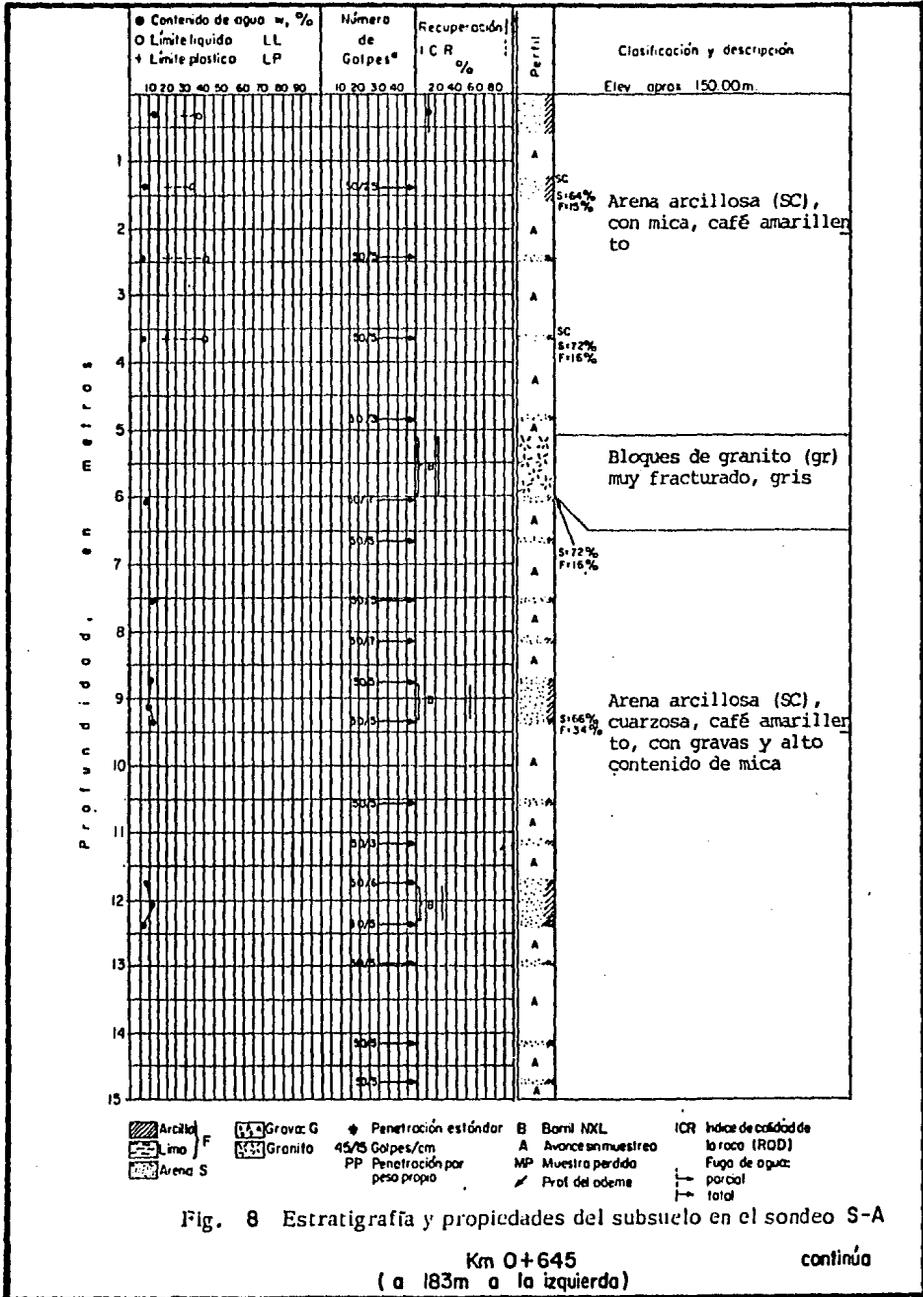
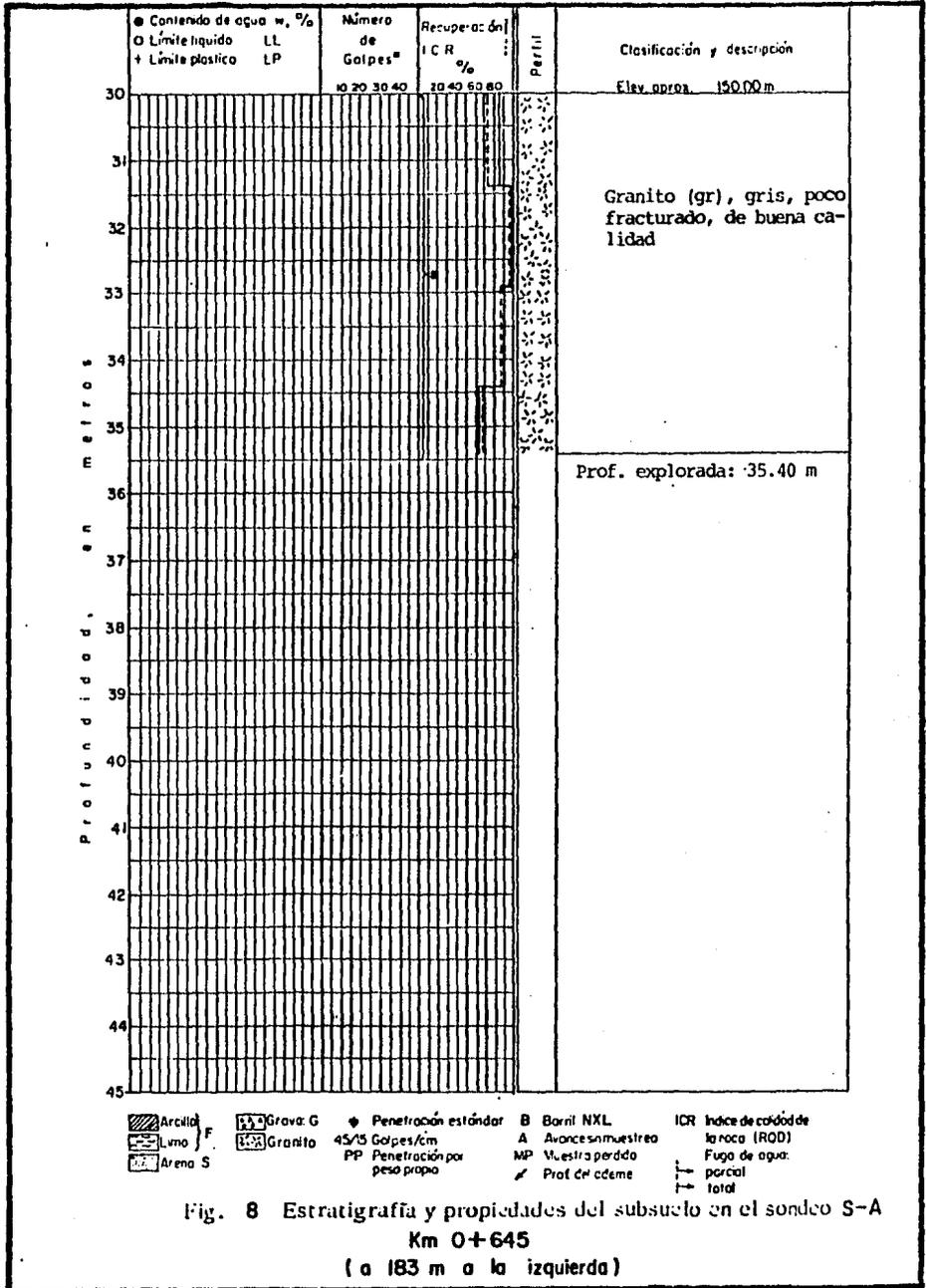
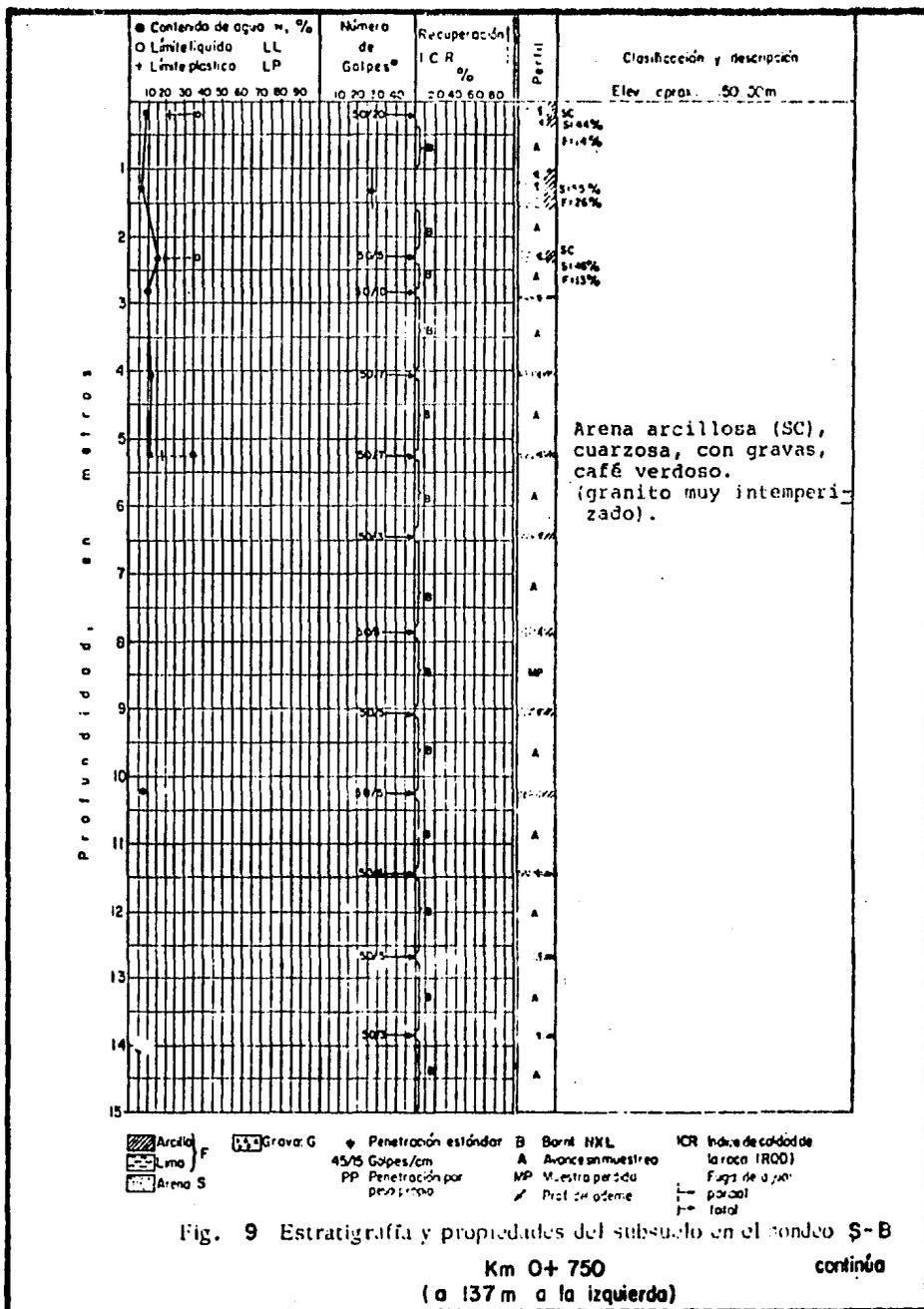


Fig. 8 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-A

Km 0+645
(a 183m a la izquierda)

continúa





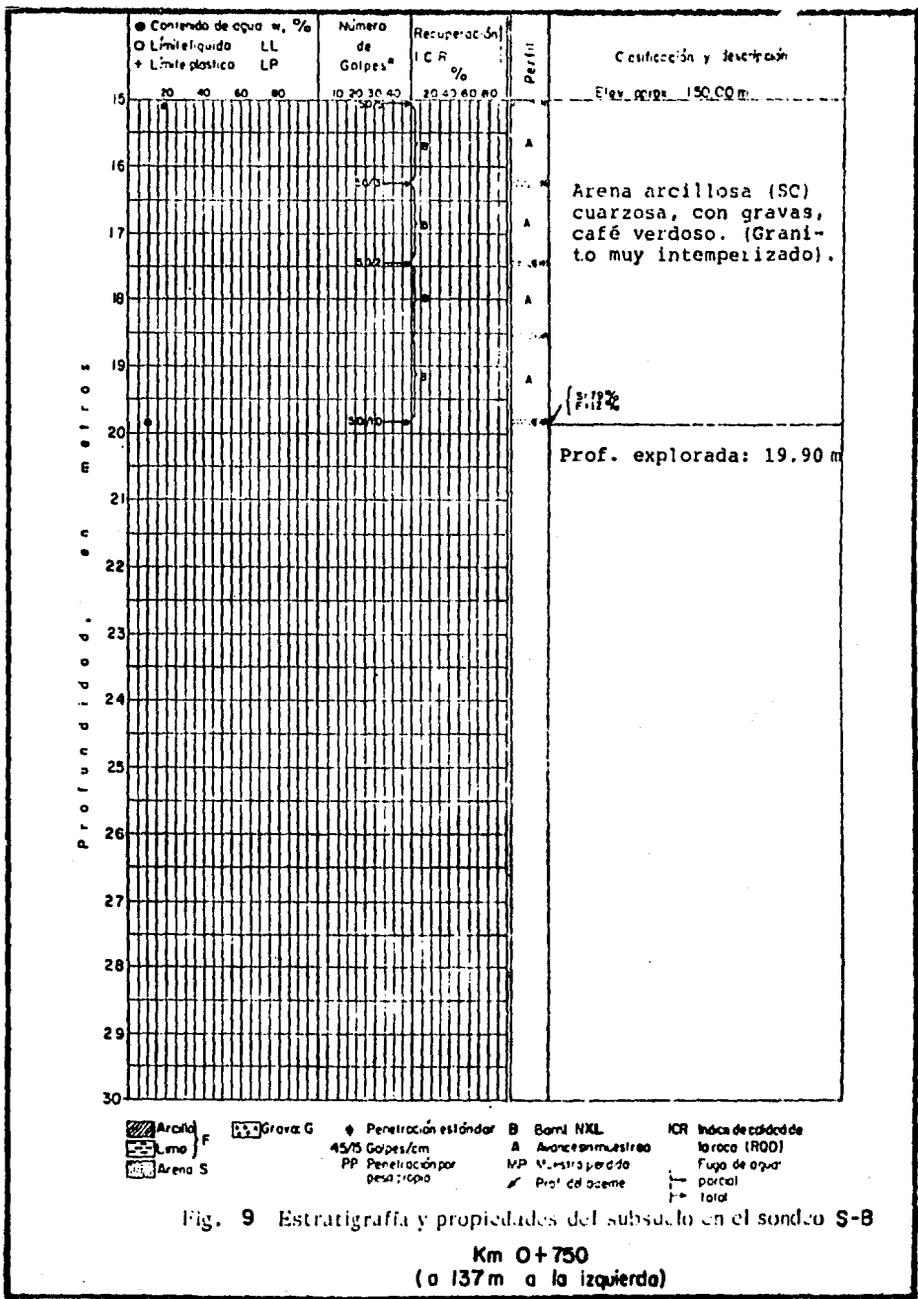
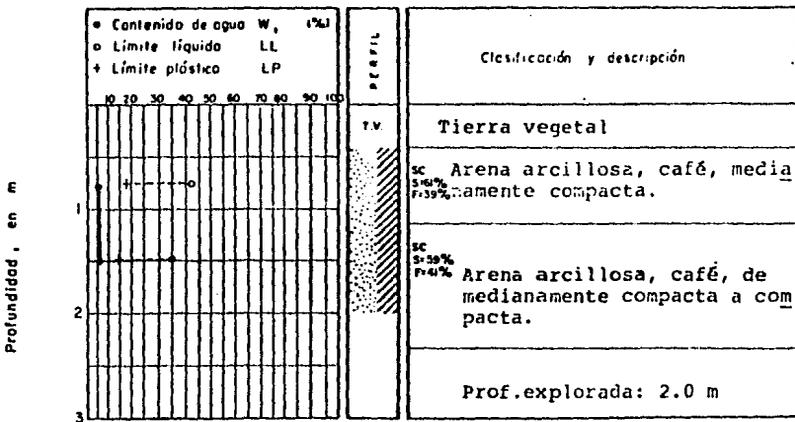
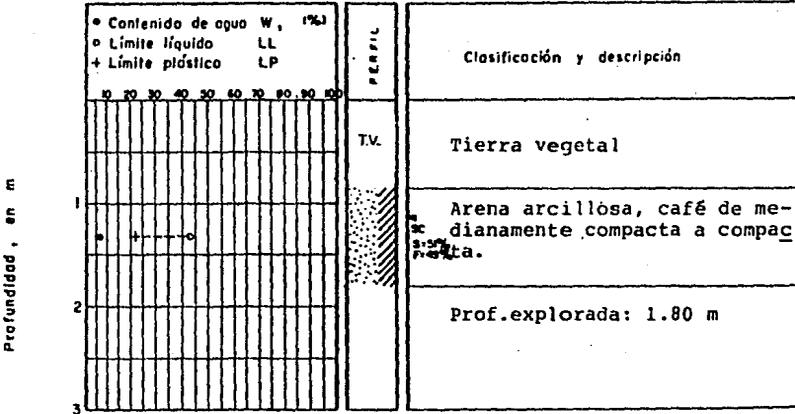


Fig. 9 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-B

Km 0+750
(a 137m a la izquierda)



PCA-1(-+400)



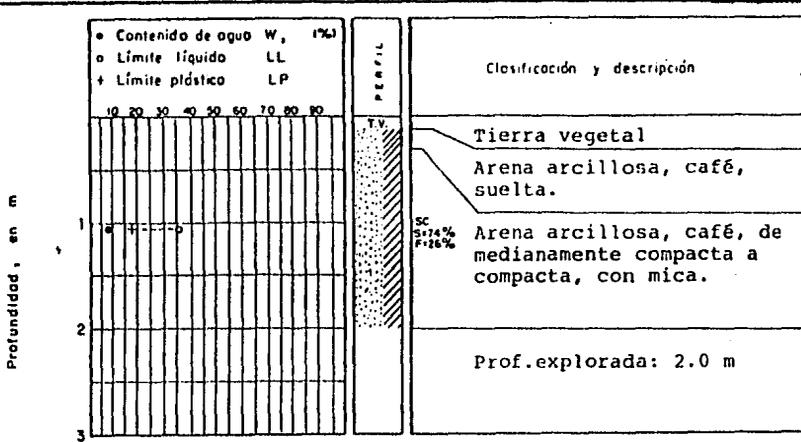
$\gamma = 1589 \text{ Kg/m}^3$

PCA-2(-+100)

