

221
0



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO TOPOGRAFICO DEL AEROPUERTO DEL BAJIO, GTO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A :
GABRIEL MORALES CAMPOS



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



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.

I N D I C E

1. INTRODUCCION
- 1.1 JUSTIFICACION
- 1.2 ESTUDIOS PRELIMINARES
- 1.3 NORMAS Y REGLAMENTOS

2. RECOMENDACIONES TOPOGRAFICAS SEGUN LA ORGANIZACION DE AERONAUTICA CIVIL INTERNACIONAL
- 2.1 ESPACIOS AEREOS
- 2.2 ORIENTACION DE PISTAS
- 2.3 LONGITUD DE PISTA
- 2.4 PENDIENTES PERMISIBLES

3. DETERMINACION GEOGRAFICA
- 3.1 CALCULO DE LA LATITUD
- 3.2 CALCULO DEL AZIMUT
- 3.3 CALCULO DE LA LONGITUD

4. PROYECTO DE ELEMENTOS DE OPERACION TERRESTRE
- 4.1 OBTENCION DE PLANOS CORRESPONDIENTES
- 4.2 PROYECTO DE RASANTES
- 4.3 PROYECTO DE TRANSICIONES
- 4.4 PROYECTO DE SECCIONES TRANSVERSALES
- 4.5 PROYECTO DE CURVA MASA Y MOVIMIENTO DE TIERRAS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- 5.1 CONCLUSIONES
- 5.2 RECOMENDACIONES

1).

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

1.1 JUSTIFICACION.

Dada la localización de la Ciudad de León, en la zona centro del país, en la región denominada El Bajío, es considerada por el Plan Nacional de Desarrollo Urbano e Industrial, como zona prioritaria de desarrollo industrial, y con carácter de ciudad de servicios regionales.

La creciente actividad industrial de la Ciudad de León, se ha reflejado en un incremento sustancial de la demanda de tránsito aéreo de largo alcance para comunicar la zona del Bajío con otros centros productivos y turísticos.

Para atender esta demanda, las instalaciones con que cuenta el aeropuerto se saturarán en el corto plazo, y están imposibilitadas de ampliarse, por las restricciones físicas y de infraestructura existente.

Las estadísticas de los últimos 18 años indican que la actividad de la aviación comercial en este aeropuerto, ha tenido un crecimiento considerable.

En cuanto a las rutas, hasta 1984 operó con la ruta México-León, incrementándose los destinos a partir de 1985 a Guadalajara, Monterrey y Mazatlán, lo cual originó un incremento de 1.5 veces, con respecto al movimiento de pasajeros atendidos el año anterior, lo cual demuestra la necesidad de demanda de transporte aéreo con otros puntos del país, principalmente con destinos de playa y poblaciones de intensa actividad industrial.

De acuerdo a estas tendencias de crecimiento, se pronostica hacia el año 2000 una demanda total de 624,296 pasajeros y 25,480 operaciones, cuyas tasas de incremento se han planteado en 5.7 y 3.4% respectivamente, valores que se consideran conservadores, ya que se han calculado con tasas anuales de crecimiento inferiores a las registradas por las estadísticas.

Estas cifras evidencian la necesidad de contar con instalaciones aeroportuarias, acorde al movimiento esperado, por lo que la infraestructura del aeropuerto actual, no podrá atender la demanda que se presentará en el corto plazo.

Para que las aeronaves que operan en el aeropuerto actual, sitio "San Carlos", puedan hacerlo sin restricciones, se requiere contar con una pista de 3,500m. de largo y 45m. de ancho, tendría que ampliarse en su longitud, 1,617m; hecho imposible de realizar, debido a que existen obstáculos orográficos al sureste del aeropuerto, por otra parte, al noroeste existe infraestructura consistente en líneas de alta tensión, teléfono, telégrafo y oleoducto, así como la carretera panamericana México-Ciudad Juárez, cuya afectación significa un alto costo económico y social.

Otro aspecto a considerar, es el hecho de que el aeropuerto no cumple con las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), referente a franjas de seguridad, distancias mínimas entre pista con linderos, plataformas y edificio terminal, razón por la cual, no obstante que cuenta el aeropuerto con radio ayuda del tipo VOR/NDB, su geometría corresponde a un aeropuerto para operaciones visuales.

Analizando las operaciones aeronáuticas con el criterio de vuelos por instrumentos se llegó a las siguientes conclusiones:

Los despegues por cabecera 09 eran posibles, aunque la línea de conducción eléctrica situada paralelamente a la carretera León-Silao sobrepasaba la superficie de protección de obstáculos.

Los despegues por la cabecera 27 eran posibles, aunque la superficie de aproximación se encontraba limitada debido a obstáculos orográficos cercanos.

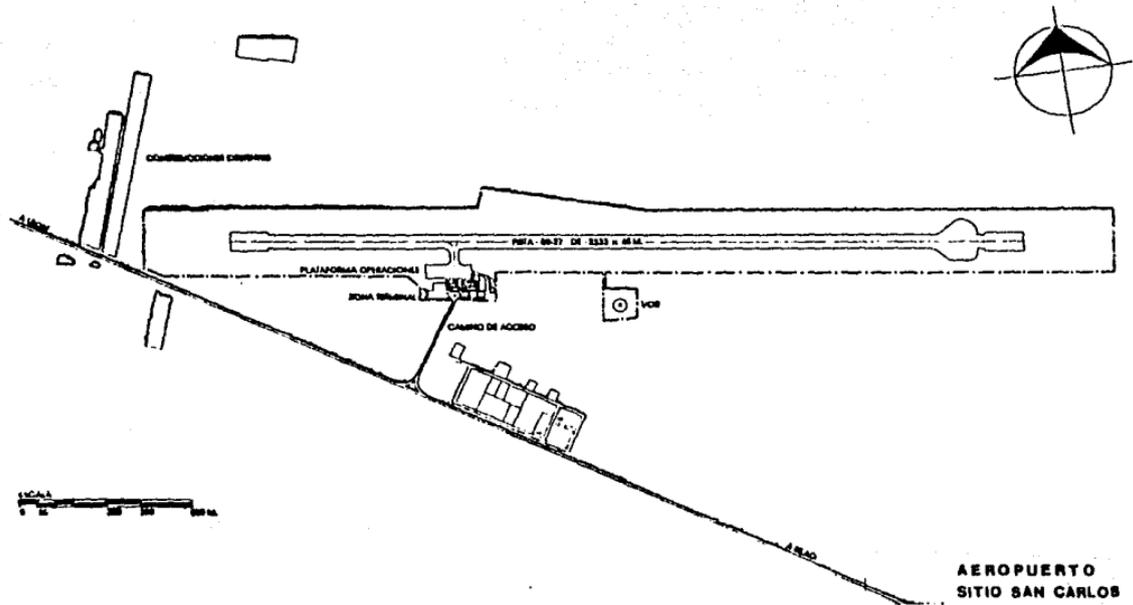
Las aproximaciones por la cabecera 27 se efectuaban dentro de las normas a pesar de las elevaciones de los obstáculos naturales, siendo que las superficies de protección se encontraban en el límite.

De tal suerte que para contar con instalaciones adecuadas, se requeriría ampliar casi cuatro veces la superficie actual del aeropuerto, es decir, de 71Ha. a 276Ha. y reubicar las instalaciones

de la actual zona terminal, plataforma, edificio terminal, estacionamiento, torre de control y zona de combustibles, entre otros.

Además de las anteriores consideraciones, la tendencia de crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de León hacia el aeropuerto define una clara conurbación ciudad-aeropuerto, a fines de siglo, por lo que las aeronaves turborreactoras afectarían por ruido a los habitantes de ésta Ciudad.

En conclusión, y una vez analizados éstos aspectos, que presentan características adversas, tanto para la población, como para el desarrollo del aeropuerto, se dedicó a localizar el aeropuerto en otro sitio.



1.2 ESTUDIOS PRELIMINARES.

Una vez decidida la realización del proyecto del aeropuerto se - procede a efectuar el estudio de factibilidad técnica donde hecha la evaluación general del terreno necesario, a base de un trazado provisional que pueda satisfacer las exigencias del plan general del aeropuerto, se inicia la recopilación de antecedentes.

La siguiente información es la utilizada para evaluar las condiciones del nuevo aeropuerto. Los factores que deben tomarse en cuenta en la información son, entre otros, los siguientes:

- a) DESARROLLO DE LA ZONA CIRCUNDANTE - Establecer contacto con las autoridades y entidades de planificación, a fin de obtener planos de la utilización, presente y futura, de los terrenos.

- b) CONDICIONES ATMOSFERICAS - Obtener datos acerca de la presencia de niebla, clima, humo, etc., y otros que puedan reducir la visibilidad y, en consecuencia la capacidad del aeropuerto.

Preparar una lista de todos los factores meteorológicos locales, de carácter especial; por ejemplo, variaciones climatológicas, vientos predominantes, niebla, nubes bajas, precipitación lluviosa, nieve, turbulencia, etc.

- c) ACCESIBILIDAD AL TRANSPORTE DE SUPERFICIE - Observar el emplazamiento de las carreteras, vías férreas y rutas de transporte público.

- d) DISPONIBILIDAD DE TERRENOS PARA AMPLIAR UN AEROPUERTO EXISTENTE O CONSTRUIR UNO NUEVO - Es necesario disponer de terreno adecuado para futuras ampliaciones.

Estudiar mapas aeronáuticos, geográficos, de carreteras y topográficos, así como fotografías aéreas, etc.

Examinar mapas geológicos que muestren la distribución

de los diversos tipos de suelo y de rocas. Determinar el emplazamiento y disponibilidad de materiales de construcción, canteras, etc.

Determinar el valor general de los terrenos, según las diversas zonas y su utilización (residencial, agrícola, ganadera, industrial, etc.). Con objeto de sacar el mejor partido de las inversiones necesarias para su construcción, los aeropuertos deberían emplazarse de manera que los gastos de construcción se reduzcan al mínimo. Por consiguiente, la topografía, la naturaleza del suelo y los materiales de construcción, los servicios disponibles y el valor del terreno son factores de particular importancia.

- e) TOPOGRAFIA - Es importante por la pendiente del terreno, por la situación y por la variedad de características naturales, por ejemplo, árboles y cursos de agua; así como la existencia de estructuras artificiales, edificios, carreteras, líneas de alta tensión, etc., puede influir en la necesidad de trabajos de desmonte, terraplenado, nivelación, drenaje, etc.

La pendiente natural y el drenaje del terreno son importantes desde el punto de vista del proyecto y construcción, porque determinan el volumen y la magnitud de los trabajos de movimiento de tierras y de nivelación, necesarios para contener las pendientes deseadas y, por ende el coste de preparación del emplazamiento. Un terreno que se ajuste de cerca a los niveles previstos, y que cuente con un buen drenaje, puede ahorrar sumas considerables.

- f) MEDIO AMBIENTE - Observar el emplazamiento de las zonas naturales reservadas a la flora y fauna y las destinadas a refugios migratorios, así como también de las sensibles al ruido, por ejemplo, escuelas y hospitales.
- g) EXISTENCIA DE OTROS AEROPUERTOS - Observar el emplazamiento

de los aeropuertos y de las rutas ATS (Servicio de Tránsito Aéreo) existentes, con sus respectivos espacios aéreos, así como todo plan de que se tenga noticia para modificar los mismos en el futuro.

- h) DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS DE UTILIDAD PUBLICA - Observar las redes principales de distribución de energía eléctrica - y de conducción de agua, alcantarillado y gas, servicios telefónicos, abastecimiento de combustible, etc.

1.3 NORMAS Y REGLAMENTOS

Para diseñar la zona aeronáutica, es necesario conocer las normas establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), dichas normas reglamentan la planificación, construcción, mantenimiento, operación en materia aeroportuaria, clasificación y características de las aeronaves.

Como sabemos, el aeródromo en estudio, es para dar servicio especialmente a los aviones Mc Donnell Douglas DC-9 y Boeing B-727-200.

Con este objeto la OACI ha incluido en su anexo 14 de las normas que reglamentan su planificación y a continuación se relacionan las más importantes:

a) Clasificación y características de aeronaves.

MODELO DE AVION	CLAVE	LONG. MIN. DE PISTA	ENVERGADURA	ANCHO DEL TREN PRINCIPAL	LONG.	ALTURA DE COLA	DE
		m	m	m	m	m	
Boeing B-727-100	4C	2502	32.9	6.9	40.5	10.1	
Boeing B-727-200	4C	3176	32.9	6.9	48.6	10.0	
Mc Donnell Douglas DC-9-10	4C	1975	27.2	5.9	31.8	8.3	
Mc Donnell Douglas DC-9-30	4C	2134	28.5	6.0	36.3	8.3	
Mc Donnell Douglas DC-9-40	4C	2091	28.5	5.9	38.2	8.5	
Mc Donnell Douglas DC-9-50	4C	2451	28.5	5.9	40.7	8.7	
Mc Donnell Douglas DC-9-80	4C	2195	32.9	6.2	45.0	9.2	

CARACTERISTICAS GENERALES

AVION BOEING 727

CONCEPTO	MODELO				
	727-100		727-200		
	ESTANDAR	OPCIONAL	ESTANDAR	AVANZADO	
PESO MAXIMO EN PLATAFORMA	kg	73 100	77 200	78 500	94 400
	lb	161 000	170 000	173 000	208 000
PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE	kg	52 400	64 700	68 100	72 600
	lb	117 500	142 500	150 000	160 000
PESO MAXIMO DE DESPEGUE	kg	-	-	-	94 200
	lb	-	-	-	207 500
PESO MAXIMO DE VUELO	kg	72 800	78 700	78 100	-
	lb	160 000	173 000	172 000	-
PESO CERO COMBUSTIBLE	kg	53 600	58 100	61 700	55 300
	lb	118 000	128 500	136 000	124 000
PESO MAXIMO DE CARGA QUE PAGA	kg	13 800	16 200	17 570	19 320
	lb	30 400	35 800	38 800	42 725
CAPACIDAD ASIENTOS		94 a 125	94 a 125	134 a 163	134 a 163
CAPACIDAD BODEGAS	m ³	25.5	25.5	42.0	42.0
	pies ³	900	900	1 485	1 485
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	g	30 940	40 068	30 880	40 144
	gal	8 166	10 580	8 166	10 606
TIPO MOTORES		JT8D-7	JT8D-7	JT8D-9	JT8D-15
LONGITUD PISTA DE DESPEGUE (1)	m	2 260	2 530	2 410	3 180
	pies	7 400	8 300	7 900	10 450
LONGITUD PISTA DE ATERRIZAJE MOJADA (2)	m	1 520	1 710	1 750	1 800
LONGITUD PISTA DE ATERRIZAJE SECA (2)	pies	5 000	5 600	5 750	5 900
VELOCIDAD DE APROXIMACION (3)	m	1 450	1 620	1 550	1 480
	pies	4 760	5 300	5 100	4 800
VELOCIDAD DE APROXIMACION (3)	km/h	779	839	744	755
	pies	124	129	132	138

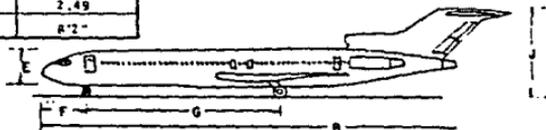
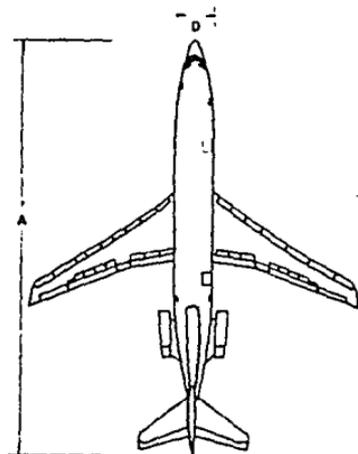
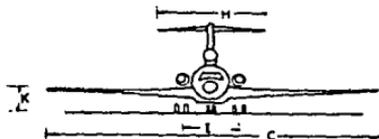
- NOTAS: 1) Al nivel del mar, con condiciones ideales, viento en calma, temperatura ambiente 15° C (59° F), peso normal, a peso máximo de despegue, a 0° de curva, 150° de ascenso.
 2) Al nivel del mar, con condiciones típicas, viento en calma, peso normal, ascenso a 40° en el 727-100, ascenso a 30° en los demás, a peso máximo de aterrizaje, pista seca o mojada según sea el caso, 150° de ascenso.
 3) En el umbral, ascenso a 40°; a peso máximo de aterrizaje.

