

8
2g



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

PROYECTO GEOMETRICO DEL AERODROMO DE
HUEJOTZINGO

Tesis Profesional

Que para obtener el título de
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA
p r e s e n t a

José Jaime Hernández Zárate



México, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-84

Señor JOSE JAIME HERNANDEZ ZARATE
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Federico Alonso Lerch, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODISTA.

"PROYECTO GEOMETRICO DEL AERODROMO DE
HUEJOTZINGO"

- I. GENERALIDADES
- II. ESTUDIO TOPOGRAFICO
- III. NORMAS Y METODOS PARA EL PROYECTO GEOMETRICO
- IV. PROYECTO GEOMETRICO Y DE TERRACERIAS
- V. CONCLUSIONES

Después de usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 14 de abril de 1986.
EL DIRECTOR


DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

©
OARCH/RCCH/ragg.

PROYECTO GEOMETRICO DEL AERODROMO DE HUEJOTZINGO

C O N T E N I D O

- 1). GENERALIDADES
 - 1.1 *Introducción*
 - 1.2 *Localización*
 - 1.3 *Funciones del proyecto*

- 2). ESTUDIO TOPOGRAFICO
 - 2.1 *Observaciones solares*
 - 2.2 *Cálculo de la latitud*
 - 2.3 *Cálculo del azimut*
 - 2.4 *Cálculo de la longitud*
 - 2.5 *Desarrollo de programas por medio de calculadoras de bolsillo*

- 3). NORMAS Y METODOS PARA EL PROYECTO GEOMETRICO
 - 3.1 *Definiciones*
 - 3.2 *Clave de referencia del aeropuerto*
 - 3.3 *Características Físicas*

- 4). PROYECTO GEOMETRICO Y DE TERRACERIAS
 - 4.1 *Elaboración de planos correspondientes*
 - 4.2 *Proyecto de rasante*
 - 4.3 *Proyecto de transiciones*
 - 4.4 *Proyecto de las secciones transversales de construcción*
 - 4.5 *Proyecto de curva masa y movimiento de tierras*

- 5). CONCLUSIONES

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Desde tiempos inmemoriales es un sueño del hombre imitar el vuelo de las aves, transcurrido el tiempo y más tarde se dio cuenta que su cuerpo -- no habla sido concebido para volar, es pesado, no posee líneas aerodinámicas su estructura ósea y su composición muscular son completamente inadecuados para tal efecto.

Sin embargo a través de la historia, el hombre se ha propuesto muchos retos, para lo cual pocas veces ha dejado de alcanzar sus objetivos y el deseo de volar no fue la excepción. Muchos siglos después de que se escribieron aquellos relatos mitológicos en los que se aludía a seres alados, y que sabios renacentistas realizaron loables esfuerzos para elevar a el hombre a las alturas; el sueño de volar se hizo realidad.

Se debe a la realización de este sueño, el que haya nacido la aviación. Es en la aviación donde mejor se ha manifestado el dinamismo científico y tecnológico de la era contemporánea, así como su influencia en la sociedad y en el individuo.

El progreso de la aviación ha traspuesto los límites de la imaginación, actualmente vuelan aviones tan grandes que aquel en que por vez primera volaron los hermanos Wright, podría haberse transportado en el interior de -- los fuselajes de este nuevo tipo de aeronaves.

Este progreso ha llegado a eliminar las barreras del tiempo y del espacio entre los pueblos de la Tierra, lo que a su vez ha traído consigo la necesidad de eslabonar el transporte aéreo con otros medios de transporte. Para ello se creó un sistema adecuado al que se le dió el nombre de aeropuerto.

Una definición que se puede dar al concepto anterior es la que se menciona a continuación y dice:

" Aeropuerto, es el conjunto de sistemas que permite la liga entre el medio de transporte aéreo y el medio de transporte terrestre "

Se debe mencionar sin embargo que el fin primordial del aeropuerto es proporcionar a los aviones facilidades para que realicen sus despegues y aterrizajes, para lo cual necesitan una franja pavimentada conocida con el nombre de pista, así como de las calles de rodaje que los conducen a las plataformas que son las zonas de estacionamiento y en donde se realiza el intercambio de pasajeros y carga, entre los dos medios de transporte antes mencionado. Tanto pistas, calles de rodaje y plataforma forman parte de -- uno de los sistemas que integran el aeropuerto los cuales se mencionarán de manera especial por ser los elementos que ligan el transporte aéreo con el terrestre.

México como un sistema económico moderno, no se margina del desarrollo de su infraestructura, y para tal caso se dice que la aparición del ferrocarril en 1873, señala el inicio de una nueva etapa para la transportación, ya que este es un medio de transporte para mover grandes volúmenes de pasajeros y carga.

Por lo que respecta al autotransporte su crecimiento ha sido más explosivo ya que, su construcción en serie permitió a mucha gente obtenerlo con ciertas facilidades y se procedió a la construcción de las modernas carreteras y autopistas con sus pasos a desnivel con carriles para cada dirección y a distintas velocidades.

En cuanto a lo que respecta a transporte aéreo, comienza a desarrollarse cuando el Sr. Alberto Braniff realiza el primer vuelo registrado en México, en un biplano Voisin el 8 de Enero de 1910, años más tarde y suscitándose eventos como el mencionado se llega a fundar la primera compañía aérea mexicana, llamándose Compañía Mexicana de Aviación, S.A.

El primer problema al que se enfrentó la Compañía Mexicana de Aviación fue el de contar con un lugar apropiado para el despegue y aterrizaje de las aeronaves, de tal forma que las compañías construyeron sus propias instalaciones, las cuales eran mínimas debido a que los aviones existentes en esa época fueron muy simples y de muy baja capacidad.

El incremento en la demanda de servicios aéreos en los últimos 25 años, así como el avance tecnológico que se ha venido presentando en las comunicaciones y la importancia que la aeronavegación tiene dentro de las obras de infraestructura para el desarrollo del país, guiaron al Gobierno Federal a la creación de un programa de aeropuertos básicos para llenar las necesidades más urgentes que en este terreno se contemplaban a corto y a mediano --plazo.

El programa definió un conjunto de 75 aeropuertos agrupados en tres categorías: la primera para aeropuertos con capacidad para recibir aviones --turborreactores de gran radio de acción; la segunda para aeropuertos de este tipo de aviones pero con alcance medio y la tercera para aeropuertos con aviones de corto alcance.

Con este contexto y considerando el marco actual de la economía mexicana (que por factores externos e internos ha sufrido un grave desajuste, reflejándose en la contracción de nuestro sistema económico), se ha tomado en cuenta la necesidad de racionalizar el gasto público, de tal manera que las inversiones estén encaminadas, por un lado, a proyectos que sean justificados y, por otro, mantener el principio de proporcionar un verdadero beneficio social.

Un aspecto muy importante para la construcción de un aeropuerto, es la elaboración del proyecto geométrico de terracerías y de drenaje, entre --- otros de importancia, para el funcionamiento óptimo y su mejor conservación. Dicho proyecto es el objetivo primordial en este tema a desarrollar.

1.2 LOCALIZACION

Al elegir el posible emplazamiento de un aeropuerto es necesario hacer el estudio detallado de todos los factores que involucran su construcción y operación.

Como se ha mencionado, hay que tomar en cuenta que la construcción --

de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno ya existente, exige grandes inversiones de capital y la ejecución de trabajos de gran envergadura, -- por lo tanto, para evitar que quede prematuramente anticuado y se derrochen valiosos recursos, es importante que su vida útil sea lo más dilatada posible.

Para lograr este fin, deberá contarse con suficiente terreno para llevar a cabo ampliaciones, al mismo ritmo en que crezca la demanda del tráfico aéreo.

La evaluación y selección de un emplazamiento comienza desde el momento mismo en que se determinan la forma y dimensiones del área necesaria para el nuevo aeropuerto, la determinación de la topografía del lugar y la estimación de los posibles obstáculos naturales o artificiales.

Para la evaluación y selección del emplazamiento fue necesario hacer un estudio de campo preeliminar, en el cual se contempló el reconocimiento aereo y terrestre, obteniéndose de esta manera la información necesaria de los terrenos propuestos y sus factores circundantes.

Después de procesar la información recopilada, se marcaron las posibles opciones de localización de la pista sobre cartas topográficas impresas, tomando en cuenta los siguientes factores.

- a). La orientación de la pista
- b). La topografía y los obstáculos
- c). La orografía
- d). La elevación del aeropuerto sobre el nivel del mar
- e). La aeronave tipo que operará en el aeropuerto y los destinos -- seleccionados.
- f). La dirección y velocidad del viento sobre la superficie
- g). La pendiente de la pista.
- h). La disponibilidad de los terrenos

De los factores enunciados, considero de importancia abundar sobre la topografía y los obstáculos así como la orografía y factores hidráulicos.

El estudio topográfico del sitio de un posible emplazamiento, tiene

como fin observar y determinar los factores importantes que repercuten en el precio de la construcción tales como la necesidad de excavar o rellenar, condiciones de drenaje, así como la existencia de obstáculos físicos en las áreas de aproximación al aeroplano.

La topografía de la región es importante por la pendiente del terreno, por la situación del emplazamiento y porque puede determinar la envergadura de los trabajos a realizar.

Deben localizarse todas las características naturales que influyen directamente en el emplazamiento escogido, tales como: cursos de ríos, lomeríos y vegetación, etc., y verificar la existencia de estructuras artificiales como: carreteras, edificaciones, canales, líneas de alta tensión y sub-estaciones eléctricas.

La pendiente natural del terreno y el drenaje son importantes desde el punto de vista del proyecto y construcción porque determinan el volumen y la magnitud de movimientos de tierras y nivelaciones necesarias para contener las pendientes de proyecto, y por lo tanto, la preparación del emplazamiento. Un terreno que se ajuste de cerca a los niveles previstos y que cuente con un drenaje natural, puede ahorrar sumas considerables.

El manual de servicios de aeropuertos parte 6 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), proporciona un texto sobre el levantamiento topográfico de los emplazamientos.

La precipitación pluvial y el estudio de las cuencas hidrológicas determinan, en forma contundente la magnitud de las obras de toma y de drenaje que serán necesarias; estos estudios influyen también en el diseño del sistema general de desalojo de aguas.

El terreno en general deberá contar con una área suficientemente grande para permitir la ubicación a futuras ampliaciones de: edificio terminal, pistas, calles de rodaje, almacenamiento de combustibles, estacionamientos y todas las instalaciones que contemple el plan maestro.

La complejidad de los trabajos y estudios que requieren la determinación del emplazamiento o localización idónea de un aeropuerto, necesi-

ta la conjunción de un equipo interdisciplinario de especialistas en diversas ramas, entre los que se encuentran : Topógrafos, Geólogos, Geotécnicos, Hidrólogos, Civiles, Meteorólogos, Sociólogos, Aeronáuticos, etc.

Cuando se puso de relieve la necesidad de construir un aeropuerto para la capital del Estado de Puebla, Pue. La Dirección General de Aeropuertos, se dio a la tarea de localizar un sitio que reuniera los requisitos técnicos necesarios; para este efecto se llevaron a cabo una serie de reconocimientos terrestres y aéreos en los alrededores de Puebla, que permitieron evaluar las posibilidades de cada una de las zonas que se estimaba factible en base a los factores enunciados con anterioridad.

De esta manera se tienen los sitios en estudio los cuales son : Cholula, Tonantzintla, Chipilo, San Lorenzo Almeraya, Xalasco, Cacalotepec, Huejotzingo y Malintzin.

De los sitios enunciados se fueron eliminando de manera selectiva, principalmente por motivos de espacios derechos y topográficos, así como -- por la distancia que algunos de ellos tenían con la ciudad a la que daría servicio el aeropuerto.

Finalmente se llegó a la conclusión de que el sitio que ofrecía mayores ventajas era el localizado en la Cd. de Huejotzingo, Pue.

El sitio de Huejotzingo se encuentra ubicado a 3 Km al oriente de -- la Ciudad de Puebla.

Los terrenos requeridos para el aeropuerto se ubican en una planicie que tiene semejanza con un rombo cuyos vértices son : Huejotzingo -- al poniente, Santa Ana Xalmimilulco al norte, Tlaltenango al oriente y -- Sta. María Zacatepec al sur.

La situación geográfica del emplazamiento teniendo como punto de referencia la estación 1+592.10 que corresponde al eje de la pista es :

Latitud $19^{\circ}08'43.2''N$

Longitud $98^{\circ}22'19.8''W$

R.A.C. del eje de la pista 17-35 $02^{\circ}05'47.5''NW$

Vías de comunicación al sitio del emplazamiento

Carreteras :

Carretera Federal	No. 190	México-Puebla	(Libre)
Carretera Federal	No. 150	México-Puebla	(Cuota)

Ferrocarriles :

Ferrocarril México-Orizaba

El uso fundamental que se le da a la tierra es para el cultivo de árboles frutales, entre los que se pueden citar; manzana, pera, ciruela, durazno, chabacano. Asimismo se cultiva maíz, frijol y haba.

La elevación del lugar es de 2 220 m.s.n.m. donde se alojará una pista de 3 600 m de longitud y 45 m de ancho que permitirá la operación de -
turborreactores del tipo DC-9 y del B-727.

1.3 FUNCIONES DEL PROYECTO

El dinamismo de las actividades económicas de la región en donde se localiza el aeropuerto en estudio, ha motivado una mayor atención en la configuración de una bien planeada infraestructura en materia de transportes, de acuerdo con la evolución del equipo de operaciones y de las elevadas corrientes de tránsito que se desplazan a mayor velocidad y con volumenes de carga con un alto valor agregado para la economía nacional.

A éste respecto y considerando que en esta región, clave en las actividades industriales del país, se registra una demanda de servicio aéreo de considerable magnitud y si por otra parte, se toma en cuenta que los modelos de aeropuertos están constantemente aumentando en complejidad, paralelamente al volumen del tráfico aéreo, de todo ello se desprende que la finalidad primordial de los beneficios que se obtendrán del aeropuerto, habrá de traducirse en una mayor oferta de tan importante servicio, lo --
que a nivel regional incidirá en mejores condiciones de comercialización

y paralelamente en la generación de economías externas que tienden a diver
sificar la actividad económica y otorguen mayor elasticidad al aparato re_
productivo regional.

De la misma forma y considerando la red aérea nacional el aeropuerto -
en proyecto tendrá mayores posibilidades de cubrir entre otras rutas la de
Puebla-Guadalajara, Puebla-Monterrey, Puebla-Acapulco y Puebla-Oaxaca.

En los capítulos siguientes trataremos de la determinación de las coor
denadas geográficas, de la definición de términos, de las características fl
sicas de la pista, indicaciones de los planos necesarios para la ejecución
del Proyecto Geométrico de la Pista 17-35 del aeropuerto de Huejotzingo, --
Pue.

2. ESTUDIO TOPOGRAFICO

Para un proyecto de cualquier índole refiriéndonos a la ingeniería en general, son indispensables estudios básicos entre los cuales se consideran los Estudios Topográficos.