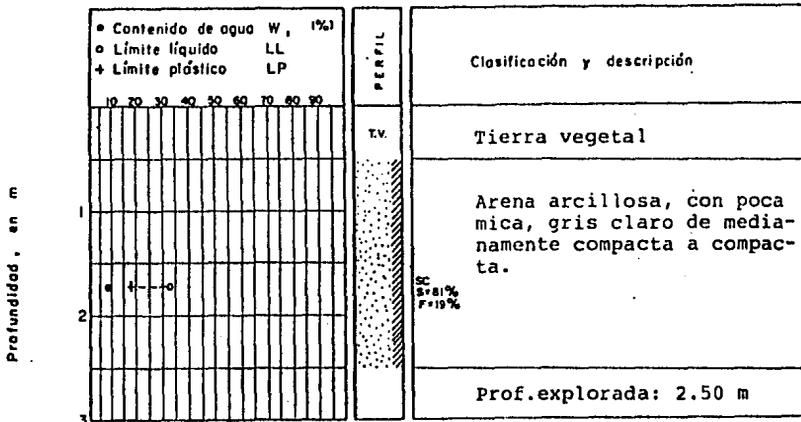
- SIMBOLOGIA**
-  Arcilla
 -  Grava
 -  Limo
 -  Arena

**AEROPUERTO INTERNACIONAL
BAHIAS DE HUATULCO, OAX.**

Fig. 10 Pozos a cielo abierto



PCA 3[0+780]

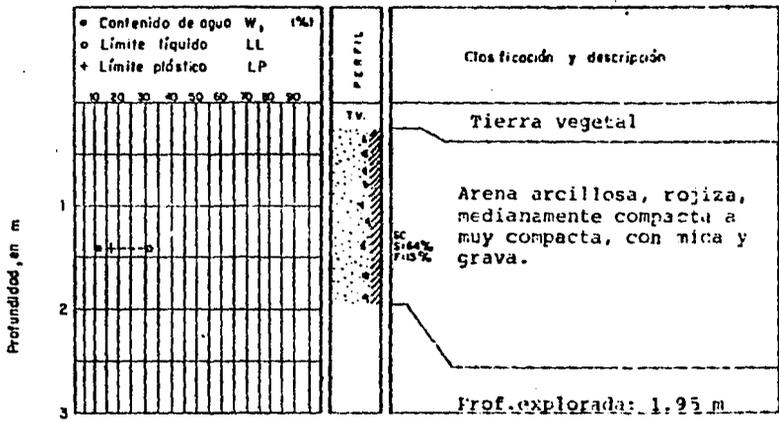


PCA 4[2+000]



**AEROPUERTO INTERNACIONAL
BAHÍAS DE HUATULCO, OAX.**

Fig. II Pozos a cielo abierto



PCA - A

SIMBOLOGIA

-  Arcilla
-  Grava
-  Limo
-  Arena

AEROPUERTO INTERNACIONAL
 BAHIAS DE HUATULCO, OAX.

Fig. 12 Pozo a cielo abierto

En las Figs. 10 a 12 aparecen los resultados de esas exploraciones

2.3 Investigación de préstamos para terracerías.

Conforme a las condiciones topogeológicas de la zona, se pueden prever que la costra de intemperismo de las formaciones de granito y gneiss, -- podrá proporcionar materiales de la misma calidad para estructurar las terracerías, del aeropuerto. Por otra parte estas formaciones abarcan una franja del orden de 18 Km. paralela a la costa, por lo que los lomeríos adyacentes al predio del aeropuerto ofrecen buenas posibilidades para constituir préstamo para terracerías.

Durante el estudio de campo se investigaron dos áreas donde, además, el grado de intemperización de las rocas ofrece ventajas en cuanto a su arabilidad y la calidad de los materiales disponibles.

Los préstamos fijados se denominan "Macahuatillo", distante del centro de gravedad del aeropuerto - 3.2 Km., y "Cacaluta", a 11.0 Km. En las Figs. 13 y 14 se presentan sus principales caracteris-

ticas, incluyendo un croquis para su localización, los tipos de materiales que pueden obtenerse, su tratamiento, coeficientes de variación volumétricos, clasificación para presupuesto y capacidad.

2.4 Investigación de bancos de materiales para pavimentos.

Conforme a las características geológicas de la región, los bancos de materiales para estructurar los pavimentos que se investigaron en campo, se presentan en las Figs. 15 a 20.

La investigación de campo de los bancos consistió en la inspección técnica de las zonas factibles para la explotación de materiales. El análisis para la selección de los bancos definitivos se llevó a cabo atendiendo a la calidad y volúmenes requeridos, las condiciones más económicas de extracción y tratamiento, así como su ubicación para lograr las distancias de acarreo más convenientes.

Las características particulares de cada banco -

se reportan en las Figs. 15 a 20 mencionadas, -- que incluyen su secuencia estratigráfica, su ubilcación, capacidad, empleo, tratamiento y clasifilcación geotécnica y para presupuesto.

De la investigación realizada se desprende que -- el Banco "Huatuico" podrá ser empleado en la prolducción de agregados para base y concreto asfáltico, constituyéndose en banco básico para el -- proyecto de pavimentación. El Banco "Copalita" -- puede ser empleado primordialmente para obtener -- agregados para la elaboración del concreto híl- dráulico y, eventualmente, para revestimiento -- del camino perimetral de inspección; en este cal- so tendrá que mezclarse en una proporción volúl- trica de 65%, con 35% del Banco "Macahuatillo" - (Fig. 16).

Los materiales del Banco "Sta. Cruz", constituil- dos por arena mal graduada (SP-SC) se proponen -- para mezclas de mortero asfáltico y arena para -- concreto (Figs. 18 y 20).

2.5 Investigación del abastecimiento de agua.

El agua que se empleé tanto para la compactación

como para la elaboración de concreto se podrá --
extraer del río "Coyula" por tratarse de una co--
rriente permanente. El arroyo "Cuajuinicuil" --
tiene un escurrimiento relativamente escaso que_
se interrumpe en épocas de estiaje, por lo cual_
su empleo está restringido a estas condicionan--
tes

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 13

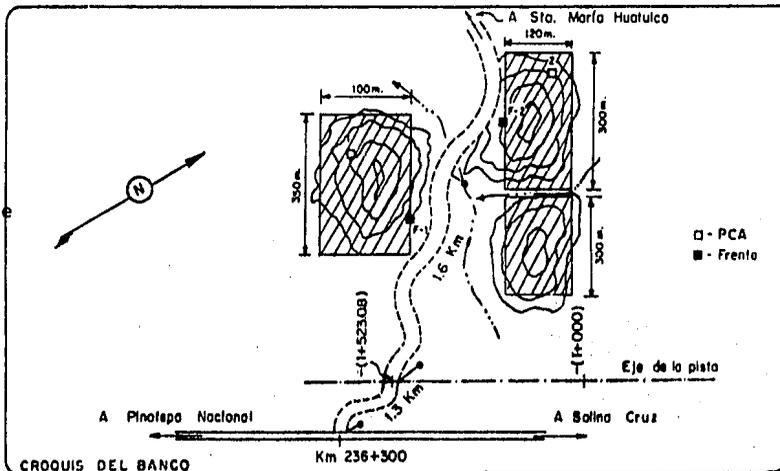
BANCO DE MATERIALES

ESTRATIGRAFIA			TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICACION PRESUPUESTO			
ESTRATO No.	ESPESOR (m)	SIMBOLO		CLASIFICACION S. O. P.	90 %	95 %	100 %	BANDEADO	A	B	C
1	0.15	T.V.		Tierra vegetal	Despalme					100	00
2	4.00		Arena arcillosa (SC), de compacta a muy compacta (Gneiss intemperizado), café grisáceo.	Compactada	1.07	1.02	0.97		50	50	00

DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación Banco Macahuatillo
 Ubicación Km 2+900 del camino a Sta. María Huatulco*
 Capacidad del Banco 428,000 m³
 Vol. de mat. aprov. estudiado 107,500 m³
 Empleo Terracerías y capa subrasante
 Tratamiento Compactación

Tamaño máximo de las partículas No. 4
 % de partículas $\gt 3"$ 0
 Observaciones *Origen: Km 236+300 de la carretera Pinotepa Nal.-Salina Cruz (cruce a Sta. María Huatulco)



CROQUIS DEL BANCO

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

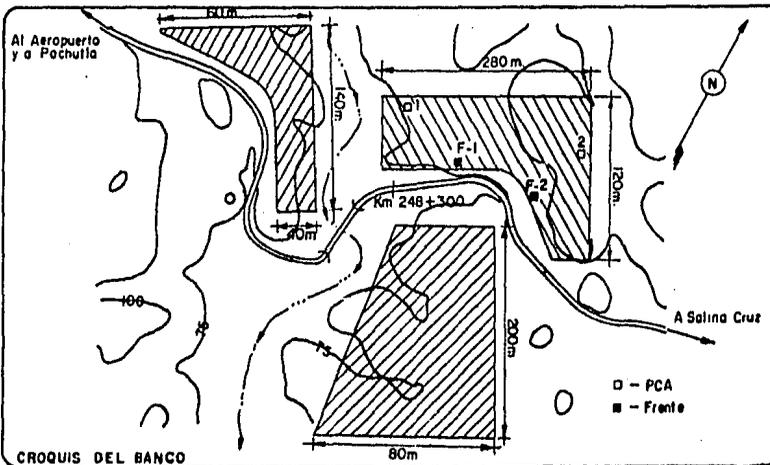
Fig. 14

BANCO DE MATERIALES

ESTRATIGRAFIA			TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICACION PRESUPUESTO			
ESTRATO No	ESPESOR (m)	SIMBOLO		CLASIFICACION S. O. P.	90 %	95 %	100 %	BANDEADO	A	B	C
1	0.30	T.V.	Tierra vegetal	Despalme					100	00	00
2	4.00		Arena arcillosa (SC), de compacta a muy compacta, café amarillento.	Compactado	1.07	1.02	0.77		50	50	00

DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación: Banco Cacaluta
 Ubicación: *Km 248+300 d/i carretera Pinotepa Nacional-Salina Cruz
 Capacidad del Banco: 188,800 m³
 Vol. de mat. aprov. estudiado: 92,800 m³
 Empleo: Terracerías y cana subrasante
 Tratamiento: Compactación
 Tamaño máximo de las partículas: No. 4
 % de partículas >3": 0
 Observaciones: *Origen situado en el Poblado de Pinotepa Nacional



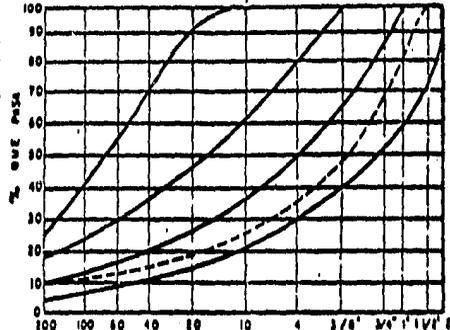
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 15

BANCOS DE MATERIALES

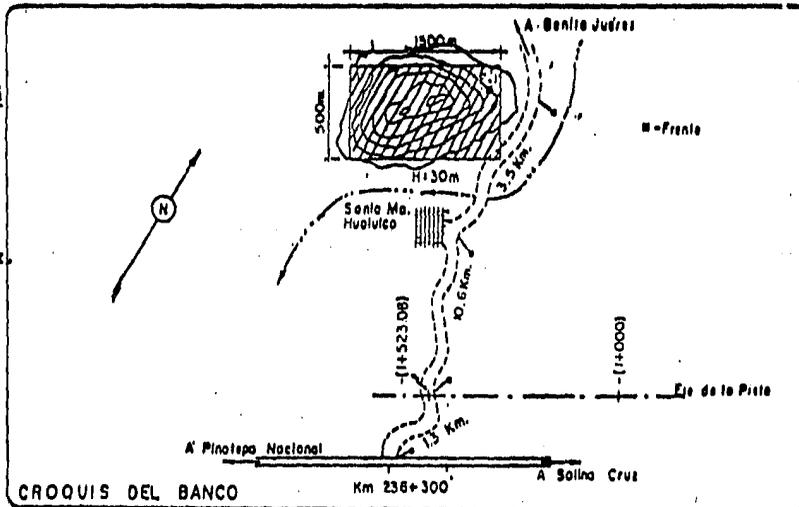
ESTRATO		ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION		
No.	ESPESOR (m)	SIMBOLO	CLASIFICACION S.O.P.	PRESUPUESTO		
				A	B	C
1	1.00	T.V.	Tierra vegetal	100	00	00
2	Indef.		Caliza marmorizada (Cz), muy fracturada, poco interperizada con arcilla CH en sus juntas	00	00	100

CARACTERISTICAS	
LL	36 %
IP	33 %
CL	%
EA	31 %
γ_s	1718 kg/m^3
γ_m	2179 kg/m^3
W_p	6 %
VRS	242 %
Exp.	0.12 %



DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación: Banco Huatulco
 Ubicación: Km 15+400 camino a Benito Juárez vía Sta. María Huatulco*
 Vol. estudiado m^3 : 1,000,000
 Cap. del banco: Suficiente
 Empleo: Base
 Tritamiento: Trituración total, tam. máx. 38 mm (1 1/2")
 Tamaño máximo de las partículas: Roca
 % de Partículas > 1/2" 100
 % de Partículas > 3/4" 100
 Observaciones: *Origen: Km 236+300 de la Carret. Pinotepa Nal.-Salina Cruz



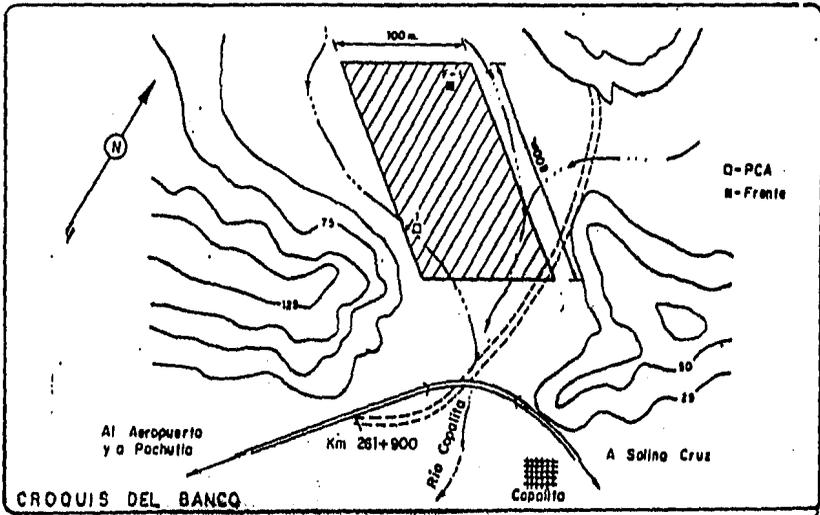
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 16

BANCOS DE MATERIALES

ESTRATO		ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION PRESUPUESTO			CARACTERISTICAS	
N.º ESTACION	SIMBOLO	CLASIFICACION	S.O.P.	A	B	C		
1	2.0		Arena y grava de río (SP), con 40 % de boleos tam. máx. de 30 cm, medianamente compacta.	60	40	00	LL 17 35 % IP NP 17 % CL 3 % EA 61 55 %	
							γ_{ds} 1.7 t/m ³	
							γ_{dm} 2.2 t/m ³	
							W _o 6 %	
			Características de la mezcla				VRS 88 % Exp. 0.06 %	

DATOS GENERALES DEL BANCO	
Denominación.	Banco Copalita.
Ubicación.	Km 261+900 carretera Pinotepa Nal.-Salina Cruz, d/d 1.4 Km aguas arriba.
Vol. estudiado m ³	160,000
Cap. del banco.	Suficiente
Empleo	Revestimiento y sub-base
Tratamiento.	Trituración parcial (40%) tam. máx. 38 mm (1 1/2").
Tamaño máximo de los partículas.	30 cm
% de Partículas > 1/2"	15
% de Partículas > 3/4"	6
Observaciones.	Mezcla 65-35 % con Bco. Macahuatilla.