DIMENSIONES

GENERALES

AVION BOEING 727

DIMENSION		MODELO	
		727-100	727-200
A	m	10.59	11.68
	pies	33'2"	35'2"
B	m	35.41	41.50
	pies	116'2"	136'2"
C	m	32.92	32.92
	pies	108'0"	108'0"
D	m	3.75	3.76
	pies	12'4"	12'4"
E	m	4.01	4.01
	pies	13'2"	13'2"
F	m	4.6	4.6
	pies	15'1"	15'1"
G	m	18.23	19.28
	pies	59'9"	63'7"
H	m	16.90	16.90
	pies	55'9"	55'9"
I	m	5.72	5.72
	pies	18'9"	18'9"
J (mínimo)	m	10.19	10.08
	pies	33'5"	33'1"
J (máximo)	m	10.75	10.24
	pies	33'9"	33'7"
K (mínimo)	m	2.51	2.44
	pies	8'3"	8'0"
K (máximo)	m	2.54	2.49
	pies	8'4"	8'2"



CARACTERISTICAS GENERALES

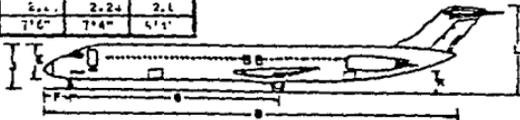
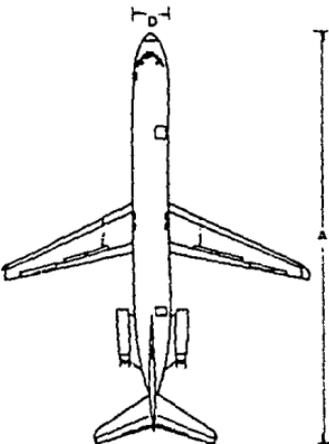
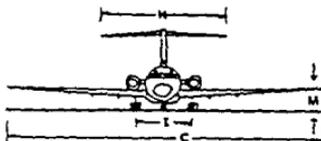
AVION DOUGLAS DC-9

CONCEPTO	M O D E L O									
		DC-9-15	DC-9-21	DC-9-32	DC-9-41	DC-9-51	DC-9			1190-50
							DC-91	DC-92	DC-93	
PESO MAXIMO EN PLATAFORMA	kg	41 504	48 214	49 442	52 184	56 398	57 957	58 285	73 029	
	lb	91 500	107 000	109 000	115 000	124 000	127 000	128 000	161 000	
PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE	kg	37 839	43 228	44 806	46 287	49 894	50 000	50 000	59 067	63 274
	lb	84 700	95 300	99 000	102 000	110 000	110 000	110 000	130 000	139 500
PESO MAXIMO DE DESPELUE	kg	41 142	43 340	46 989	51 710	54 898	55 503	57 018	72 575	
	lb	90 700	100 000	104 000	114 000	121 000	124 000	125 000	160 000	
PESO CERO COMBUSTIBLE	kg	33 348	38 102	39 483	42 222	44 490	45 524	46 338	55 338	59 338
	lb	74 000	84 000	87 000	93 000	98 000	100 000	101 000	122 000	130 000
PESO TIPICO DE CARGA QUE PAGA	kg	10 207	11 501	12 874	14 376	15 343	17 053	18 700	19 109	
	lb	24 830	25 396	28 443	31 689	33 689	37 578	41 451	42 127	
CAPACIDAD TIPICA DE ABERTOS		9 8	9 8	14 8	12 8	13 8	15 8	16 8	16 8	
CAPACIDAD DE BOMBAS (VERBOS DE CARGA)	m ³	7 8 21	—	11 8 8	—	—	—	23 8	26 8	28 8
	pie ³	2 78 6	—	4 18 8	—	—	—	1 23 3	1 26 3	1 28 3
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	g	13 967	13 967	13 967	13 967	18 154	22 168	22 168	29 467	30 467
	gal	3 690	3 690	3 690	3 690	4 204	5 840	5 840	7 000	7 000
TIPO DE MOTORES		JT8D-1	JT8D-9	JT8D-7	JT8D-15	JT8D-17	JT8D-20B	JT8D-217	JT8D-235	
LONGITUD PISTA DE DESPELUE (1)	m	2 000	1 400	2 200	1 900	2 200	2 200	2 200	2 600	2 600
	pies	6 560	4 590	7 200	6 200	7 200	7 200	7 200	8 530	8 530
LONGITUD PISTA DE ATERRIZAJE (2)	m	1 770	1 500	1 700	1 500	1 600	1 710	1 730	1 870	
	pies	5 800	5 200	5 200	5 200	5 200	5 600	5 600	6 070	
LONGITUD PISTA DE ATERRIZAJE SECA (2)	m	1 520	1 370	1 400	1 400	1 400	1 400	1 500	1 500	
	pies	5 000	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 900	4 900	
VELOCIDAD DE APROXIMACION (3)	km/h	230	230	230	242	252	252	252	252	
	ft/min	132	128	129	131	136	136	136	136	

- NOTAS: 1) Al nivel del mar, con temperatura, viento en calma, temperatura ambiente 15° C (59° F);
 2) Al nivel del mar, con temperatura, viento en calma, peso horizontal, pendiente de aproximación 3%, viento de máximo 50%; a peso máximo de aterrizaje; pista seca e impida según tipo de caso; sin viento lateral.
 3) En el umbral, viento de máximo 50%; a peso máximo de aterrizaje, velocidad de aproximación +1.3 veces del despegue.

DIMENSIONES GENERALES
AVION DOUGLAS DC-9

DIMENSIONES		MODELO					
		DC-9-15	DC-9-31	DC-9-32	DC-9-41	DC-9-51	MD-80
A	■	31.82	31.82	36.36	38.28	40.72	45.02
	▶	104'4.8"	104'4.8"	119'3.6"	125'7.2"	133'7"	147'10"
B	■	28.07	28.07	32.61	32.55	31.20	41.26
	▶	92'1.2"	92'1.2"	107'0"	113'3.0"	121'3"	135'6"
C	■	27.25	26.44	28.44	26.4	27.45	32.65
	▶	89'4.8"	93'3.6"	93'3.6"	93'3.6"	93'4.2"	107'10"
D	■	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
	▶	11'0"	11'0"	11'0"	11'0"	11'0"	11'
E	■	3.61	3.61	3.61	3.41	3.61	3.61
	▶	11'10"	11'10"	11'10"	11'10"	11'10"	11'10"
F	■	2.32	2.32	2.32	2.3	2.32	2.3
	▶	7'7.2"	7'7.2"	7'7.2"	7'7.2"	7'7.2"	7'7.2"
G	■	13.32	13.32	16.22	17.10	18.57	22.09
	▶	43'0.4"	43'0.4"	53'2.4"	56'1.2"	60'11"	72'5"
H	■	11.25	11.22	11.22	11.22	11.23	12.25
	▶	36'10.8"	36'9.6"	36'9.6"	36'9.6"	36'10.2"	40'2.2"
I	■	5.0	5.0	5.0	5.0	4.88	5.08
	▶	16'4.8"	16'4.8"	16'4.8"	16'0"	16'0"	16'8"
J(minimo)	■	4.52	4.52	4.52	4.52	4.50	5.0
	▶	14'10"	14'10"	14'10"	14'10"	14'9"	16'4"
J(maximo)	■	4.67	4.72	4.65	4.70	4.65	5.2
	▶	15'1.4"	15'1.6"	15'3"	15'5"	15'3"	16'11"
K(minimo)	■	1.98	1.98	1.9E	2.13	2.11	2.30
	▶	6'6"	6'6"	6'6"	7'0"	6'11"	7'6"
K(maximo)	■	2.01	2.01	2.03	2.21	2.18	2.50
	▶	6'7"	6'7"	6'8"	7'3"	7'2"	8'2"
L(minimo)	■	8.36	8.31	8.38	8.33	8.61	9.0
	▶	27'5"	27'3"	27'6"	28'0"	28'3"	29'6"
L(maximo)	■	8.38	8.35	8.36	8.26	8.66	9.20
	▶	27'6"	27'6"	27'6"	28'1"	28'5"	30'3"
M(minimo)	■	2.18	2.24	2.24	2.10	2.16	2.6
	▶	7'2"	7'4"	7'4"	7'2"	7'1"	8'7"
M(maximo)	■	2.26	2.31	2.31	2.1	2.2	2.1
	▶	7'5"	7'7"	7'7"	7'0"	7'4"	8'1"



b) Clave de referencia de aeródromos.

La clave de referencia de aeródromos sirve para analizar las necesidades de infraestructura aeronáutica.

NUM. CLAVE	LONG. DE CAMPO DE REFERENCIA DE AVION	LETRA CLAVE	ENVERGADURA	ANCHURA EXTERIOR ENTRE RUEDAS DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4.5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 60 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)

Para nosotros la clave es 4C que correspondería aquellos aeropuertos que cuentan con una pista de 1800m en adelante de longitud y donde operará un avión con una envergadura de 24 a 36m y un ancho exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal de 5 a 9 m.

c) Anchura de pista.

Se especifican los anchos para todo tipo de pista definidos por un número de clave y los diversos tipos de avión clasificados por su letra clave.

NUM. DE CLAVE	LETRA DE CLAVE				
	A	B	C	D	E
1	18 m	18 m	23 m	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m

Como se puede observar el ancho mínimo de pista es de 45m para la condición 4C.

2). RECOMENDACIONES TOPOGRAFICAS SEGUN LA ORGANIZACION DE AERONAUTICA CIVIL INTERNACIONAL.

2.1 ESPACIOS AEREOS.

La finalidad de las siguientes especificaciones es de definir el espacio aéreo que debe mantenerse libre de obstáculos alrededor de los aeródromos para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de aviones previstas y evitar que los aeródromos queden inutilizados por la multiplicidad de obstáculos en sus alrededores. Esto se logra mediante una serie de superficies limitadoras de obstáculos que marcan los límites hasta donde los objetos pueden proyectarse en el espacio aéreo.

Con esta información es posible definir los linderos del aeropuerto y la separación necesaria entre la pista y los obstáculos físicos y no naturales construidos por el hombre.

DESCRIPCION:

Superficie cónica:	Una superficie de pendiente ascendente y hacia afuera que se extiende desde la periferia de la superficie horizontal interna.
Superficie horizontal interna:	Superficie situada en un plano horizontal sobre un aeródromo y sus alrededores.
Superficie de aproximación:	Plano inclinado o combinación de planos anteriores al umbral.
Superficie de aproximación interna:	Porción rectangular de la superficie de aproximación inmediata anterior al umbral.
Superficie de transición:	Superficie compleja que se extiende a lo largo del borde de la franja y parte borde de la superficie de aproximación, de pendiente ascendente y hacia afuera hasta la superficie horizontal interna.
Superficie de transición interna:	Superficie similar a la superficie de transición pero más proxima a la pista.

Superficie de aterrizaje
interrumpido:

Plano inclinado situado a una distancia especificada después del umbral, que se extiende entre las superficies de transición internas.

Superficie de ascenso en
el despegue:

Plano inclinado u otra superficie especifi cada situada más allá del extremo de una pista o zona libre de obstáculos.

Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos
PISTAS DE DESPEGUE

Superficie y dimensiones ^a	Número de clase		
	1	2	3 ó 4
(1)	(2)	(3)	(4)
DE ASCENSO EN EL DESPEGUE			
Longitud del borde interior	60 m	80 m	180 m
Distancia desde el extremo de la pista ^b	30 m	60 m	60 m
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	12,5%
Anchura final	380 m	580 m	1 200 m 1 800 m ^c
Longitud	1 600 m	2 500 m	15 000 m
Pendiente	5%	4%	2% ^d

a. Salvo indicación contraria, todas las dimensiones se miden horizontalmente.
b. La superficie de ascenso en el despegue comienza en el extremo de la zona libre de obstáculos si la longitud de ésta excede de la distancia especificada.
c. 1 800 m cuando la directa prevista incluya cambios de rumbo mayores de 15° en las operaciones realizadas en IMC, o en VMC durante la noche.
d. Véanse 4.2.24 y 4.2.26.

Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos

PISTAS DE ATERRIZAJE

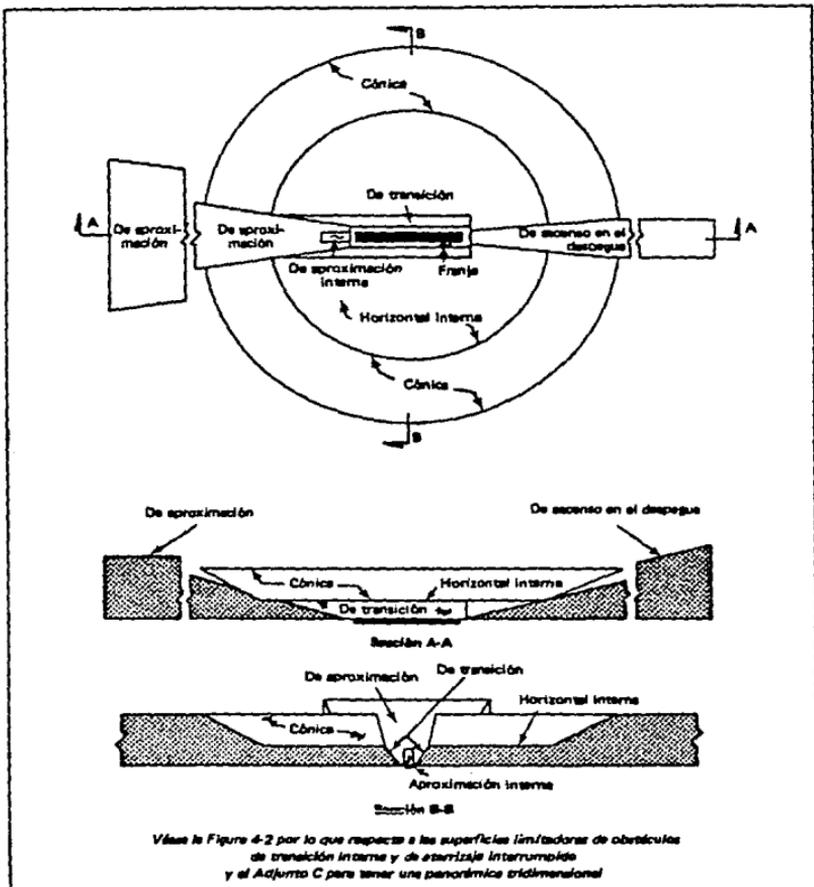
Superficies y dimensiones ^a	Clasificación de las pistas										
	Aproximación visual				Aproximación que no sea de precisión				Aproximación de precisión		
	Número de clave				Número de clave				Categoría I		Categoría II o III
	1	2	3	4	1,2	3	4	1,2	3,4	Número de clave	Número de clave
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
CONICA											
Pendiente	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	
Altura	35 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m	
HORIZONTAL INTERNA											
Altura	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	
Radio	1 000 m	1 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m	
APROXIMACION INTERNA											
Anchura	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m	
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	60 m	80 m	80 m	
Longitud	-	-	-	-	-	-	-	900 m	900 m	900 m	
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	2,5%	2%	2%	
APROXIMACION											
Longitud del borde interior	60 m	80 m	150 m	150 m	150 m	300 m	300 m	150 m	300 m	300 m	
Distancia desde el umbral	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	
Primera sección											
Longitud	1 600 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	
Pendiente	1%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	2%	2%	2,5%	2%	2%	
Segunda sección											
Longitud	-	-	-	-	-	3 600 m ^b	3 600 m ^b	12 000 m	3 600 m ^b	3 600 m ^b	
Pendiente	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%	
Sección horizontal											
Longitud	-	-	-	-	-	8 400 m ^b	8 400 m ^b	-	8 400 m ^b	8 400 m ^b	
Longitud total	-	-	-	-	-	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	
DE TRANSICION											
Pendiente	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	
DE TRANSICION INTERNA											
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33,3%	33,3%	
SUPERFICIE DE ATERRIZAJE INTERRUMPIDO											
Longitud del borde lateral	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m	
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	4	1 800 m ^c	1 800 m ^c	
Divergencia (a cada lado)	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%	
Pendientes	-	-	-	-	-	-	-	4%	3,33%	3,33%	

a. Salvo indicación contraria, todas las dimensiones se miden horizontalmente.

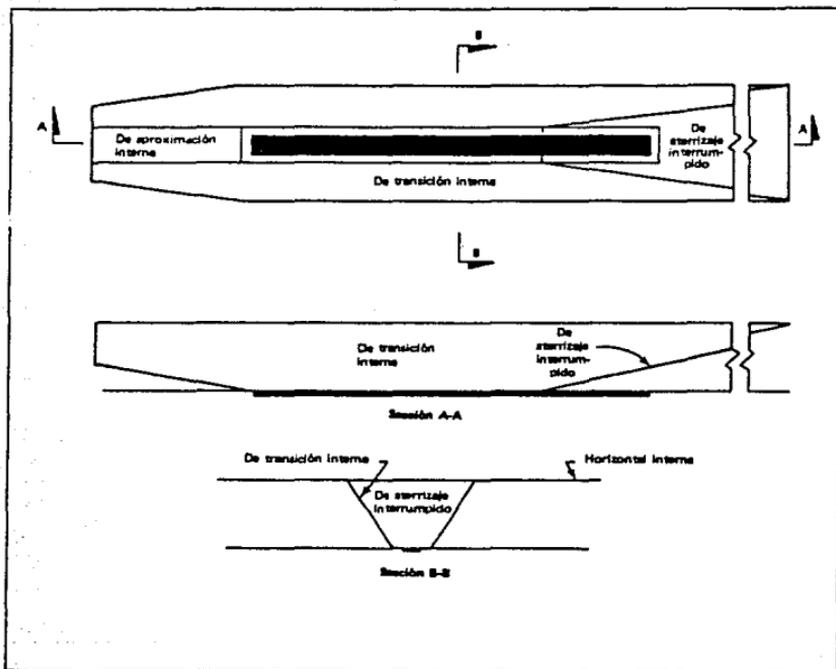
b. Longitud variable (véase 4.2.9 ó 4.2.17).

c. O distancia hasta el extremo de pista, si esta distancia es menor.

d. Distancia hasta el extremo de la franja.



Superficies limitadoras de obstáculos



Superficies limitadoras de obstáculos de aproximación interna, de transición interna y de serraje interrumpido

2.2 ORIENTACION DE LA PISTA

Las pistas deben estar orientadas de manera que las aeronaves no tengan que pasar sobre zonas pobladas y eviten obstáculos, deberán estar orientadas en la dirección del viento predominante.

Deberían suponerse que en circunstancias normales, impide el aterrizaje o despegue de un avión una componente transversal del viento que exceda de 37Km/h (20Kt) cuando se trata de aviones cuya longitud de campo de referencia es de 1,500m. o más, excepto cuando se presentan con alguna frecuencia condiciones de frenado deficiente en la pista debido a que el coeficiente de fricción longitudinal es insuficiente, en cuyo caso debería suponerse una componente transversal de viento que no exceda de 24Km/h (13 Kt).

La elección de los datos que se han de usar en el cálculo del coeficiente de utilización de los vientos, que abarquen un período tan largo como sea posible, preferiblemente no menor de cinco años y las observaciones deberían hacerse por lo menos ocho veces al día, en intervalos iguales.

No obstante, si el terreno es accidentado, la configuración de los vientos viene dictada por la topografía y es peligroso utilizar los registros de las estaciones situadas a cierta distancia. En este caso, puede ser útil estudiar la topografía de la región.

El análisis de vientos, se realiza a través de la Rosa de Vientos, que es una representación gráfica de la forma en que inciden los vientos en el lugar de estudio, componiéndose el análisis de Rosa de Vientos y Rosa de Vientos Cruzados.

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

DIRECCION DE LA PISTA	01-10 01-10	01-15	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% DE CALMAS DE OAZA KY.	80.00	50.00	80.00	50.00	80.00	80.00	50.00	80.00	50.00	80.00	50.00	50.00	50.00	50.00	80.00	50.00	50.00	50.00
% DE VIENTOS	24.36	50.00	20.48	18.96	18.07	10.83	8.08	6.88	6.34	7.30	6.25	4.91	4.17	4.88	6.24	8.01	14.07	18.19
TOTAL	74.83	78.68	75.62	82.93	85.07	80.63	88.08	88.68	89.34	87.30	88.85	84.61	84.17	84.88	86.24	89.01	84.07	89.18

NOTAS:

EL PERIODO DE OBSERVACIONES COMPRENDE DEL MES DE JUNIO DE 1983 A FEBRERO DE 1986 FALTANDO LOS MESES DE AGOSTO A DICIEMBRE DE 1983 Y ABRIL DE 1984, CON UN PROMEDIO DE 23 LECTURAS DIARIAS, CON DATOS PROPORCIONADOS POR LA ESTACION METEOROLOGICA DE ESTA D. U. A.

LOS NUMEROS QUE APARECEN AL EXTREMO DE LAS BARRAS INDICAN EL PORCENTAJE DE VIENTOS EN ESA DIRECCION.

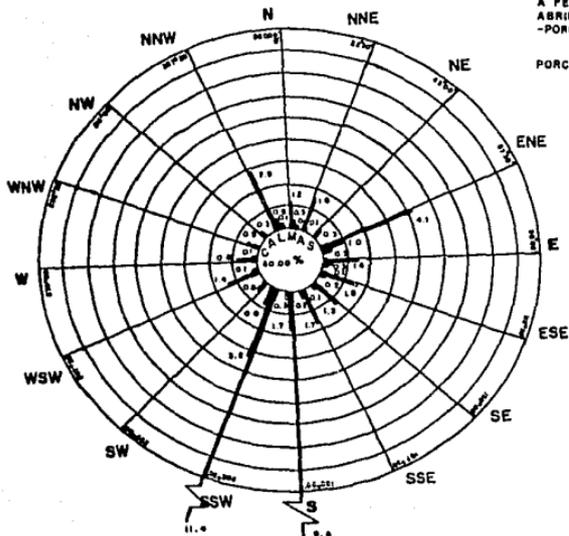


DIAGRAMA PARA INTERPRETACION DE ROSA DE VIENTOS



EQUIVALENCIA DE INTENSIDADES DE VIENTO

CALMAS de 0 a 2.5 m/s.
 2.5-7.5 " de 2.5 a 10.0 m/s.
 7.5-15.0 " de 10.0 a 15.0 m/s.
 15.0-22.5 " de 15.0 a 22.5 m/s.
 22.5-30.0 " de 22.5 a 30.0 m/s.
 30.0-37.5 " de 30.0 a 37.5 m/s.
 37.5-45.0 " de 37.5 a 45.0 m/s.
 45.0-52.5 " de 45.0 a 52.5 m/s.
 52.5-60.0 " de 52.5 a 60.0 m/s.
 60.0-67.5 " de 60.0 a 67.5 m/s.
 67.5-75.0 " de 67.5 a 75.0 m/s.

SCT

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS
 DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION
 SUBDIRECCION DE PROYECTOS
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BASICA

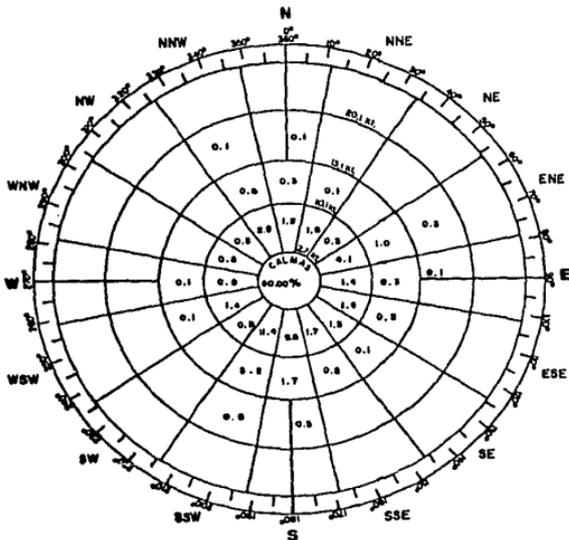
AEROPUERTO DE LEON, GTO.

ROSA DE VIENTOS DIRECTOS

México, D. F. a 3 de junio de 1986 No. de hoja No. A-

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

DIRECCION DE LA PISTA	13-33 00-18	01-19	20-20	03-31	04-21	06-23	05-24	07-25	08-24	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% CALMAS DE DERRIBI.	80.00	74.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
% VIENTOS DE EFECTUAL.	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80	40.80
% VIENTOS DE EFECTUAL	0.48	0.88	7.17	7.17	7.08	0.97	0.87	0.78	0.10	0.91	0.70	0.94	0.48	4.08	0.94	0.70	0.34	0.88
% VIENTOS DE EFECTUAL	1.88	1.87	1.87	1.87	1.88	1.97	0.78	0.50	0.41	0.38	0.31	0.19	0.19	0.18	0.18	0.48	0.78	1.08
% TOTAL CUBIERTOS	88.27	88.68	88.88	88.84	88.77	88.24	87.56	86.16	88.07	83.80	83.01	83.43	84.11	84.74	86.70	86.74	87.58	87.88



NOTAS:

EL PERIODO DE OBSERVACIONES COMPRENDE DEL MES DE JUNIO DE 1983 AL MES DE FEBRERO DE 1986, FALTANDO LOS MESES DE AGOSTO A DICIEMBRE DE 1983 Y ABRIL DE 1984, CON UN PROMEDIO DE 23 LECTURAS DIARIAS, CON DATOS PROPORCIONADOS POR LA ESTACION METEOROLOGICA DE ESTA D.B.A.

LOS NUMEROS QUE APARECEN EN CADA SECTOR SON LOS PORCENTAJES CORRESPONDIENTES DE VIENTO EN ESA DIRECCION.

	SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION SUBDIRECCION DE PROYECTOS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BASICA
	AEROPUERTO DE LEON, GTO. ROSA DE VIENTOS CRUZADOS
Mexico, D.F. a 3 de Junio de 1986	N. de hoja
N. A-	

2.3 LONGITUD DE PISTA.

El manual de proyecto de aeródromos de la Organización de Aeronáutica Civil Internacional (OACI), contiene una explicación de los parámetros que afectan a la longitud de pistas.

Factores que intervienen en la longitud de la pista:

- a) Características de performance (funcionamiento) y masas de operación de los aviones a los que se prestará servicio;
- b) Condiciones meteorológicas, principalmente viento y temperatura en la superficie;
- c) Características de la pista tales como pendiente y estado de la superficie, y
- d) Factores relacionados con el emplazamiento del aeropuerto, por ejemplo, elevación del aeropuerto (que incide en la presión barométrica) y limitaciones topográficas.

Cuando mayor sea el viento de frente que sopla en una pista, más corta será la longitud de pista que requerirá un avión para despegar o aterrizar y, a la inversa, un viento de cola aumenta la longitud de pista requerida. Cuando más elevada sea la temperatura, mayor longitud habrá de tener la pista requerida porque las temperaturas elevadas se traducen en densidades menores del aire, factor que reduce el empuje producido así como la sustentación. El efecto de las pendientes de la pista en sus requisitos de longitud, con todo, es evidente que un avión que despegue a una pendiente ascendente requiere una mayor longitud de pista que si ésta se encontrase a nivel o tuviese una pendiente descendente; la longitud requerida dependerá de la elevación del aeropuerto y de la temperatura.

En condiciones equivalentes, cuanto mayor sea la elevación del aeropuerto (con una presión barométrica en consecuencia menor), mayor longitud habrá de tener la pista requerida.

La longitud que tendrá la pista de un aeropuerto puede verse limitada por el perímetro del terreno o por factores topográficos tales como montañas o valles profundos.