El estudio se realiza invariablemente con las mediciones que se efectúan sobre el terreno, para recabar todos los datos topográficos inherentes al fin que se persigue, proyecto del aeropuerto, y preparar los datos respectivos para dicho proyecto. En realidad son muy diversas las funciones que juega un ingeniero topógrafo y geodesta en los estudios básicos para el proyecto y posteriormente para llevarlo a la realidad.

Adentrándonos al tema de aeropuertos, la reglamentación Nacional e Internacional de Operaciones establece que la ubicación de un aeropuerto en un lugar dado, deberá cubrir ciertas condiciones de seguridad, respecto a los obstáculos naturales o artificiales que existan en el área.

Los reconocimientos aéreos y terrestres que se efectúan en forma preliminar permiten la localización adecuada que llene los requisitos correspondientes. Sin embargo, la necesidad de conocer con la máxima exactitud las características físicas del terreno, hacen indispensables la realización de estudios topográficos ya mencionados.

Estos estudios permiten identificar los obstáculos adyacentes al aeropuerto y se tiene como resultado un control tanto altimétrico como planimétrico desde cualquier punto del eje de la pista, en especial de las cabeceiras de ésta, también el estudio da como resultado una confirmación precisa del terreno, al efectuar los trazos del polígono envolvente del aeropuerto, el deslinde de las propiedades afectadas realizando la descripción respectiva para efectuar su expropiación o trámites jurídicos correspondientes, los trazos, nivelaciones y seccionamientos propios a la pista, rodaje, camino perimetral y camino de acceso al aeropuerto, que al ser representados de manera gráfica en los planos correspondientes, permiten conocer en forma tridimensional las características generales de la zona, además dicho estudio permitirá determinar la ubicación geográfica.

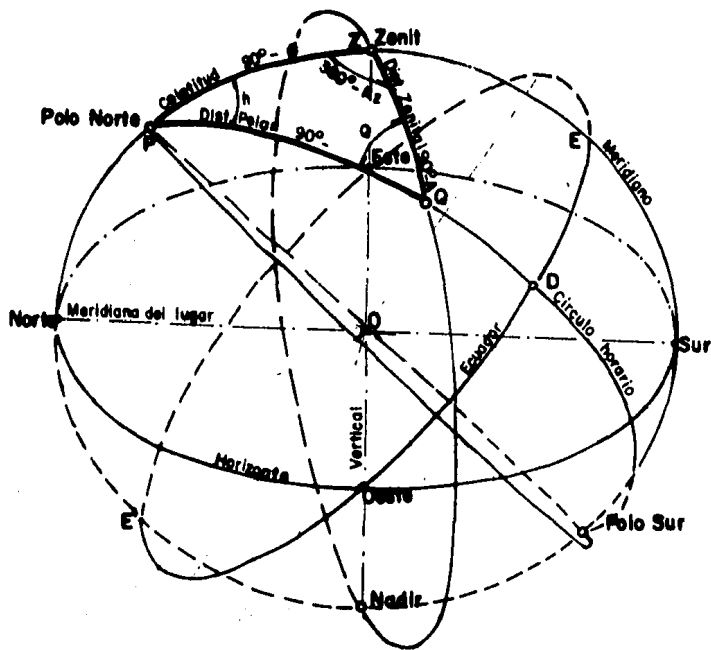
Al haberse elegido el emplazamiento del aeropuerto en determinado sitio, como ya se mencionó anteriormente, se realiza el trazo físico del eje de la pista. Para verificar que el trazo de la pista es el correcto y tiene la dirección adecuada de acuerdo a la designación y orientación que se obtuvo del resultado de análisis de vientos, es necesario determinar el rumbo astronómico del eje de la pista y de esta manera obtener con mayor exactitud la orientación de la misma. Así como se obtiene el rumbo astronómico, se obtendrá la latitud y longitud de un punto determinado del eje de la pista, para tener las coordenadas geográficas del aeropuerto.

2.1 OBSERVACIONES SOLARES Y DEFINICIÓN DE MÉTODOS

En la determinación del rumbo y coordenadas geográficas, es necesario realizar observaciones solares por así requerirlo los métodos a utilizar. Para la obtención de coordenadas geográficas y azimut, considero conveniente hacer una breve introducción que será de utilidad en los cálculos a efectuar posteriormente.

La posición de un punto en la superficie de la Tierra se puede fijar por medio de dos coordenadas: la latitud y la longitud. La latitud de un lugar se define como la distancia angular del punto de interés al ecuador contada sobre el meridiano que pasa por dicho punto. Definiéndola más precisamente, sería la declinación del zenit es decir el ángulo ZOE, ver fig 1, también se puede identificar como la altura del polo sobre el horizonte, contándose de 0° a 90° tanto al norte como al sur del ecuador, siendo positiva y negativa respectivamente. La diferencia de longitud entre dos sitios sobre la Tierra, es el ángulo que forman entre sí los planos meridianos que pasan por ambos sitios, y este ángulo es medido sobre el ecuador al este y al oeste del meridiano de Greenwich, que es el adoptado universalmente como origen.

El triángulo formado por el polo, el zenit y el Sol se denomina triángulo astronómico, la resolución de Este nos da como resultado las fórmulas que permiten calcular la latitud, longitud y el azimut.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIV. DE ING. CIVIL TOP. y GEODESICA

ESFERA CELESTE

TESIS PROFESIONAL J.J. HERNANDEZ Z.
 Fuera de escala Mayo de 1986 [Fig. 1]

En este triángulo, ver fig. 1, el ángulo ZPQ representa lo que es el ángulo horario, el ángulo PZQ es la diferencia de 360° con el azimut (A_z); el ángulo PQZ nos indica el ángulo paraláctico; ZP indica la colatitud del lugar, PQ indica la distancia polar y QZ la distancia zenital.

El método para el cálculo de la latitud se llama por Dos Posiciones del Sol, este método es útil en las operaciones topográficas cuando se necesita el dato de la latitud para poder determinar el azimut de un lado en regiones en que no se conozca el valor de la latitud. A continuación se presenta la ecuación que proporciona este valor :

$$\text{sen } \theta = \text{sen } \delta \text{ sen } A + \cos^2 A (B/I)$$

Para obtener el valor de la latitud es necesario realizar dos observaciones al Sol, estas deben estar comprendidas en un intervalo de tiempo de 20 minutos. En la ecuación anterior δ es la declinación del Sol a la hora promedio de las dos observaciones, A altura promedio del Sol de las dos observaciones con respecto a el horizonte, corregida por refracción y paralaje, B diferencia de lecturas del círculo horizontal de las dos observaciones a partir del eje de la pista e I intervalo de tiempo entre las dos observaciones, transformado a grados, minutos y segundos. (° ' ")

El método que se utilizará para obtener el azimut del Sol, se llama Método de Distancias Zenitales Absolutas, se emplea este método porque se va a hacer uso de la distancia zenital del Sol, obtenida directamente de la observación que se realice, y así de esta manera se reúnen los tres elementos indispensables para la resolución del triángulo astronómico, los cuales son: latitud de la estación, la declinación del Sol y la respectiva distancia zenital.

La ecuación presentada a continuación, proporcionará el azimut del Sol en el momento de realizada la observación .

$$\text{sen } (A_z/2) = \sqrt{\frac{\cos (\theta + Z + \delta)/2 \text{ sen } (\theta + Z - \delta)/2}{\cos \theta \text{ sen } Z}}$$

El azimut que se desea obtener será igual al azimut del Sol más o menos el ángulo horizontal medido entre el eje de la pista y la visual al Sol. Observando la ecuación anterior se denota que los elementos que la integran se obtienen de la observación solar, del cálculo de la latitud y del cálculo de la declinación.

La ecuación para obtener el ángulo horario del Sol se deduce fácilmente de los elementos que integran el triángulo astronómico, aplicando las leyes de la trigonometría esférica.

Al presentar la ecuación que determina el ángulo horario, también se observará que los elementos utilizados para el cálculo del azimut servirán para obtener el valor del ángulo horario buscado, dicha ecuación es:

$$\cos AH = \frac{\sin A - \sin \delta \sin \phi}{\cos \delta \cos \phi}$$

Para poder calcular la información requerida es indispensable haber realizado las observaciones solares mencionadas, encontrándose el Sol a una altura sobre el horizonte de 20° a 30°, tanto en la mañana como por la tarde, estas consisten en centrar el instrumento en el punto que se desee sobre el eje de la pista, que es el que se va a orientar y determinar las coordenadas geográficas, al quedar centrado el instrumento debe quedar perfectamente nivelado, además para realizar observaciones astronómicas el instrumento debe estar bien ajustado de todos sus elementos que lo integran. Realizado lo anterior - se ha de visar el otro extremo del eje de la pista para tener la línea base.

Partiendo de la línea base para medir los ángulos horizontal y vertical y teniendo presente que esta medida tiene que ser al centro del disco solar, el procedimiento más práctico consiste en tomar dos medidas, haciendo que el Sol quede tangente a los hilos de la retícula, primero en un cuadrante y después en otro cuadrante diagonalmente opuesto, los promedios de los ángulos - así medidos, al igual que el tiempo del centro cronometrado con la estación de radio W.W.V. en onda corta, se consideran como tomados al centro del Sol, siempre que entre una observación y otra no transcurra mucho tiempo, si --

transcurre mucho tiempo se presenta el error de curvatura, que consiste en que la posición del Sol para una altura medida entre dos observaciones no corresponde al promedio de lecturas del círculo horizontal, pues la trayectoria del Sol es parabólica.

Por conveniencia y así trabajarlo en el transcurso del tema, cada par de tangencias opuestas constituye una serie y cuatro series constituye una observación, esto se hace con el propósito de tener mayor seguridad en el promedio general de los cálculos realizados.

Para efectos del cálculo de la latitud, se realiza una segunda observación con sus respectivas cuatro series, como ya se mencionó anteriormente esta segunda observación debe realizarse pasado un intervalo de tiempo de 20 minutos, de haber realizado la primera observación.

Más adelante se presentan los datos de las observaciones efectuadas en el sitio del emplazamiento del aeropuerto sobre una estación determinada del eje de la pista de Este (tabla No. 1), que para el cálculo de la latitud se volverán a promediar, el promedio de la serie uno con el promedio de la serie cinco, la serie dos con la serie seis, la serie tres con la serie siete y la serie cuatro con la serie ocho. En el cálculo de la longitud y el acimut se utilizarán las series uno, dos, tres y cuatro, correspondientes a la primera observación.

La altura o distancia zenital medida se corregirá por refracción, esto debido a las diferentes densidades de las capas atmosféricas que atraviesan los rayos solares, al ocurrir esto los rayos se refractan y hacen ver al Sol en una posición no verdadera, este es el motivo por el que habrá de corregirse la distancia zenital antes de ser sustituida en los cálculos en que vaya hacer requerida.

Realizada la corrección por refracción a la distancia zenital, el nuevo valor obtenido de distancia zenital corregida por refracción, se corrige por paralaje, esta corrección tiene por objeto reducir al centro de la Tierra -- las observaciones realizadas sobre la superficie de ésta, ya que las coordenadas celestes están referidas a este punto como origen.

Tabla 1. Registro de campo de las observaciones.

Primera observación

SERIE	POSICION	P. V.	h min s			CIRC. HORIZONTAL			DISTANCIA ZENITAL		
			TIEMPO DEL CENTRO			"			"		
1	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	17	40	91	07	10	62	54	46
	INV.	Sol	8	18	38	271	45	02	297	51	22
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	18	09	91	26	06	62	31	41.5
2	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	19	30	91	16	05	62	29	45
	INV.	Sol	8	20	21	271	53	59	298	10	22
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	19	52.5	91	35	02	62	06	41.5
3	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	21	13	91	24	44	62	05	21
	INV.	Sol	8	22	05	272	02	46	298	40	50
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	21	39	91	43	45	61	42	11.5
4	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	23	00	91	33	35	61	39	57
	INV.	Sol	8	23	53	272	11	39	299	05	53
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	23	26.5	91	32	35	61	16	50.5

Segunda observación

5	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	37	57	92	47	16	58	09	43
	INV.	Sol	8	38	52	273	25	11	302	36	24
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	38	24	93	06	13.5	57	46	39.5
6	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	39	44	92	56	39	57	44	26
	INV.	Sol	8	40	39	273	34	41	303	01	53
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	40	11.5	93	15	40	57	21	16.5
7	DIREC.	Señal				00	00	00			
		Sol	8	41	32	93	05	57	57	20	23
	INV.	Sol	8	42	25	273	44	01	303	27	39
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	41	57	93	24	59	56	56	22
8	DIREC.	Señal				0	00	00			
		Sol	8	43	15	93	15	20	56	54	46
	INV.	Sol	8	44	16	273	53	29	303	53	17
		Señal				180	00	00			
PROMEDIO			8	43	45.5	93	34	24	56	30	44.5

UNAM

FAC. INGENIERIA

Aeropuerto de : Huejotzingo, Pue.

Coord. geográficas : Latitud _____ N. Longitud _____ W/

Observó : José Jaime Hernández Zárate.

Fecha de observación : 29 de Agosto de 1965

Aparato utilizado : Teodolito Wild T-2 aprox. 1" No. 16832

Línea orientada : Eje de la pista 17-35, Est. 1+592.10; Pto. Visado 2+000

En las ecuaciones que proporcionan la latitud, la longitud y el azimut, deberá sustituirse la distancia zenital corregida por refracción y paralaje.

La refracción tiene signo negativo para las alturas y signo positivo para la distancia zenital, la paralaje tiene signo negativo para la distancia zenital y positivo para la altura.

2.2. CALCULO DE LA LATITUD

Para iniciar el cálculo, se corrige la distancia zenital por refracción y paralaje, de donde se tiene :

Promedio de serie 1 y 5

$$Z = \frac{Z_1 + Z_5}{2} = \frac{62^{\circ}31'41.5'' + 57^{\circ}46'39.5''}{2}$$

$$Z = 60^{\circ}09'10.5''$$

En la corrección por refracción sólo se consideró la refracción media - por carecer de un termómetro y un barómetro para registrar temperatura y presión barométrica respectivamente al momento de realizar la observación, la ecuación de la refracción media es $r = 60.6'' \tan Z$, aplicando la ecuación - se tiene :

$$r = 60.6'' \tan 60^{\circ}09'10.5''$$

$$r = +1'45.6'' ; \text{valor de la corrección}$$

ahora se obtiene Z corregida por refracción

$$Z_{cr} = 60^{\circ}09'10.5'' + 1'45.6''$$

$$Z_{cr} = 60^{\circ}10'56.1''$$

La ec. para corregir la paralaje es $p = 8.8'' \sin Z_{cr}$

$$p = 8.8'' \sin 60^{\circ}10'56.1''$$

$$p = -7.6'' ; \text{corrección por paralaje}$$

En seguida obtenemos Z_{crp} , corregida por refracción y paralaje

$$Z_{crp} = 60^{\circ}10'56.1'' - 7.6''$$

$$Z_{crp} = 60^{\circ}10'48.5'' ; A_{crp} = 90^{\circ} - 60^{\circ}10'48.5''$$

$$A_{crp} = 29^{\circ}49'11.5''$$

Este valor de Z_{crp} es el que utilizaremos en el cálculo.