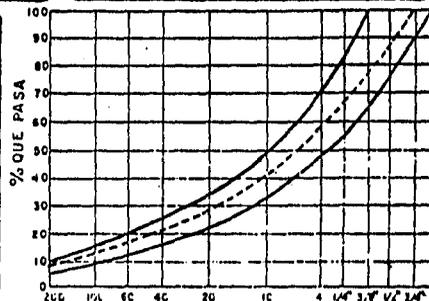
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 17

BANCOS DE MATERIALES

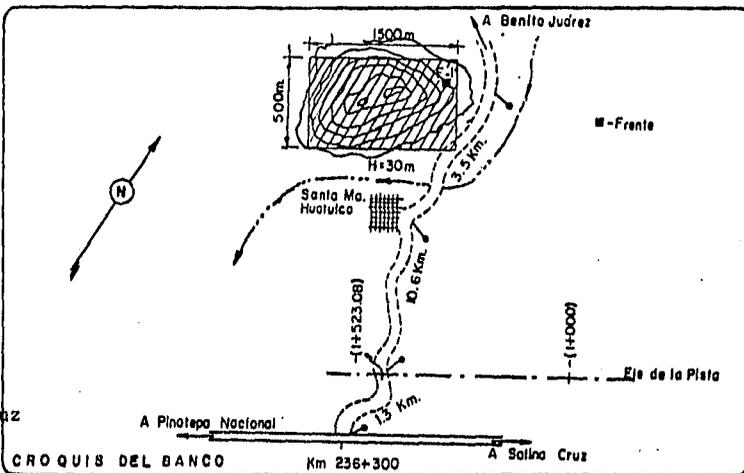
ESTRATO		ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION PRESUPUESTO		
No.	ESPESOR	SIMBOLO	CLASIFICACION S.O.P.	A	B	C
1	1.00	T.V.	Tierra vegetal	100	00	00
2	Indef.		Caliza marmorizada (Cz), muy fracturada, poco interperizada con arcilla CH en sus juntas	00	00	100

CARACTERISTICAS	
CL	0.7 %
EA	63 %
γ _{ds}	kg/m ³
DLA	19 %
Loj _{eo}	33 %
AF	10 %
D _{ns}	2.7 %
Abs	%
CKE(sup.)	2.9 %
CKE(aba.)	0.1 %



DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación. Banco Huatulco
 Ubicación. Km 15+400 camino a Benito Juárez vía Sta. María Huatulco*
 Vol. estudiado m³. 1.000.000
 Cap. del banco. Suficiente
 Empleo Concreto asfáltico
 Tratamiento. Trituración total tam. máx. 19 mm (3/4") y lavado.
 Tamaño máximo de las partículas. Roca
 % de Partículas > 1/2" 100
 % de Partículas > 3/4" 100
 Observaciones. *Origen: Km 236+300 de la carretera Pinotepa Nal-Salina Cruz

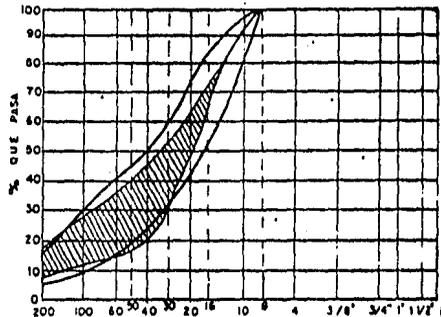


AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHÍAS DE HUATULCO

Fig. 18

BANCOS DE MATERIALES

ESTRATIGRAFIA			CLASIFICACION			CARACTERISTICAS		
ESTRATO	SIMBOLO	CLASIFICACION S.O.P.	PRESUPUESTO			LL	IP	CL
Nº	ESPEZOR (m)		A	B	C	%	%	%
1	0.15	T.V. Tierra vegetal	100	00	00	EA	40	%
2	2.00	Arena mal graduada (SP-SC), con poca grava, suelta, café amarillento.	100	00	00	γ_{ds}	1508	kg/m ³
						γ_{dm}		kg/m ³
						W _o		%
						VRS		%
						Exp.		%

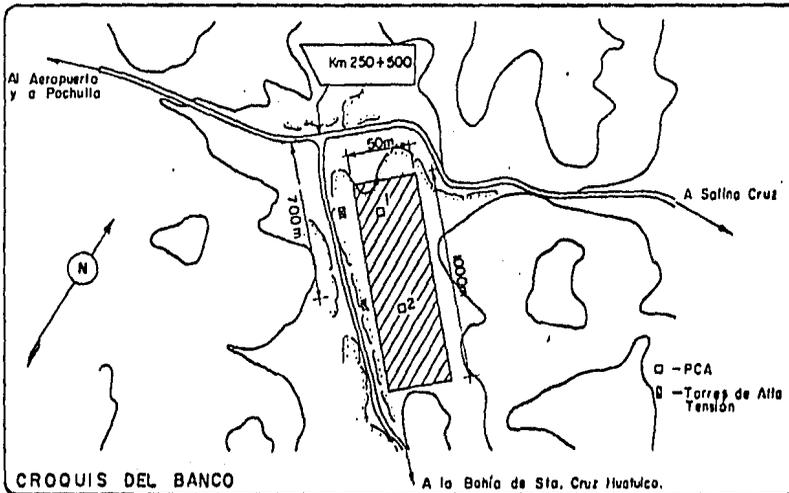


DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación. Banco Santa Cruz
 Ubicación. Km 0+700 d/i de la carretera a la Bahía de Sta. Cruz
 Vol. estudiado m³. 100,000
 Cap. del banco. Suficiente
 Empleo. Mortero asfáltico
 Tratamiento. Cribado

Tamaño máximo de los partículas. No. 4
 % de Partículas > 1/2" 0
 % de Partículas > 3/4" 0

Observaciones. *Origen: Km 250+500 de la carret. Pinotepa Nal.-Salina Cruz.



CROQUIS DEL BANCO

A la Bahía de Sta. Cruz Huatulco.

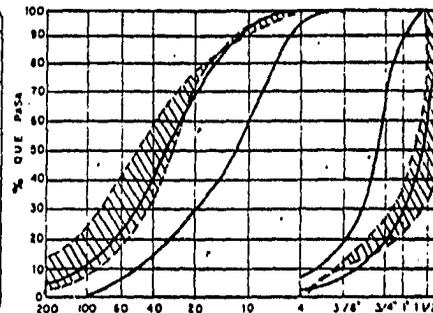
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 19

BANCOS DE MATERIALES

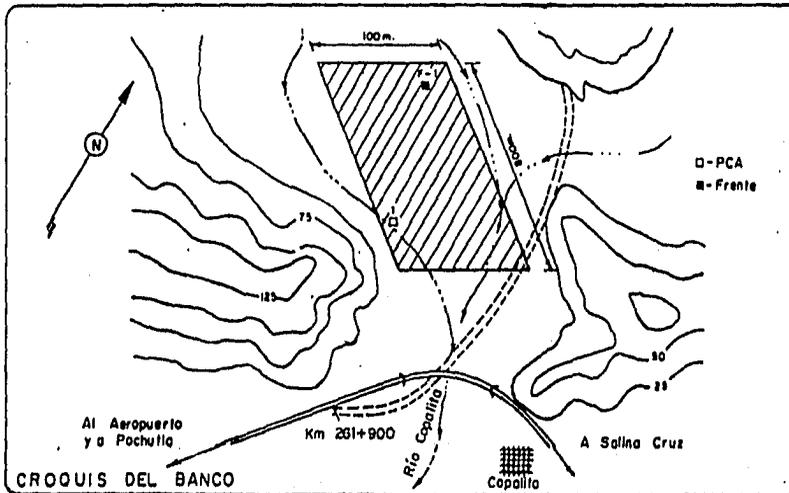
ESTRATO Nº	ESPEZOR (cm)	SIMBOLO	ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION PRESUPUESTO		
			CLASIFICACION	S.O.P.	A	B	C
1	2.0		Aréna y grava de río (SP)		60	40	00
			con 40 % de boleos tam. máx. de 30 cm. medianamente com- pacta.				

CARACTERISTICAS	
LL	17 %
IP N.P.	%
CL	%
EA	61 %
γ_{ds}	1700 kg/m ³
γ_{dm}	kg/m ³
W _o	%
VRS	%
Exp.	%



DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación, Banco Copalita
 Ubicación, Km 261+900 carret. Pinotepa
 Nal., Salina Cruz, d/d 1.4 Km aguas
arriba.
 Vol. estudiado m³, 160,000
 Cap. del banco, Suficiente
 Empleo, Concreto hidráulico
 Tratamiento, Trituración parcial
(40 %) tam. máx. 25.4 mm (1")
 Tamaño máximo de las partículas, 30 cm
 % de Partículas > 1 1/2" 15
 % de Partículas > 3/4" 6
 Observaciones, _____



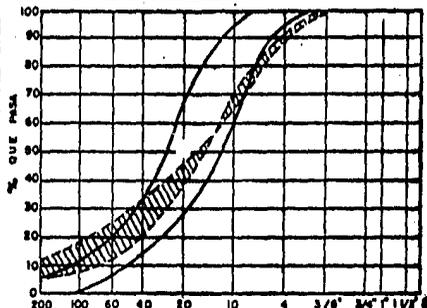
CROQUIS DEL BANCO

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO

Fig. 20

BANCOS DE MATERIALES

ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION	CLASIFICACION	CARACTERISTICAS	
ESTRATO	MIMMOLO	S.O.P.	PRESUPUESTO		
Nº	(ESPESOR en m)		A B C		
1	0.15	T.V.	100 00 00	LL 25	%
2	2.00	Arena mal graduada (SP-SC), con poca grava, suelta, café amarillento.	100 00 00	IP 12	%
				CL	%
				EA 40	%
				$\gamma_{ds} 1508$	kg/m ³
				γ_{dm}	kg/m ³
				W _p	%
				VRS	%
				Exp.	%

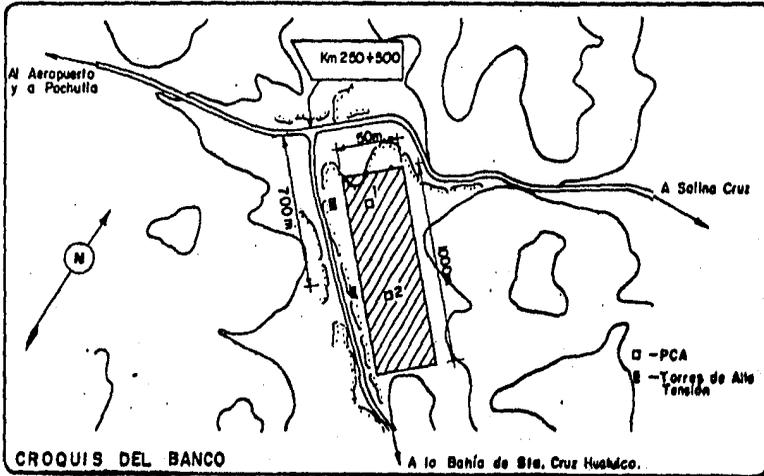


DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación: Banco Santa Cruz
 Ubicación: Km 0+700 d/i de la carretera a la Bahía de Santa Cruz*
 Vol. estudiado m³: 100,000
 Cap. del banco: Suficiente
 Empleo: Concreto Hidráulico
 Tratamiento: Cribado

Tamaño máximo de las partículas: No. 4
 % de Partículas > 1/2" 0
 % de Partículas > 3/4" 0

Observaciones: *Origen: Km 250+500 de la Carret. Pinotepa Nal.-Salina Cruz



CROQUIS DEL BANCO

A la Bahía de Sta. Cruz Huatulco.

C A P I T U L O 3

ENSAYES DE LABORATORIO

3.1 Ensayes sobre muestras obtenidas en la exploración.

Todas las muestras de suelos recuperadas en los pozos al cielo abierto, en los sondeos y en los bancos para terracerías se ensayaron en el laboratorio para determinarles:

- a) grupo del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- b) contenido de agua, w.
A muestras de suelos típicos se les determinó.
- c) límites de consistencia líquido y plástico, LL y LP;
- d) porcentaje de partículas finas (fracción -- que pasa la malla 200), F y partículas arenosas (fracción que pasa la malla 4), S;

- e) peso volumétrico seco en el lugar, γ_d ; en el PCA 2 Km - (1+100) y en los bancos para terracerías;
- f) Densidad de sólidos, s_s ;
- g) resistencia al corte, en compresión triaxial no consolidada, no drenada, s_{uu} , en muestras compactadas;
- h) peso volumétrico γ , relación de vacíos - y grado de saturación inicial G_1 .

Finalmente, a las muestras de roca se les identificó y se les determinó:

- i) porcentaje de recuperación, REC;
- j) Índice de calidad, ICR.

En las Figs. 4 a 12 se reporta la variación de las propiedades b) a e), con la profundidad.

El diagrama de Mörh del ensaye de compresión triaxial

xial g) y las propiedades f) y b) se muestran en la Fig. 21.

Las características l) y j) de las rocas también se presentan en las Figs. 4 a 9.

3.2 Ensayes a los materiales para capa subrasante.

Las muestras de los materiales extraídas del Banco "Macahuatillo" para capa subrasante fueron analizadas en el laboratorio para determinarles:

- a) contenido de agua, w ;
- b) granulimetría por mallas;
- c) límites de consistencia líquido y plástico, LL y LP ;
- d) grupo del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos;
- e) equivalente de arena, EA ;
- f) peso volumétrico seco y suelto, γ_{ds} .
- g) resistencia al corte, en comprensión triaxial no consolidada, no drenada S_{uu} , en muestras compactadas. (Figs. 22, 23 y 24).

Sondeo: (-) 1:400

Prueba de compresión triaxial: No consolidada-no drenada-saturada

Próbeto	σ_{11} kg/cm ²	σ_{22} kg/cm ²	ϵ_r %	E kg/cm ²	S_u	e_i	e_f	W_i %	W_f %	G_i %	G_f %	γ_m t/m ³
1	1.25	2.57	17.51	110	2.59	0.36	0.30	5	16	38	100	2.01
2	2.50	4.35	19.51	180	2.59	0.44	-	11	17	63	98	1.99
3	5.00	7.25	19.46	170	2.59	0.44	-	11	16	62	93	1.99

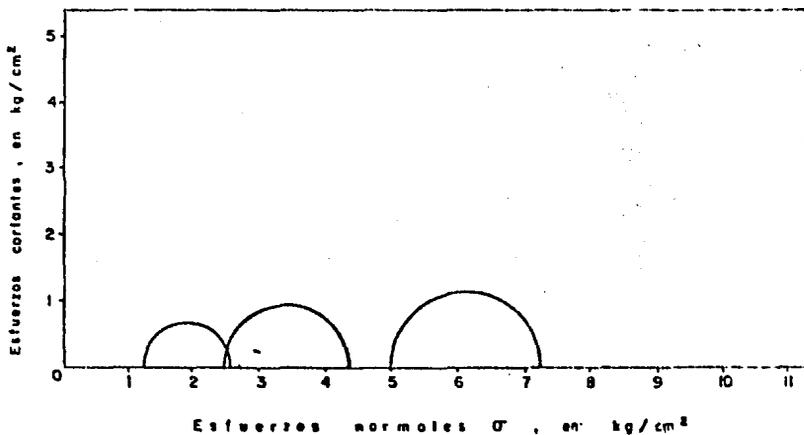


Fig. 21 Diagrama de Mohr

Descripción: ECO. MACAHUATILLO

Prueba de compresión triaxial: No consolidada-no drenada-saturada

Probeto	σ_{m1} kg/cm ²	σ_{r1} kg/cm ²	ϵ_r %	E kg/cm ²	S_b	ϵ_i	ϵ_f	W _i %	W _f %	G _i %	G _f %	γ_m t/m ³
1	1.25	4.66	5.11	148	2.78	0.57	-	8	15	41	75	1.95
2	2.5	6.73	5.60	200	2.78	0.50	-	8	15	43	81	1.99
3	5.0	9.56	5.09	400	2.78	0.50	-	8	15	44	86	2.00

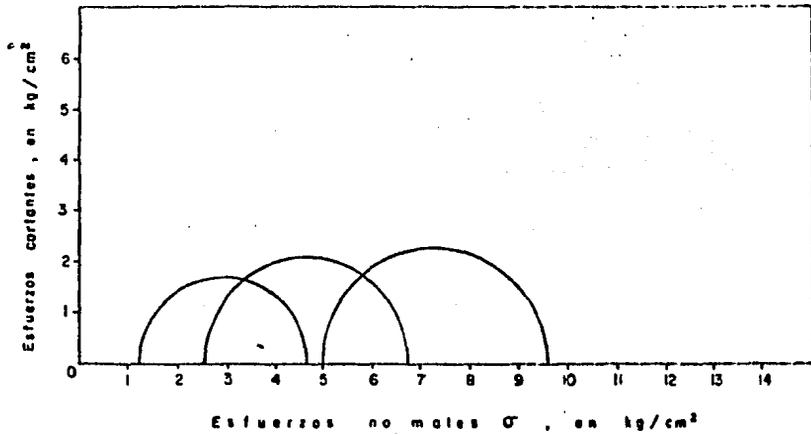


Fig. 22 Diagrama de Mohr

Descripción: BANCO MACAHUATILLO

Prueba de compresión triaxial: no consolidada, no drenada, saturada

Próbete	σ_m kg/cm ²	σ_r kg/cm ²	ϵ_r %	E kg/cm ²	S_s	e_i	e_f	w _i %	w _f %	G _i %	C _i %	γ_n t/m ³
1	1.25	4.09	6.35	200.0	2.78	0.54	-	10	-	53	-	1.96
2	2.5	9.70	13.07	320.0	2.78	0.52	-	8	-	41	-	1.97
3	5.0	17.14	16.98	256.0	2.70	0.55	-	9	-	45	-	1.96

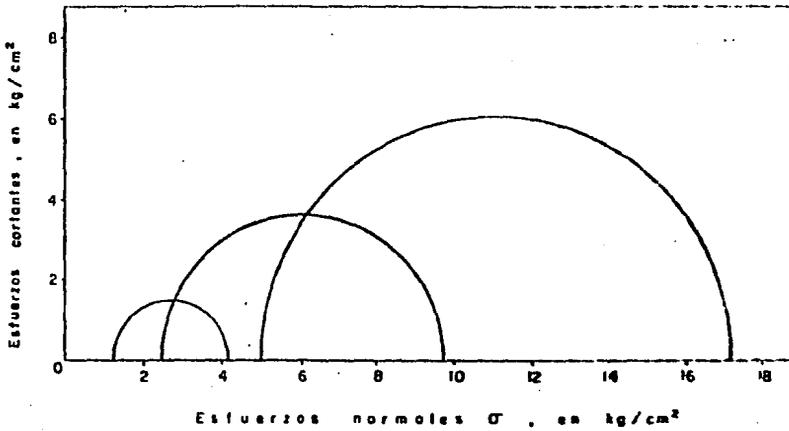


Fig.23 Diagrama de Mohr

Descripción: BANCO CACALUTA

Prueba de compresión triaxial: no consolidada, no drenada, saturada

Probeta	σ_m kg/cm ²	σ_1 kg/cm ²	e_f %	E kg/cm ²	S_g	e_i	e_f	w_i %	w_f %	G_i %	G_f %	γ_m t/m ³
1	1.25	6.08	8.44	308.0	2.70	0.52	-	11	-	57	-	1.97
2	2.5	7.93	12.93	182.0	2.70	0.52	-	13	-	67	-	1.98
3	5.0	17.68	19.43	452.0	2.70	0.49	-	11	-	58	-	2.00

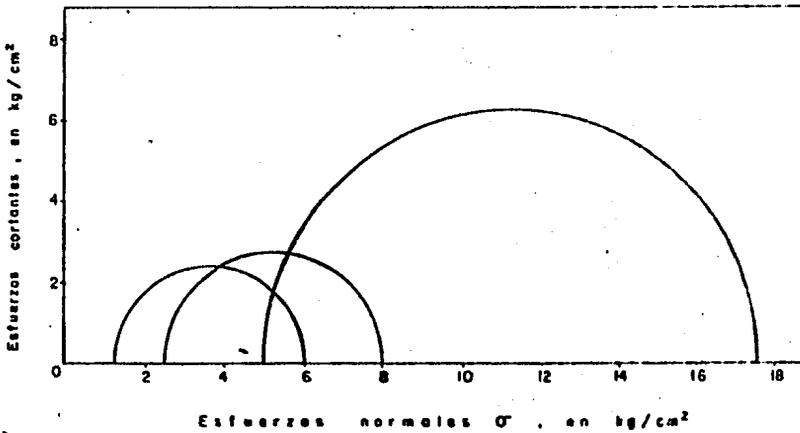


Fig.24 Diagrama de Mohr

Tanto a los materiales del banco "Macahuatillo", como a las muestras del suelo de cimentación más crítico (Est - 1 + 400), se les determinó además:

- h) valor relativo de soporte (VRS) a dos energías de compactación por impactos ($EC_1 = 6$ y $EC_2 = 12.9 \text{ kg-cm/cm}^3$), en estado saturado, - conforme a la metodología del Cuerpo de Ingenieros de los EE. UU. (Figs.25 y 26).
- i) peso específico relativo de sólidos, s_g .