Cálculo de la longitud de pista:

Avión DC-9
 Serie 80
 Modelo 83

a) Datos:

- | | |
|---|-----------|
| 1) Longitud de pista requerida para aterrizar a nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo. | 1820 m |
| 2) Longitud de pista requerida para despegar en un emplazamiento <u>plano</u> no situado al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo. | 2650 m |
| 3) Elevación del aeródromo. | 1797 m |
| 4) Temperatura de referencia del aeródromo. | 33 °C |
| 5) Temperatura 150 m en la atmósfera tipo. | 14.025 °C |
| 6) Pendiente de pista. | 0.05 % |

b) Correcciones de la longitud de pista para el despegue:

- 1) Longitud de pista para el despegue corregida por elevación.

$$\left| 2650 \times 0.07 \times \frac{1797}{3000} \right| + 2650 = 2761 \text{ m}$$

- 2) Longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura.

$$\left| 2761 \times (33 - 14.025) \times 0.01 \right| + 2761 = 3285 \text{ m}$$

- 3) Longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente.

$$\left| 3285 \times 0.05 \times 0.10 \right| + 3285 = 3301 \text{ m}$$

c) Corrección de la Longitud de pista para aterrizaje:

1) Longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevación.

$$\left[1820 \times 0.07 \times \frac{1797}{3000} \right] + 1820 = 1896 \text{ m}$$

d) Longitud efectiva de pista = 3301 m

2.4 PENDIENTES PERMISIBLES.

PENDIENTES DE LA PISTA.

a) Pendientes longitudinales: La pendiente obtenida de dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de ésta, no deberá exceder del 1%, cuando el número de clave sea 4.

En ninguna parte de la pista la pendiente longitudinal debería exceder del 1.25%, cuando el número de clave sea 4, excepto en el primero y último cuartos de la longitud de una pista en los cuales la pendiente no debería exceder el 0.8%.

b) Cambios de pendientes longitudinal: Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, éste no debería exceder del 1.5%, cuando el número de clave sea 4.

La transición de una pendiente a otra debería efectuarse por medio de una superficie curva con un grado de variación que no exceda de 0.1% por cada 30m (radio mínimo de curvatura de 30,000m) cuando el número de clave sea 4.

c) Distancia entre cambios de pendiente: A lo largo de una pista deberían evitarse ondulaciones o cambios de pendiente apreciables que estén muy próximos. La distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas no deberían ser menor que:

1. La suma de los valores numéricos absolutos de los cambios de pendiente correspondientes, multiplicada por el valor que corresponda entre los siguientes 30,000m cuando el número de clave sea 4; y
2. 45 m
tomando la que sea mayor.

d) Pendientes transversales: Para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible, debería ser convexa, excepto en los casos en que una pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompañe a la lluvia

con mayor frecuencia, asegure el rápido drenaje de aquella. La pendiente transversal ideal debería ser del 1.5% cuando la letra clave sea C, pero en todo caso, no debería exceder del 1.5%, según corresponda, ni ser inferior al 1% salvo en las intersecciones de pista o de calles de rodajes en que se requieran pendientes más aplanadas.

La pendiente transversal, debería ser básicamente la misma a lo largo de toda la pista, salvo en una intersección con otra pista o calle de rodaje, donde debería proporcionarse una transición suave teniendo en cuenta la necesidad de que el drenaje sea adecuado.

PENDIENTES EN AREA DE SEGURIDAD.

a) Pendientes longitudinales: Las pendientes longitudinales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación descendente del 1.5%. Los cambios de pendiente longitudinal deberían ser lo más graduales posible, debiendo evitar los cambios bruscos o las inversiones repentinas de pendiente.

b) Pendientes transversales: Las pendientes transversales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación, ascendente o descendente, del 5%. Las transiciones entre pendientes deberían ser lo más graduales posibles.

PENDIENTES DE LAS ZONAS LIBRES DE OBSTACULOS.

a) El terreno de una zona libre de obstáculos no debería sobrepasar de un plano inclinado con una pendiente ascendente de 1.25% siendo el límite inferior de este plano una línea horizontal que:

1. Es perpendicular al plano vertical que contenga el eje de la pista, y
2. Pasa por un punto situado en el eje de la pista, al final del recorrido de despegue disponible.

PENDIENTES DE LAS CALLES DE RODAJE.

a) Pendientes longitudinales: La pendiente longitudinal de una calle de rodaje no debería exceder de 1.5%, cuando la letra clave sea C.

b) Cambios de pendiente longitudinal: Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente en una calle de rodaje, la transición de una pendiente a otra debería efectuarse mediante una superficie cuya curvatura no exceda del 1% por cada 30m (radio mínimo de curvatura de 3,000m) cuando la letra de clave sea C.

c) Pendientes transversales: Las pendientes transversales de una calle de rodaje deberían ser suficientes para impedir la acumulación del agua en la superficie, pero no deberían exceder del 1.5%, cuando la letra clave sea C.

PENDIENTES EN PLATAFORMAS.

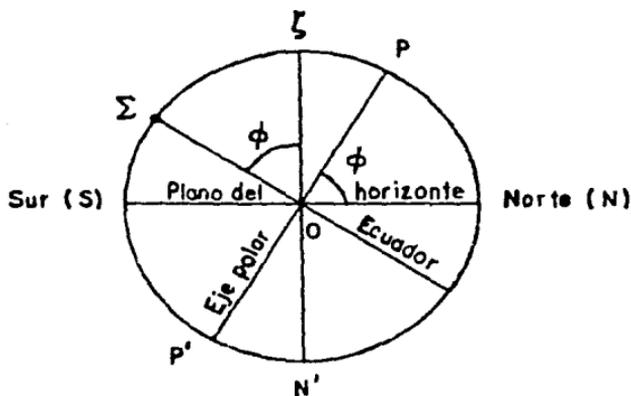
a) Las pendientes de una plataforma, comprendidas las de una calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves, deberían ser suficientes para impedir la acumulación del agua en la superficie, pero sus valores deberían mantenerse lo más bajos que permitan los requisitos de drenaje.

En un puesto de estacionamiento de aeronaves, la pendiente máxima no debería exceder 1%.

3). DETERMINACION GEOGRAFICA

3.1 CALCULO DE LA LATITUD

La Latitud Astronómica o Latitud Geográfica es el ángulo que forma la vertical del lugar con el plano del ecuador. Este ángulo es igual al que forma la línea de los polos o eje polar, con el plano del horizonte. Si se toma la tierra como un punto, considerándola el centro de la bóveda celeste, se verá fácilmente que la Latitud Geográfica puede también considerarse como la declinación del zenit.



VISUALIZACION DEL CONCEPTO DE LATITUD

Del triángulo astronómico y partiendo de éste para encontrar la ecuación que proporciona la Latitud, en base a las fórmulas fundamentales del triángulo, se obtiene la siguiente fórmula para el cálculo de la Latitud, en función de las observaciones al sol en dos posiciones:

$$\text{sen } \phi = \cos Z \text{ sen } \zeta + \text{sen } Z \cos \zeta \cos Q$$

Donde:

$$\tan Q = \frac{Z_1 - Z_2}{B \cos Z} \quad y,$$

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2}$$

- β Latitud.
 δ Declinación a la hora de observación.
Z Distancia zenital promedio.
Q Angulo paraláctico.
 Z_1 Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralelaje, primera posición.
 Z_2 Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralelaje, segunda posición.
B Diferencia del ángulo horizontal entre la línea base y la visual al Sol, con respecto a las dos observaciones de las dos posiciones realizadas.

En la siguiente tabla se presenta el registro de campo de las observaciones realizadas, que servirán para realizar los cálculos de las coordenadas geográficas; el procedimiento de cálculo que se seguirá con las series es: serie 1 y 5, 2 y 6, 3 y 7 y 4 y 8.

REGISTRO DE LAS OBSERVACIONES

LOCALIDAD: NUEVO MEXICO, GTO.

FECHA 30 JULIO 1984

LINEA BASE: EJE DE PISTA

TRANSITO: WILD T-2

ESTACION: 2 + 700

PUNTO VISADO: 2 + 215.95

	SERIE	POSICION	HORA	ANG. HOR.	ANG. VER.
1 ^a		 D	7 ^h 47 ^m 08 ^s	302°45'58"	18°33'50"
O	1	 I	7 48 02	303 23 13	19 17 32
B		 P	7 47 35	303 04 35.5	18 55 41
S	2	 D	7 49 09	302 54 37	19 01 27
E		 I	7 50 06	303 32 04	19 45 39
R		 P	7 49 37.5	303 13 20.5	19 23 33
V	3	 D	7 07 54	303 01 59	19 25 13
A		 I	7 51 45	303 39 11	20 08 24
C	4	 P	7 51 19.5	303 20 35	19 46 48.5
I		 D	7 52 38	303 09 19	19 49 01
O		 I	7 53 29	303 46 50	20 31 48
N		 P	7 53 03.5	303 28 04.5	20 10 24.5

	SERIE	POSICION	HORA	ANG. HOR.	ANG. VER.
2 ^a		 D	8 ^h 15 ^m 41 ^s	304°45'45"	25°04'46"
O	5	 I	8 16 35	305 24 37	25 48 24
B		 P	8 16 08	305 05 11	25 26 35
S	6	 D	8 17 21	304 52 35	25 27 35
E		 I	8 18 10	305 31 13	26 10 11
R		 P	8 17 45.5	305 11 54	25 48 53
V	7	 D	8 18 58	304 59 02	25 49 38
A		 I	8 19 50	305 38 15	26 33 05
C	8	 P	8 19 24	305 18 38.5	26 11 21.5
I		 D	8 20 37	305 05 51	26 12 28
O		 I	8 21 29	305 45 03	26 55 44
N		 P	9 21 03	305 25 27	26 34 06

La numeración que se utilizará a continuación corresponde a los - conceptos incluidos en el registro para el desarrollo de la fórmula para el cálculo de la Latitud, en este desarrollo se tomo la serie 1 y 5.

1. Distancia zenital aparente. Del registro se toma este dato, el cual, es el promedio de las distancias zenitales:

$$90^{\circ} - 18^{\circ} 55' 41'' = 71^{\circ} 04' 19''$$

2. Corrección por refracción. En este punto se necesitan datos adicionales como son: la presión atmosférica y la temperatura para poder aplicar la fórmula. En el registro anterior, no se tiene ni la temperatura ni la presión a la hora de observación, por tal motivo se recurrirá al factor $60'' \cdot 6 \tan Z$ para Z de tal manera que la refracción media será:

$$60'' \cdot 6 \tan Z$$

$$60'' \cdot 6 \tan 71^{\circ} 04' 19'' = 2' 50'' \cdot 0$$

3. Distancia zenital aparente corregida por refracción:

$$71^{\circ} 04' 19'' + 2' 50'' = 71^{\circ} 07' 09''$$

4. Corrección por paralaje. Esta corrección se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$8'' \cdot 8 \sin Z$$

$$8'' \cdot 8 \sin 71^{\circ} 07' 09'' = 8'' \cdot 31$$

5. Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralaje (Z_1):

$$Z_1 = 71^{\circ} 07' 09'' - 8'' \cdot 31 = 71^{\circ} 07' 00'' \cdot 66$$

Hasta aquí corresponde a las correcciones practicadas a la serie 1.

6. Distancia zenital aparente. Del registro se toma este segundo dato, el cual, el promedio de las distancias zenitales de la serie 5 es:

$$90^{\circ} - 25^{\circ} 26' 35'' = 64^{\circ} 33' 25''$$

7. Corrección por refracción. Siguiendo el mismo procedimiento que en el concepto 2, para interpolar y encontrar la corrección correspondiente por refracción se tiene que:

$$60'' \cdot 6 \tan Z$$

$$60'' \cdot 6 \tan 64^{\circ} 33' 25'' = 2' 02'' \cdot 52$$

8. Distancia zenital aparente corregida por refracción:

$$64^{\circ} 33' 25'' + 2' 02'' .52 = 64^{\circ} 35' 27'' .52$$

9. Corrección por paralaje. Siguiendo el desarrollo del concepto 4 pero ahora utilizando el concepto 8 se tiene que:

$$8'' .8 \text{ sen } Z$$

$$8'' .8 \text{ sen } 64^{\circ} 35' 27'' .52 = 8'' .0$$

10. Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralaje (Z_2):

$$Z_2 = 64^{\circ} 35' 27'' .52 - 8'' .0 = 64^{\circ} 35' 19'' .59$$

11. Promedio de Z_1 y Z_2 . Este valor promedio Z consiste en tomar el resultado de los incisos 5 y 10, sumar ambos y dividirlo entre 2:

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2}$$

$$Z = \frac{71^{\circ} 07' 00'' .66 + 64^{\circ} 35' 19'' .59}{2} = 67^{\circ} 51' 10'' .13$$

12. Diferencia de Z_1 y Z_2 , consiste en realizar la diferencia del concepto 5 y 10:

$$Z_1 - Z_2 = 71^{\circ} 07' 00'' .66 - 64^{\circ} 35' 19'' .59 = 6^{\circ} 31' 41'' .07$$

13. Diferencia de ANG. HOR. 5 - ANG. HOR. 1 = B. Recurriendo al registro de campo se toma el ANG. HOR. de la serie 5 y ANG. HOR. de la serie 1 y restando ambas:

$$B = \text{ANG. HOR. 5} - \text{ANG. HOR. 1}$$

$$B = 305^{\circ} 05' 11'' - 303^{\circ} 04' 35'' .5 = 2^{\circ} 00' 35'' .5$$

14. Tiempo medio de las observaciones. Aquí se recurre al registro donde se promedian, el tiempo promedio de la serie 1 y el de la serie 5, de tal manera que:

$$\text{Tiempo medio} = \frac{7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}} + 8^{\text{h}} 16^{\text{m}} 08^{\text{s}}}{2} = 8^{\text{h}} 01^{\text{m}} 51^{\text{s}} .5$$

15. Hora base. Este inciso se basa en que, en el anuario se localizan las Efemérides del Sol para el M 90° WG, en donde, una de sus columnas consigna la declinación a las 12 horas del Tiempo

21. Se divide el resultado del inciso 12 y 13, de donde se obtiene:

$$\frac{6^{\circ} 31' 41''.07}{2^{\circ} 00' 35''.50} = 3.248023$$

22. Se aplica la función trigonométrica coseno al resultado del inciso 11:

$$\cos Z = \cos 67^{\circ} 51' 10''.13 = 0.376987$$

23. Se aplica la función trigonométrica seno al inciso 11:

$$\operatorname{sen} Z = \operatorname{sen} 67^{\circ} 51' 10''.13 = 0.926218$$

24. Se aplica la función trigonométrica seno al resultado del inciso 20:

$$\operatorname{sen} \delta = \operatorname{sen} 18^{\circ} 08' 00''.25 = 0.311230$$

25. Se aplica la función trigonométrica coseno al inciso 20:

$$\cos \delta = \cos 18^{\circ} 08' 00''.25 = 0.950334$$

26. Se aplica la función trigonométrica tangente al resultado se divide el inciso 21 entre el inciso 23:

$$\tan Q = \frac{3.248023}{0.926218} = 0.9506759$$

27. Se aplica la función trigonométrica ángulo tangente al resultado del inciso 26:

$$Q = \tan^{-1} 3.506759 = 74^{\circ} 05' 01''.61$$

28. Se aplica la función trigonométrica coseno al resultado 27:

$$\cos Q = \cos 74^{\circ} 05' 01''.61 = 0.274231$$

29. Se multiplica el resultado del inciso 22 por el inciso 24:

$$\cos Z \times \operatorname{sen} \delta = 0.376987 \times 0.311230 = 0.117330$$

30. Se multiplican los resultados de los incisos 23, 25 y 28:

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} Z \times \cos \delta \times \cos Q &= 0.926218 \times 0.950334 \times 0.274231 \\ \operatorname{sen} Z \times \cos \delta \times \cos Q &= 0.241383 \end{aligned}$$

31. Se obtiene ϕ , sumando el resultado del inciso 29 con el inciso 30:

$$\text{sen } \phi = 0.117330 + 0.241383 = 0.358713$$

32. Se aplica la función trigonométrica ángulo seno al inciso 31 y se obtiene:

$$\phi = \text{sen}^{-1} 0.358713$$

$$\text{LATITUD} = \phi = \underline{\underline{21^{\circ} 01' 16''.24}}$$

La siguiente tabla muestra el desarrollo de la fórmula para todas las series.