El paso a seguir es el de encontrar la declinación del Sol para la hora - promedio de las dos series, 1 y 5. En este paso nos apoyaremos en el Anuario del Observatorio Astronómico Nacional, el cual nos proporciona las -- efemérides del Sol para el meridiano 90° al W de Greenwich, donde se encuentra tabulada la declinación del Sol a las 12 h tiempo del centro, también contiene la variación horaria de la declinación, para todos los días del - año.

Entonces se tiene que : promedio del tiempo del centro de la serie 1 y 5

$$H = \frac{h_1 + h_5}{2} = \frac{8h 18 \text{ min } 09 \text{ s} + 8h 38 \text{ min } 24 \text{ s}}{2}$$

$$H = 8h 28 \text{ min } 16.5 \text{ s}$$

Del Anuario antes mencionado se tiene que para el 29 de agosto de - 1985 :

Declinación del Sol a las	12h 00 min 00s	+ 9°11' 27.5"
Hora promedio de observación H=	<u>8h 28 min 16.5s</u>	
Intervalo	- 3h 31 min 43.5s	(es negativo por ocurrir antes de la hora base)
	x	
Var. hor. en declinación	<u>-53.3"</u>	
Corrección por intervalo	+3' 08.1"	+ 3' 08.1"
Declinación del Sol a la hora de observación		S = 9°14' 35.6"

Obtenida la declinación procedemos a encontrar B e I que ya han sido definidos con anterioridad.

$$B = 93^{\circ}06' 13.5'' - 91^{\circ}26' 06''$$

$$B = 1^{\circ}40' 07.5'' \quad e$$

$$I = h_5 - h_1$$

$$I = 8h 38min 24s - 8h 18min 09s$$

$$I = 0h 20min 15s = 5^{\circ} 03'45''$$

Obtenidos todos los elementos que nos dan solución a la ecuación procedamos a resolverla.

$$\text{sen } \theta = \text{sen } 9^{\circ}14' 35.6'' \text{ sen } 29^{\circ}49' 11.5'' + \cos^2 29^{\circ}49' 11.5'' \times \frac{1^{\circ}40'07.5''}{5^{\circ}03'45''}$$

$$\text{sen } \theta = 0.0798751562 + 0.2481181022$$

$$\text{sen } \theta = 0.3279932584$$

$$\theta = 19^{\circ}08' 49.3'' : \text{ Latitud del lugar de observación}$$

2.3 CALCULO DEL AZIMUT.

Para este cálculo utilizaremos únicamente los promedios de la primera observación, de acuerdo a los elementos que integran la ecuación que nos proporciona el azimut necesitamos encontrar la distancia zenital corregida y la declinación a la hora de observación, de tal manera que tenemos :
de la serie 1,

$$Z = 62^{\circ}31' 41.5''$$

corrección por refracción

$$r = 60.6'' \tan 62^{\circ}31'41.5''$$

$$r = + 1' 56.6''$$

distancia zenital corregida por refracción

$$Z_{cr} = Z + r$$

$$Z_{cr} = 62^{\circ}31' 41.5'' + 1' 56.6''$$

$$Z_{cr} = 62^{\circ}33' 38.1''$$

corrección por paralaje

$$p = 8.8'' \text{ Sen } 62^{\circ}33' 38.1''$$

$$p = -7.8''$$

distancia zenital corregida por refracción y paralaje

$$Z_{crp} = Z_{cr} - p$$

$$Z_{crp} = 62^{\circ}33' 38.1'' - 7.8''$$

$$Z_{crp} = 62^{\circ}33' 30.3'' ; A_{crp} = 90^{\circ} - 62^{\circ}33' 30.3'' \\ = 27^{\circ}26' 29.7''$$

Del Anuario para el 29 de Agosto de 1985

Declinación del Sol 12h 00min 00s + 9° 11' 27.5''

Hora promedio serie 1 $h_1 = 8h 18min 09s$

Intervalo - 3h 41min 51s (es negativa por ocurrir an
X tes de las 12h)

Var hor. en declinación - 53.3''

Corrección por intervalo + 3' 17.1'' + 3' 17.1''

Declinación del Sol a la hora de observación $\delta = 9^{\circ} 14' 44.6''$

A continuación tenemos que de la ecuación de^o azimut

$$\frac{\theta + Z + \delta}{2} = \frac{19^{\circ}08'43.2'' + 62^{\circ}33' 30.3'' + 9^{\circ}14' 44.6''}{2}$$

$$\frac{\theta + Z + \delta}{2} = 45^{\circ}28'29.05''$$

$$\frac{\theta + Z - \delta}{2} = \frac{19^{\circ}08'43.2'' + 62^{\circ}33' 30.3'' - 9^{\circ}14' 44.6''}{2}$$

$$\frac{\theta + Z - \delta}{2} = 36^{\circ}13'44.45''$$

sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$\text{sen } \frac{Az}{2} = \frac{\sqrt{\cos 45^{\circ}28' 29.05'' \text{ sen } 36^{\circ}13'44.45''}}{\sqrt{\cos 19^{\circ}08' 43.2'' \text{ sen } 62^{\circ}33' 30.3''}}$$

$$\text{sen } \frac{Az}{2} = \sqrt{\frac{0.4144331802}{0.8383943196}}$$

$$\text{sen } \frac{Az}{2} = 0.7030773314$$

$$\begin{aligned}
Az/2 &= 44^{\circ}40'27.9'' \\
Az\ sol &= 89^{\circ}20'55.8'' \\
&+ 360^{\circ}00'00.0'' \\
&\underline{- 91^{\circ}26'06.0''} \\
Az\ pista\ 17-35 &= 357^{\circ}54'49.8'' \\
R.A.C.\ pista &= 2^{\circ}05'10.2''\ NW \quad (\text{Rumbo Astronómico Calculado}) \\
\text{Declinación magnética para 1985 en la Ciudad de Puebla, Pue.} \\
DNE &= 7^{\circ}00'12'' \\
R.M.C. &= R.A.C. + DNE \\
R.M.C. &= 2^{\circ}05'10.2'' + 7^{\circ}00'12'' \\
R.M.C. &= 9^{\circ}05'22.2''\ NW \quad (\text{Rumbo Magnético Calculado})
\end{aligned}$$

2.4 CALCULO DE LA LONGITUD:

Para realizar este cálculo nos valdremos también de la primera observación, y si nos ponemos a analizar la ecuación, nos daremos cuenta que ya tenemos todos los elementos corregidos, porque utilizaremos los que se emplearon en el cálculo del azimut, de esta manera se tiene que de la serie 1:

$A_{crp} = 27^{\circ}26'29.7''$; $\beta = 19^{\circ}08'43.2''$; $\delta = 9^{\circ}14'44.6''$
sustituyendo estos valores en la ecuación correspondiente:

$$\begin{aligned}
\cos h &= \frac{\sin 27^{\circ}26'29.7'' - \sin 19^{\circ}08'43.2'' \sin 9^{\circ}14'44.6''}{\cos 19^{\circ}08'43.2'' \cos 9^{\circ}14'44.6''} \\
\cos h &= \frac{0.4081501692}{0.9324166525} \\
\cos h &= 0.4377336764 \\
h &= 64^{\circ}02'26.2'' \quad \text{Angulo Horario Local}
\end{aligned}$$

Se tiene la hora h_1 en tiempo del meridiano 90° , se obtendrá la hora del meridiano de Greenwich agregando a h_1 , 6 horas. De esta hora con respecto al meridiano de Greenwich se le resta la hora de paso del Sol por el meridia

no 90° para el día 29 de Agosto de 1985, esta información se encuentra en las efemérides del Sol. Así se obtendrá el ángulo horario del Sol referido al meridiano de Greenwich, este ángulo se designa por G.H.A.

Hora de observación M 90° al W de G.	8h 18min 09s
	+ <u>6h 00min 00s</u>
Hora de observación en tiempo de Greenwich	14h 18min 09s
Hora local de paso del Sol	<u>12h 00min 49.78s</u>
G.H.A. en tiempo	2h 17min 19.22s
	X <u>15</u>
G.H.A. en arco	<u>34° 19' 48.3"</u>

Se agrega a este valor el ángulo horario local, si el Sol está al o riente o se le resta si está al poniente y así se tiene la longitud del lu gar donde se realizó la observación.

El Sol se encuentra al oriente, por lo tanto :

$$\lambda = 64^{\circ} 02' 26.2'' + 34^{\circ} 19' 48.3''$$

$$\lambda = 98^{\circ} 22' 14.6'' \quad \text{longitud del lugar de observación en arco}$$

$$\lambda = 6h 33min 28.97s \quad \text{longitud del lugar de observación en tiempo}$$

Como conclusión de lo anterior se presenta el resumen de los cálculos realizados para cada coordenada combinando todas las series realizadas.

	L A T I T U D
SERIES (1 y 5)	19° 08' 49" N
SERIES (2 y 6)	19° 08' 42" N
SERIES (3 y 7)	19° 08' 35" N
SERIES (4 y 8)	19° 08' 47" N
 LATITUD PROMEDIO	 19° 08' 43.2" N

	R. A. C. P I S T A	L O N G I T U D
SERIE 1	2° 05' 10" NW	98° 22' 14.6" W
SERIE 2	2° 05' 31" NW	98° 22' 24.4" W
SERIE 3	2° 05' 47" NW	98° 22' 15.4" W
SERIE 4	2° 05' 54" NW	98° 22' 24.8" W
R.A.C. PISTA PROMEDIO	2° 05' 35.5" NW	
LONGITUD PROMEDIO		98° 22' 19.8" W

$$R.M.C. = 7^{\circ}00'12'' + 2^{\circ}05'35.5''$$

$$R.M.C. = 9^{\circ}05'47.5'' \text{ NW}$$

2.5 DESARROLLO DE PROGRAMAS POR MEDIO DE CALCULADORAS DE BOLSILLO

Programa para el cálculo de la latitud por el método de dos posiciones del Sol.

Fórmula empleada :

$$\text{sen } \theta = \text{sen} \delta \text{ sen } \alpha + \cos^2 \alpha (B/I)$$

Memorias utilizadas para introducción de datos :

- STO 01 = B_2 (Angulo horizontal entre línea base y la visual al astro de la segunda observación, promedio de la serie 5).
- STO 02 = B_1 (Angulo horizontal entre línea base y la visual al astro de la primera observación, promedio de la serie 1).
- STO 03 = T_2 (Tiempo del centro de la hora de observación, promedio de la serie 5).
- STO 04 = T_1 (Tiempo del centro de la hora de observación, promedio de la serie 1).
- STO 05 = Z_2 (Distancia zenital en el instante de observar al astro, promedio serie 5).
- STO 06 = Z_1 (Distancia zenital en el instante de observar al astro, promedio serie 1).

	R. A. C. PISTA	LONGITUD
SERIE 1	2° 05' 10" NW	98° 22' 14.6" W
SERIE 2	2° 05' 31" NW	98° 22' 24.4" W
SERIE 3	2° 05' 47" NW	98° 22' 15.4" W
SERIE 4	2° 05' 54" NW	98° 22' 24.8" W
R.A.C. PISTA PROMEDIO	2° 05' 35.5" NW	
LONGITUD PROMEDIO	98° 22' 19.8" W	

$$R.M.C. = 7^{\circ}00'12'' + 2^{\circ}05'35.5''$$

$$R.M.C. = 9^{\circ}05'47.5'' \text{ NW}$$

2.5 DESARROLLO DE PROGRAMAS POR MEDIO DE CALCULADORAS DE BOLSTILLO

Programa para el cálculo de la latitud por el método de dos posiciones del Sol.

Fórmula empleada :

$$\text{sen } \delta = \text{sen} A \text{sen } \delta + \cos^2 A (B/I)$$

Memorias utilizadas para introducción de datos :

- STO 01 = B₂ (Angulo horizontal entre línea base y la visual al astro de la segunda observación, promedio de la serie 5).
- STO 02 = B₁ (Angulo horizontal entre línea base y la visual al astro de la primera observación, promedio de la serie 1).
- STO 03 = T₂ (Tiempo del centro de la hora de observación, promedio de la serie 5).
- STO 04 = T₁ (Tiempo del centro de la hora de observación, promedio de la serie 1).
- STO 05 = Z₂ (Distancia zenital en el instante de observar al astro, promedio serie 5).
- STO 06 = Z₁ (Distancia zenital en el instante de observar al astro, promedio serie 1).

- STO 07 = $60.6'' = 0.0168333333''$ (Constante de la ecuación de la refracción media convertida a decimales de grado).
- STO 08 = V.H. (Variación horaria obtenida de las efemérides del Sol para el día, mes y año correspondientes).
- STO 09 = δ (Declinación del Sol a las 12h T.C. obtenida de las efemérides del Sol para el día, mes y año correspondientes).

Memorias utilizadas en el desarrollo del programa.

- STO 10 = B (Diferencia del ángulo horizontal promedio entre la línea base y la visual al astro de la series 5 y 1).
- STO 11 = T (Diferencia de la hora de observación promedio entre las series 5 y 1).
- STO 12 = A (Promedio del complemento de la distancia zenital al astro).
- STO 13 = Acr (A corregida por refracción).
- STO 14 = Acrp (Acr corregida por paralaje).
- STO 15 = T_{prom} (Promedio de STO 03 y STO 04).
- STO 16 = δ corr (Declinación del Sol a la hora de observación promedio)

Ejecución del programa

- 1°. Introducir a la máquina calculadora (TI-59) la secuencia del teclado que se presentará posteriormente.
- 2°. Introducir los datos iniciales a los registros de las memorias, desde la memoria 01 hasta la memoria 09 definidas anteriormente.
- 3°. Realizados el 1° y 2° puntos, para obtener resultados se tecléara de acuerdo a la siguiente secuencia, tomando en cuenta que se programó para una máquina calculadora TI-59 :

RST

R/S : Se visualiza diferencia de ángulo horizontal en ° ' "

R/S : Se visualiza intervalo de tiempo entre dos series, 1 y 5, en h min

8

- R/S : Se visualiza la altura promedio del Sol entre dos series en ° ' "
- R/S : Se visualiza corrección por refracción a la altura promedio en --- ° ' "
- R/S : Se visualiza corrección por paralaje a la altura promedio corregida por refracción en ° ' "
- R/S : Se visualiza altura promedio corregida por refracción y paralaje - en ° ' "
- R/S : Se visualiza promedio de la hora de observación entre dos series - en h min s
- R/S : Se visualiza declinación del Sol a la hora promedio de observación en h min s
- R/S : Se visualiza latitud del lugar calculada en ° ' "

En la secuencia del programa las instrucciones encerradas en líneas discontinuas son opcionales, si se cuenta con el soporte impresor --- PC-100A donde se puede montar la TI-59 y realizar diferentes clases de - impresión, estas instrucciones son obligatorias.