3.3 Ensayes a materiales para pavimentos asfálticos

Las muestras de los materiales de los bancos - - "Huatulco" y "Copalita", para sub-base y/o base_ de pavimentación se analizaron para determinar-- les:

- a) granulometría por mallas;
- b) límites de consistencia líquido y plástico, LL y LP;
- c) equivalente de arena, EA;
- d) peso volumétrico seco y suelto, γ_{ds} ;
- e) peso volumétrico seco máximo $\gamma_{d\text{máx}}$ y contenido de agua óptimo, w_{opt} , en pruebas de com

pactación tipo Porter;

- f) valor relativo de soporte, VRS, y expansión_ en pruebas estándar.

A los agregados pétreos obtenidos del Banco - -- "Huatulco" para carpeta de concreto asfáltico se les efectuaron además los siguientes ensayos:

- g) desgaste "Los Angeles", DLA;
- h) forma de partículas o índice de lajeo, IL;
- i) afinidad con cemento asfáltico, AF;
- j) densidad aparente de gruesos y absorción, -- D_{ap} y A_{bs} ;
- k) densidad aparente del material que pasa la - malla Núm. 4;
- l) equivalente de Kerosena centrifugada, CKE, - tanto superficial, como de absorción, en -- prueba modificada.
- m) diseño de la mezcla de concreto asfáltico, en ensayos tipo Marshall, compactando los especímenes con 75 golpes por cara (Fig. 27).

La densidad aparente media de los agregados se_ calculó a partir de los ensayos a), j) y k). El contenido aproximado de cemento asfáltico se de- termino con los resultados de los ensayos l) y m).

3.4 Ensayes a los materiales para concreto.

Las pruebas físicas efectuadas a las muestras de los bancos "Copalita" y "Sta. Cruz", que se proponen para la elaboración del concreto hidráulico, consistieron en la determinación de:

- a) granulometría por mallas;
- b) límites de consistencia líquido y plástico - LL y LP;
- c) grupo del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos;
- d) equivalente de arena, E_a ;
- e) peso volumétrico seco y suelto, γ_{ds} .

Los resultados de los ensayos efectuados en los materiales para terracerías y capa subrasante se presentan en las Figs. 14 y 15. Los correspondientes a la caracterización de los materiales de los bancos estudiados para pavimentación se resumen en las Figs. 15 a 20.

Fig. 25 PRUEBAS DE VRS TIPO CUERPO DE INGENIEROS

Terreno de cimentación (-1+400)

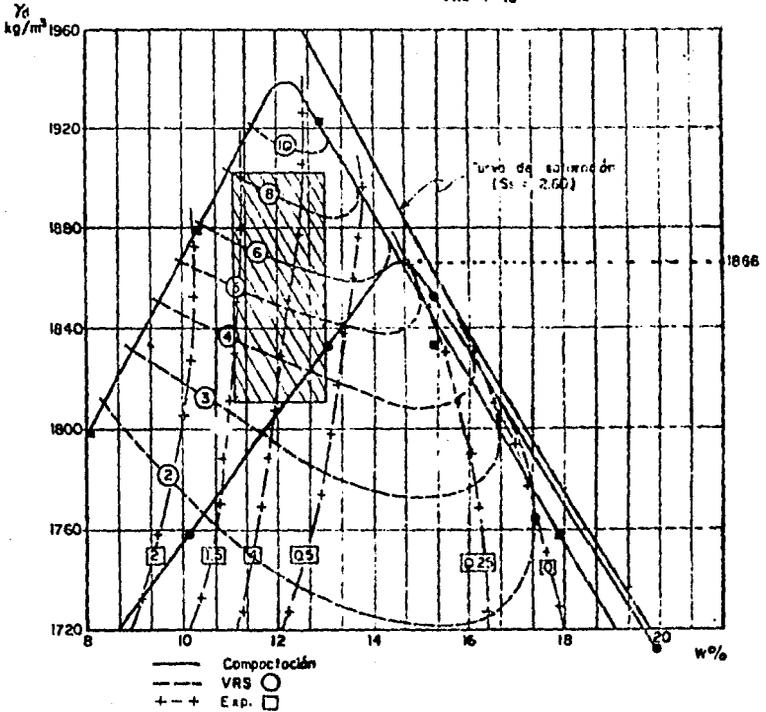
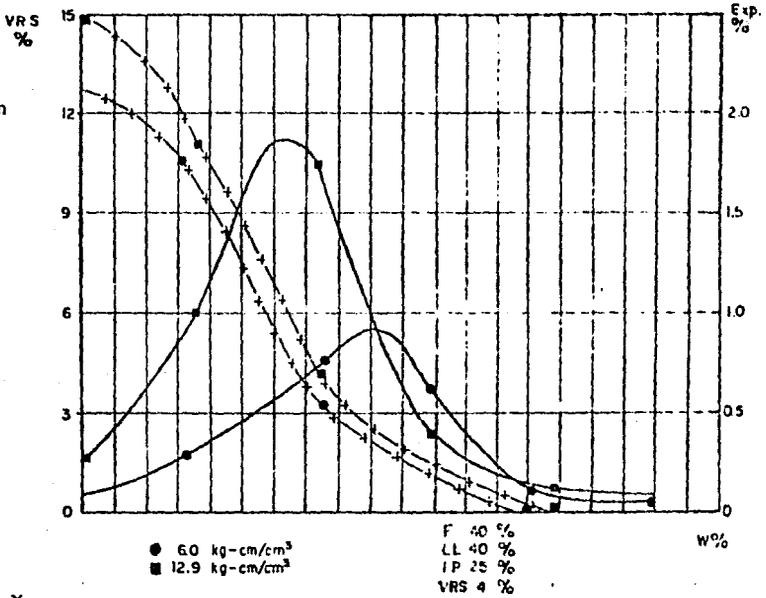
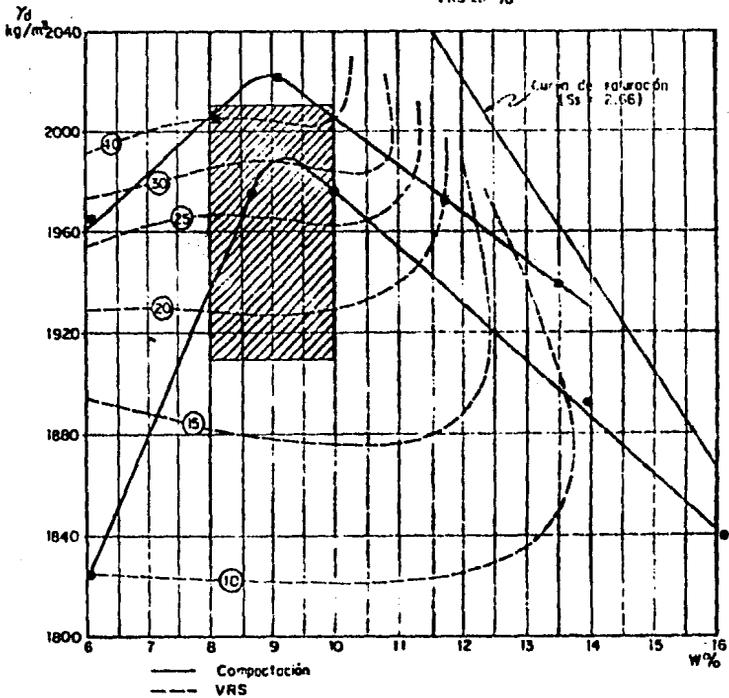
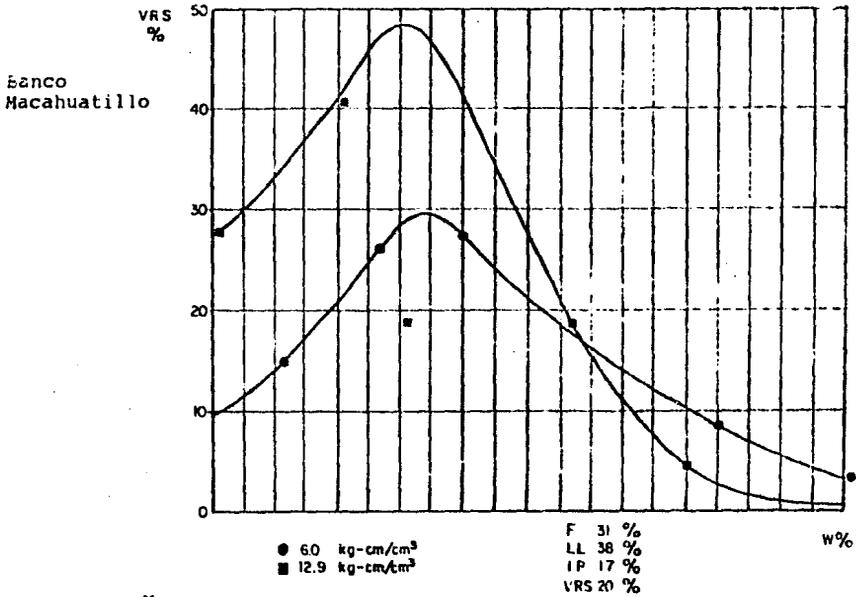
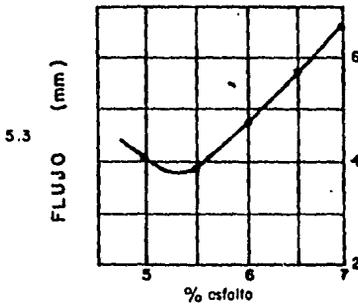
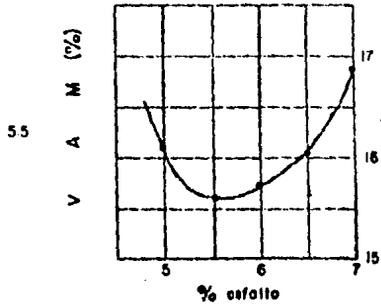
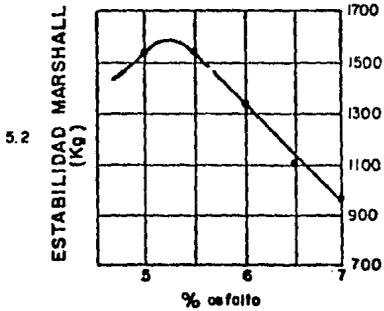
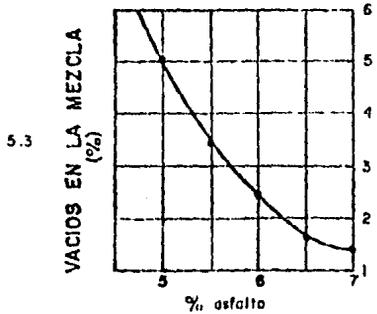
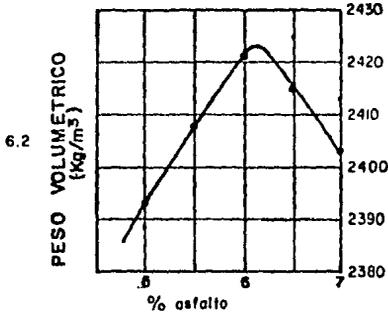


Fig. 26 PRUEBAS DE VRS TIPO CUERPO DE INGENIEROS



AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BAHIAS DE HUATULCO OAX.

**Fig. 27 ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA
PRUEBA MARSHALL**



Material procedente del Banco "Huatulco"
Contenido de asfalto recomendado: 5.3%

Características del material pétreo:
Triturado a Tam. máx. 19mm y lavado.
Equivalente de Arena: 63%
Densidad aparente promedio: 2.7
Índice de lojeo: 33%
Desgaste "Los Angeles": 19%
Afinidad: 10%
Equivalente de Keroseno Centrifugado

- a) Superficial 2.7%
- b) Por absorción 0.1%

C A P I T U L O 4

ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES

Los resultados del estudio geosísmico de refracción se presentan en los planos Nos. 2 y 3.

El análisis detallado de los diagramas "espacio-tiempo" (dromocrónicas), pone claramente en evidencia tres grupos de velocidades sísmicas, en las formaciones rocosas.

El primer grupo (materiales tipo I) se refiere a los valores bajos, inferiores a 500 m/s, que se sitúan en superficie. Corresponden con los suelos residuales, producto de la gran alteración del material rocoso subyacente; tiene un espesor variable entre 2 y 4 metros en las tres áreas investigadas. Para fines de presupuesto, se le clasifica 00-100-00. Todos los puntos de disparo que se efectuaron y que alcanzaron un total del orden de 90, incluidos los repetidos, se excavaron en este material hasta una profundidad variable entre 60 y 90 cm.

El segundo grupo (material tipo IV), se asocia con las altas velocidades, superiores generalmente a 2000 m/s,

que llegaron hasta 4000 m/s. Se trata de una roca sana, poco fracturada, que se podrá excavar únicamente con explosivos. Se le dió una clasificación de 00-00-100. En el eje de pista, alcanza un porcentaje aproximado de 5% del volúmen total a retirar, mientras que los suelos residuales fácilmente arables, representan el 36%.

El tercer grupo (materiales tipo II), relacionado con el 59% de material por excavar, involucra las velocidades sísmicas comprendidas entre 600 y 1700 m/s. Por medio de las transmisiones sísmicas, de los afloramientos que se pudieron observar y los núcleos que se obtuvieron a partir de cuatro sondeos, se puede hacer, dentro de este grupo, una diferencia entre velocidades inferiores a 1000 m/s. En efecto, los valores comprendidos entre 600 y 1000 m/s corresponden con una roca fracturada y alterada en su masa, representando el 25% del total por excavar. Este material necesitará del uso de explosivos de bajo poder para ser dislocado y movido cómodamente por las máquinas. Conforme a las especificaciones establecidas por la SCT, se dió a esta roca la clasificación 00-50-50.

En lo que respecta a las velocidades comprendidas entre 1000 y 1700 m/s, éstas reflejan un material rocoso,

todavía fracturado, pero menos alterado que el sub-estrato anterior. En el Inciso 5.3, se designan estos materiales como del tipo III. Se necesitará de una mayor cantidad de explosivos de bajo poder para abrir -- las diaclasas, dislocar la masa rocosa y moverla más -- fácilmente. Apoyándose en las especificaciones ya mencionadas, este material se clasificó como 00-30-70.

Los trabajos de exploración efectuados en los seis son dos en el área, ubicados según muestra en los Planos -- Nos. 1, 2 y 3 y cuyas columnas estratigráficas se re-- portan en las Figs. 4 a 12, apoyan lo expuesto en pá-- rrafos anteriores y en la tabla No. 2 del Plano No. 2. En esta figura se puede observar que la proporción re-- lativa en cortes, es válida estadísticamente, para la_ rasante del anteproyecto inicialmente estudiada. Si -- se eleva la rasante de 3 a 5 m, en relación con el pro_ yecto analizado, se observa que la proporción del sue_ lo residual aumenta, la roca sana desaparece, el mate_ rial clasificado 00-50-50 aumenta y queda prácticamen_ te constante el material con clasificación 00-30-70.

No debe descartarse la posibilidad de encontrar frag-- mentos grandes y bloques aislados de granito sano, en_ una proporción que puede variar entre 10 y 15% confor_ me se va profundizando en la formación. Estos fragmen_

tos y bloques se designan como materiales tipo V en el Índice 5.3

En conclusión, los resultados obtenidos a lo largo del eje de pista, entre las estaciones -(1+800) y 1+600, - deben considerarse como representativos del movimiento en tierras a realizar en toda el área del aeropuerto. Las pruebas efectuadas en la zona de la futura plataforma de instalaciones corrobora lo anterior.

Respecto al área considerada como posible banco de materiales, en la tabla No. 2 del Plano No. 3 se indican los volúmenes aproximados de cada horizonte delimitado. Observando los valores, se puede constatar que subiendo la rasante aproximadamente 5 m. en relación a su cota de proyecto, el material de clasificación 00-00-100 (roca sana y algo fracturada) se reduce prácticamente 10%, de su volumen original. En esta área domina el material con clasificación 00-30-70 que corresponde a rocas fracturadas, en un porcentaje del 70% del total del banco, mientras que los suelos residuales y rocas muy alteradas alcanzan un 27% y las rocas sanas en un 3%. Estos resultados hacen concluir que los materiales extraídos en esta zona, sólo podrán ser aprovechados en la formación de las terracerías.

RECOMENDACIONES GEOTECNICAS

5.1 Terracerías

Conforme a la geología particular del área estudiada y a los trabajos de campo y laboratorio realizados, se puede concluir que se podrán mover cinco tipos de materiales para la formación de las terracerías, los que - en términos generales son de buena calidad (ver Planos 2 y 3), previo desplame de la tierra vegetal (0.2 m).

Los suelos residuales y rocas muy alteradas (materiales tipo I) y las rocas fracturadas y alteradas (materiales tipo II), podrán tener un tratamiento de compactación, en tanto que las rocas con poca alteración (materiales tipo III) y rocas sanas (materiales tipos IV y V), tendrán que sujetarse a un procedimiento de bandedo para su colocación y estructuración.