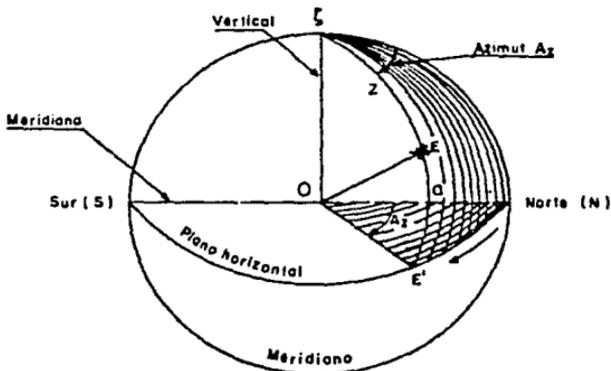
CALCULO DE LA LATITUD

DESARROLLO DE LA FORMULA	SERIE 1-5	SERIE 2-6	SERIE 3-7	SERIE 4-8
1 Dist. zenital aparente	71°04'19".00	70°36'27".00	70°13'11".51	69°49'35".50
2 Corr. por refracción	2'50".00	2'45".60	2'42".09	2'38".66
3 Dist. zenital aparente corr. por refrac.	71°07'09".00	70°39'12".60	70°15'53".60	69°52'14".16
4 Corr. por paralaje	8".31	8".29	8".27	8".25
5 Dist. zenital aparente corr. por refrac. y paralaje (Z_1)	71°07'00".66	70°39'04".31	70°15'45".33	69°52'05".91
6 Dist. zenital aparente	64°33'25".00	64°11'07".00	63°48'38".50	63°25'54".00
7 Corr. por refracción	2'02".52	2'00".50	1'58".52	1'56".59
8 Dist. zenital aparente corr. por refrac.	64°35'27".52	64°13'07".50	63°50'37".02	63°27'50".57
9 Corr. por paralaje	8".00	8".00	7".89	7".86
10 Dist. zenital aparente corr. por refrac. y paralaje (Z_2)	64°35'19".59	64°12'59".50	63°50'29".13	63°27'42".71
11 Promedio Z	67°51'10".13	67°26'01".91	67°03'07".23	66°39'54".31
12 Diferencia ($Z_1 - Z_2$)	6°31'41".07	6°26'04".81	6°25'24".47	6°24'23".20
13 Dif. Ang. Hor. (5-1)	2°00'35".50	1°58'33".50	1°58'03".51	1°57'22".49
14 Tiempo medio	8 ^h 01 ^m 51 ^s .50	8 ^h 03 ^m 41 ^s .50	8 ^h 05 ^m 21 ^s .75	8 ^h 07 ^m 03 ^s .25
15 Hora base	12 ^h 00 ^m 00 ^s .00			
16 Intervalo	-3 ^h 58 ^m 08 ^s .50	-3 ^h 56 ^m 18 ^s .50	-3 ^h 54 ^m 56 ^s .50	-3 ^h 52 ^m 56 ^s .75
17 Variación horaria	-37".2	-37".2	-37".2	-37".2
18 Corr. por intervalo	2'27".65	2'26".51	2'25".47	2'24".42
19 Declinación del Sol a 12hTC	18°05'32".60	18°05'32".60	18°05'32".60	18°05'32".60
20 Declinación a la hora de obs	18°08'00".25	18°07'59".10	18°07'58".07	18°07'57".02
21 ($Z_1 - Z_2$) / Dif. Ang.	3.248023	3.256440	3.263383	3.274861
22 cos Z	0.376987	0.383749	0.389895	0.396105
23 sen Z	0.926218	0.923437	0.920859	0.918205
24 sen δ	0.311230	0.311225	0.311220	0.311215
25 cos δ	0.950334	0.950336	0.950338	0.950339
26 tan Q	3.506759	3.526432	3.543846	3.566589
27 $Q = \tan^{-1} (26)$	74°05'01".61	74°10'05".40	74°14'31".54	74°20'15".47
28 cos Q	0.274231	0.272816	0.271574	0.269909
29 cos Z sen δ	0.117330	0.119432	0.121343	0.123274
30 sen Z cos δ cos Q	0.241383	0.239416	0.237662	0.235577
31 sen ϕ	0.358713	0.358849	0.359005	0.358851
32 LATITUD (ϕ)	21°01'16".24	21°01'46".29	21°02'20".87	21°01'46".73

LATITUD PROMEDIO = 21° 01' 47".53

3.2 CALCULO DEL AZIMUT

El Azimut de una dirección se define como el ángulo diedro formado por el plano meridiano que pasa por el lugar y el plano vertical que contiene la dirección dada. Es también el ángulo plano formado por la meridiana y la línea considerada, se mide de 0 a 360°, a partir del norte, en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj.



Elementos que determinan el azimut de un astro

En términos generales la determinación del azimut comprende las operaciones siguientes:

- Medición del ángulo horizontal entre la línea considerada y la visual de un astro.
- Cálculo astronómico del azimut del astro (Sol).

La ecuación que se utilizará para obtener el Azimut del Sol, aplicando las propiedades de la trigonometría esférica al triángulo se tiene que:

$$\operatorname{sen} \frac{Az}{2} = \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(Z + \phi - \delta) / 2 \cdot \cos(Z + \phi + \delta) / 2}{\cos \phi \operatorname{sen} Z}}$$

Haciendo:

$$C = \operatorname{sen}(Z + \phi - \delta) / 2 \cdot \cos(Z + \phi + \delta) / 2, y;$$

$$D = \cos \phi \operatorname{sen} Z$$

Tenemos:

$$\operatorname{sen} \frac{Az}{2} = \sqrt{\frac{C}{D}}$$

A continuación se desarrollará la ecuación antes planteada, haciendo notar que una de las dos series de observaciones realizadas para el cálculo de Latitud, se puede utilizar para el cálculo del Azimut, así que se ha elegido la primer serie de observaciones (primera parte del registro de observaciones).

La numeración que se utilizará a continuación, corresponde a los conceptos incluidos en la forma para el cálculo del Azimut de la serie 1, las series 2, 3 y 4, se calcularon de manera semejante.

1. Hora base. Esta hora es el instante en el cual está calculada la declinación para determinado día del año; dicho instante son las 12 h del día de realizada la observación:

$$\text{Hora base: } 12^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}$$

2. Promedio de la hora del centro de la observación, es el promedio de las horas en que se realizó la observación en posición directa e inversa de una serie:

$$\begin{array}{l} \text{Promedio de la hora} \\ \text{de observación: } 7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}} \end{array}$$

3. Intervalo. Es el tiempo transcurrido de la hora de observación promedio a la hora base:

$$\begin{array}{r} \text{Promedio de la hora} \\ \text{de observación: } \quad - \quad 7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}} \\ \text{Hora base: } \quad \quad \quad \underline{12^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}} \\ \text{Intervalo: } \quad \quad \quad - \quad 4^{\text{h}} 12^{\text{m}} 25^{\text{s}} \end{array}$$

4. Intervalo (en horas y fracciones decimales). El inciso 3 se convierte a horas y fracciones decimales de horas:

$$\text{Intervalo} = 4^{\text{h}}.206944$$

5. Variación horaria. Este concepto se encuentra tabulado en las Efemérides del Sol del anuario:

$$\text{VH} = - 37^{\text{m}}.2$$

6. Corrección por intervalo, Es la multiplicación del intervalo por la variación horaria de la declinación que se tiene el día de la observación:

$$\text{Intervalo} \times \text{VH} = - 4^{\text{h}}.206944 \times - 37^{\text{m}}.2$$

$$\text{Corrección por intervalo} = 2' 36^{\text{m}}.49$$

7. Declinación del Sol a la hora base 12 h. T.C. . Se obtiene de la Efemérides del Sol:

$$\text{Declinación} = 18^{\circ} 05' 32^{\text{m}}.59$$

8. Declinación del Sol a la hora de la observación (δ). Consiste en obtener la declinación a la hora de observación, reduciendo la declinación de la hora base a ésta:

$$\delta = 18^{\circ} 05' 32^{\text{m}}.59 + 2' 36^{\text{m}}.49$$

$$\delta = 18^{\circ} 08' 09^{\text{m}}.08$$

9. Distancia zenital aparente. En el cálculo de la Latitud inciso 1, se define el significado de este concepto, la serie 1 tiene el valor promedio:

$$71^{\circ} 04' 19^{\text{m}}.00$$

10. Corrección por refracción. Inciso 2 del cálculo de la Latitud:

$$60^{\text{m}}.6 \tan 71^{\circ} 04' 19^{\text{m}} = 2' 50^{\text{m}}$$

11. Distancia zenital aparente corregida por refracción:

$$71^{\circ} 04' 19^{\text{m}} + 2' 50^{\text{m}} = 71^{\circ} 07' 09^{\text{m}}$$

12. Corrección por paralaje. Inciso 4 del cálculo de Latitud:

$$8^{\text{m}}.8 \text{ sen } 71^{\circ} 07' 09^{\text{m}} = 8^{\text{m}}.31$$

13. Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralaje Z. Inciso 5 del cálculo de Latitud:

$$Z = 71^{\circ} 07' 09'' - 8''.31 = 71^{\circ} 07' 00''.67$$

14. Latitud. Este concepto en el valor promedio de todas las series:

$$\phi = 21^{\circ} 01' 47''.53$$

15. $(Z + \phi - \delta)/2$. Es la suma de la distancia zenital aparente corregida por refracción y paralaje, más Latitud del inciso anterior y restándole la declinación a la hora de observación, el resultado de la operación anterior se divide entre dos:

$$\begin{aligned} [(13)+(14)-(8)] / 2 &= 71^{\circ} 07' 00''.67 + 21^{\circ} 01' 47''.53 - \\ &\quad - 18^{\circ} 08' 09''.08 / 2 \\ &= 74^{\circ} 00' 39''.12 / 2 \\ &= 37^{\circ} 00' 19''.56 \end{aligned}$$

16. $(Z + \phi + \delta)/2$. Es la suma de la distancia zenital corregida por refracción y paralaje, más la Latitud, más la declinación a la hora de observación, el resultado se divide entre dos:

$$\begin{aligned} [(13)+(14)+(8)] / 2 &= 71^{\circ} 07' 00''.67 + 21^{\circ} 01' 47''.53 + \\ &\quad + 18^{\circ} 08' 09''.08 / 2 \\ &= 110^{\circ} 16' 57''.28 / 2 \\ &= 55^{\circ} 08' 28''.64 \end{aligned}$$

17. $\cos (16)$:

$$\cos 55^{\circ} 08' 28''.64 = 0.571555$$

18. $\sin (15)$:

$$\sin 37^{\circ} 00' 19''.56 = 0.601891$$

19. $C = (17) \times (18)$:

$$C = 0.571555 \times 0.601891 = 0.344014$$

20. $\cos \beta$:

$$\cos 21^{\circ} 01' 47''.53 = 0.933393$$

21. $\text{sen } Z$:

$$\text{sen } 71^\circ 07' 00'' .67 = 0.946181$$

22. $D = \cos \phi \text{ sen } Z$:

$$D = (20) \times (21) = 0.933393 \times 0.946181$$

$$D = 0.883159$$

23. $E = \sqrt{\frac{C}{D}}$:

$$E = \sqrt{\frac{(19)}{(22)}} = \sqrt{\frac{0.344014}{0.883159}}$$

$$E = 0.624121$$

24. $\text{Az Sol} = 2 \text{ sen}^{-1} E$:

$$\text{Az Sol} = 2 \text{ sen}^{-1} 0.624121$$

$$\text{Az Sol} = 77^\circ 14' 07'' .44$$

25. Angulo Señal-Sol: Correspondiente al ángulo horizontal promedio medido con teodolito:

$$\text{Angulo Señal-Sol} = 303^\circ 04' 35'' .5$$

26. Azimut del Eje de la pista:

$$\text{Azimut de la pista} = \text{Az Sol} + (360^\circ - \text{Angulo Señal-Sol})$$

$$= 77^\circ 14' 07'' .44 + 360^\circ - 303^\circ 04' 35'' .5$$

$$\text{Azimut de la pista} = \underline{\underline{134^\circ 09' 31'' .93}}$$

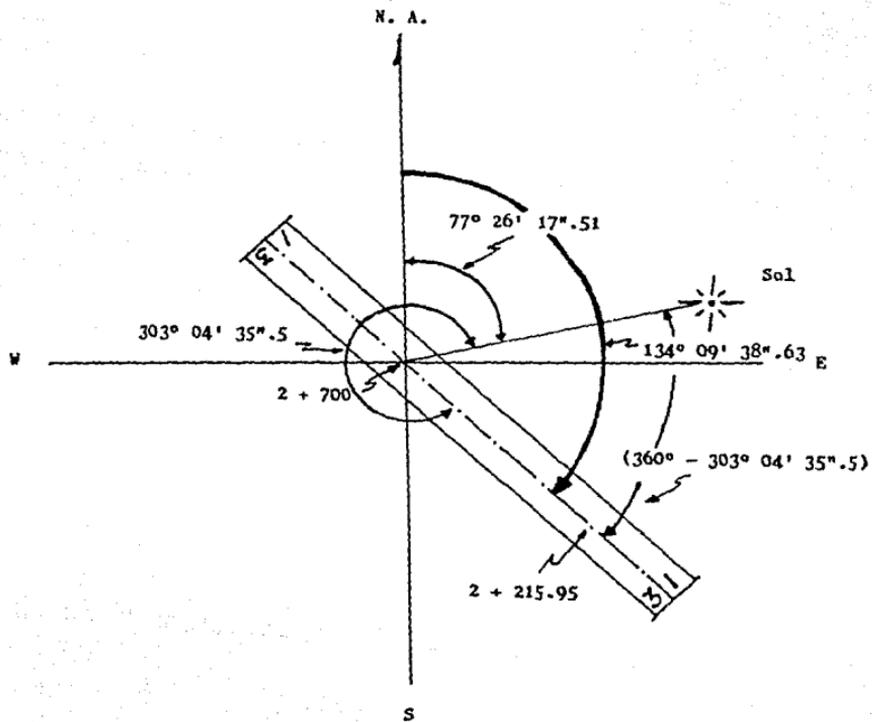
La siguiente tabla nos muestra el desarrollo de las series 1, 2, 3 y 4, para el cálculo del Azimut.