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Pasos	Código
LRN	000	00
RCL 01	001	43-01
2nd DMS	002	88
-	003	75
RCL 02	005	43-02
2nd DMS	006	88
=	007	95
STO 10	009	42-10
INV	010	22
2nd DMS	011	88
R/S	012	91
RCL 03	014	43-03
2nd DMS	015	88
-	016	75

2nd Prt

RCL 04	018	43-04
2nd DMS	019	88
=	020	95
X	021	65
15	023	15
=	024	95
STO 11	026	42-11
INV	027	22
2nd DMS	028	88
R/S	029	91
90	031	90
-	032	75
(033	53
RCL 05	035	43-05
2nd DMS	036	88
+	037	85

2nd Prt

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Pos.08	Cod.10
RCL 06	039	43 - 06
2nd DMS	040	88
)	041	54
÷	042	55
2	043	2
=	044	95
STO 12	046	42 - 12
INV	047	22
2nd DMS	048	88
R/S	049	91
RCL 12	051	43 - 12
2nd tan	052	30
1/X	053	35
X	054	65
RCL 07	056	43 - 07
=	057	95
+/-	058	94
INV	059	22
2nd DMS	060	88
R/S	061	91
2nd DMS	062	88
+	063	85
RCL 12	065	43 - 12
=	066	95
STO - 13	068	42 - 13
2nd cos	069	39
X	070	65
8.8"	073	8.8"
÷	074	55
3600	078	3600
=	079	95

2nd Prt

2nd Prt

INV	080	22
2nd DMS	081	88
R/S	082	91
2nd DMS	083	88
+	084	85
RCL 13	086	43 - 13
=	087	95
STO 14	089	42 - 14
INV	090	22
2nd DMS	091	88
R/S	092	91
RCL 03	094	43 - 03
2nd DMS	095	88
+	096	85
RCL 04	098	43 - 04
2nd DMS	099	88
=	100	95
÷	101	55
2	102	2
=	103	95
STO 15	105	42
INV	106	22
2nd DMS	107	88
R/S	108	91
RCL 15	110	43 - 15
-	111	75
12	113	12
=	114	95
X	115	65
RCL 08	117	43 - 08
÷	118	55
3600	122	3600
+	123	85

2nd Prt

2nd Prt

2nd Prt

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Page	Code
RCL 09	125	43-09
2nd DMS	126	88
=	127	95
STO 16	129	42-16
INV	130	22
2nd DMS	131	88
R/S	132	91
RCL 16	134	43-16
2nd sen	135	38
X	136	65
RCL 14	138	43-14
2nd sen	139	38
+	140	85
RCL 14	142	43-14
2nd cos	143	39
X ²	144	33
X	145	65
RCL 10	147	43-10
X	148	65
RCL 11	150	43-11
1/X	151	35
=	152	95
INV	153	22
2nd sen	154	38
INV	155	22
2nd DMS	156	88
R/S	157	91
RST	158	81
LRN		

2nd Prt

2nd Prt

Programa para el cálculo del azimut de eje de la pista por el método de distancias zenitales y el cálculo de la longitud para un punto determinado sobre dicho eje con las respectivas fórmulas que se presentan a continuación :

$$\text{sen}(Az/2)_{\text{sol}} = \frac{\text{sen}(Z+\theta-\delta)/2 \cos(Z+\theta+\delta)/2}{\cos \theta \text{ sen } Z}$$

$$Az \text{ eje} = Az_{\text{sol}} + (360^\circ - B')$$

$$\cos AH = \frac{\cos Z - \text{sen } \delta \text{ sen } \theta}{\cos \delta \cos \theta}$$

$$G.H.A. = (\text{hora de observación} + 6h) - \text{hora de paso}$$

$$\lambda = AH \pm G.H.A. \begin{cases} +\text{Sol al oriente} \\ -\text{Sol al poniente} \end{cases}$$

Memorias utilizadas para introducción de datos

- STO 01 = B_1 (Angulo horizontal entre línea base y la visual al astro, posición directa serie 1).
- STO 02 = B_2 (Angulo horizontal entre la línea base y la visual al astro, posición inversa serie 1).
- STO 03 = T_1 (Tiempo del centro de la hora de observación, posición directa serie 1).
- STO 04 = T_2 (Tiempo del centro de la hora de observación, posición inversa serie 1).
- STO 05 = Z_1 (Distancia zenital al astro, posición directa serie 1).
- STO 06 = Z_2 (Distancia zenital al astro, posición inversa serie 1).
- STO 07 = 60.6" (Idem cálculo latitud).
- STO 08 = V.H. (Idem cálculo latitud).
- STO 09 = δ (Idem cálculo latitud).
- STO 17 = θ (Latitud del lugar calculada).

Memorias utilizadas en el desarrollo del programa

- STO 12 = Z_{prom} (Promedio distancia zenital, posición directa e inversa).

- STO 13 = Z_{cr} (Z_{prom} corregida por refracción).
 STO 14 = Z_{crp} (Z_{prom} corregida por refracción y paralaje).
 STO 15 = T_{prom} (Promedio de las horas de observación, posiciones directa e inversa)
 STO 16 = δ corr (Declinación del Sol a la hora promedio de observación).
 STO 18 = $(\theta + Z)$
 STO 19 = $(\theta + Z - \delta) / 2$
 STO 20 = $\text{sen} (Z + \theta - \delta) / 2 \cos (Z + \theta + \delta) / 2$
 STO 21 = Az_{sol} (Azimut astronómico del Sol)
 STO 22 = Az_{eje} (Azimut astronómico del eje)
 STO 23 = AH (Angulo horario del Sol).
 STO 24 = H.P.M. (Hora de paso del Sol por el M90° al W de G)
 STO 25 = G.H.A. (Angulo horario del Sol referido al meridiano de Greenwich)
 STO 26 = λ (Longitud del lugar de observación)

Ejecución del programa

Se realizarán los puntos 1°, 2° y 3° que se indican en la hoja Num. 22 correspondientes al programa para el cálculo de la latitud.

RST

R/S : Se visualiza la declinación a la hora de observación promedio en --
 ° ' "

R/S : Se visualiza distancia zenital promedio en ° ' "

R/S : Se visualiza la corrección por refracción en ° ' "

R/S : Se visualiza la corrección por paralaje en ° ' "

R/S : Se visualiza distancia zenital corregida por refracción y paralaje -
 en ° ' "

R/S : Se visualiza el azimut del Sol en ° ' "

R/S : Se visualiza el suplemento del ángulo horizontal promedio (B') en
 ° ' "

R/S : Se visualiza el azimut del eje en ° ' "

R/S : Se vuelve a visualizar el azimut del eje en ° ' " , por cuestión de chequear si el valor obtenido es mayor o igual a 360°.

R/S : Se visualiza el AH local con respecto al M90° al W de G en ° ' "

R/S : Se visualiza el ángulo horario con respecto al meridiano de Green_wich (G.H.A.) en ° ' "

R/S : Se visualiza longitud de Lugar de observación calculada en ° ' "

Para volver a utilizar los programas cuantas veces sea necesario, se iniciará desde el tercer punto, referente a la ejecución del programa, para visualizar nuevos resultados.

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Posos	Codigos
LRN	000	00
RCL 03	001	43 - 03
2nd DMS	002	88
+	003	85
RCL 04	005	43 - 04
2nd DMS	006	88
=	007	95
÷	008	55
2	009	2
=	010	95
STO 15	012	42 15
-	013	75
12	015	12
=	016	95
X	017	65
3600	021	3600
1/X	022	35

X	023	65
RCL 08	025	43 - 08
+	026	85
RCL 09	028	43 - 09
2nd DMS	029	88
=	030	95
STO 16	032	42 - 16
INV	033	22
2nd DMS	034	88
R/S	035	91
RCL 05	037	43 - 05
2nd DMS	038	88
+	039	85
RCL 06	041	43 - 06
2nd DMS	042	88
=	043	95
÷	044	55
2	045	2
=	046	95

2nd Prt

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Pa	Co
STO 12	048	48 - 12
INV	049	22
2nd DMS	050	88
R/S	051	91
RCL 12	053	43 - 12
2nd tan	054	30
X	055	65
RCL 07	057	43 - 07
+	058	65
INV	059	22
2nd DMS	060	88
R/S	061	91
2nd DMS	062	88
RCL 12	064	43 - 12
=	065	95
STO 13	067	42 - 13
2nd sen	068	38
X	069	65
- 8.8"	073	-88"
÷	074	55
3600	078	3600
+	079	65
INV	080	22
2nd DMS	081	88
R/S	082	91
2nd DMS	083	88
RCL 13	085	43 - 13
=	086	95
STO 14	088	42 - 14

INV	089	22
2nd DMS	090	88
R/S	091	91
RCL 14	093	43 - 14
+	094	85
RCL 17	096	43 - 17
2nd DMS	097	88
=	098	95
STO 18	100	42 - 18
-	101	75
RCL 16	103	43 - 16
=	104	95
÷	105	55
2	106	02
=	107	95
2nd sen	108	38
STO 19	110	42 - 19
RCL 18	112	43 - 18
+	113	85
RCL 16	115	43 - 16
=	116	95
÷	117	55
2	118	2
=	119	95
2nd cos	120	39
X	121	65
RCL 19	123	43 - 19
=	124	95
STO 20	126	42 - 20
RCL 17	128	43 - 17
2nd cos	129	39

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Pg	CoClgo
X	130	65
RCL 14	132	43-14
2nd sen	133	38
=	134	95
1/X	135	35
X	136	65
RCL 20	138	43-20
=	139	95
$\sqrt{\quad}$	140	34
INV	141	22
2nd sen	142	38
X	143	65
2	144	2
=	145	95
STO 21	147	42-21
INV	148	22
2nd DMS	149	88
R/S	150	91
360	153	360
-	154	75
(155	53
RCL 01	157	43-01
2nd DMS	158	88
+	159	85
RCL 02	161	43-02
2nd DMS	162	88
)	163	54
÷	164	55
2	165	2

2nd Prt

+	166	85
INV	167	22
2nd DMS	168	88
R/S	169	91
2nd DMS	170	88
RCL 21	172	43-21
=	173	95
INV	174	22
2nd DMS	175	68
STO 22	177	42-22
R/S	178	91
RCL 22	180	43-22
X \uparrow	181	32
360	184	360
2nd X $\geq \uparrow$	185	77
200	187	200
RCL 22	189	43-22
-	190	75
360	193	360
=	194	95
STO 22	196	42-22
GTO 180	199	61 180
X \uparrow	200	32
RCL 22	202	43-22
R/S	203	91
(204	53
RCL 14	206	43-14
2nd cos	207	39
-	208	75
RCL 16	210	34
2nd sen	211	38

2nd Prt

2nd Prt

2nd Prt

PROGRAMA		
TECLAS	PANTALLA	
	Pos 09	Código
X	212	65
RCL 17	214	43 - 17
2nd sen	215	38
)	216	54
X	217	65
(218	53
RCL 16	220	43 - 16
2nd cos	221	39
X	222	65
RCL 17	224	43 - 17
2nd cos	225	39
)	226	54
1/X	227	35
=	228	95
INV	229	22
2nd cos	230	39
INV	231	22
2nd DMS	232	88
R/S	233	91
2nd DMS	234	88
STO 23	236	42-23
RCL 15	238	43-15
+	239	85
6	240	06
-	241	75
24	243	43-24
2nd DMS	244	88
=	245	95
X	246	65

2nd Prt

15	248	15
*	249	95
STO 25	251	42-25
INV	252	22
2nd DMS	253	88
R/S	254	91
RCL 24	256	43-24
X \uparrow	257	32
RCL 15	259	43-15
2nd X \geq 1	260	77
274	262	274
RCL 23	264	43-23
+	265	85
RCL 25	267	43-25
=	268	95
STO 26	270	42-26
GTO 283	273	61-283
X \uparrow	274	32
RCL 23	276	43-23
-	277	75
RCL 25	279	43-25
*	280	95
STO 26	282	42-26
X \uparrow	283	32
RCL 26	285	43-26
INV	286	22
2nd DMS	289	88
R/S	288	91
RST	289	81
LRN		

2nd Prt

2nd Prt

3. NORMAS Y METODOS PARA EL PROYECTO GEOMETRICO.

Para precisar el significado de los términos técnicos usados en este trabajo, se anotan las siguientes definiciones.

3.1 DEFINICIONES

Aeropuerto.- Area definida de tierra con características físicas adecuadas para ser destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves, esta área incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipo.

Alcance visual en la pista.- Distancia hasta la cual el piloto de una aeronave que se encuentra sobre el eje de una pista, puede ver las señales de superficie o las luces que la delimitan o que señalan su eje.

Area de movimiento.- Es la parte del aeropuerto que servirá para el despegue, aterrizaje y rodaje de las aeronaves, integrada además por el área de maniobras y plataformas.

Alineamiento horizontal.- Proyección horizontal del eje de una pista o calle de rodaje.

Alineamiento vertical.- Proyección vertical del desarrollo del eje de la pista o de las calles de rodaje.

Atmósfera tipo.- Se llama así, aquella en que el aire es un gas perfecto seco, a 15°C de temperatura, al nivel del mar, con una presión equivalente a 760mm de Hg.

Base de ruedas.- Significa la distancia entre el tren de proa y el centro geométrico del tren de aterrizaje principal.

Calle de rodaje.- Vía de enlace establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeropuerto; según su función las calles de rodaje pueden ser : calles de acceso al puesto de estacionamiento, calles de rodaje en la plataforma, calle de salida rápida.

Curva horizontal.- Arco de circunferencia en el alineamiento horizontal

tal del eje de una pista o calle de rodaje.

Curva vertical.- Curva en el alineamiento vertical del eje de una pista o calle de rodaje que liga dos tangentes verticales.

Elevación del aeropuerto.- Elevación sobre el nivel del mar del punto - mds alto de la pista de aterrizaje.

Entronque.- Lugar donde se une la pista, con una calle de rodaje o la - calle de rodaje con la pista.

Franja de seguridad.- Faja de terreno que rodea la pista a ambos lados, libre de obstáculos, despejada y en la cual pueden efectuarse operaciones ae ron du ticas.

Longitud de campo de referencia.- Longitud de campo o longitud básica - de pista, mínima necesaria para el despegue con el peso máximo de despegue - al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista ce ro.

Longitud real.- Es la longitud de la pista que requiere una aeronave de terminada para operar de acuerdo a sus características en: el aeropuerto de - que se trate.

Obstáculo .- Todo objeto fijo o móvil o parte del mismo que esté situado en un área determinada al movimiento de las aeronaves en tierra o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger las aeronaves en - vuelo.

Pista.- Área rectangular definida en un aeropuerto preparada para el -- aterrizaje y despegue de las aeronaves.