Las condiciones impuestas por el proyecto geométrico de la aeropista son muy benignas desde el punto de vista de la estabilidad de cortes, ya que los taludes proyectados son de 7:1. En el camino de acceso y el -

perimetral de inspección podrán adoptarse taludes en corte de 1/4:1, para alturas hasta de 10 m, de 1/2:1 para alturas mayores.

Los terraplanes estructurados con estos materiales - son muy estables, en virtud de que, tanto el terreno de cimentación, constituido por los suelos residuales de la formación rocosa, como por los suelos compactados extraídos en los cortes y bancos, presentan alta resistencia al esfuerzo cortante (ver Figs.21 a 24). No obstante la naturaleza erosionable de estos suelos requiere la construcción de taludes 2:1 y a la protección de éstos con plantas rastreras.

Por otra parte, para poder garantizar un apoyo uniforme de los pavimentos de la aeropista, se obliga a la apertura de cajas para alojar, tanto la capa subrasante como el pavimento, en las secciones en corte, pudiendo quedar conformadas las franjas laterales de seguridad, con los mismos materiales que constituyen los cortes.

En las secciones en terraplén el pavimento deberá apoyarse sobre una capa subrasante, cualquiera que sea el material con que se estructure su cuerpo, el que podrá quedar constituido por roca o material com

pactable. En este último caso se recomienda que la estructura cuente con un núcleo central compactado por capas, desplantando las franjas de seguridad en materiales conformados por capas.

En el Plano No. 4 se ilustra los procedimientos constructivos descritos anteriormente incluyendo los grados de compactación recomendables en las diferentes partes de las estructuras, o de bandeos, en su caso.

De cualquier manera la capa subrasante deberá ser construida preferentemente con materiales extraídos del banco "Macahuatillo" o similares, compactados al 100% respecto al peso volumétrico seco máximo (PVSM) obtenido en la prueba de control tipo AASHTO estándar ($E_c=6.0 \text{ Kg-cm/cm}^3$).

5.2 Cimentación de obras menores.

El diseño de las cimentaciones de las obras menores de drenaje que se requieran en el aeropuerto, deberán considerar una profundidad mínima de desplante de 1.5 m, a partir del nivel del terreno natural, después de efectuado el despalle de la tierra vegetal. La presión de contacto suelo-cimiento que se le puede asignar no

será mayor de 20 t/m^2 .

En las laderas cuya pendiente sea mayor de 15% sólo se requerirá construir dentellón a la salida de las obras, de 1 m de profundidad, para pendientes mayores de 25% los dentellones serán de 1.50 m. En este último caso también se requiere escalonar apropiadamente la cimentación de las obras para evitar corrimientos transversales.

En todos los casos las salidas de las obras requiere la construcción de lavaderos, con dentellón de 1 m en su descarga.

Los colchones en los flancos y en la calve de las obras menores, deberán construirse con materiales compactable, alcanzado un grado mínimo del 95% de su PVSM obtenido en la prueba de control AASHTO estándar. Para alcanzar este objetivo deberán utilizarse equipos manuales, prosiguiendo con maquinaria ligera, una vez que se tenga un colchón mínimo de 1 m de espesor y con maquinaria pesada, al alcanzar 2.0 m de espesor.

5.3 Recomendaciones para la construcción de las terracerías.

Todos los cortes y canales deberán contar con zampeado a bases de losas de concreto de 8 cm de espesor mínimo,

con lavaderos en su descarga hasta terreno firme.

- A) Previamente a la construcción de las terracerías - deberá efectuarse el desmonte, desenraice y limpieza general, entre los cerros de las mismas, así como despalmarse totalmente la capa de tierra vegetal, con 0.2 m de espesor medio.

- B) En las secciones en terraplén deberá construirse - una capa subrasante con espesor mínimo de 0.4 m, - en tanto que los cortes su espesor será de 0.3 m, compactada al 100% y empleando materiales procedentes del Banco "Macahuatillo", indicado en la Fig. 13.

El material tipo I, clasificado como 00-100-00. - Corresponden a los suelos residuales, producto de la alteración de la roca subyacente o a roca muy alterada. Su extracción se efectuará mediante tractor de orugas, con cuchilla de inclinación variable, de 140 a 160 caballos de potencia en la barra, o bien mediante pala mecánica con capacidad de 1.0 m³ o mayor. Para aflojarse puede requerirse el empleo de arado de 6 t, de peso, jalado por un tractor de orugas de 140 a 160 caballos de potencia en la barra.

El material tipo II clasificado como (00-50-50) - corresponde a una roca fracturada o alterada. Para su extracción se requiere el uso de explosivos de bajo poder, para desorganizar su estructura natural y poder ser movido cómodamente con el mismo equipo que se indica para los materiales tipo I. Con este procedimiento se obtendrán materiales -- compactables, conforme a la definición contenida en el libro 3, 3.01.01 "Terracerías", de las Normas para construcción e Instalaciones, Edición -- 1984, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

- C) Para el control de compactación de los terraplanes con materiales tipos I y II, el peso volumétrico seco máximo (PVSM) se determinará en el laboratorio con la prueba AASHTO estándar ($E_c = 6.0 \text{ Kg-cm/cm}^3$)

Los materiales tipos III, clasificados como 00-30-70, corresponden a una roca poco alterada. También se requiere el uso de explosivos para su extracción y empleo, pero los materiales que se obtendrán no son compactables (Libro 3, 3.01.01 -- "Terracerías", de las Normas de Construcción e -- Instalaciones, Edición 1984, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

El material tipo IV, clasificado como 00-00-100, corresponde a roca sana, en la que se requiere el uso de explosivos de alto poder, obteniéndose -- fragmentos de roca que requiere acomodo por el -- procedimiento de bandeo al ser empleados en el -- cuerpo de los terraplenes. Estos materiales deben colocarse preferentemente en la parte inferior de estas secciones.

El material tipo V, clasificado como 00-00-100. -- Son los fragmentos grandes y bloques de roca sa-- ños que pueden encontrarse contenidas dentro de -- la masa de materiales tipos I, II ó III, en una -- proporción que aumenta con la profundidad de 10 a 15% aproximadamente y cuyo volumen también es mayor -- en los materiales tipo III que en los tipo II. -- Para ser retirados o ser empleados como materia-- les tipo IV, requiere de voladura individual (mo-- neo), obteniéndose fragmentos de roca (material -- no compactable).

D) El tratamiento de bandeo, en los materiales no -- compactables tipos III, IV y V deberá sujetarse a lo siguiente:

a) el cuerpo de los terraplenes se construirá en_ todo lo ancho de su sección, utilizando estos_

materiales preferentemente en la parte inferior de la misma, por capas senciblemente horizontales, de espesor aproximadamente uniforme y mínimo para alojar el tamaño mayor del material.

b) en cada capa se hará el armado del material -- mediante dos pasadas (por cada punto de la superficie) con tractor de 20 toneladas, avanzando y retrocediendo la máquina con movimiento roncoado.

F) En las secciones en corte (Sección C-1), al llegar al nivel de rasante de proyecto sólo se requerirá abrir caja de profundidad suficiente para la capa subrasante y el pavimento en el ancho suficiente para resguardar la superficie de rodamiento y los acontecimientos correspondientes -- conforme a las secciones estructurales que se indican en el Plano No. 6. Las franjas de seguridad estarán constituidas por la cama de los materiales encontrados en el corte y sólo será necesario aumentar la compactación del terreno natural al 90% en 0.2 m de espesor, cuando ésta sea menor del 85% o bandearse, según el caso.

F) En las secciones en terraplén (secciones T-1 y T-3) donde se empleen materiales tipos I ó II, -- deberán compactarse éstos al 95% en un núcleo --

central de talud 2:1, para apoyar la capa subrasante. En terraplenes con altura comprendida -- entre 0.4 y 1.0 m, desplantados sobre estos materiales, únicamente será necesario aumentar la -- compactación del terreno natrual al 95% en 0.2 m de espesor, cuando éste sea menor del 90%. Para subrasante inferior a 0.40 m, se requiere efec-- tuar el proceimiento para cortes indicados en E). Para terraplenes mayores de 1.0 m, se desplanta-- rá el núcleo central directamente sobre el terreno natural, previo despalme.

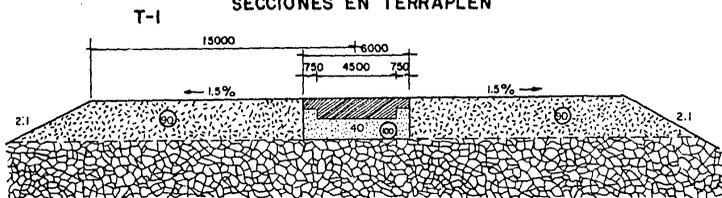
- G) Las franjas laterales fuera del núcleo central, se podrán construir conformando únicamente los - materiales tipos I y II por capas sensiblemente horizontales, excpeto la capa superior de 1.0 m de espesor y los 2.0 m laterales correspondien-- tes a los taludes, que deberán quedar compacta-- dos al 90% como mínimo, debiendo a la naturaleza erosionable de estos materiales.
- H) En las secciones en terraplén (Secciones T2 o T3) donde se empleen materiales tipo III, IV o V, - deberán sujetarse a un procedimiento de bandeo - por capas, de acuerdo a lo indicado en D) hasta el nivel inferior de la capa subrasante. Las -- franjas de seguridad en este caso se construirán

con materiales tipos I, II o los procedentes del Banco "Macahuatillo", compactados por capas a un grado mínimo del 90%.

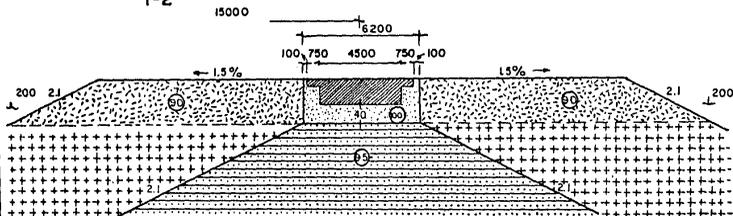
- I) Los terraplenes desplantados en laderas cuya pendiente transversal sea igual o mayor al 25%, deberán anclarse mediante la construcción de escalones de liga de 2.50 m de ancho, como mínimo, - si se excavan en materiales tipo I y de 1.0 m, - si se trata de material tipo II, III o IV, espaciados 2.0 m a partir del borde exterior de la huella de un escalón inmediato inferior, en ambos casos.

- J) Se requiere proteger los taludes de cortes y terraplenes contra la erosión, mediante la forestación de especies vegetales rastreras.

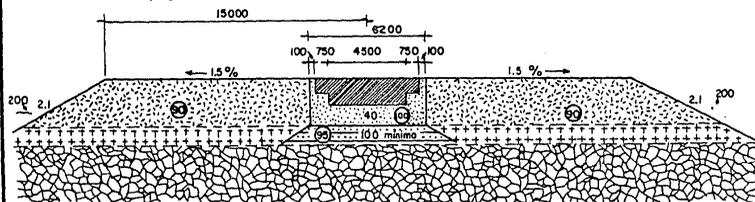
SECCIONES EN TERRAPLEN



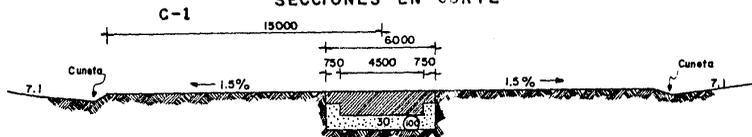
T-2



T-3



SECCIONES EN CORTE



SIMBOLOGIA

-  Sección estructural del pavimento (Ver plano 6)
-  Capa subrasante, compactada al 100 %, con materiales del Banco "Macabuatilla"
-  Cuerpo de terrapién, compactado al 95 %, con materiales tipos 1 ó 2
-  Franjas de seguridad compactadas al 90 %, con materiales tipos 1 ó 2
-  Materiales bandedos tipos 3, 4 ó 5
-  Cortes en materiales tipos 1, 2, 3 ó 4
-  Materiales conformados por capas tipos 1 ó 2

Notas

- Aotaciones en cm, excepto las indicadas en otras unidades.
- Esc. H 1:2000
- Esc. V 1:75

- Los números en \bigcirc indican el grado de compactación en %, respecto a la prueba AASHTO estándar (Ec = 6.0 kg-cm/cm³)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

AEROPUERTO INTERNACIONAL "BAHIAS DE HUATULCO"
PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE TERRACERIAS

TESIS PROFESIONAL
JAIME GALLEGOS HUICOCHEA

MEXICO, D.F., 1985.

PLANO No. 4

C A P Í T U L O 6

PROYECTO DE PAVIMENTACION.

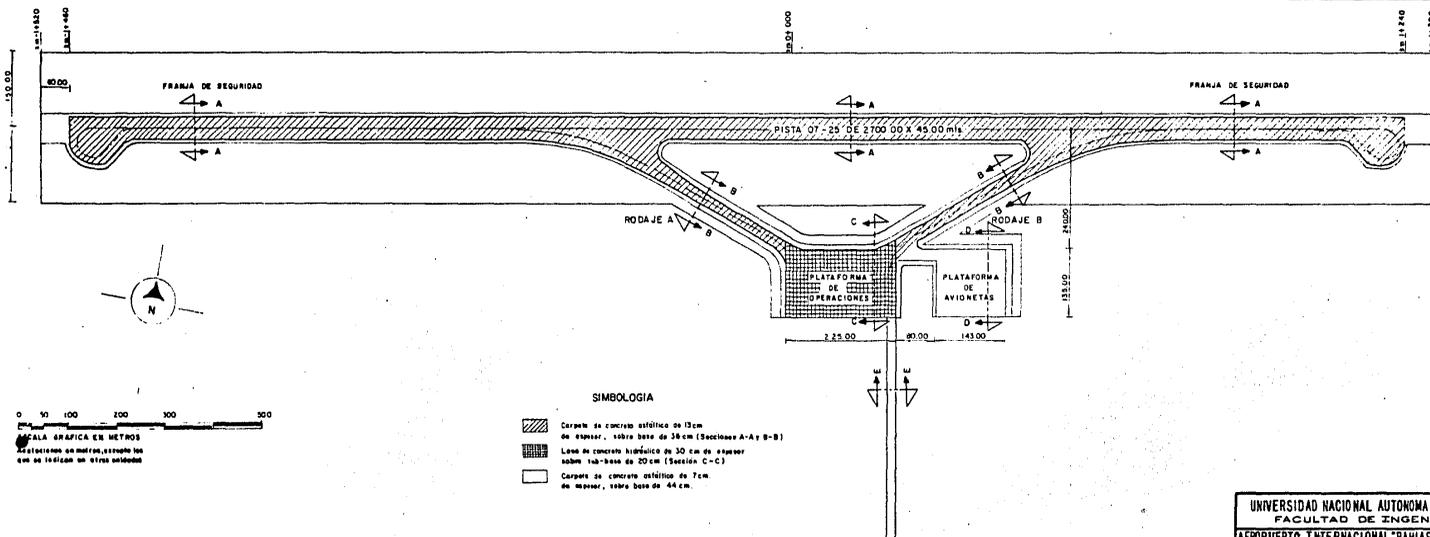
Conforme a los estudios de planeación establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la operación del -- aeropuerto en estudio será de tipo Internacional, por lo que para efectos de diseño se consideran dos clases de secciones estructurales: con carpeta de concreto asfáltico en la pista, calles de rodaje, plataforma de avionetas y camino de acceso y con losas de concreto hidráulico, en la plataforma de operaciones.

6.1 Datos para el diseño de los pavimentos

El diseño estructural de los pavimentos, se fundamenta en los datos que se indican a continuación:

a) Proyecto geométrico.

El proyecto geométrico que integran los diversos elementos de la aeropista que se presentan en el -- Plano No. 5, contempla la construcción de una pista con denominación 07-25, de 2700 m de longitud -- por 45 m de ancho; contará, además, con cabeceras de retorno y dos tramos de acceso de alta velocidad (rodajes A y B), de 23 m de ancho y 377 m de --



0 50 100 200 300 400

ESCALA GRAFICA EN METROS

Asícticos en milímetros, excepto los que se indiquen en otros sentidos

- SIMBOLOGIA**
-  Carpete de concreto asfáltico de 12 cm de espesor, sobre base de 36 cm (Secciones A-A y B-B)
 -  Loma de concreto hidráulico de 30 cm de espesor sobre sub-base de 20 cm (Sección C-C)
 -  Carpete de concreto asfáltico de 7 cm de espesor, sobre base de 44 cm.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
AEROPUERTO INTERNACIONAL "BAHIAS DE HUATULCO"	
ZONIFICACION DE PAVIMENTOS	
TESIS PROFESIONAL	
JAIME GALLEGOS HUICOCHEA	
MEXICO, D.F., 1986.	PLANO No. 3

longitud. La plataforma de operaciones será de 135 x 225 m en su etapa inicial y la plataforma de avionetas de 135 x 143 m.

En el mismo plano Plano No. 5 se muestra la zonificación de pavimentos en los elementos descritos.

La sección de proyecto del camino de acceso, -- considera un ancho de corona de 12 m, con acotamientos de 2.35 m a ambos lados.

- b) El volumen y características del tránsito aéreo analizado, se dedujo por analogía de los datos de operaciones registradas fue 1984, en los aeropuertos de Ixtapa, Gro. y Cancún, Q. Roo.

El tránsito anual registrado en el año de 1984 en el aeropuerto de Ixtapa, Gro. es de 5838 -- operaciones, con la siguiente composición; según el tipo de aeronave:

DC-9-10/20	9%
DC-9-30/40	28%
B-727-200	56%
DC-10-10	7%

En el aeropuerto de Cancún, Q. Roo, se registra

ron 5694 operaciones y la composición siguiente:

DC-9-30/40	35%
DC-9-81	6%
B-727-200	42%
B-747	2%
DC-10-10	18%

En virtud de que el pronóstico de tránsito, es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen distintos pesos y trenes de aterrizaje, hay que tener presente los efectos de todo el tránsito en lo concerniente a la aeronave de cálculo. Para lo cual, todas las aeronaves convertirán su tren de aterrizaje al mismo de la aeronave de diseño, para lo que se utilizarán los siguientes factores de conversión, según el criterio de la OACI.