CALCULO DEL AZIMUT

DESARROLLO DE LA FORMULA	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4
1 Hora base	12 ^h 00 ^m 00 ^s .00			
2 Promedio hora de obs.	7 ^h 47 ^m 35 ^s .00	7 ^h 49 ^m 37 ^s .50	7 ^h 51 ^m 19 ^s .50	7 ^h 53 ^m 03 ^s .50
3 Intervalo	-4 ^h 12 ^m 25 ^s .00	-4 ^h 10 ^m 22 ^s .50	-4 ^h 08 ^m 40 ^s .50	-4 ^h 06 ^m 56 ^s .60
4 Int. en hora y frac. Dec.	-4 ^h 206944	-4 ^h .172917	-4 ^h .144583	-4 ^h .115684
5 Variación horaria	-37".2	-37".2	-37".2	-37".2
6 Corr. por intervalo	2'36".49	2'35".23	2'34".17	2'33".10
7 Declinación del Sol a la hora base	18°05'32".59	18°05'32".59	18°05'32".59	18°05'32".59
8 Declinación del Sol a la hora de obs. (δ)	18°08'09".08	18°08'07".82	18°08'06".76	18°08'05".69
9 Dist. zenital	71°04'19".00	70°36'27".00	70°13'11".51	69°49'35".50
10 Corr. por refracción	2'50".00	2'45".60	2'42".09	2'38".66
11 Dist. zenital, corr. por refracción	71°07'09".00	70°39'12".60	70°15'53".60	69°52'14".16
12 Corr. por paralaje	8".31	8".29	8".27	8".25
13 Dist. zenital, corr. por refrac. y paralaje (Z)	71°07'00".67	70°39'04".31	70°15'45".33	69°52'05".91
14 Latitud (φ)	21°01'47".53	21°01'47".53	21°01'47".53	21°01'47".53
15 (Z + φ - δ) / 2	37°00'19".56	36°46'22".00	36°34'43".05	36°22'53".88
16 (Z + φ + δ) / 2	55°08'28".64	54°54'29".83	54°42'49".81	54°30'59".57
17 cos (Z + φ + δ) / 2	0.571555	0.574887	0.577661	0.580468
18 sen (Z + φ - δ) / 2	0.601891	0.598643	0.595925	0.593161
19 C = (17) x (18)	0.344014	0.344152	0.344243	0.344311
20 cos φ	0.933393	0.933393	0.933393	0.933393
21 sen Z	0.946181	0.943519	0.941264	0.938904
22 D = cos φ x sen Z	0.883159	0.880674	0.878569	0.876366
23 sen Az Sol / Z = E	0.624121	0.625126	0.625957	0.626805
24 Az Sol = 2 sen ⁻¹ E	77°14'07".44	77°22'58".34	77°30'17".74	77°37'46".51
25 Angulo Señal-Sol	303°04'35".50	303°13'20".50	303°03'20'35".00	303°28'04".50
26 Azimut de la pista	134°09'31".93	134°09'37".84	134°09'42".74	134°09'42".01

AZIMUT PROMEDIO Az Pista = 134° 09' 38".63

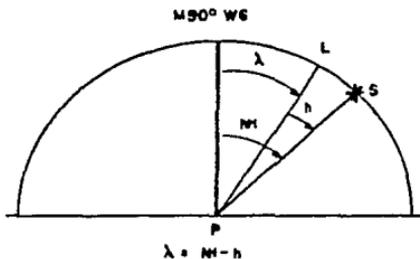
REPRESENTACION GRAFICA DEL AZIMUT DE LA PISTA



3.3 CALCULO DE LA LONGITUD

El problema de la determinación de una Longitud Geográfica, se reduce a la comparación de los tiempos locales en un mismo instante físico, entre Greenwich y el lugar considerado.

a) Observación realizada por la tarde



M90° WG Longitud base (meridiano 90° al W de Greenwich)

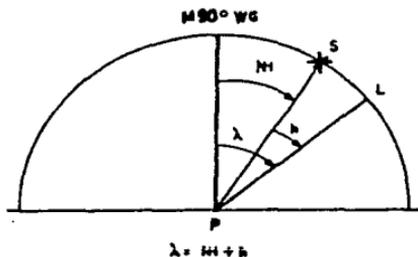
L Longitud del lugar con relación a la longitud base

NH Ángulo horario del astro con relación a la longitud base

h Ángulo horario del astro con respecto al meridiano del lugar

S Sol

λ Longitud



b) Observación realizada por la mañana

Visualización de los elementos que integran la longitud vistos desde el polo P

Del triángulo astronómico se obtiene la siguiente fórmula:

$$\tan AH = \frac{\tan Az \text{ Sol} / 2 \operatorname{sen} (S - \phi)}{\cos S}$$

donde:

$$S = \frac{Z + \phi + \delta}{2}$$

A continuación se realizará el desarrollo de la fórmula de la hoja de cálculo, teniendo en cuenta que esta basada en los datos obtenidos en el cálculo, del Azimut para la serie 1 en la primera observación. El procedimiento es similar para las series 2, 3 y 4.

1. Azimut (Az). Es el Azimut del Sol obtenido en el cálculo antes realizado (concepto 24 del cálculo del Azimut):

$$Az \text{ Sol} = 77^\circ 14' 07'' .44$$

$$2. \quad Az \text{ Sol} / 2 = 77^\circ 14' 07'' .44 / 2 = 38^\circ 37' 03'' .72$$

3. Distancia zenital aparente corregida por refracción y paralaje (Z). Este concepto es el obtenido en la determinación del Azimut calculado con anterioridad (concepto 13 del cálculo del Azimut):

$$Z = 71^\circ 07' 00'' .67$$

4. Latitud. Este concepto es el valor obtenido en el concepto 14 del cálculo del Azimut:

$$\phi = 21^\circ 01' 47'' .53$$

5. Declinación del Sol a la hora de la observación (δ) Es la obtenida en el concepto 8 de la determinación del Azimut:

$$\delta = 18^\circ 08' 09'' .08$$

6. $(Z + \phi + \delta) / 2$. De los incisos 3, 4 y 5 de este procedimiento se tiene:

$$S = \frac{71^\circ 07' 00'' .67 + 21^\circ 01' 47'' .53 + 18^\circ 08' 09'' .08}{2}$$

$$S = \frac{110^\circ 16' 57'' .28}{2}$$

$$S = 55^\circ 08' 28'' .64$$

7. $S - \phi$. Del inciso anterior y del 4:

$$S - \phi = 55^{\circ} 08' 28'' .64 - 21^{\circ} 01' 47'' .53$$

$$S - \phi = 34^{\circ} 06' 41'' .11$$

8. $\tan Az \text{ Sol} / 2$. Aplicando de la función trigonométrica a un medio del Azimut del Sol inciso 1:

$$\tan 38^{\circ} 37' 03'' .72 = 0.798795$$

9. $\text{sen}(S - \phi)$. del inciso 7:

$$\text{sen } 34^{\circ} 06' 41'' .11 = 0.560804$$

10. $\cos S$. Del inciso 6:

$$\cos 55^{\circ} 08' 28'' .64 = 0.571555$$

11. $\tan Az \text{ Sol} / 2 \times \text{sen}(S - \phi)$. Del inciso 8 por el inciso 9:

$$\tan Az \text{ Sol} / 2 \times \text{sen}(S - \phi) = 0.798795 \times 0.560804$$

$$\tan Az \text{ Sol} / 2 \times \text{sen}(S - \phi) = 0.447967$$

12. $\tan AH / 2 = \frac{\tan Az \text{ Sol} / 2 \times \text{sen}(S - \phi)}{\cos S}$. De los incisos

11 y 10:

$$\tan AH / 2 = \frac{0.447967}{0.571555}$$

$$\tan AH / 2 = 0.783769$$

13. $AH = 2 \tan^{-1}$ (12). Aplicando la función trigonométrica ángulo tangente el inciso 12:

$$AH = 2 \tan^{-1} 0.783769$$

$$AH = 76^{\circ} 10' 35'' .39$$

14. Hora de la observación en el tiempo de Greenwich. Se tiene la hora de observación en tiempo del $M90^{\circ} \text{ WG}$, y para obtener la hora correspondiente al tiempo de Greenwich se la suman 6 horas:

Hora del promedio de la

observación $M90^{\circ} \text{ WG}$.:

$$\begin{array}{r} 7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}} \\ + 6^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}} \\ \hline \end{array}$$

Hora de observación
a tiempo de Greenwich: $13^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}}$

15. Hora del centro del paso del Sol por $M90^{\circ}$ WG. Este dato se encuentra en las Efemérides del Sol:

Hora del paso del
Sol por $M90^{\circ}$ WG: $12^{\text{h}} 06^{\text{m}} 18^{\text{s}}$

16. Diferencia de la hora de observación y la hora del paso del Sol. Si se tiene una hora de observación T en tiempo del $M90^{\circ}$ WG, se obtiene la hora de Greenwich agregando 6 horas, que es lo que se obtuvo en el inciso 15, para el tiempo T mencionado. Restando de este tiempo T, reducido a Greenwich, la hora del paso del Sol para el meridiano 90° obtenido de las Efemérides del Sol (inciso 15), se obtiene el ángulo horario del Sol referido al meridiano de Greenwich (H), el cual se puede convertir en arco:

$$\begin{aligned} H &= (14) - (15) \\ H &= 13^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}} - 12^{\text{h}} 06^{\text{m}} 18^{\text{s}} \\ H &= 1^{\text{h}} 41^{\text{m}} 17^{\text{s}} \end{aligned}$$

17. H (convertido en arco):

$$\begin{aligned} H (\text{arco}) &= 15 \times 1^{\text{h}} 41^{\text{m}} 17^{\text{s}} \\ H (\text{arco}) &= 25^{\circ} 19' 15'' \end{aligned}$$

18. Longitud (λ) = $AH^{\pm} H$. Consiste en la suma del AH local y el H, si el Sol está al este, o en la resta si el Sol está al oeste como resultado se obtiene la Longitud del lugar:

$$\begin{aligned} \lambda &= AH + H = 76^{\circ} 10' 35''.39 \\ &+ 25^{\circ} 19' 15''.00 \\ \lambda &= \underline{\underline{101^{\circ} 29' 50''.39}} \end{aligned}$$

A continuación se muestra el desarrollo de la fórmula para las series 1, 2, 3 y 4, para el cálculo de la Longitud.

CALCULO DE LA LONGITUD

DESARROLLO DE LA FORMULA	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4
1 Azimut (Az Sol)	77°14'07".44	77°22'58".34	77°30'17".74	77°37'46".51
2 Az Sol / 2	38°37'03".72	38°41'29".17	38°45'08".72	38°48'53".26
3 Dist. zenital (Z)	71°07'00".67	70°39'04".31	70°15'45".33	69°52'05".91
4 Latitud (β)	21°01'47".53	21°01'47".53	21°01'47".53	21°01'47".53
5 Declinación (δ)	18°08'09".08	18°08'07".82	18°08'06".76	18°08'05".69
6 $S = (Z + \delta + \beta) / 2$	55°08'28".64	54°54'29".83	54°42'49".81	54°30'59".57
7 $(S - \beta)$	34°06'41".11	33°52'42".30	33°41'02".28	33°29'12".04
8 $\tan Az Sol / 2$	0.798795	0.800906	0.802654	0.804446
9 $\sen (S - \beta)$	0.560804	0.557432	0.554612	0.551743
10 $\cos S$	0.571555	0.574887	0.577661	0.580468
11 $\tan Az Sol / 2 \sen (S - \beta)$	0.447967	0.446451	0.445162	0.443847
12 $\tan AH / 2$	0.783769	0.776589	0.770628	0.764636
13 $AH = 2 \tan^{-1} (12)$	76°10'35".39	75°39'54".15	75°14'15".74	74°48'20".38
14 Hora de obs. tiempo de Greenwich	13 ^h 47 ^m 35 ^s .00	13 ^h 49 ^m 37 ^s .50	13 ^h 51 ^m 19 ^s .49	13 ^h 53 ^m 03 ^s .50
15 Hora de paso del Sol por el M 90° WC	12 ^h 06 ^m 18 ^s .00			
16 H = dif. de hora de obs. y hora del paso	1 ^h 41 ^m 17 ^s .00	1 ^h 43 ^m 19 ^s .50	1 ^h 45 ^m 01 ^s .50	1 ^h 46 ^m 45 ^s .50
17 H (arco)	25°19'15".00	25°49'52".50	26°15'22".50	26°41'22".50
18 Longitud (λ)	101°29'50".39	101°29'46".65	101°29'38".24	101°29'42".88

LONGITUD PROMEDIO = 101° 29' 44".54

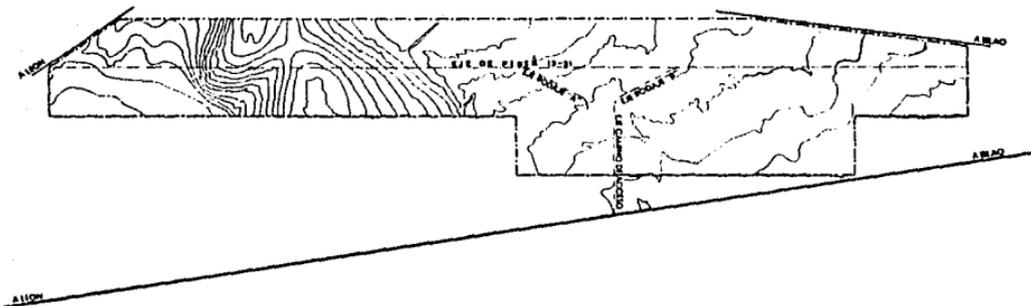
4.1 OBTENCION DE PLANOS CORRESPONDIENTES

Para la ubicación de los elementos de operación terrestre, es necesario conocer principalmente:

- La localización del aeropuerto, sus características de operación y la topografía del terreno.
- Las normas de la Organización de Aeronáutica Civil Internacional (OACI), y.
- Los elementos que integrarán el sistema aeroportuario.

Al conocer la localización y los elementos del sistema aeroportuario (pista, rodajes y plataforma) que conformará el aeropuerto, así será posible ubicar los demás elementos, como la zona terminal, zona de combustibles y edificios técnicos.

Para nuestro caso consta de dos planos que son el plano general y el plano topográfico.