Pista de vuelo por instrumentos.- Pista destinada a la operación de ae ronaves que utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos; según la precisión que se requiera se tiene la siguiente clasificación: pista para aproximaciones que no sean de precisión, pista para aproximaciones de pre ci si ón categoría I, pista para aproximaciones de precisión categoría II y -- pistas para aproximaciones de precisión categoría III.

Pista de vuelo visual.- Pista destinada a las operaciones de aeronaves que utilicen procedimientos visuales para la aproximación.

Pista principal.- Pista que se utiliza con preferencia a otras siempre que las condiciones lo permitan.

Pista secundaria.- Es aquella pista con la que se aumenta el porcentaje de vientos cubiertos por la pista principal.

Punto de referencia del aeropuerto.- Punto sobre el eje de la pista cuya situación geográfica designa la ubicación del aeropuerto, con una aproximación de $\pm 1'$.

Plataforma.- Area definida en un aeropuerto terrestre, destinada a dar cavidad a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, estacionamiento o mantenimiento.

Temperatura de referencia.- Temperatura obtenida en función de las temperaturas del mes más caluroso del lugar y que se utiliza para la corrección de la longitud básica de pista.

Pendiente.- Es la relación de la diferencia de elevaciones y la distancia horizontal que hay entre dos puntos de una tangente vertical, y se expresa en por ciento (%)

Pendiente efectiva.- Cociente resultante de dividir la máxima diferencia de alturas de una pista medida sobre el eje, entre la longitud de la misma.

P.C.H. (Principio de curva horizontal).-Punto de alineamiento horizontal donde termina una tangente y principia una curva circular, en el sentido del cadenamiento.

P.C.V. (Principio de curva vertical).-Punto de alineamiento vertical donde termina una tangente y principia una curva vertical, en el sentido del cadenamiento.

P.I.H. (Punto de intersección horizontal).-Punto de Alineamiento horizontal donde se intersectan dos tangentes consecutivas.

P.T.H. (Punto de tangencia horizontal).-Punto de alineamiento horizontal, donde termina una curva circular y principia una tangente, en el sentido del cadenamiento.

P.T.V. (Punto de tangencia vertical).-Punto de alineamiento vertical donde termina una curva vertical y principia una tangente, en el sentido -

del cadenamiento.

Umbral de la pista.- El comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje, contiguo a la cabecera.

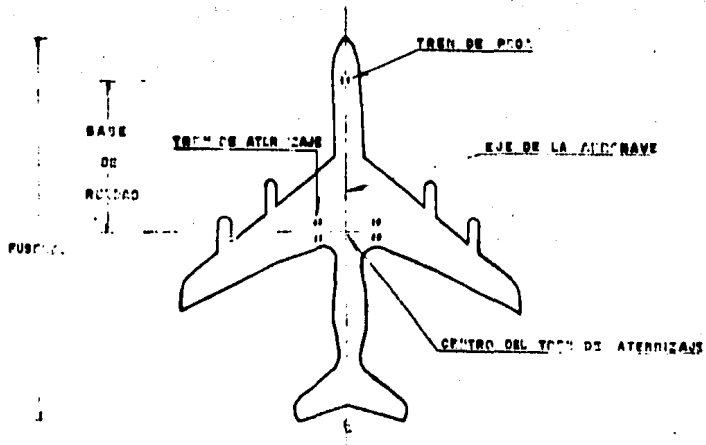
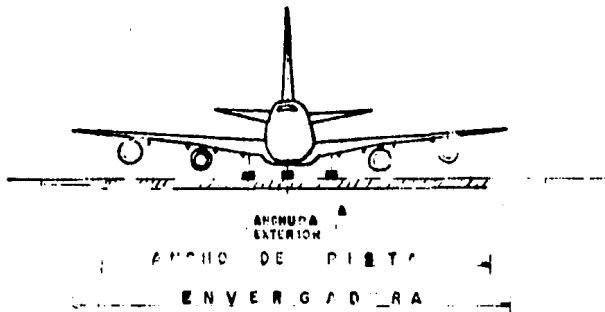
3.2 CLAVE DE REFERENCIA DEL AEROPUERTO

El objeto de la clave de referencia es proporcionar una guía simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeropuertos, a fin de que con esta clave de referencia se informe acerca de las instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeropuerto.

Esta clave se compone de dos elementos que tienen relación con las características y dimensiones del avión crítico. Recurriendo a la tabla No.2, se tiene que, el elemento uno de dicha tabla es un número basado en la longitud de campo de referencia del avión, y el elemento dos es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal, ver fig. 2.

Tabla No.2 Clave de referencia.

ELEMENTO UNO DE LA CLAVE		ELEMENTO DOS DE LA CLAVE		
NUM. DE CLAVE	LONG. DE CAMPO DE REFERENCIA DEL AVION	LETRA DE CLAVE	ENVERGADURA	ANCHURA EXTERIOR ENTRE RUEDAS DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL
1	2	3	4	5
1	Mds 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)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFIA Y GEOMERIA	
Geometria del aeroplano	
ELABORADO POR: []	FECHA: []
REVISADO POR: []	FECHA: []

Una determinada especificación está relacionada con el más adecuado de los dos elementos de la clave de referencia o con una combinación apropiada de los mismos. La letra o número de la clave dentro de un elemento seleccionado para fines de proyecto están relacionados con las características del avión crítico para el que se proporcione la instalación.

El número de clave para el elemento uno se determinará por medio de la tabla No. 2, columna 1, seleccionando el número de clave que corresponda al valor más elevado de la longitud de campo de referencia de los aviones para los que se destine la pista.

Para el caso muy particular del aeropuerto de Huejotzingo, Pue., se -- presenta la tabla No. 3, donde se tiene que, la pista se proyectará para -- los siguientes tipos de aeronaves.

Tabla No. 3 Características de los aviones de diseño

Tipo de avión	Longitud de campo de referencia	Envergadura	Ancho exterior del tren de aterrizaje
B127-200	3 176 m	32.9 m	6.9 m
DC-9-82	2 195 m	32.9 m	6.2 m

Como ya se mencionó, para obtener el número de clave se seleccionará - el valor más alto de la longitud de campo de referencia de los dos aviones que operarán en el aeropuerto, en consecuencia 3 176 m corresponde al valor más elevado de la longitud de campo de referencia de la tabla No. 3, donde con este valor y recurriendo a la tabla No. 2, columnas 2 y 1, el número de clave seleccionado es " 4 ".

La letra de clave para el elemento dos se determinará por medio de la misma tabla No. 2, columna 3, seleccionando la letra de clave que corresponda a la envergadura mayor, o a la anchura exterior más grande entre ruedas del tren de aterrizaje principal, tomando de las dos la que de el valor más crítico para la letra de clave de los aviones para los cuales se destine la instalación .

Si analizamos para las dos aeronaves que operarán en el aeropuerto de Huejotzingo, se tiene que, recurriendo a la información proporcionada en la tabla No.3, podemos decir que en este caso sus envergaduras son iguales, por lo tanto lo que nos determinará la letra de clave será el ancho exterior del tren de aterrizaje principal más grande, el análisis de ambas aeronaves determinó que el B727-200 tiene la mayor anchura exterior en el tren de aterrizaje principal y es de 6.9m .

Con este valor obtenido se recurre a la tabla No. 1, columna 5, procediendo a ubicar este valor seleccionado { 6.90m } en su respectivo rango, determinándose así en la columna 3 la letra de clave, resultando ser " C ", en conclusión la clave de referencia del aeropuerto de Huejotzingo, Pue. - es de " 4C " .

3.3 CARACTERISTICAS FISICAS

Fijadas las necesidades y características propias del aeropuerto, las cuales determinaron que se eligiera el sitio de Huejotzingo, Pue., a continuación se analizarán los criterios de diseño para los elementos geométricos de que se compone la pista. En este tema nos referiremos al aeropuerto basándonos en la clave de referencia respectiva.

Pistas.

La longitud verdadera de toda pista principal deberá ser adecuada para satisfacer los requisitos operacionales de los aviones para los que se proyecte la pista.

Los factores que influyen en la longitud de pista que habrá de determinarse son los siguientes :

Características de rendimiento de los aviones

Condiciones meteorológicas, principalmente viento y temperatura en la superficie.

Características de la pista tales como, pendiente y estado de la superficie
Factores relacionados con el emplazamiento del aeropuerto, por ejemplo, elevación del aeropuerto y limitaciones topográficas.

Es evidente que un avión que despegue en una pendiente ascendente requiere una mayor longitud de pista, que si ésta se encontrara a nivel o tuviese una pendiente descendente. La longitud requerida dependerá de la elevación - del aeropuerto y de la temperatura, cuanto mayor sea la elevación, mayor longitud habrá de tener la pista requerida.

La longitud de toda pista secundaria deberá de terminarse de manera similar a la de las pistas principales, con la excepción que necesita ser apropiada únicamente para los aviones que requieran usar dicha pista secundaria, con el objeto de obtener un coeficiente de utilización de por lo menos el 95 % .

Anchura de la pista.

La anchura de toda pista no deberá ser menor de las dimensiones apropiadas que se enuncian en la tabla No. 4. Las combinaciones que se hacen en esta tabla de letra y número de clave se estudiaron de acuerdo a las características de los aviones .

En el subcapítulo 3.2 se determinó que la clave de referencia para el - aeropuerto de Huejotzingo, fué de 4 C. Teniendo la clave de referencia, se puede recurrir a la tabla antes mencionada y se obtiene que la anchura de la pista para este aeropuerto es de 45.0 m.

Tabla No. 4 Anchuras de pista.

Número 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

Pendientes Longitudinales de la pista

La pendiente que se obtiene al dividir la diferencia entre la elevación máxima y mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de ésta no

deberá exceder del 1 % cuando se tiene que el número de clave sea 3 ó 4, o pendiente del 2 % cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Para el caso que nos ocupa, se tiene que entre la máxima y mínima elevación sobre el eje de la pista hay un desnivel de 16.6 m y la longitud de la misma es de 3 620 m, por lo tanto la pendiente obtenida es de 0.4694 %.

Sabiendo que el aeropuerto de Huejotzingo tiene número de clave 4, se comprueba que con la pendiente obtenida sí cumple lo expuesto anteriormente en cuanto a pendientes longitudinales. Cabe mencionar que de aquí en adelante se obtendrá información en base al perfil longitudinal del eje de la pista obtenido en el estudio topográfico realizado.

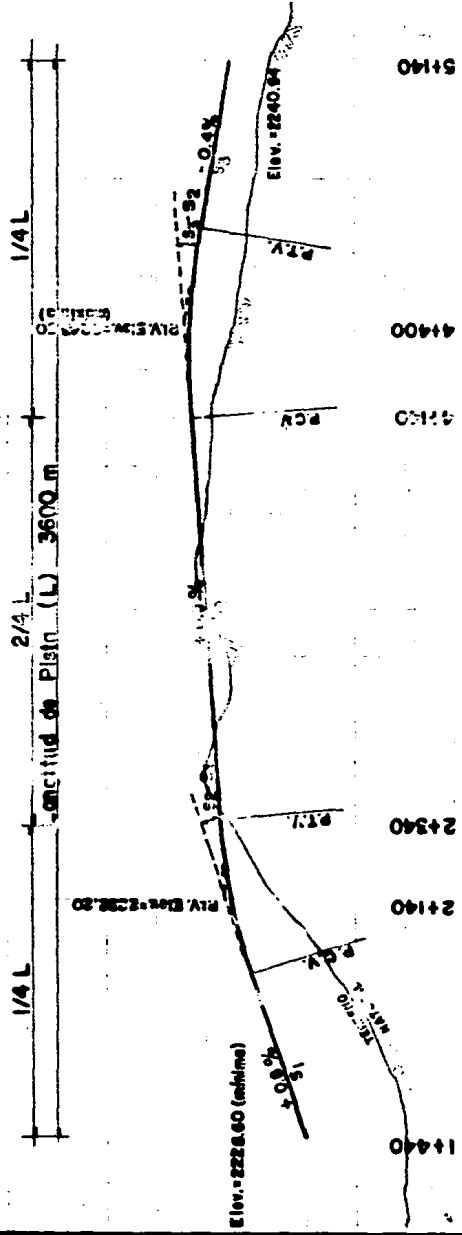
Estudiando la longitud de la pista por tramos se tiene que, en ninguna parte de ésta, la pendiente longitudinal deberá exceder de 1.25 %, teniendo número de clave 4, exceptuando el primero y el último cuartos de la longitud de la pista, en los cuales el valor máximo de la pendiente será de 0.8 %. Para el número de clave 3 se tendrá una pendiente máxima de -- 1.5 %, excluyendo el primero y último cuartos en los cuales la pendiente no deberá ser mayor de 0.8 % y para el número de clave 1 ó 2 una pendiente del 2 % es aceptable.

En la figura A se hace una semejanza con los valores de las pendientes aplicadas al perfil longitudinal y cambios de éstas, con su elevación y cadenamamiento respectivos de acuerdo al proyecto realizado.

Cuando la topografía del lugar obligue a cambiar de pendiente en el -- eje longitudinal de una pista o no se puede evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, este cambio no deberá exceder del 1.5 % cuando se esté proyectando en una pista con número de clave 3 ó 4 y 2 % -- cuando el número de clave sea 1 ó 2 .

Observando en la fig. A las pendientes que contiene el proyecto, se -- concluirá que de lo expuesto anteriormente la variación máxima de pendiente es de 0.9 % por contener una pendiente de + 0.5 % y otra consecutiva de - 0.4 % .

El cambio de una pendiente a otra deberá efectuarse por medio de una



PENDIENTE GENERAL:

2243.50-2228.60, 0.4634% ≤ 1% para número de clavos 3 ó 4 ; $\frac{\text{máx.} - \text{mín.}}{L}$ p ≤ 2% para número de clavos 1 ó 2
3500

PENDIENTES LONGITUDINALES PARCIALES:

- 1.25% máximo para pistas con número de clavos 4
- 1.50% máximo para pistas con número de clavos 3
- 2.0% máximo para pistas con número de clavos 1 ó 2

Para pistas con número de clavos 4 y 3 la pendiente longitudinal no deberá ser mayor de 0.8% en el primer y último cuarto de la longitud de la pista (L).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. DE ING. CIVIL TOP. Y GEODESICA
Perfil longitudinal y proyecto de rasante
TESIS PROFESIONAL JJ HERNANDEZ Z.
Fecha de entrega Mayo de 1996 Pág. A

superficie curva con un grado de variación no mayor de :

0.1 % para cada 30 m, cuando el número de clave es 4 (radio = 30 000 m).

0.2 % para cada 30 m, cuando el número de clave es 3 (radio = 15 000 m).

0.4 % para cada 30 m, cuando el número de clave es 2 ó 1 (radio = 7 500 m).

Se sabe que para el proyecto que nos ocupa el número de clave es 4, por lo tanto se tendrá para el cálculo de la curva vertical, 0.1 % de variación en la pendiente en 30 m, ó 30 000 m de radio en la curva.