<u>Para convertir de</u>	<u>A</u>	<u>Multiplique se las salidas anuales por</u>
rueda simple	ruedas gemelas	0,8
rueda simple	bogie	0,5
ruedas gemelas	bogie	0,6
bogie	rueda simple	2,0
bogie	ruedas gemelas	1,7
ruedas gemelas	rueda simple	1,3

En segundo lugar, una vez que se han agrupado las aeronaves - en la misma configuración de tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes se obtiene con la siguiente fórmula.

$$\log R_1 = \log R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

R_1 = Salidas anuales equivalentes a la aeronave de diseño.

R_2 = Salidas anuales de la aeronave en cuestión, - expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de diseño.

W_1 = Carga sobre la rueda del tren de aterrizaje - de la aeronave de diseño.

W_2 = Carga sobre la rueda tren de aterrizaje de la aeronave en cuestión.

Considerando como aeronave crítica de diseño al modelo DC-10-10, con peso bruto de 195 t, y que además el aeropuerto en cuestión no tiene calles de rodaje paralelas, el análisis del tránsito siguiendo el criterio de la OACI se presenta en la Tabla 3, - para una vida útil de 20 años, es decir con coeficiente de acumulación de tránsito (CAT) de 7300, - conforme a los valores de la Tabla 4. Se consideró una tasa de crecimiento de 0 %, en virtud de que -- los aeropuertos que se están comparando por analogía, tienen una vida de operación de 10 años, aproximadamente.

AEROPUERTO INTERNACIONAL BAHÍAS DE HUATULCO

TABLA 3 DETERMINACION DEL NUMERO DE PASADAS ANUALES EQUIVALENTES (R_1) A LA AERONAVE DE DISEÑO

AERONAVE		CARGAS (w)		(1984) OPERACION INICIAL		α (%)	Cat	NUMERO DE PASADAS			
MODELO	TREN	PIERNÁ	RUEDA	ANUAL	DIARIA			EN LA VIDA UTIL	ANUALES A TYPB	ANUALES EQUIVS. A DC-10-10	
Aeropuerto considerado: Ixtapa, Gro.											
DC-9-10/20	TYP 4	21.62	10.80	523	1.4	0	7300	20440	1022	613	80
DC-9-30/40	TYP 4	24.33	12.17	1623	4.4	0	7300	64240	3212	1927	241
B-727-200	TYP 4	36.25	18.12	3294	9.0	0	7300	131400	6570	3942	1517
DC-10-10	TYP 8	92.61	23.15	398	1.1	0	7300	16060	803	803	803
										$\Sigma =$	2641
Aeropuerto considerado: Cancún, Q. Roo.											
DC-9-30/40	TYP 4	24.33	12.17	1832	5.0	0	7300	73000	3650	2190	264
DC-9-81	TYP 4	30.57	15.29	366	1.0	0	7300	14600	730	438	140
B-727-200	TYP 4	36.25	18.12	2399	6.6	0	7300	96360	4818	2891	1154
B-747	TYP 16	77.33	19.33	104	0.3	0	7300	4380	219	219	138
DC-10-10	TYP 8	92.61	23.15	993	2.7	0	7300	39420	1971	1971	1971
										$\Sigma =$	3666

FACTORES DE CONVERSION POR EL TIPO DE TREN DE ATERRIZAJE

De rueda simple a bogie (TYP2) (TYPB) : 0.5

De ruedas gemelas a bogie (TYP4) (TYPB) : 0.6

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^k$$

- {1} Aeronave de diseño
{2} Aeronave en cuestión

TABLA 4 COEFICIENTES DE ACUMULACION DEL TRANSITO (Cat)

$$Cat = 365 \sum_{j=1}^n (1 + \alpha)^{j-1}$$

AÑO	(α), TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (%)									
	0	2	4	5	6	8	10	12	14	15
3	1095	1117	1139	1151	1162	1185	1206	1232	1255	1267
5	1825	1899	1977	2017	2057	2141	2228	2319	2413	2461
10	3650	3997	4382	4591	4811	5208	5817	6405	7058	7411
15	5475	6312	7309	7876	8496	9910	11597	13607	16002	17367
20	7300	8860	10869	12069	13427	16703	20905	26299	33224	37392
25	9125	11691	15201	17420	20026	26684	35897	48667	66383	77669

Conforme a lo anterior, se deduce un número de salidas anuales equivalentes a DC-10-10, de 3000, aproximadamente, para el aeropuerto de Huatulco. La plataforma de avionetas operará como posible plataforma de pernocta, con operaciones eventuales de aeronaves tipo DC-10-10, con peso bruto mínimo de 120 t.

Debido a que se carece de datos, el tránsito considerado para el camino de acceso fue de 10^7 ejes equivalentes acumulados de 8.2 t, durante la vida útil del aeropuerto.

c) Características de la capa subrasante.

De los resultados y la interpretación de las pruebas de VRS tipo Cuerpo de Ingenieros, que se presentan en la Fig. 26, se puede inferir un VRS de diseño de 20%, siempre y cuando los materiales se compacten a un grado nominal de 100%, respecto a la prueba de control -- AASHTO estándar ($E_c = 6.0 \text{ Kg-cm/cm}^3$). Para lograr lo anterior es recomendable una humedad de compactación -- cercana a la óptima (9%), con una variación máxima de $\pm 1.0\%$.

d) Características estructurales de los pavimentos.

Considerando la disponibilidad de materiales en la --

región con calidad apropiada, como se indicó en el inciso 3.3, así como el tipo de aeropuerto en estudio, los pavimentos asfálticos deberán estructurarse con una base hidráulica, una carpeta elaborada en planta y en caliente, con agregados triturados procedentes del Banco "Huatulco". El VRS a nivel de base considerado en estos materiales es mayor de 100%. Por su parte, conforme a los resultados prueba Marshall reportados en la Fig. 27, el contenido recomendable de cemento asfáltico es de 5.3%, para cumplir con las normas de calidad de la SCT.

En la plataforma de operaciones, las losas de concreto hidráulico se construirán empleando agregado del Banco "Copalita" y "Sta. Cruz", cribados. Bajo las losas deberá construirse una sub-base, con agregados procedentes del Banco "Huatulco".

Para el diseño de los pavimentos de concreto se consideró un módulo de reacción vertical, a nivel de subrasante, $K = 6.7 \text{ Kg/cm}^3$, que corresponde aproximadamente al de una arena arcillosa, SC, con un VRS = 20% (Fig. 28). El módulo de reacción combinado a nivel de sub-base con espesor mínimo de 20 cm, conforme al criterio de la PCA es de $K_c = 8.5 \text{ Kg/cm}^3$ (Fig. 29).

La resistencia de diseño a la tensión por flexión del concreto, considerando un coeficiente de variación máximo en su calidad de 15%, es $\text{DMR} = 46 \text{ Kg/cm}^2$, es decir --

con un $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$ (nominal).

El acero que se emplee en el refuerzo de las losas será de tipo estructural con una resistencia $f_s = 2100 \text{ kg/cm}^2$ (Fig. 35).

6.2 Criterios de diseño.

El criterio aplicado para el dimensionamiento de los pavimentos, tanto asfálticos como de concreto del aeropuerto, es el recomendable por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), conforme a la práctica de los EE.UU. (FAA).

Las secciones estructurales de los pavimentos de concreto se dimensionaron aplicando el criterio de la OACI, con la ayuda de las curvas de cálculo de la Fig. 30 y los datos del Inciso 6.1.

El espesor total del pavimento y subrasante para $VRS = 4\%$, que es de el terreno natural (Fig. 25) fué de 1.42 m de grava equivalente (G.F.). A nivel de subrasante con $VRS = 20\%$ (Fig. 26) se obtuvo un espesor igual 0.42 m por lo que la capa subrasante se dividió en dos partes, una capa de transición de 0.70 m y una subrasante de 0.30 m compactadas al 95 y 100%, respecto a la prueba de control AASHTO modificada.

De la Fig. 31 se dedujo un espesor mínimo de base igual a 36 cm,

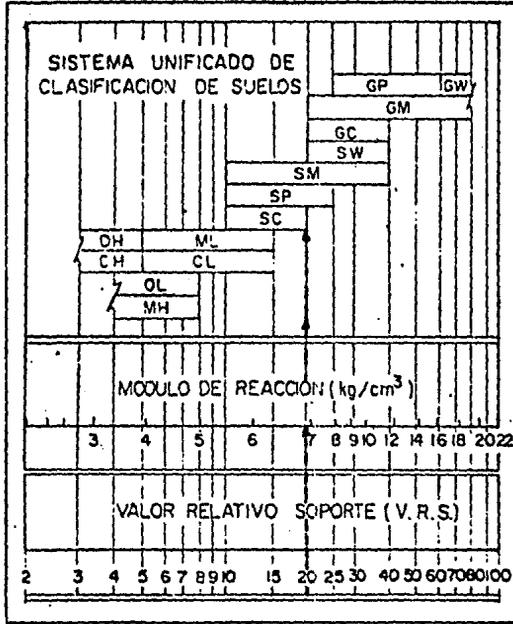


Fig. 28 RELACIONES APROXIMADAS ENTRE EL TIPO DE SUELO (CLASIFICADO DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO) EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE Y EL MODULO DE REACCION

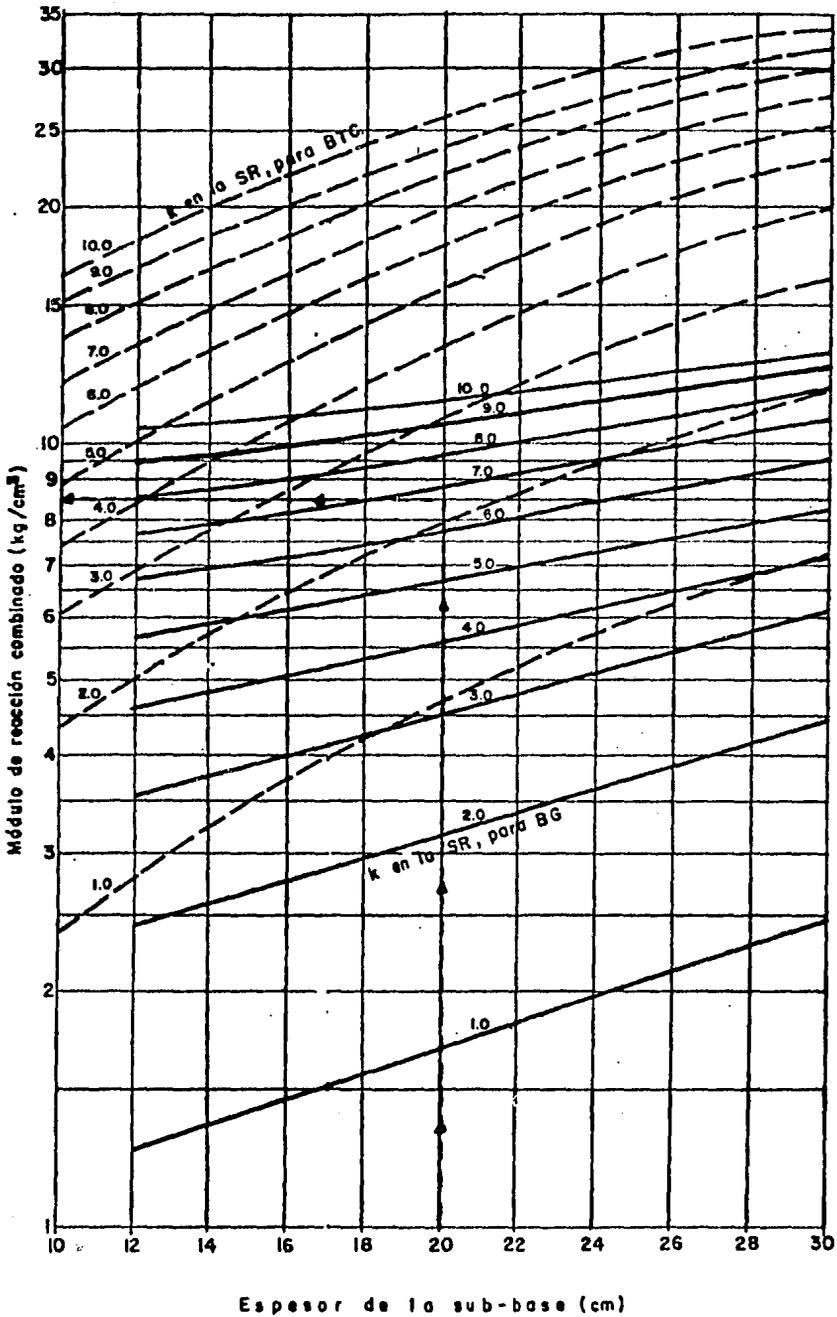


Fig. 29 Módulo de reacción combinado por efecto del espesor de la sub-base.

por tratarse de una base constituida por grava triturada. El factor de equivalencia para la carpeta asfáltica se estimó en 1.4 por lo que el espesor real fué:

$$1.4 \times 0.13 = 0.18 \text{ m}$$

$$0.43 - 0.18 = 0.25 \text{ de base triturada}$$

$$0.25 < 0.36 \text{ se escoje } \underline{0.36 \text{ m}}$$

Para los acotamientos de la pista y de las calles de rodaje, se consideró la mitad de los espesores de la sección estructural - en áreas críticas.

Para la plataforma de avionetas, se consideró un peso bruto del DC-10-10 de 120 t vacío, ya que se utilizará como plataforma de pernocta. Con los datos anteriores, se dedujo un espesor de -- 0.07 m y una base hidráulica de 0.18 m, pero finalmente se escojó una base de 0.44 m por las posibles ampliaciones.

Para estructurar la sección del camino de acceso, se utilizó el criterio del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Con la información del Inciso 6.1 y la gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimentos asfálticos (Fig. 32) se obtuvo un espesor de 0.31 m de G.E., se consideró un factor de grava equivalente para la carpeta asfáltica de 1.65 (Fig. 33) y para la base hidráulica de 1.10:

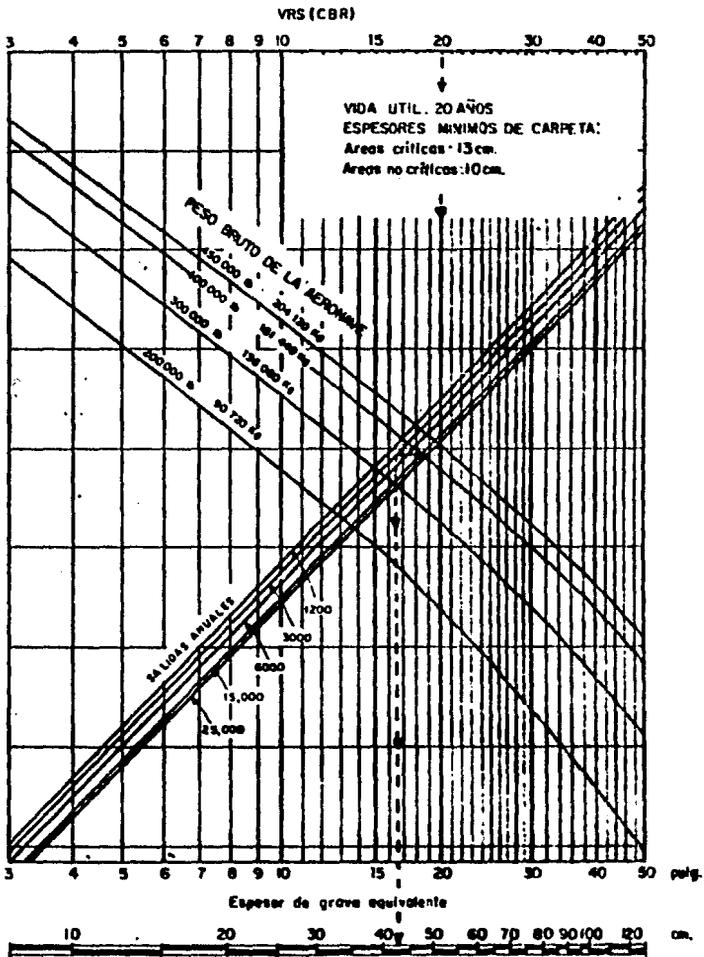


Fig. 30 Curvas de cálculo de pavimentos flexibles para áreas críticas, DC 10-10, 10CF

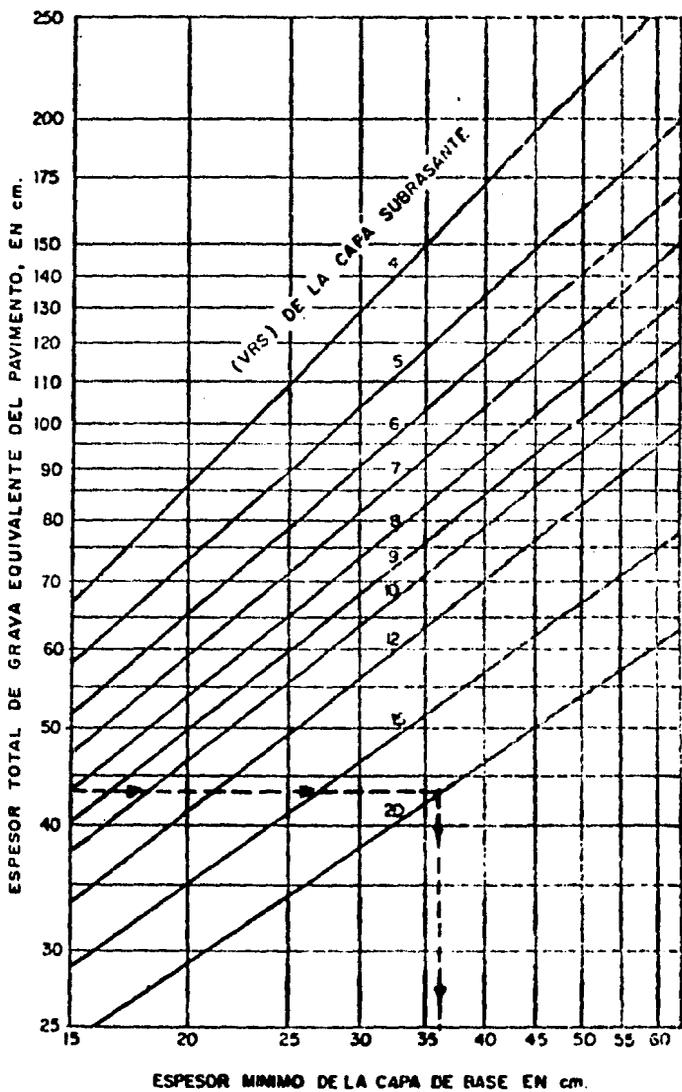


Fig. 31 Espesores mínimos de base granular en pavimentos asfálticos para aeropistas