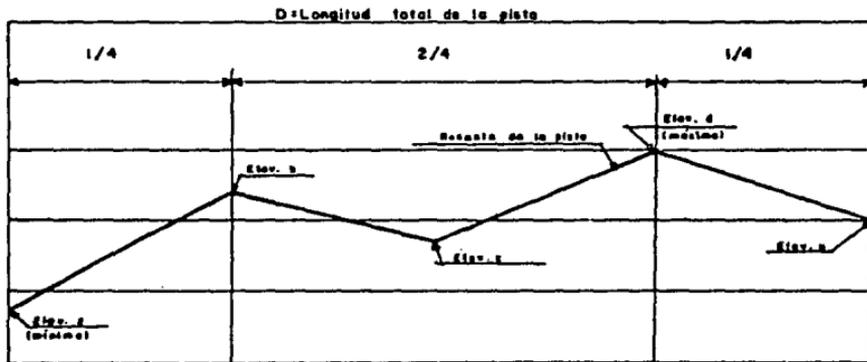
TOPOGRAFIA SITIO
"NUEVO MEXICO"

4.2 PROYECTO DE RASANTES

El proyecto de rasante consiste en determinar el alineamiento vertical del eje de pista, rodajes y plataforma, el cual tiene que ajustarse a ciertas normas referentes a pendientes longitudinales.

Para hacer más económica la obra, se trata hasta donde sea posible seguir la configuración del terreno natural en el sentido longitudinal, y transversalmente se dan pendientes que faciliten el drenaje del agua pluvial y así se reduzca el volumen de las terracedas.

Las pendientes longitudinales recomendadas para el tipo de pista de que se trata es la siguiente:



PENDIENTE GENERAL

$$\frac{d - a}{D} \leq 1 \% \text{ para pista de clave de referencia C}$$

PENDIENTES PARCIALES LONGITUDINALES

1.50 % máximo para pistas clave C

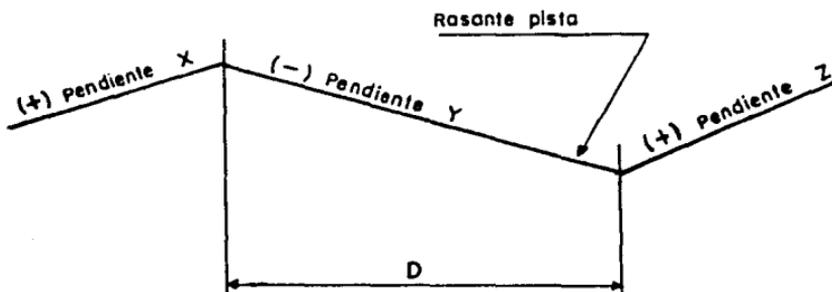
PENDIENTES DE LAS PISTAS

Se procura no tener fuertes pendientes para evitar columpios o crestas que ocasionen molestias a los pasajeros y daños a las aeronaves.

En las calles de rodajes, las pendientes fuertes tampoco deben de existir, pues con ello encarecen la operación de las aeronaves.

Se le llama pendiente efectiva al cociente de dividir la máxima diferencia de alturas de una pista medida sobre el eje, entre la longitud de la misma.

La distancia permisible mínima (D) entre los cambios de pendientes para una pista, se puede obtener utilizando la fórmula que aparece en la siguiente figura.



$K = 15000$ m para pistas clave C

$D \leq K (|X - Y| + |Y - Z|)$, en m

$|X - Y|$ = valor numérico absoluto de $X - Y$

$|Y - Z|$ = valor numérico absoluto de $Y - Z$

D mínima = 45 m

Distancia mínima permisible entre dos cambios de pendiente de una pista

En la que X,Y y Z, son las pendientes longitudinales.

La diferencia máxima de pendiente longitudinal especificada sin necesidad de una curva vertical es de 0.1% en 30m para pistas y de 1.0% en 30m para calles de rodaje.

Para determinar las pendientes longitudinales y sus limitaciones correspondientes a las calles de rodaje, se utilizará la figura siguiente, en donde también se muestra la distancia visible recomendada.

CALLES DE RODAJE

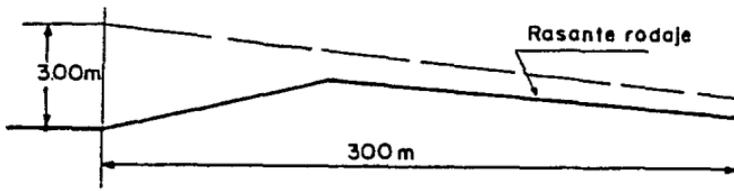
PENDIENTES LONGITUDINALES

3.0 % para pistas de clave C

CAMBIOS DE PENDIENTE

1.0 % por cada 30 m (radio mínimo de 3000 m) para pistas de clave C

DISTANCIA VISIBLE



PENDIENTES TRANSVERSALES

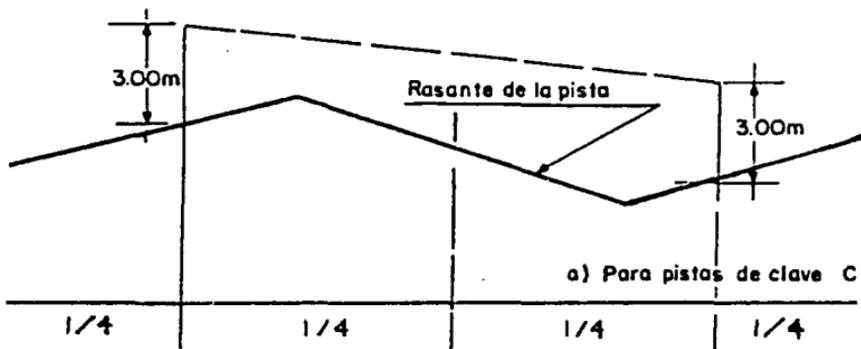
1.5 % para pistas de clave C

Pendientes y distancias visibles recomendadas para calles de rodaje

En las plataformas de cualquier tipo, se recomienda que la pendiente no exceda de 0.5% en cualquier sentido, esto es con objeto de que los tanques de combustibles de las aeronaves se llenen a toda capacidad.

Otra recomendación importante que señala la OACI, es la siguiente.

"Desde cualquier punto situado a 3m por encima de una pista, será visible todo otro punto situado, a 3m también por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos la mitad de la longitud de la pista".



Distancia visible en pistas

4.3 PROYECTO DE TRANSICIONES

El proyecto de la superficie, en la zona de cruces de pista con rodajes, se le llama transición, se le da este nombre porque todos los cambios de pendiente que hay en esas zonas, se hacen gradualmente con el objeto de evitar depresiones o topes que hagan peligrosa la operación de las aeronaves y ocasionen molestias a los pasajeros. Para el proyecto del plano de transiciones, se deben tomar en cuenta las recomendaciones que estipula el anexo 14 de la OACI, en lo que se refiere a pendientes transversales al eje de la pista. Una vez calculada la rasante, y siguiendo las recomendaciones de transiciones.

El verdadero problema existe en cruces de pistas, con calle de rodajes.

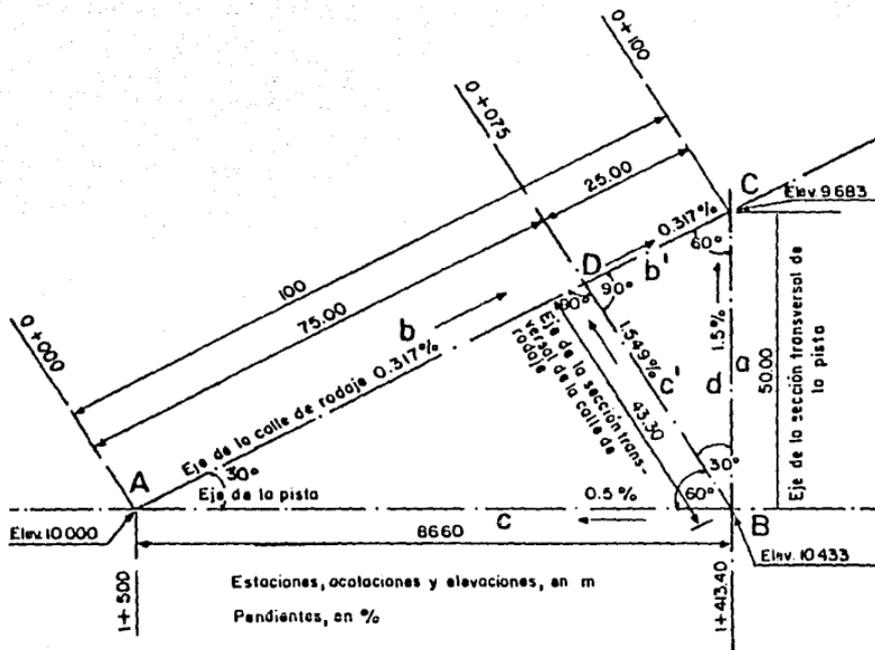
Esto se puede resolver con ayuda de la siguiente figura:

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{a}{100} ; 0.5 = \frac{a}{100} ; a = 50.00 \text{ m}$$

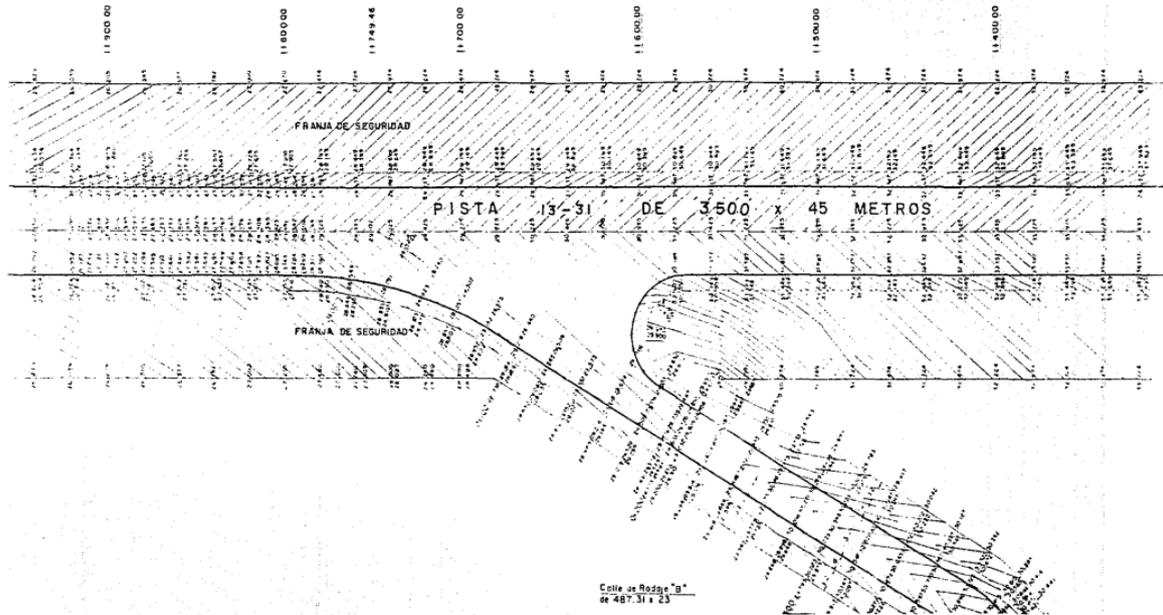
$$\text{tan } 30^\circ = \frac{50}{c} ; 0.577 = \frac{50}{c} ; c = 86.60 \text{ m}$$

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{b'}{50} ; 0.5 = \frac{b'}{50} ; b' = 25.00 \text{ m}$$

$$\text{tan } 30^\circ = \frac{25}{c'} ; 0.577 = \frac{25}{c'} ; c' = 43.30 \text{ m}$$



Detalle 1 del ejemplo de transición para la unión de una pista con una calle de rodaje



Calle de Rodaje "B"
de 487.31 x 23

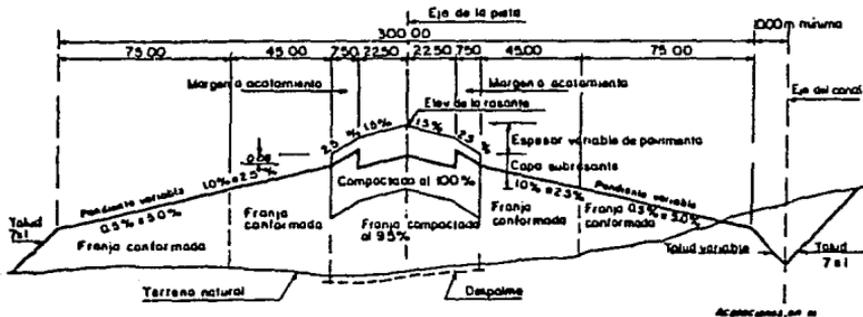
4.4 PROYECTO DE SECCIONES TRANSVERSALES

Es importante desalojar las aguas pluviales lo más rápido posible.

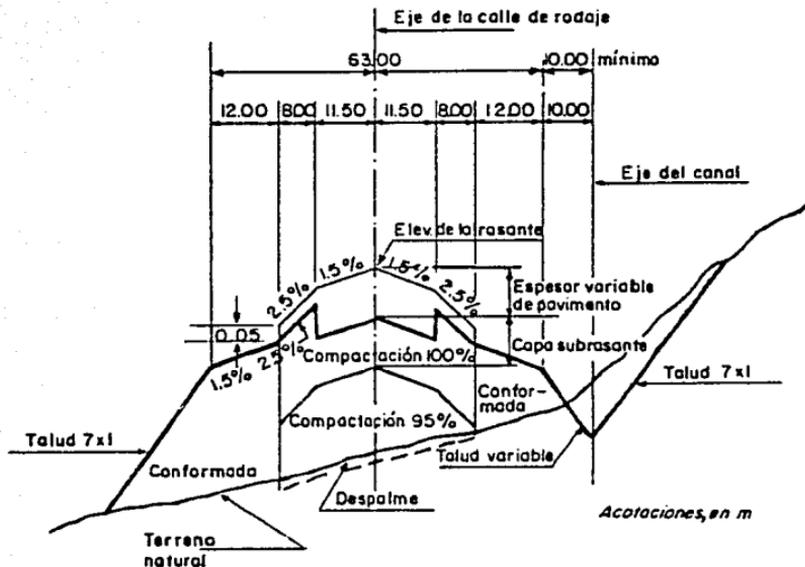
Para esto se le da a la pista, calles de rodajes y plataforma pendiente transversal o bombeo para que permita desalojar rápidamente el agua de las zonas pavimentadas y las franjas de seguridad.

Una pendiente transversal excesiva tampoco es recomendable pues el agua al escurrir puede provocar erosiones, y quizá la destrucción de los terraplenes de la franja de seguridad. Los taludes en las secciones transversales de pistas, rodajes, plataformas y canales que se contruyen paralelamente a cada uno de los elementos anteriormente mencionados serán de 7x1 (Horiz.: Vert.).