Sin olvidar lo estipulado anteriormente, para el cálculo de dicha superficie curva se ha tomado como norma en base a la experiencia y práctica que han adquirido los proyectistas de la Dirección General de Aeropuertos, calcular la subtangente de la curva vertical con la ecuación de las curvas horizontales, - indicando que no sufre ninguna alteración la curva al calcular la subtangente de tal forma, sobre todo por trabajar con una variación de pendiente muy pequeña, haciendo hincapié que para 30 m se deberá tener un cambio de pendiente del 0.1 %.

De las curvas horizontales simples se tiene que la subtangente se calcula por la siguiente ecuación :

$$ST = R \tan (\Delta / 2) ; \quad \Delta : \text{deflexión}$$

Como ya se mencionó para el proyecto que nos ocupa la subtangente se calculará con la ecuación anterior, modificando $\tan (\Delta / 2)$ por el valor absoluto de la diferencia de pendientes entre dos, esto se realiza por considerar que la función trigonométrica tangente de un ángulo muy pequeño es igual a este ángulo sin aplicar la función. Para nuestro caso como el valor absoluto de la diferencia de pendientes entre dos es relativamente pequeño se tendrá que la ecuación para el cálculo de la subtangente quedará de esta manera :

$$ST = R \frac{|S_2 - S_1|}{2}$$

donde S_1 es la pendiente de entrada, S_2 es la pendiente de salida y R el radio

de curvatura, con esta nueva fórmula se calcularán las subtangentes de las curvas verticales.

Recurriendo a la fig. A se observa que se calcularán dos curvas en los cambios de pendiente que se presentan de tal forma se tiene :

$$\begin{aligned} \text{P.I.V.} &= 2 + 140 \\ S_1 &= + 0.8 \% \\ S_2 &= + 0.5 \% \\ R &= 30\ 000 \text{ m} \end{aligned}$$

La subtangente será :

$$ST = 30\ 000 \frac{|0.005 - 0.008|}{2}$$

$$ST = 45 \text{ m}$$

Para la segunda subtangente se procederá de la misma manera de donde se obtiene $ST = 135 \text{ m}$, con un $\text{P.I.V.} = 4 + 400$, $S_1 = + 0.5 \%$ y $S_2 = - 0.4 \%$.

Después de haber calculado las subtangentes se procede a calcular la elevación de cada punto de la curva (rasante).

Primero se obtiene el cadenamiento del P.C.V. y P.T.V., partiendo del cadenamiento del P.I.V. se le resta la subtangente y obtenemos P.C.V., a éste hay que sumar el doble de la subtangente y se obtiene el P.T.V.

$$\begin{aligned} \text{P.I.V.} &= 2 + 140 \\ ST &= \underline{\quad - \quad 45} \\ \text{P.C.V.} &= 2 + 095 \\ 2 ST &= \underline{\quad + \quad 90} \\ \text{P.T.V.} &= 2 + 185 \end{aligned}$$

Al aplicar las pendientes que definirán el proyecto en el perfil longitudinal desde donde se inicia la pista, como se observa en la fig. A, se va obteniendo la rasante a cada 20 m hasta llegar al $\text{P.C.V.} = 2 + 095$ con una

rasante de 2 231.84 m.s.n.m., con la misma pendiente de entrada se calcula la elevación del P. I. V. = 2 + 140 resultando ser 2 232.20 m.s.n.m. Partiendo del P.I.V. con la pendiente de salida se calculará la rasante del P.T.V. = 2 + 185 el valor de la rasante es 2 232.425 m.s.n.m.

Ahora partiendo del P.C.V. sobre la pendiente de entrada y dando a cada 5 metros su elevación respectiva hasta llegar al P.I.V. se tiene :

P.C.V. = 2 + 095	---	2 231.84
1	100	---2 231.88
2	105	---2 231.92
3	110	---2 231.96
4	115	---2 232.00
5	120	---2 232.04
6	125	---2 232.08
7	130	---2 232.12
8	135	---2 232.16
P.I.V. = 2 + 140	---	2 232.20

los valores anteriores son las elevaciones sobre la subtangente de entrada, - los cuales habrá que corregir para obtener la rasante de los puntos sobre la curva deseada, la corrección se llevará a cabo por medio de :

$$\text{Corrección (} y \text{)} = K \{ \text{No. de estaciones de 5 m} \}^2$$

en donde K es una constante que la obtendremos de la siguiente ecuación

$$K = \frac{S_2 - S_1}{\text{No. de estaciones de 5 m en la ST} \times 0.8} \times 100$$

El factor 0.8 que aparece en la ecuación anterior, se aplica porque en lo general para el proyecto de curvas verticales en carreteras se utiliza - como distancia base entre estación y estación 20 m y para nuestro caso en -

el que la distancia base es de 5 m se aplica este coeficiente siendo un valor empírico determinado por la experiencia de los proyectistas en la dependencia anteriormente señalada.

Para iniciar el cálculo de estas correcciones tenemos que obtener el número de estaciones de 5 m que hay en la subtangente :

$$\frac{ST}{5} = \frac{45}{5} = 9 \text{ estaciones}$$

calculando la constante :

$$K = \frac{|0.005 - 0.008|}{9 \times 0.8} \times 100$$

$$K = 0.041667$$

Obtenida la constante se prosigue a calcular las correcciones (Y) que están en centímetros :

$$y_1 = 0.041667 \times 1^2 = 0.04 \text{ cms}$$

$$y_2 = \quad \quad \quad \times 2^2 = 0.17 \quad "$$

$$y_3 = \quad \quad \quad \times 3^2 = 0.38 \quad "$$

$$y_4 = \quad \quad \quad \times 4^2 = 0.67 \quad "$$

$$y_5 = \quad \quad \quad \times 5^2 = 1.04 \quad "$$

$$y_6 = \quad \quad \quad \times 6^2 = 1.50 \quad "$$

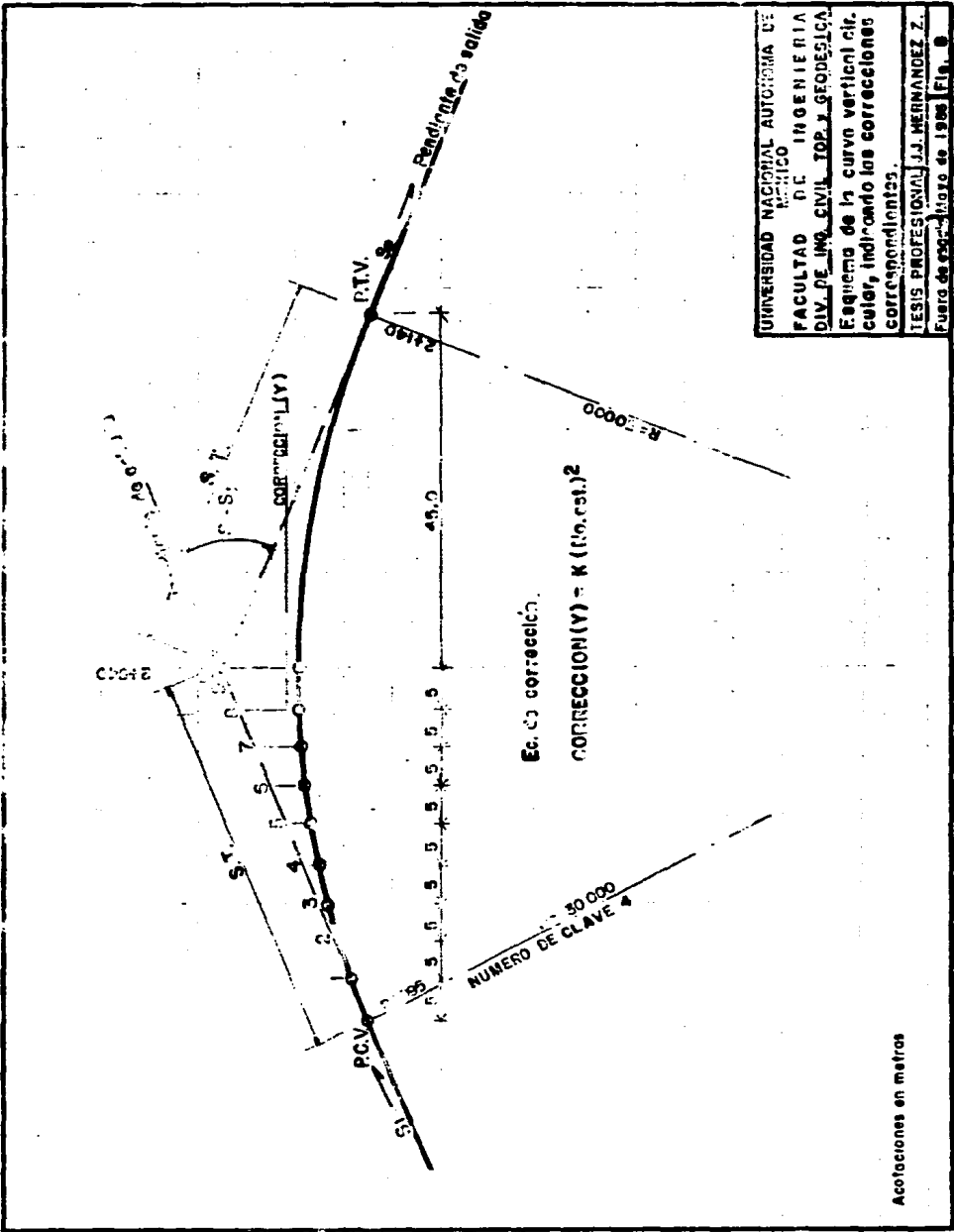
$$y_7 = \quad \quad \quad \times 7^2 = 2.04 \quad "$$

$$y_8 = \quad \quad \quad \times 8^2 = 2.67 \quad "$$

$$y_9 = 0.041667 \times 9^2 = 3.38 \text{ cms}$$

Estas correcciones se visualizarán de una manera gráfica consultando la fig. B .

De las elevaciones obtenidas para cada 5 m sobre la tangente de entrada se restarán las correcciones antes calculadas determinando la rasante de los



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIV. DE ING. CIVIL, TOP. Y GEODÉSICA
Esquema de la curva vertical cir-
cular, indicando las correcciones
correspondientes.
TESIS PROFESIONAL J.J. HERNÁNDEZ Z.
Fuera de pago - Mayo de 1966 Fig. 8

Acotaciones en metros

puntos sobre la curva, así de esta forma quedan ligadas las dos pendientes de proyecto (S_1 , S_2) ; a continuación se presenta la operación indicada :

ESTACION	ELEVACION	Y	RASANTE
P.C.V. = 2+095	2 231.84	- 0.0	= 2 231.8400
100	2 231.88	- 0.0004	= 2 231.8796
105	2 231.92	- 0.0017	= 2 231.9183
110	2 231.96	- 0.0038	= 2 231.9562
115	2 232.00	- 0.0067	= 2 231.9933
120	2 232.04	- 0.0104	= 2 232.0296
125	2 232.08	- 0.0150	= 2 232.0650
130	2 232.12	- 0.0204	= 2 232.0996
135	2 232.16	- 0.0267	= 2 232.1333
P.I.V. = 2+140	2 232.20	- 0.0338	= 2 232.1662

Si recurrimos a la fig. B observamos que la curva es simétrica con respecto al eje que une el P.I.V. con el centro de la curva, por lo tanto para la otra mitad de la curva corresponderán las mismas correcciones antes calculadas, pero con la excepción que se le restarán a las elevaciones obtenidas sobre la pendiente de salida, para cada punto de 5 m, estos resultados se muestran a continuación :

ESTACION	ELEVACION	Y	RASANTE
P.I.V. = 2+140	2 232.20	- 0.0338	= 2 232.1662
145	2 232.225	- 0.0267	= 2 232.1983
150	2 232.250	- 0.0204	= 2 232.2296
155	2 232.2750	- 0.0150	= 2 232.2600
160	2 232.3000	- 0.0104	= 2 232.2896
165	2 232.3250	- 0.0067	= 2 232.3183
170	2 232.3500	- 0.0038	= 2 232.3462
175	2 232.3750	- 0.0017	= 2 232.3580

180	2 232,4000-	0,0004 =	2 232,3996
P.T.V.=2+185	2 232,4250-	0,0000 =	2 232,4250

El cálculo que se ha realizado hasta aquí, corresponde a la primera curva que se proyectó al estar determinando la rasante de la pista, la segunda curva se proyectó siguiendo el mismo procedimiento hasta ahora espuesto y -- con esto queda determinada la rasante y liga entre pendientes.

Como ya fué mencionado, cuando por la topografía del lugar no se pueda evitar un cambio de pendiente, Este deberá efectuarse considerando que, desde cualquier punto situado a 3 m por encima de la pista, sea visible otro punto situado también a 3 m por encima de ésta, encontrándose estos puntos a una distancia igual a la mitad de la longitud de la pista cuando la letra de clave sea C, D o E.

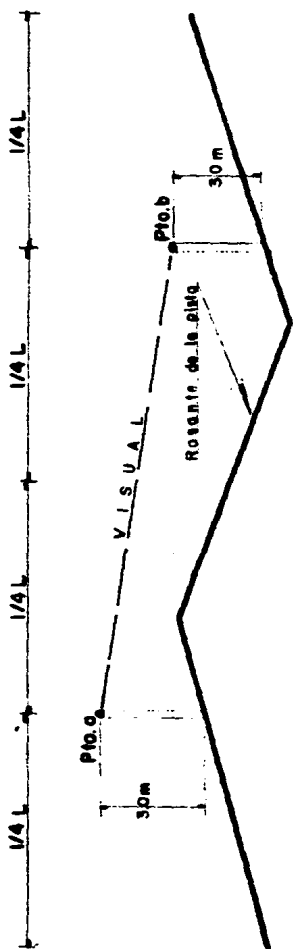
Para las letras de clave A y B la altura a que estarán situados estos - puntos visibles será por lo menos a 2 m y separados la mitad de la longitud de la pista. (véase figura C)

Al proyectar la rasante de la pista es muy importante tener presente - los cambios de pendiente de modo que no quede muy próximos entre sí, la distancia entre los puntos de intersección (P. I. V.) de dos curvas verticales sucesivas no deberá ser menor que la suma de los valores numéricos absolutos de los cambios de pendiente correspondientes, multiplicada por el valor que corresponda entre los siguientes valores, tomando en cuenta el número de clave :

- 30 000 m para número de clave 4
- 15 000 m para número de clave 3
- 5 000 m para número de clave 1 ó 2

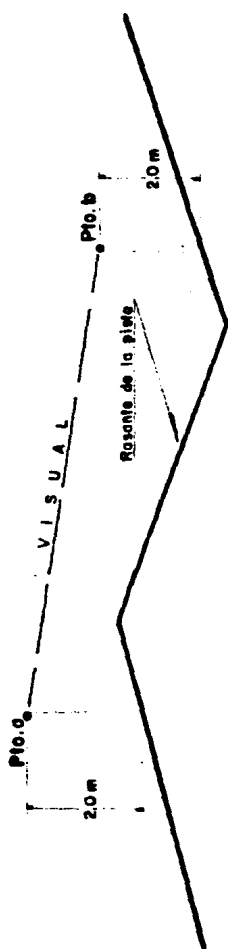
Recurriendo la fig. A y realizando una aplicación de lo anterior se calculará la distancia a que fueron ubicadas las curvas verticales que se proyectaron.