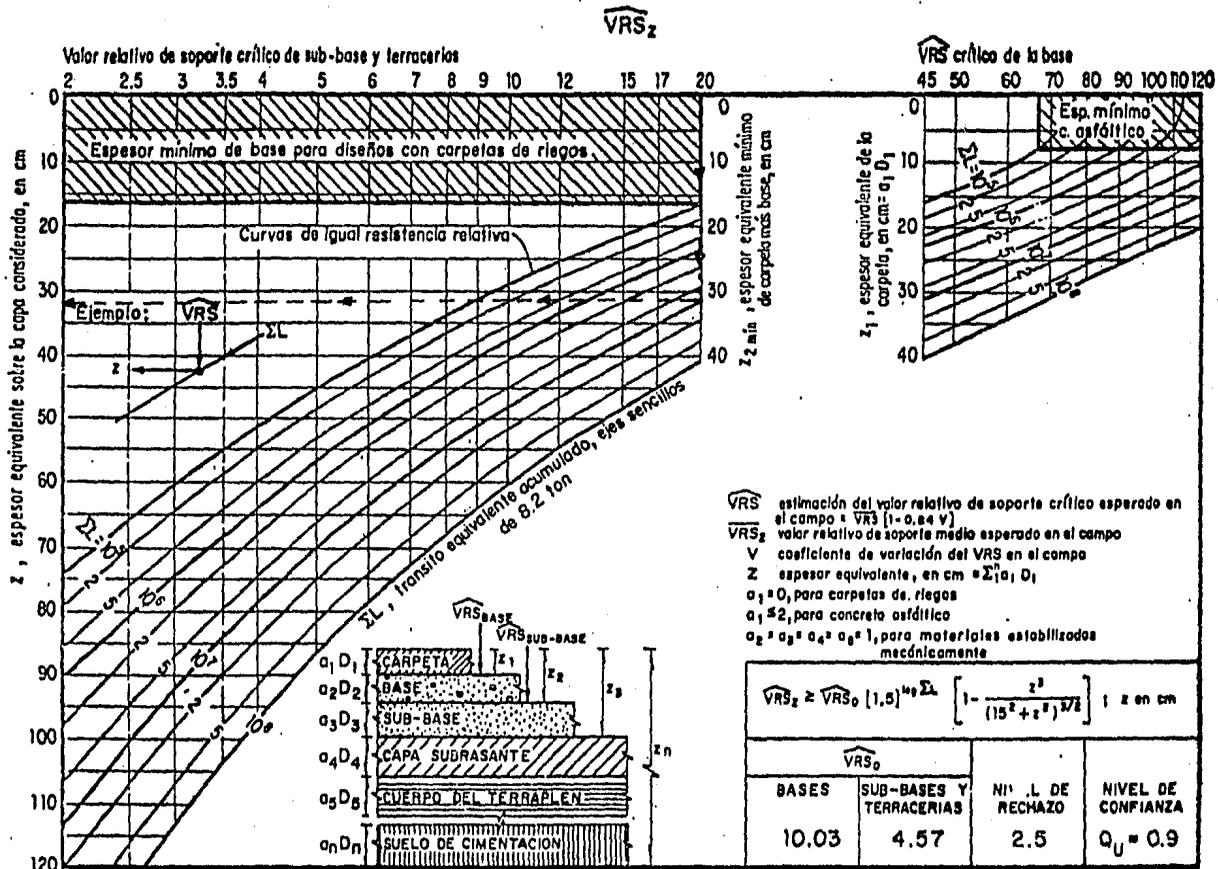


Fig. 32 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

Tránsito equivalente acumulado, ejes sencillos de 8.2 t (ΣL)

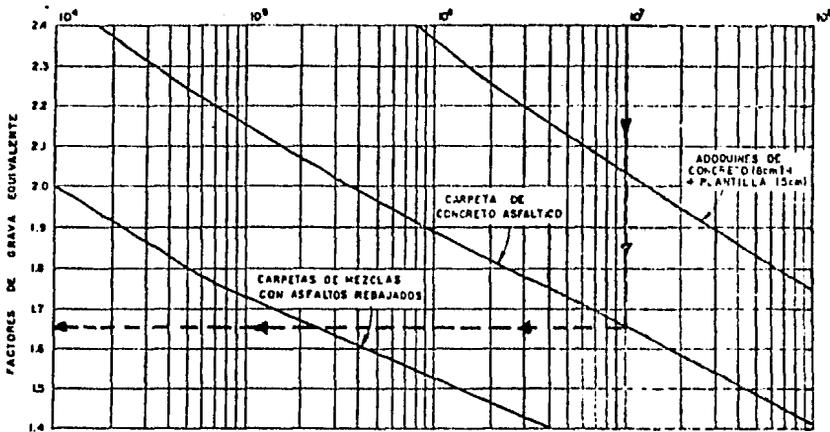


Fig. 33 Factores de grava equivalente para superficies de rodamiento de calles y carreteras

$$0.07 \times 1.65 = 0.11 \text{ m}$$

$$0.18 \times 1.10 = 0.19 \text{ m}$$

$$0.19 + 0.11 = 0.30 \text{ m}$$

Análogamente que en el caso de las pistas, se utilizó el criterio de la OACI para estructurar la plataforma de operaciones -- con los datos proporcionadas en el Inciso 6.1 y la Fig. 34 se obtuvo un espesor de losa igual 0.33 m. Se redujó a 0.30 m con el refuerzo obtenido en el nomograma de la Fig. 35. La sub-base mínima se estimó en 0.20 m, y diseñando las pasajuntas con la Fig. 36.

Cabe hacer notar que la aeronave segunda más crítica en este estudio resultó ser el Boeing 727-200 con peso bruto de 78.5 t, -- originándose un espesor de 0.39 m de losa de concreto hidráulico, por lo cual se procedió a la revisión por el criterio de Pickett y Ray, obteniéndose el esfuerzo de trabajo y las repeticiones -- admisibles.

Datos

$$W_b = 173\,000 \text{ lb}$$

$$W_p = 79\,750 \text{ lb}$$

$$M_r = 662 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$E = 4 \times 10^6 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$U = 0.15$$

$$K_c = 314 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$h_1 = 13 \text{ pulg. (33 cm)}$$

$$h_2 = 15.3 \text{ pulg. (39 cm)}$$

$$P_c = 167 \text{ lb/pulg.}^2$$

Cálculo del radio de rigidez relativa I (Fig. 37).

$$I_1 = 39.3 \text{ pulg.}^2$$

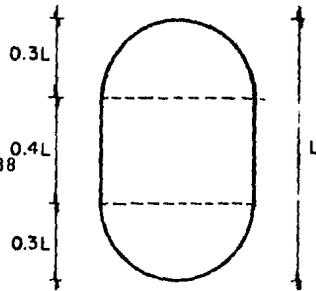
$$I_2 = 44.3 \text{ pulg.}^2$$

$I_g =$ longitud de la línea en la Fig. 38

$$A_c = \frac{W L U c}{P_c} = 233 \text{ pulg.}^2$$

$$Esc 1 = \frac{I_g}{I_1} = 0.098$$

$$Esc 2 = \frac{I_g}{I_2} = 0.086$$



$$L = \sqrt{\frac{A}{0.52}}$$

Elemento	Real	Esc 1	Esc 2	S_1	S_2
	pulg.	pulg.	pulg.		
L	21.3	2.1	1.8	8.4	7.4
W	12.8	1.3	1.1		
0.3L	6.4	0.6	0.6		
0.4L	6.5	0.8	0.7		

*Ver Fig. 40

El esfuerzo de trabajo t es:

$$\sigma t = \frac{Pc l^2 Nc.}{1667 h^2}$$

$$\sigma t = 680 \text{ lb/pulg.}^2 = \frac{\sigma t_1}{\sigma t} = 1.03$$

No admite una sola repetición

* Ver Tabla 2
Fig. 37

$$\sigma t = 526 \text{ lb/pulg.}^2 = \frac{\sigma t_2}{\sigma t} = 0.80$$

Admite 120 repeticiones

Estos resultados son para un caso supuesto, de la posición de las ruedas en la orilla, considerado como el mas crítico.

A continuación se analizará para una posición de las ruedas al centro.

$l_g = 3.72$ pulg. de la Fig.39

$Esc_1 = 0.095$

$Esc_2 = 0.084$

Elemento	Real	Esc ₁	Esc ₂	S ₁	S ₂
	pulg	pulg	pulg	pulg	pulg
L	21.3	20	18	8.1	7.1
W	12.8	12	10		
0.3L	6.4	06	05		
0.4L	8.5	08	07		

* Ver Fig.40

$$\sigma t = 331 \text{ lb/pulg.}^2 = \frac{\sigma t_1}{\sigma t} = 0.50$$

Repeticiones admisibles ilimitadas

$$\sigma t = 248 \text{ lb/pulg.}^2 = \frac{\sigma t_2}{\sigma t} = 0.35$$

Repeticiones admisibles ilimitadas

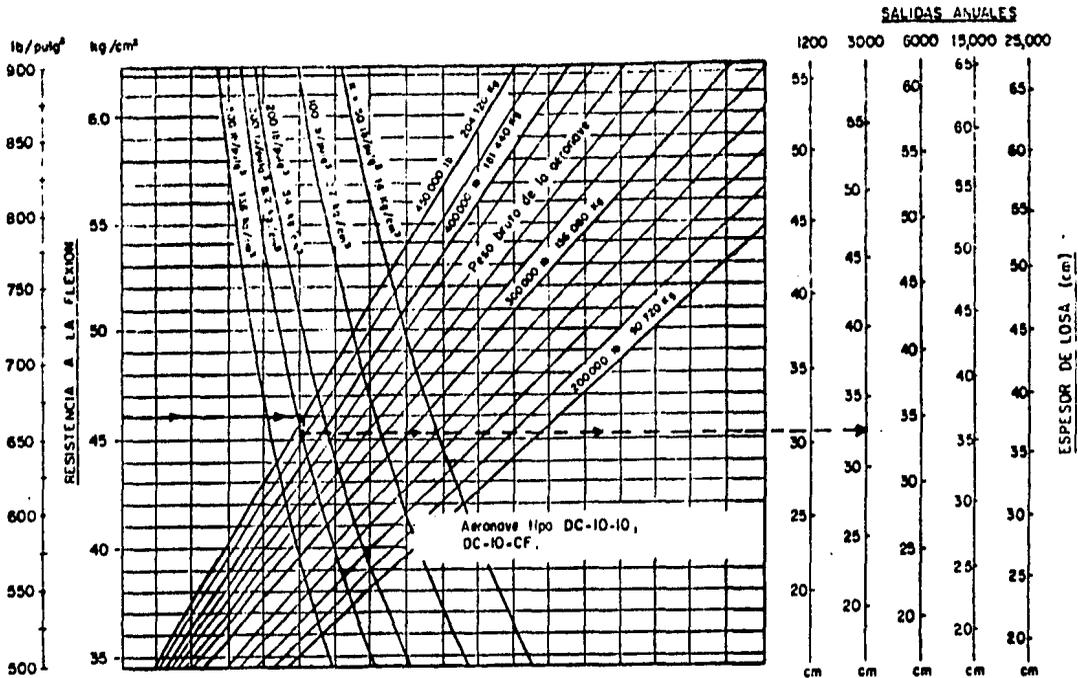


Fig. 34 Gráficas de diseño para pavimentos de concreto - DC-10

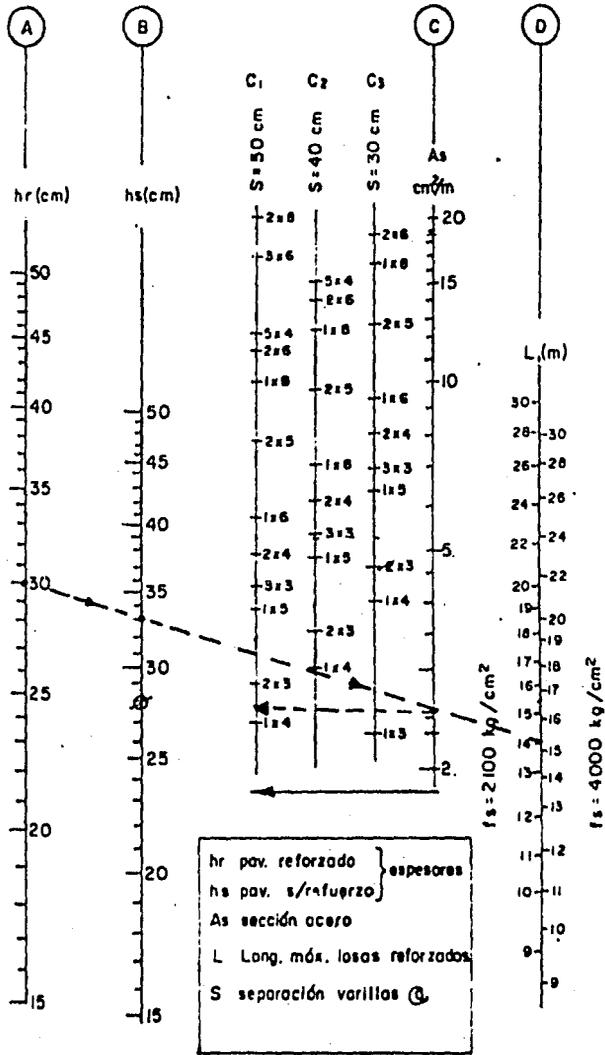
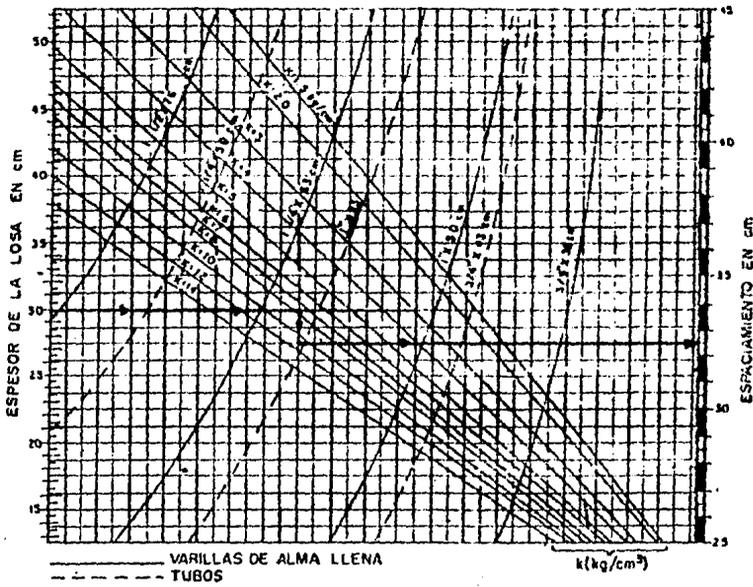


Fig. 35 Nomograma para el diseño de pavimentos de concreto reforzado.

JUNTAS DE CONSTRUCCION Y CONTRACCION



JUNTAS DE EXPANSION

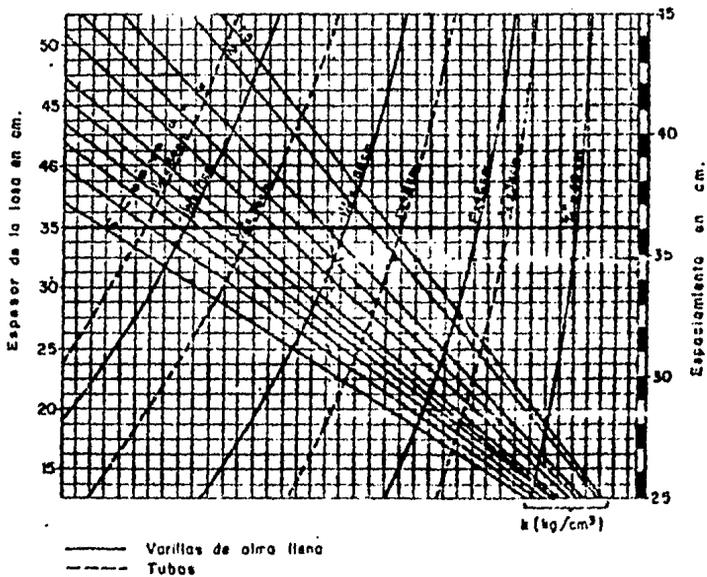


Fig. 36 Gráficas de diseño para pasajuntas de acero liso engrasado

Fig. 37 SIGNIFICADO FISICO DEL "RADIO DE RIGIDEZ RELATIVA"
 l DE WESTERGAARD

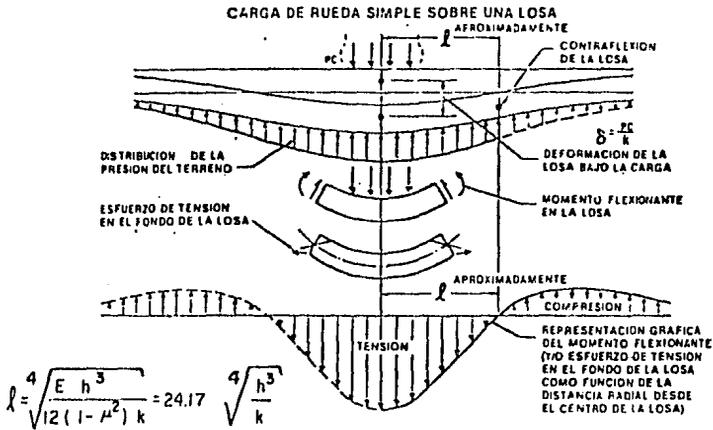


TABLA 5 REPETICIONES DE CARGA ADMISIBLES EN PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA DIVERSAS RELACIONES (ρ) DEL ESFUERZO DE TRABAJO AL MODULO DE RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION.

RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES
0.50	Ilimitadas	0.62	18,000	0.74	650
0.51	400,000	0.63	14,000	0.75	490
0.52	300,000	0.64	11,000	0.76	360
0.53	240,000	0.65	8,000	0.77	270
0.54	180,000	0.66	6,000	0.78	210
0.55	130,000	0.67	4,500	0.79	160
0.56	100,000	0.68	3,500	0.80	120
0.57	75,000	0.69	2,500	0.81	90
0.58	57,000	0.70	2,000	0.82	70
0.59	42,000	0.71	1,500	0.83	50
0.60	32,000	0.72	1,100	0.84	40
0.61	24,000	0.73	850	0.85	30

$$M = \frac{q l^2}{16,000} \text{ (lb-pulg)}$$

q = Presión de contacto (psi)

N = Número de cuadros positivos, menos el número de cuadros negativos (Los cuadros sombreados cuentan como fracciones)

$$l = \left(\frac{D}{R}\right)^{1/2} \text{ Radio de rigidez relativa (pulg)}$$

D = Rigidez a la flexión del pavimento.

R = Módulo de reacción de la subrasante (pci)

d = espesor de losa (pulg)

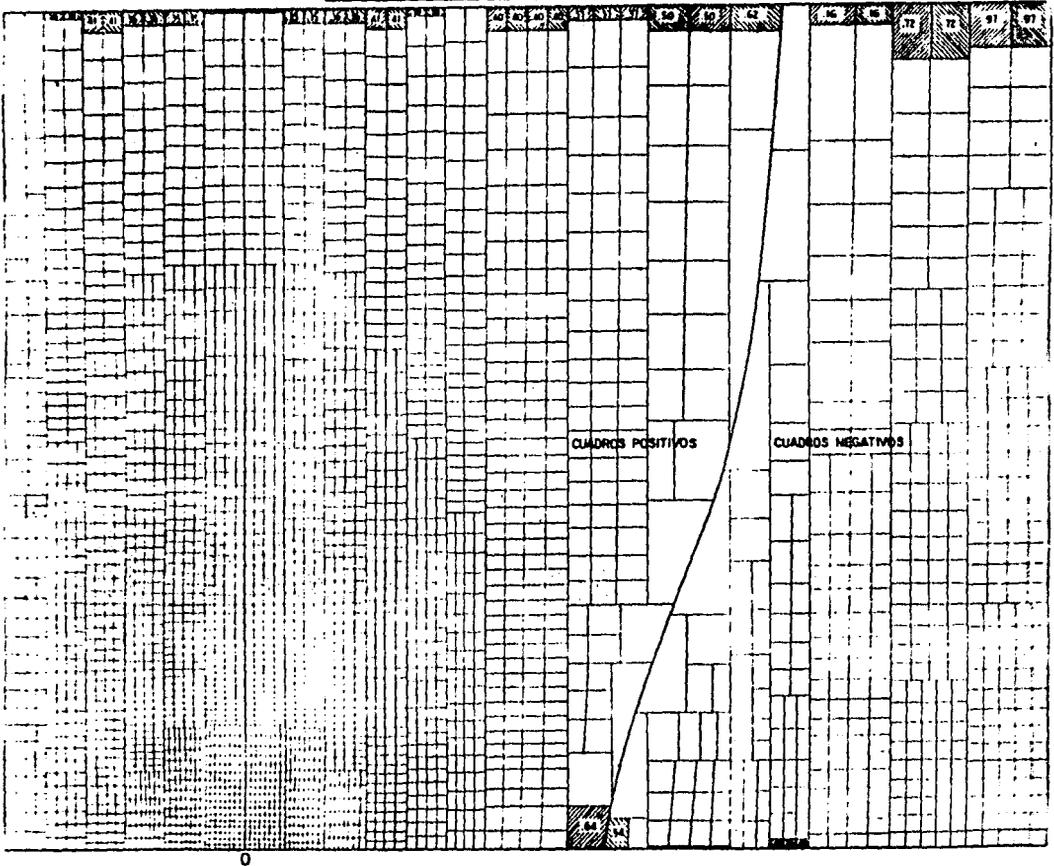


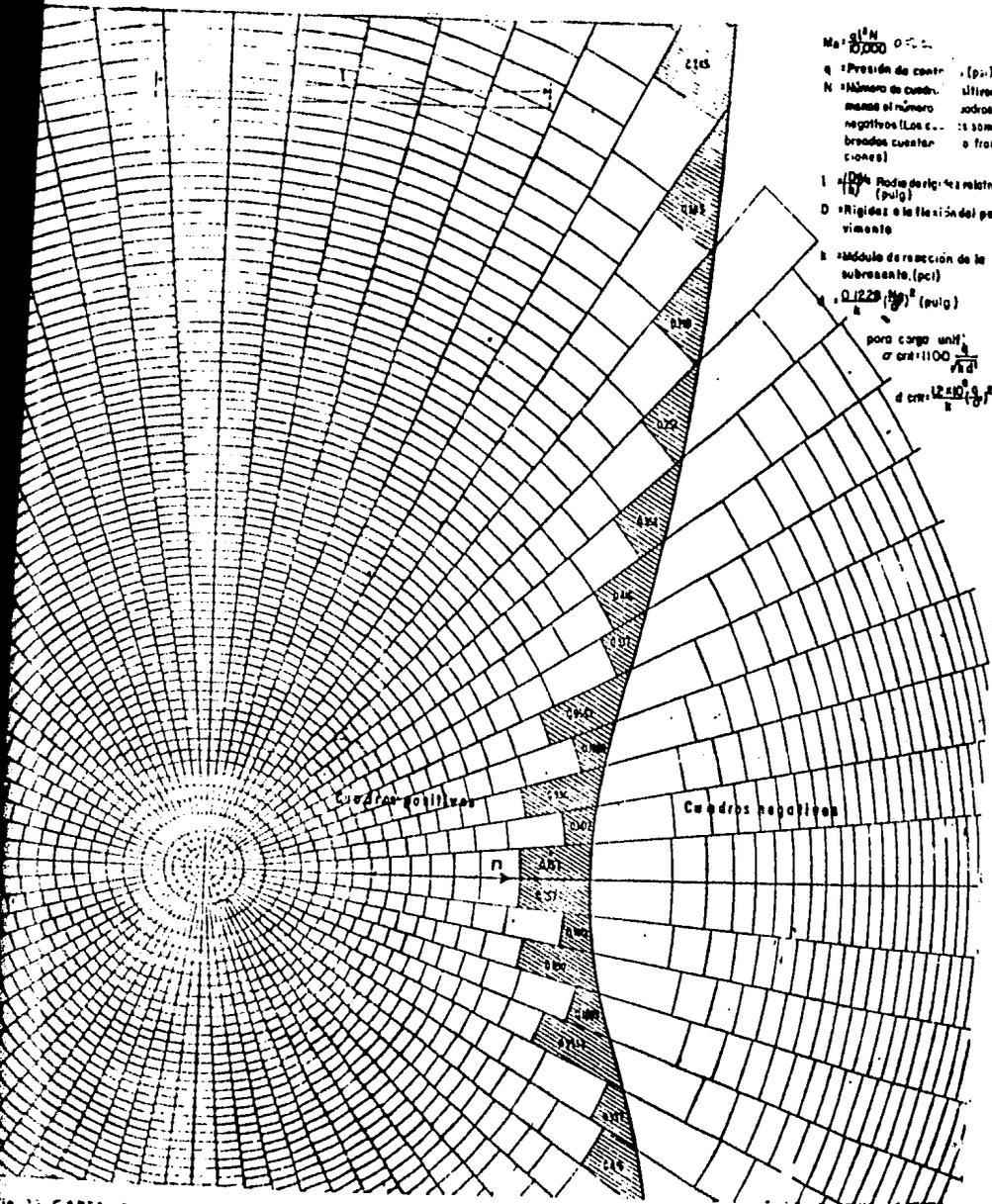
Fig. 36 CARTA DE INFLUENCIA PARA EL MOMENTO FLEXIONANTE EN PAVIMENTOS DE CONCRETO DEBIDO A UNA CARGA EN LA VICINIDAD DEL BORDE DE LA LOSA.

$$\sigma = 0.330 \frac{M}{\sqrt{h^3}} \text{ para carga unif. repartida}$$

$$\sigma \text{ crit.} = 972 \frac{d}{\sqrt{h^3}} \text{ (psi)}$$

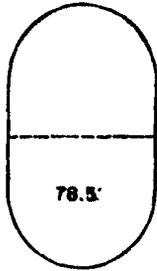
$$d = 0.228 \frac{M}{\sigma^2}$$

$$d \text{ crit.} = \frac{22.1 \times 10^6}{\sigma^2} \text{ (pulg)}$$



9-33 CARTA DE INFLUENCIA PARA EL MOMENTO FLEXIONANTE EN PAVIMENTOS DE CONCRETO DEBIDO A UNA CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA.

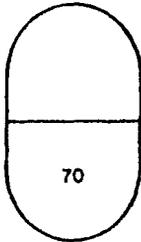
EN LA ORILLA



Escala 1

Nº cuadritos

743



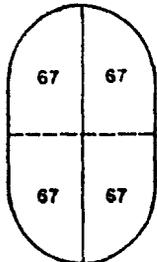
Escala 2

Nº cuadritos

624



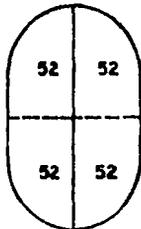
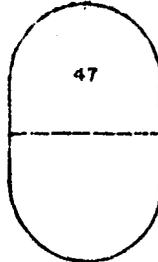
AL CENTRO



Escala 1

Nº cuadritos

362



Escala 2

Nº cuadritos

294

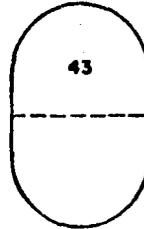


Fig. 40 Geometría del Tren de aterrizaje del B-727-200

6.3 Estructuración de los pavimentos.

De los análisis efectuados con los datos de diseño y aplicando los criterios señalados en 6.1 y 6.2, se desprenden las recomendaciones siguientes, para estructurar los pavimentos:

a) Pavimentos asfálticos:

Los pavimentos asfálticos se construirán en las áreas correspondientes a la pista 07-25, incluyendo las cabeceras de retorno, tramos de acceso A y B, plataforma de aviones y camino de acceso.

La estructura de los pavimentos en las áreas críticas de circulación, es decir, en todo el ancho de la pista (45 m) y tramos de acceso (23 m), estará constituida por una base hidráulica de 36 cm y una carpeta asfáltica de 13 cm. El pavimento se apoyará en una capa subrasante de 40 cm en las secciones en terraplén y de 30 cm en las secciones en corte. Los acotamientos serán de 7.50 m de ancho, en las cabeceras y pista principal y de 10.50 m en los tramos de acceso; estos elementos se estructurarán con una base hidráulica de 18 cm y una carpeta de 7 cm. La plataforma de operaciones, cuyo pavimento será a base de losas de concreto hidráulico, también contará con acotamientos de 10.50 m de ancho, estructurados en la forma descrita, con pavimento asfáltico.

Para que la plataforma de avionetas pudiera operar como plataforma de pernocta para las aeronaves de diseño -- (DC-10-10 hasta de 120 t de peso bruto), se requiere -- una estructuración de 18 cm de base hidráulica y una -- carpeta mínima de 7 cm. Sin embargo, como existe la po sibilidad de ampliar la plataforma de operaciones en -- esta área, para poder alojar la estructura del pavimen- to de concreto correspondiente, se requiere una base hí dráulica mínima de 44 cm, con el objeto de no modificar en el futuro los niveles de rasante. Para evitar el de terioro por el posible derrame de combustibles en esta_ área, se requiere una protección con una capa de COL- - FIX-JET-SEAL o similar.

El camino de acceso tendrá un pavimento estructurado con una base de 18 cm y una carpeta de 7 cm.

Por último, el camino perimetral de inspección, contará exclusivamente con una capa de revestimiento de 20 cm de espesor sobre la capa subrasante.

b) Pavimentos de concreto de cemento Portland.

La plataforma de operaciones se construirá con losas de concreto de cemento portland de 30 cm de espesor, reforzados en ambos sentidos con varillas de acero estructural. Las losas se apoyarán en una sub-base de 20 cm de espesor mínimo.

Las secciones estructurales descritas, los detalles de dosificaciones, resistencia, tipos de materiales y grados de compactación se presentan en el Plano No. 6, incluyendo la distribución de losas, juntas tipo y materiales para el sellado, correspondientes al diseño de pavimento de concreto.

Los espesores de los pavimentos deberán afinarse una vez concluida la construcción de la capa subrasante. Para esta verificación se sugiere que durante el control de obra se determinen valores relativos de soporte saturados, en un número estadísticamente aceptable, conforme al procedimiento recomendado por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU., sobre muestras inalteradas. En el área de la plataforma de operaciones se recomienda efectuar pruebas de placa no repetitivas, para verificar el módulo de reacción combinado a nivel de la subbase construida.

6.4 Normas de calidad y procedimientos de construcción de los pavimentos.

Los materiales que se usen en los trabajos de pavimentación - propuestos en este proyecto, deberán cumplir con las normas - de calidad que señalan las especificaciones de la Secretaría_ de Comunicaciones y Transportes, según los incisos que a con- tracción se indican, correspondientes al Libro Cuatro "Nor- mas de Calidad de los Materiales", Parte 4.01 "Carreteras y - Aeropistas".

Los requisitos de agregados que se utilicen en la construcción de la base hidráulica, se sujetarán a lo indicado en el Capí- tulo 4.01.03.009, Inciso 009-C, 06, debiéndose compactar esta capa al 100% , respecto a la prueba AASHTO modificada ($E_c=27.4 \text{ kg-cm/cm}^3$).

A los materiales pétreos que se utilicen en la construcción - de la carpeta de concreto asfáltico serán aplicables las nor- mas indicadas en Capítulo 4.01.03.010, Inciso 010-C.01.

Los asfaltos rebajados FM-1 y FR-3, que se requieren para los riegos de impregnación y de liga deberán cumplir con lo seña- lado en el Capítulo 4.01.03.011, Inciso 011-B.04 b) y c), res- pectivamente.

El cemento asfáltico para la elaboración del concreto asfálti- co será del No. 6, en una proporción de 5.3%, en peso y debe-

rá cumplir con las normas de calidad indicadas en el Capítulo 4.01.03.011, Inciso 011-B.04 a).

La mezcla asfáltica que será elaborada en planta y en caliente deberá sujetarse a las normas de calidad indicada en el -- Capítulo 4.01.03.011, en su Inciso 011-D.03. La mezcla deberá compactarse al 95% de su peso volumétrico máximo, obtenido en la prueba Marshall de control, compactando los especímenes con - 75 golpes por cara.

El cemento Portland que se emplee en la elaboración del concreto será preferentemente de los tipos I o II debiendo cumplir las normas de calidad correspondientes, que se indican - en la Cláusula 004-B, del Capítulo 4.01.02.004.

Los agregados para concreto, que deberán tener un tamaño máximo de 25.4 mm (1") y el agua para la elaboración del concreto se sujetará a las normas de calidad obtenidas en las Cláusulas 004-F y 004-G, respectivamente, correspondientes al Capítulo 4.01.02.004.

La resistencia del concreto se medirá mediante el ensaye para determinar el módulo a la resistencia a la tensión por flexión en vigas cargadas en los tercios (designación ASTM-78), la -- cual no deberá ser inferior a 45 kg/cm^2 , a los 28 días.

Los procedimientos de construcción a los que deberán sujetarse los trabajos de pavimentación, serán los señalados en las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Trans--

portes correspondientes al Libro Tres, "Formas para Construcción e Instalaciones", Parte 3.01 "Carreteras y Aeropistas", conforme a las Cláusulas que se mencionan a continuación.

- a) Revestimiento: 072-F
- b) Base hidráulica para pavimento asfáltico o sub-base para pavimento de concreto: 074-F
- c) Carpeta de concreto asfáltico: 081-F
- d) Pavimento de losas de concreto hidráulico: 084-F.

CONCLUSIONES

Para el movimiento de tierras, es recomendable elevar el nivel de rasante 3m, de acuerdo con el análisis del estudio geofísico, moviéndose así tan solo 1% de roca sana, 23% de roca fracturada y algo alterada, 21% de roca fracturada y alterada, y 45% de suelo residual y roca muy alterada.

El material que se utilizará para la conformación de la capa subrasante será del Banco Macahuatillo, siendo este producto de la intemperización del Gneiss subyacente, el valor relativo de soporte de diseño inferido en la prueba tipo cuerpo de ingenieros fué de 20% siempre y cuando se compacte a un grado nominal de 100% respecto a la prueba de control AASPTO estandar y a una humedad de 9% \pm 1%.

Tanto para el análisis de tránsito como para el diseño estructural de los pavimentos en pistas y plataformas se utilizó el criterio de la OACI, obteniéndose 3000 salidas anuales equivalentes a DC-10-10, que es la aeronave de diseño, se originó un espesor de 30 cm reforzando la losa. Con el Boeing 727 200 que ocupa el mayor porcentaje de salidas se deduce un espesor de 39 cm el cual se revisó por otro criterio (Pickett y Ray) concluyendo que el espesor de 30 cm reforzado acepta un número de repeticiones ilimitados para una posición de sus llantas al centro, ya que está es la más frecuente en la práctica.

Para dimensionar el camino de acceso y el camino perimetral se ocupó el criterio del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

BIBLIOGRAFIA

1. López Ramos E. Geología de México, Tomo III 2a. Edición, 1979.
2. Organización de Aviación Civil Internacional, Manual de - Proyectos de Aeródromos, Parte 3, Pavimentos, Segunda Edición, 1983.
3. Portland Cement Association, Design of Concrete Airport - Pavement, 1973.
4. Instituto de Ingeniería, UNAM, "Instructivo para Diseño - Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras". Publicación 444. 1981.
5. The Asphalt Institute. "Soil Manual for Design of Asphalt Pavement Structures" (MS-10), 1969, Pág. 120.
6. American Society for Testing and Materials "Soil and Rock, Building Stones" Volume 04.08, 1984, Ensaye de prueba con designación ASTM-D-1196.
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Libro Cuatro - "Normas de calidad de los Materiales". Parte 4.01 "Carreteras y Aeropistas". Título 4.01.03 "Materiales para pavimentos".
8. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Libro Tres -- "Normas para Construcción e Instalaciones". Parte 3.01. -- "Carreteras y Aeropistas". Título 3.01.03 "Pavimentos".
9. Investigaciones Técnicas del Subsuelo S.A., Estudio Geofísicas del Aeropuerto Internacional Bahías de Huatulco, México, U.F. Agosto de 1984.

10. Yoder Witezak., Principles of Pavement Desing, Second Edition.