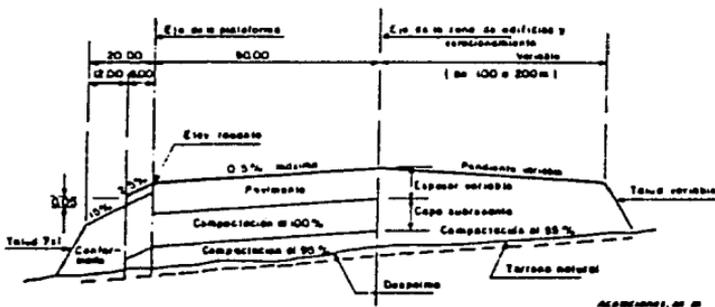
Este talud de 7x1, se ha elegido en virtud de que si una aeronave se saliera de la pista, y rodando llegara a la cuneta, no se ocasiona el daño que pudiera sufrir.



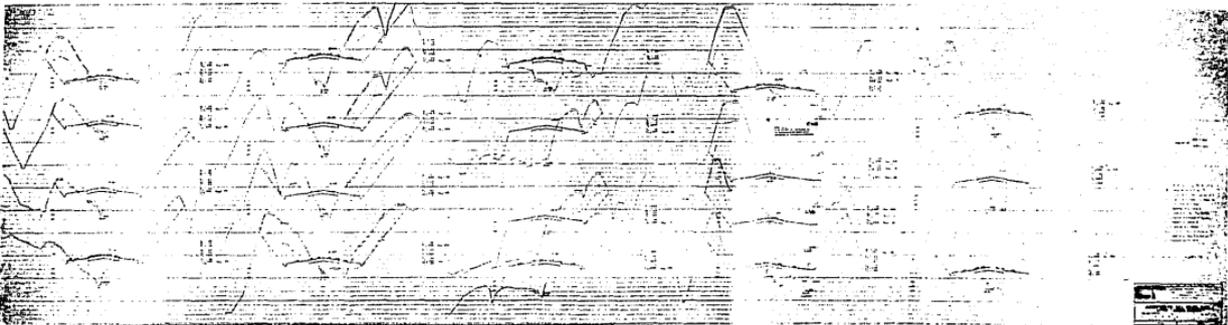
Sección transversal de la pista de 300.00m de ancho, para operación por instrumentos



Sección transversal de la calle de rodaje de 63.00 m de ancho, para pistas de clave E, D y C



Sección transversal de la plataforma de operaciones de 90.00 m de ancho



4.5 PROYECTO DE CURVA MASA Y MOVIMIENTO DE TIERRAS

Se tratará lo que puede llamarse la fase final del proyecto geométrico de un aeropuerto, o sea la elaboración de los planos del perfil longitudinal con cantidades de obra y el movimiento de materiales.

La obtención del volumen de corte o terraplén, se hará tomando el promedio de sus áreas multiplicado por la distancia entre ellas (d), o sumando sus áreas y multiplicándolas por la semidistancia, lo que viene a su exactamente lo mismo:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d; \text{ ó } V = (A_1 + A_2) \frac{d}{2}$$

donde: V = Volumen
A₁ = Area Uno
A₂ = Area Dos
D = Distancia

Una vez obtenidas las áreas de las secciones transversales, se pasan éstas a las hojas de curva masa, en las que claramente están indicadas las operaciones a efectuar.

Si los materiales que se excavan se pueden usar para terraplenar, sus volúmenes tendrán que ser afectados por un coeficiente de abundamiento o reducción, que podrá ser mayor o menor que la unidad, dependiendo esto del tipo de material de que se trate.

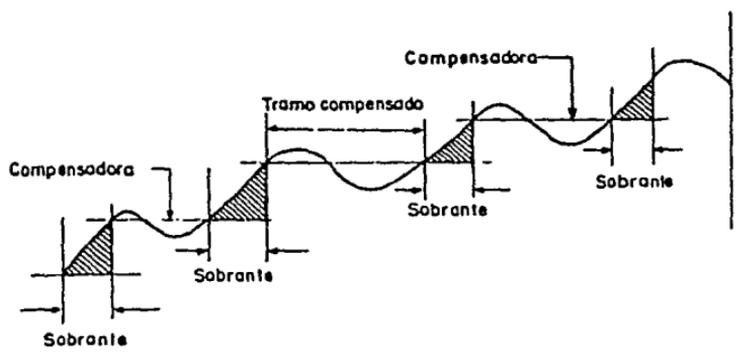
Se llama coeficiente de variabilidad volumétrica, a la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén.

Conviene comprender algunas características de la curva masa:

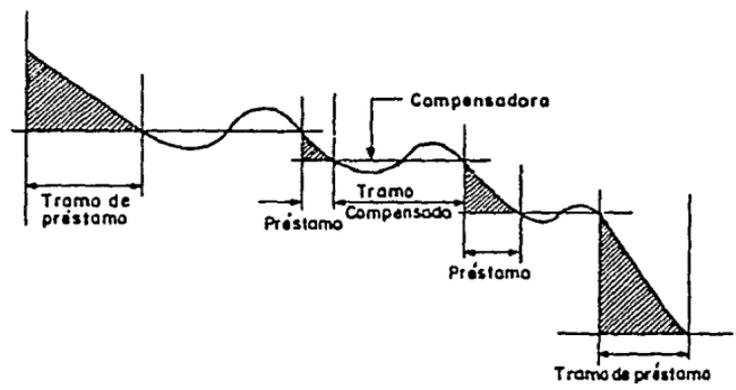
- a) Una curva masa que sube indica excavación en ese punto y cuando baja indica terraplén.
- b) Las inclinaciones muy grandes del diagrama de curva masa indican grandes cortes o terraplenes.

TBE
TESA

ORDENADAS (Representan volúmenes de escavación o relleno)



ABCISAS (Representan el cadenamiento de una línea)

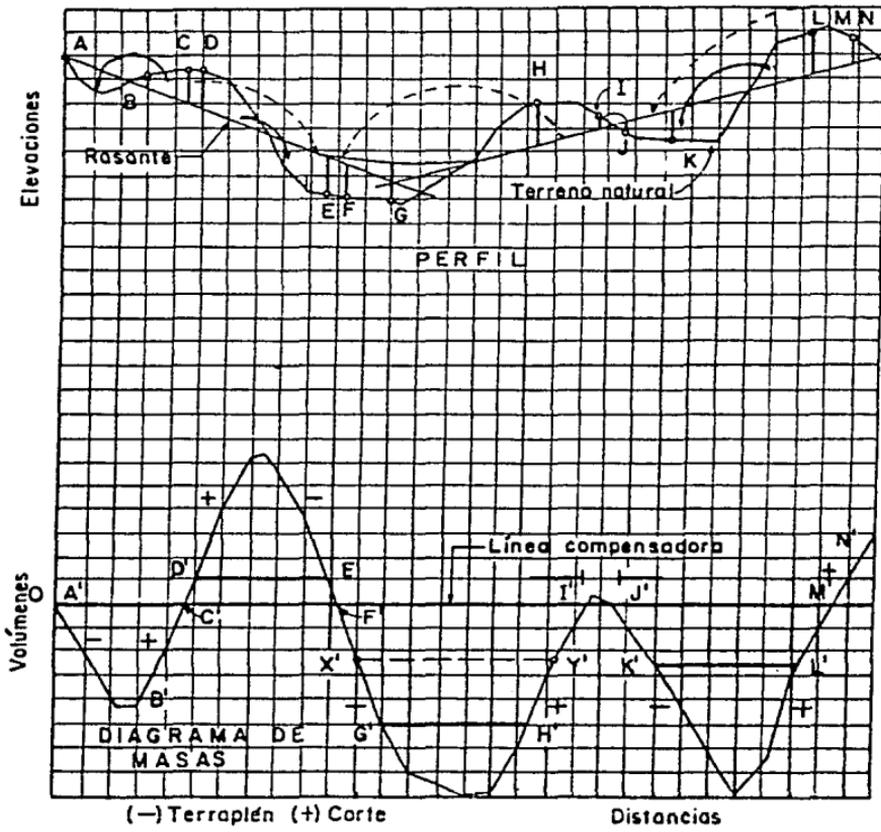


Ejemplos de diagramas de la curva masa

- c) Los puntos donde las pendientes del diagrama de curva masa es nula, indica que la rasante pasa de corte a terraplén o viceversa.
- d) La diferencia en ordenadas entre dos puntos de la curva masa representa el exceso neto de excavación con respecto al terraplén entre estos puntos, o inversamente, el exceso neto de terraplén con respecto a la excavación.
- e) Si una línea horizontal corta a la curva masa en dos puntos, la excavación y el terraplén están compensados, o sea que el corte y el terraplén tienen exactamente el mismo volumen.

Uno de los usos que tiene el diagrama de curva masa, es el cálculo de acarrees, para lo cual se sigue el procedimiento que a continuación se detalla:

- a) Se determinan las zonas en las cuales los cortes compensan a los terraplenes. Esto se hace trazando una línea horizontal cuyos extremos tocan el diagrama de la curva masa, en la figura estas líneas horizontales son A'C', C'F', F'I', I'J' y J'M' (a esta línea horizontal se le llama línea compensadora). Luego se dibujan otras líneas horizontales tales como D'E', G'H' y K'L' de la misma figura, para representar la zona de acarreo libre y se trazan también líneas horizontales tales como X'Y' por ejemplo, para representar la distancia media de acarreo (D_m).
- b) Se determina la posición de la excavación sobrante, para ilustrar, la curva masa muestra que la excavación y el terraplén están compensados en C y en F. Entonces el corte CD será depositado en el terraplén EF. Similarmente, la excavación HI, formará el terraplén FG, y la excavación LM formará el terraplén JK tal como se indica por medio de flechas punteadas en la figura.



Perfil y diagrama de masas

Para el diagrama de la figura, la excavación excede al volumen de terraplén en el volumen M'N', como este material no se requiere para terraplén en este tramo podrá ser desperdiciado o usado en otro tramo de una pista.

- c) Una vez que se han dibujado las distancias de acarreo libre se procede a calcular la distancia promedio de acarreo en la forma siguiente: Se obtiene el área (por ejemplo de la figura F'G'H'I'), y se divide entre la ordenada, expresada en metros cúbicos. El cociente será la distancia X'Y' buscada.

El funcionamiento de la curva masa en este tipo de acarreo es como sigue:

Considerando el mismo tramo F'G'H'I' se tiene que, el corte HI se tendrá que mover hacia el relleno FG. Similarmente en los tramos D'E'F'G' y J'K'L'H', los cortes CD y LM se transportarán hacia los lugares de relleno EF y JK, respectivamente.

En forma práctica la distancia promedio de acarreo se encuentra pasando por el centro de la ordenada F'G', por ejemplo, una línea horizontal la que se mide con un escalímetro.

Las distancias de Acarreo Libre (AL) y Sobreacarreo (SA) que se usan actualmente son:

AL	de 0 a 20m
SAI	de 20 a 100m se expresa en m ³ -estación de 20m
SAII	de 120 a 500m se expresa en m ³ -hm
SAIII	de 500m en adelante, se expresa en m ³ -Km

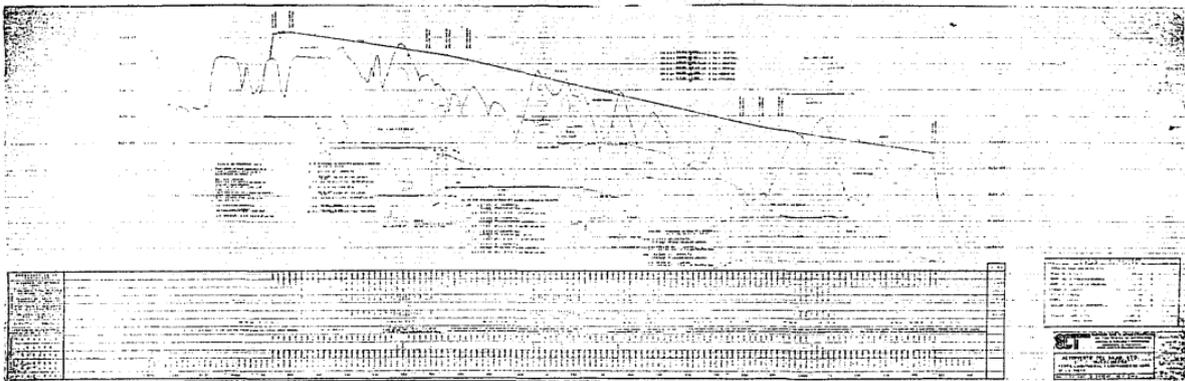
- d) La forma de calcular los sobreacarreos es la siguiente:

Haciendo referencia nuevamente al tramo F'G'H'I', se determinan gráficamente las ordenadas de los puntos F'G', y se efectúa la siguiente operación:

$$\frac{\text{Ordenada F'} - \text{Ordenada G'}}{\text{Coeficiente de Abundamiento}}$$

en la que d puede estar expresada en estación de 20m, hm y Km, dependiendo de la distancia de acarreo promedio calculada.

Los diagramas de curva masa que se presentan en aeropuertos son semejantes o más simples que el de la figura, ya que en nuestro caso son terrenos en general planos y la rasante de la pista casi siempre se proyecta en terraplén; llegan a presentarse en algunas ocasiones movimientos pequeños y por consiguiente diagramas muy simples, debido a algunos cortes en las orillas de las fajas de seguridad y la rasante misma.



5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En una región, al incrementarse la actividad aérea, se incrementa su desarrollo económico.

Por esto, es importante, que se cumplan satisfactoriamente cada uno de los puntos anteriores, sólo así, se puede estar seguro que el crecimiento del aeropuerto no se dará en forma anárquica, y la infraestructura aeroportuaria no se desarrollará con deficiencias que ocasionen gastos innecesarios.

Por otra parte, el servicio aéreo tendrá, repercusiones directas sobre los alrededores del aeropuerto, como es la restricción del crecimiento urbano y la contaminación, por eso es conveniente, prever reservas de terrenos para futuras ampliaciones.

También es importante considerar, que la realización de un aeropuerto demanda grandes inversiones, generalmente más del 3% del costo de las obras. Sin embargo, una decisión determinada del proyecto puede significar un ahorro o un incremento trascendental en el costo de las obras, por lo que resulta muy importante dedicarle tiempo y recursos suficientes a la realización del estudio topográfico principalmente, también al meteorológico, y a todo el proyecto.

5.2 RECOMENDACIONES

Se considera que, para la adecuada realización de un proyecto, se requieren principalmente de las siguientes consideraciones:

- Estudio topográfico completo y confiable .
- Planteamiento de opciones considerando en la mayoría de ellas, la factibilidad técnica y económica.
- Selección de la mejor opción.
- Desarrollo de la opción seleccionada, y coordinación entre las diversas especialidades que intervienen.
- Revisión integral del proyecto, guardando la congruencia entre los aspectos que cubren cada una de las especialidades.

Lo cual conduce, a que siempre será recomendable tener un equipo profesional interdisciplinario formado por ingenieros, ya que así lo demanda las necesidades del proyecto de aeropuertos, por tener una gran aplicación la topografía en todas las etapas de realización de un proyecto, así como en su vida útil.