La distancia entre cambios de pendiente (D) para la pista 17-35 con número de clave 4 es :



Para pistas con letra de clave C, D o E

P I S T A 1 7 - 3 5



Para pistas con letra de clave A o B

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIV. DE ING. CIVIL, TOP. Y GEODESICA
 Distancia de visibilidad en
 Pistas

TESIS PROFESIONAL J.J. HERNANDEZ Z
 Enero de 1964 | Mayo 3, 1965 | Fig. C

$$D = 30\ 000 (|S_1 - S_2| + |S_2 - S_3|) \text{ m}$$

De la fig. A se observan los valores de S_1, S_2 y S_3 , sustituyendo éstos en la ecuación anterior se tiene :

$$D = 30\ 000 (|0.008 - 0.005| + |0.005 - (-0.004)|)$$

$$D = 30\ 000 (0.003 + 0.009)$$

$$D = 360 \text{ m}$$

Para cumplir con lo especificado este valor D , en el proyecto no debe ser menor de 360 m.

Pendiente transversales.

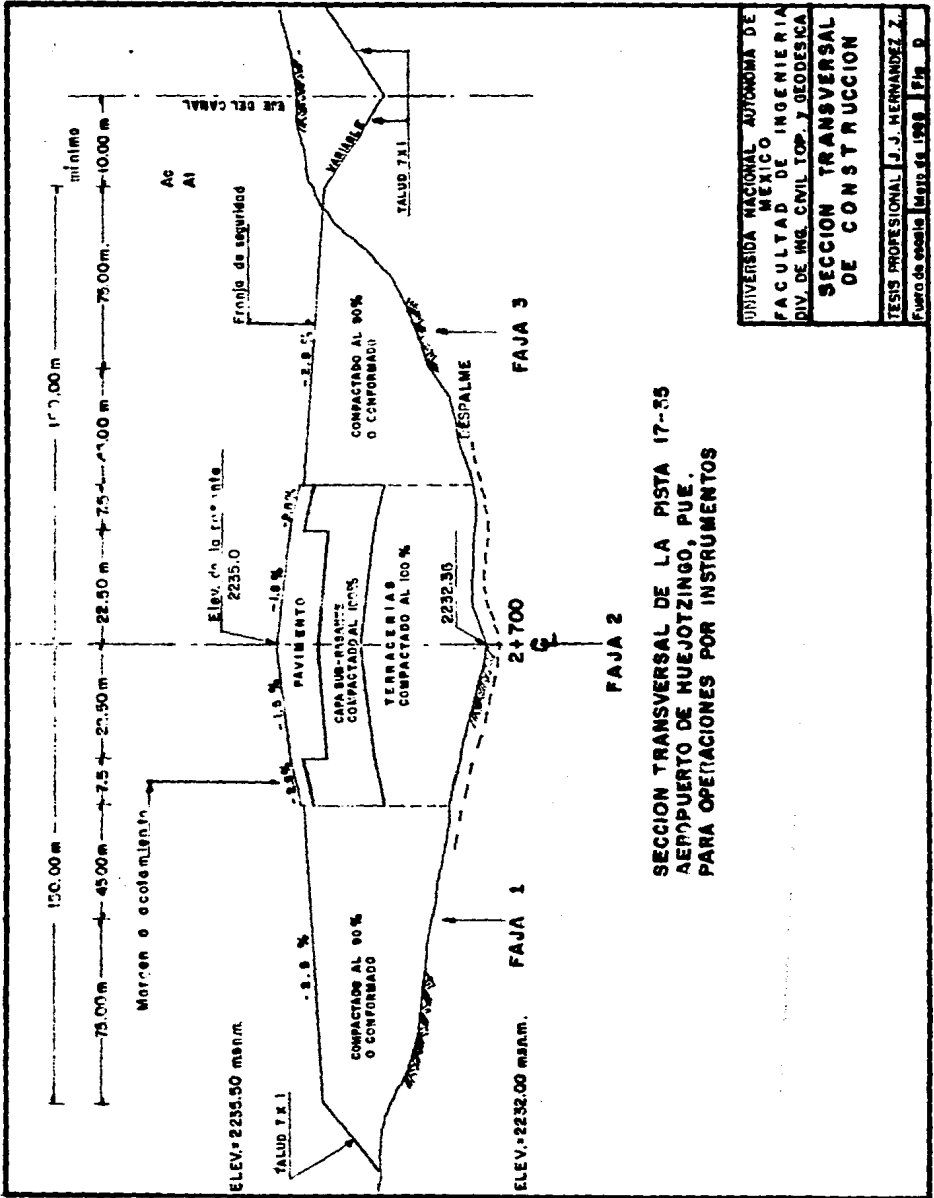
Para facilitar la rápida evacuación del agua en la superficie de la pista, esta deberá ser en la medida de lo posible convexa, excepto en los casos en que una pendiente transversal única descienda en la dirección del viento que acompaña a la lluvia con mayor frecuencia, asegurando el rápido drenado de la pista.

La pendiente transversal que se supone adecuada para el efecto de drenar el agua será de 1.5 % tomando en cuenta la letra de clave, que para esta pendiente corresponde a la C, D ó E y del 2 % cuando la letra de clave sea A o B; pero haciendo notar que no exceda del 1.5 % ó 2 % respectivamente, ni ser inferior al 1 %, exceptuando en la intersección de pistas con calles de rodaje donde se requiere de pendientes más suaves. Como se mencionó, para el caso de superficies convexas las pendientes transversales deberán ser simétricas a ambos lados del eje de la pista. Para efectos del proyecto de Huejotzingo se presenta la sección transversal de la pista con todos sus elementos, anchuras y pendientes respectivas en la fig. D.

Márgenes o acotamientos.

Los márgenes o acotamientos se extenderán simétricamente a ambos lados de donde termina lo ancho de la pista, de forma que la anchura total de ésta y sus márgenes no sea mayor de 60 m.

La superficie que forman los acotamientos adyacentes a la pista deberá



SECCION TRANSVERSAL DE LA PISTA 17-35
 AEROPUERTO DE HUEJOTZINGO, PUE.
 PARA OPERACIONES POR INSTRUMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
 MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIV. DE ING. CIVIL TOP. Y GEODESIA
**SECCION TRANSVERSAL
 DE CONSTRUCCION**

TESIS PROFESIONAL J. J. HERNANDEZ Z.
 Fuera de escala Mayo de 1998 E.P. D.

estar al mismo nivel que ésta y su pendiente transversal será del 2.5 %, véase fig. D.

Franja de seguridad.

La pista estará comprendida dentro de una franja, que le llamaremos franja de seguridad. La superficie de la franja colindante con la pista, estará al mismo nivel que ésta.

Toda franja de seguridad deberá estar ubicada antes del umbral y más allá del extremo de la pista, hasta una distancia de 60 m en el caso de que el número de clave sea de 2, 3 ó 4 y la pista sea de vuelo por instrumentos.

También la franja estará ubicada a 60 m antes del umbral cuando el número de clave sea 4, para pistas de vuelo por instrumentos ó 30 m cuando la pista sea de vuelo visual.

Siempre por cuestión de seguridad, la franja que comprenda una pista para aproximaciones de precisión se extenderá hasta una distancia de 150 m a cada lado del eje de la pista y a todo lo largo de la franja, como en el caso de Huejotzingo que tiene número de clave 4, o en su defecto también para pistas con número de clave 3. Para pistas con número de clave 1 ó 2 la franja se extenderá hasta los 75 m.

En el caso de una pista de vuelo visual se tendrá que el ancho de la franja será de 75 m cuando el número de clave sea 3 ó 4, de 40 m cuando el número de clave sea 2 y 30 m con número de clave 1.

La parte de una franja que comprende una pista de vuelo por instrumentos deberá proveer un área nivelada en atención a los aviones para la que fue diseñada esta franja, en el caso de que un avión se salga de ella. Esta área tendrá una distancia transversal al eje de la pista de 75 m si el número de clave es 3 ó 4, y de 40 m si su número de clave es 1 ó 2. En Huejotzingo como se tiene una pista de vuelo por instrumentos, se tendrá el área mencionada para el número de clave 4 como se observa en la fig. D.

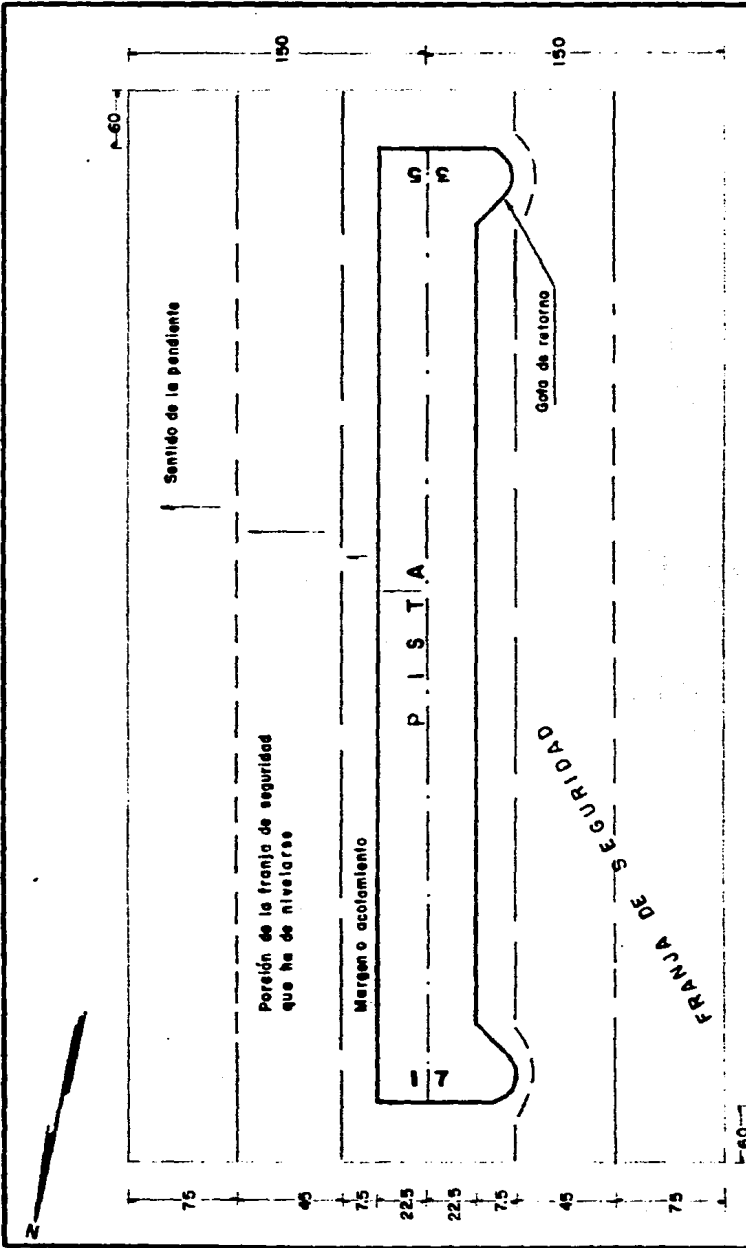
Pendiente de la franja de seguridad

Las pendientes longitudinales a lo largo de la porción de franja que ha de nivelarse no debe exceder del 1.5 %, 1.75 % y 2 % cuando el número de cla

ve sea 4, 3 y 1 ó 2 respectivamente. Los cambios de pendiente que se realicen en la parte de la franja que se nivelará deben ser lo más graduales posibles debiendo evitar los cambios bruscos de pendiente. En la franja de pista que nos interesa se aplicaron las mismas pendientes que en el eje de la pista.

La pendiente transversal en la parte de una franja que haya de nivelarse se deberá ser adecuada para impedir la acumulación de agua en la superficie de la pista, teniendo presente que para número de clave 3 ó 4, la pendiente máxima será del 2.5 % y de 3 % cuando el número de clave sea 1 ó 2 .

La pendiente transversal en cualquier parte de la franja de seguridad - más allá de la parte que ha de nivelarse, no debe exceder de una pendiente ascendente del 5 %, medida en el sentido del alejamiento de la pista, ver -- fig. D y E .



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE ING. CIVIL TOP Y GEODESICA
 TESIS PROFESIONAL J. J. HERNANDEZ Z.
 Fuerza de escala: Mapa de 1906 Fig. E

ACOTACIONES EN METROS

4. PROYECTO GEOMÉTRICO Y DE TERRACERIAS

Se elaboraron los siguientes planos para el desarrollo del proyecto geométrico del aeropuerto de Huejotzingo, teniendo en cuenta las características físicas para el proyecto y construcción de este aeropuerto.

4.1 ELABORACION DE PLANOS CORRESPONDIENTES

Los planos correspondientes para el proyecto geométrico de este aeropuerto serán los siguientes y deberán contener los datos que en cada uno de ellos se detallaron.

Plano topográfico general, de linderos, de monumentos y propiedades --- afectadas.

En este plano deberán aparecer :

- a) La topografía, indicando las curvas de nivel con equidistancias de 1 m, -- marcando las curvas a cada 5 m más gruesas, para realzar su presentación, abarcando toda la superficie del aeropuerto hasta los linderos.
- b) El trazado de los ejes de pistas, calles de rodaje, plataforma de operaciones, camino de acceso, camino perimetral, etc., o proyectados en el gabinete.
- c) Los monumentos que se colocaron en los vértices de los linderos, ejes de pistas, calles de rodaje, etc.
- d) Distancias y ángulos calculados de la poligonal de linderos, deberán indicarse las propiedades afectadas, con sus linderos, nombres de propietarios, superficie y construcciones.
- e) Referencias de los linderos y del camino de acceso al entronque con el camino principal.
- f) Norte magnético, astronómico y declinación del lugar, descripción y localización del banco de nivel base de la nivelación.
- g) Escala gráfica y numérica, expresada en metros.

Plano general

En este plano está la geometría general del aeropuerto:

- a) Longitudes, anchos y acotaciones en general de : pistas, calles de rodaje, plataformas, zonas de edificios, estacionamientos, camino de acceso, camino perimetral, distancias entre ejes y linderos.
- b) El polígono del lindero debidamente acotado.
- c) Rumbo magnético del eje de la pista 17-35.
- d) Norte magnético, astronómico y la elevación promedio del lugar.

El rumbo astronómico calculado en la República Mexicana siempre se encuentra a la izquierda del rumbo magnético.

- e) Escala gráfica y numérica, notas indicando unidades usadas, aclaraciones complementarias.

Plano de transiciones

- a) Este plano se elaboró para definir pendientes y cotas de rasante, unión de pista y calles de rodaje, calles de rodaje con plataforma.
- b) Todas las pendientes longitudinales y transversales, están de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior.
- c) Aparecen las cotas en cada estación de 20 m, así como las intermedias - necesarias, tanto en los ejes como en las orillas del pavimento, márgenes, franjas de seguridad y todos los puntos necesarios para poder configurar las superficies de pista y demás elementos del aeropuerto.
- d) Se dibujaron curvas de nivel con equidistancias de 10 cm tanto sobre el pavimento como en franjas de seguridad. Esto tiene por objeto dar una idea clara y segura del escurrimiento superficial de las aguas pluviales, que en ningún caso deberán escurrir de las franjas de seguridad a las zonas pavimentadas.
- e) Designación de la pista 17-35, así como el inciso f del plano topográfico general.

Planos de perfil y cantidades de obra.

- a) En este plano aparecen el perfil de la rasante, el del terreno natural con elevaciones a cada 20 m .

- b) En el perfil de la rasante aparecen indicadas las curvas verticales marcando los P.C.V., P.I.V. y P.T.V. de cada una incluyendo la elevación y estación en cada punto.
- c) Las correcciones a las curvas verticales, se harán de acuerdo con las especificaciones de la S.C.T. En el capítulo anterior las correcciones que se realizaron se efectuaron en base a estas especificaciones.
- d) En el cuadro de datos para el cálculo de curva masa están consignados los siguientes conceptos :
1. Estaciones
 2. Elevación del terreno
 3. Elevaciones de la rasante
 4. Espesores de corte
 5. Espesores de terraplén
 6. Volumen geométrico de corte en cada estrato
 7. Coeficiente de abudamiento o reducción
 8. Volumen de corte abudado o reducido de cada estrato
 9. Volumen total de corte abudado o reducido
 10. Volumen geométrico de terraplén compactado
 11. Ordenadas de la curva masa
- e) La curva masa, se dibujó únicamente en las zonas que hubo compensaciones longitudinales, a una escala tal que permitió el cálculo de acarreo con suficiente aproximación. En los tramos donde hay préstamo o sobrante, únicamente se indicó con una línea horizontal marcando solamente el préstamo o sobrante compacto o en lecho; se marcaron también las ordenadas de la curva masa. El cálculo de los sobreacarreos (S.A.), se indicó lo más cercano posible a la zona que le correspondió y se numeraron para diferenciarlos.
- f) En este plano se dibujaron tres cuadros al principio :
- El primer cuadro lleva el nombre del aeropuerto :
- Aeropuerto de Huejotzingo, Pue.
- Nombre del plano :
- Perfil longitudinal y cantidades de obra de la pista 17-35
- El segundo cuadro lleva los datos del proyecto como siguen :

Tipo de aeronave que operará :	8727-200
Ancho de la pista :	45 m
Ancho de franja de seguridad :	127.5 m
Pendiente general :	0.4694 %
Pendiente máxima :	0.8 %
Variación máxima de pendiente :	0.9 %
Horizontal	1 : 2 000
Escalas Vertical	1 : 100
Curva masa :	1 cm = 1 000 m ³

El tercer cuadro lleva las cantidades de obra con los siguientes conceptos:

Desmonte	310 ha
Despalme	
Material A	46 496 m ³
S.A. Km.	46 496 m ³ Km
Corte	
Material A	57 722 m ³
S.A. m ³ est.	825 m ³ est.
S.A. m ³ hm	169 456 m ³ hm
S.A. m ³ Km	
Terraplén	
Material A	358 784 m ³
Préstamo de banco	
Material A	301 059 m ³
S.A. 2 Km	602 118 m ³ Km
Material capa de subrasante	139 500 m ³
S.A. 2 Km	279 000 m ³ Km
Vol. de Mat. Compactado al 100%	111 600 m ³
Vol. de Mat. Compactado al 95%	304 966 m ³
Vol. de Mat. Compactado al 90%	

En seguida se definirán algunos conceptos mencionados con anterioridad, para su mejor comprensión al ser aplicados.

Rasante.- La rasante es el nivel obtenido al poner sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la pista, en la sección transversal presentada en la fig. D del capítulo anterior, la rasante está representada por un punto.

Pendiente transversal.- Es la pendiente que se da a la orilla o borde del ancho de la pista, normal a su eje.

Desmonte.- Corte de árboles y arbustos, desentraice, limpia del terreno en el que se efectuaron las operaciones mencionadas y quema del producto no aprovechable.

Despalme.- Remoción de la capa superficial del terreno natural que por sus características, no es adecuado para la construcción, ya sea que se trate de zonas de cortes, de áreas destinadas para la ubicación de terraplenes o zonas de préstamos.

Por la dificultad que ofrecen los materiales a su extracción la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, clasifica a los materiales de terracerías como A, B y C.

Un suelo se clasifica como material A, cuando puede ser atacado con --- facilidad mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica; como material B, el que requiere ser atacado mediante explosivos ligeros y finalmente el material C, es el que solamente puede ser atacado mediante explosivos.

Compactado.- Operación mecánica para lograr una reducción del volumen - de los espacios entre partículas sólidas de un material con objeto de aumentar su peso volumétrico y su capacidad de carga.

Plano de secciones transversales

- a) En este plano aparecen las secciones transversales de construcción a cada 20 m marcando en cada una la elevación de la rasante, elevación del terreno natural y la estación que se trate, así como las áreas de corte y terraplén de las mismas, indicadas en la parte derecha de cada sección, también llevarán en el lado izquierdo unas elevaciones gulas acotadas al metro cerrado, - para facilitar la lectura gráfica de cualquier punto de la sección.
- b) Se indicó el despalme con una línea discontinua en el límite del estrato separada verticalmente con un espesor de 20 cm.

- c) Se indicó en cada sección la pendiente transversal correspondiente en las zonas de transición y en los tramos sin cambio de pendiente transversal, se indicó además en la primera y última sección de cada columna.
- d) También lleva las indicaciones necesarias en forma de llaves, marcando -- las zonas de transición, uniones o partes comprendidas dentro de las calles de rodaje.
- e) Se indican las escalas horizontal y vertical utilizadas, 1 : 1 000 y -- 1 : 100 respectivamente.

4.2 PROYECTO DE RASANTE

El costo de construcción, parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un aeropuerto, está gobernado por los movimientos de terracerías, esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos dentro de los requerimientos que el tipo de aeropuerto fije.

La rasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como rasante económica.

Al iniciar el estudio de la rasante a lo largo de toda la longitud de la pista, se deben analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno, los datos relativos al tipo de material y a la elevación mínima que se requiere con respecto a los demás elementos que integran el aeropuerto. La rasante debe de cumplir con las Especificaciones de Proyecto Geométrico establecidas para el caso.

En terreno plano el proyecto de la rasante será generalmente en terraplén sensiblemente paralelo al terreno para quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos. Con este tipo de terreno, la compensación longitudinal o transversal de las terracerías será en base a terraplenes que estarán formados con material producto de préstamo.

En un terreno considerado como lomerío, el proyectista estudiará la rasante combinando las pendientes especificadas, obteniendo un alineamiento -- vertical sensiblemente ondulado, que en términos generales permitirá aprove-

char el producto de los cortes para formar los terraplenes contiguos. El proyecto de la rasante a base de las diferentes pendientes que contendrá esta, la compensación longitudinal de las terracerías en tramos de longitud considerable, el hecho de no presentar problema alguno para la liga de rasantes - entre pista, calles de rodaje y plataforma, así como dejar el espacio vertical necesario para alojar en casos especiales alcantarillas; todo lo anterior son características de este tipo de terreno.

El proyecto de la rasante del aeropuerto de Huejotzingo, consistió en determinar el alineamiento vertical del eje de la pista 17-35, ajustándose a las especificaciones referentes a pendientes longitudinales y cambios de pendiente mencionados en el capítulo 3, se ajustó también a las características físicas propias del terreno natural.

Una pista tendrá una rasante ideal, cuando su pendiente longitudinal y transversal sean nulas, es decir que estén en un plano horizontal, lo anterior se podría lograr a un costo excesivamente alto, sobre todo en el aspecto del drenaje y de las terracerías.

Para hacer más económica la obra, longitudinalmente se trató hasta donde fue posible de seguir la configuración del terreno y transversalmente se le dieron las pendientes de 1.5 % indicadas en el capítulo 3 para facilitar el drenaje.

Las pendientes longitudinales variaron entre - 0.4 % y 0.8 % ; se procuró no obtener pendientes de 1.25 % que es lo máximo en pendiente que se puede aplicar, para evitar fuertes columpios o crestas en la pista que ocasionen daños a las aeronaves. La pendiente general de la pista fue de --- 0.4694 % como ya se indicó en capítulos anteriores, véase la fig. A del capítulo 3.

La separación entre dos puntos de inflexión para el proyecto fue de -- 360 m, en estos puntos de inflexión existen dos cambios de pendiente, los -- cuales se ligaron por dos curvas verticales, el cálculo y corrección de --- estas se presentó en el capítulo 3, fig. B .

Si observamos a lo largo de toda la pista la rasante, vemos que se ajus

to más o menos al perfil del terreno natural, teniendo presente las características físicas del terreno natural y requerimientos del proyecto aeronáutico, logrando con lo anterior economizar en el proyecto en general.

Si nos imaginamos por un momento, que el proyecto de esta rasante fuera horizontal, veríamos que los volúmenes de corte y terraplén serían elevadísimos y por lo consiguiente, la obra se encarecería considerablemente.

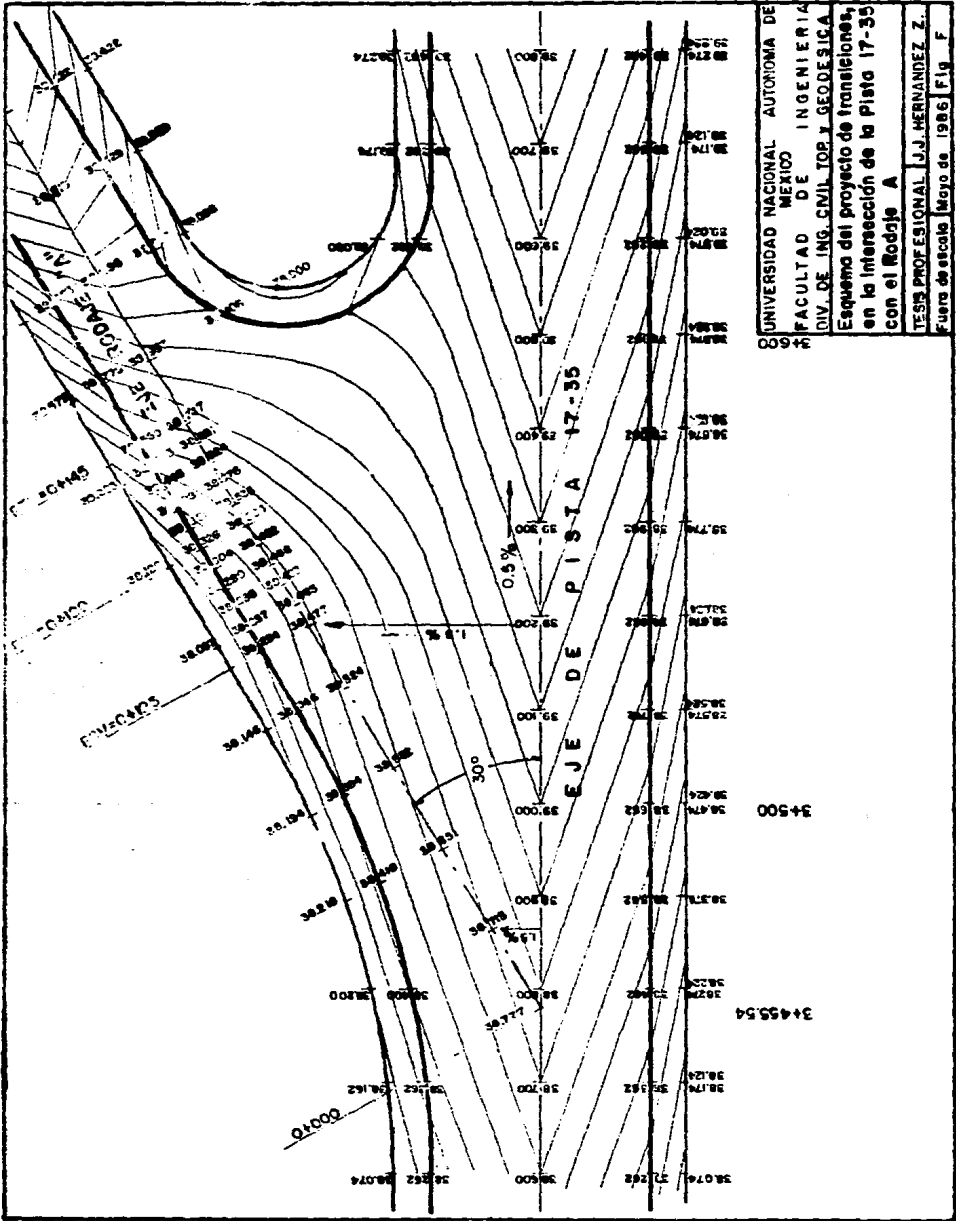
Hay casos de aeropuerto en construcción o ya construidos, en que las rasantes longitudinales son ideales y como ejemplo tenemos el nuevo aeropuerto de Durango, Dgo., en este caso la configuración del terreno lo permitió, estos terrenos son los del Valle de Guadiana, los cuales tienen una pendiente de 10 a 20 cm por kilómetro.

4.3 PROYECTO DE TRANSICIONES

Una vez proyectada la rasante, se procede a la configuración del plano de transiciones, es éste una planta de la pista dibujada a escala 1 : 1 000 y cadeneada a cada 20 m en el eje de la pista, en la unión de la pista con el margen y el margen con la franja de seguridad. Se le llama de transiciones porque como su nombre lo indica, todo cambio de pendiente entre una sección y otra debe ser gradual, o sea debe hacerse una transición.

Una zona muy importante de transición es la que forma la intersección del eje de la pista con el eje de cada uno de los rodajes. En la fig. F se muestra la intersección del rodaje A con la pista 17-35 indicando la zona de transición que se efectuó para el aeropuerto de Huejotzingo.

Todo lo anterior estriba en formar un plano en el cual estén contenidos el eje de la pista y el del rodaje. Esto se logra con la pendiente longitudinal de la pista, su pendiente transversal y el ángulo que forman el eje de la pista y el eje del rodaje. Se toma una distancia conocida sobre el eje de la pista a partir de la intersección con el rodaje (80 a 100 m) formándose un triángulo rectángulo con una línea normal al eje de la pista e intersectándose con el del rodaje. Como se conoce la pendiente transversal de la pista, y con los demás datos, es posible conocer todos los demás



elementos del triángulo como son los lados y pendientes. Observando la fig. F, se tiene que la pendiente longitudinal del eje del rodaje depende de la pendiente longitudinal de la pista y de la pendiente transversal de ésta.

De lo anterior se ve la importancia de proyectar una rasante de pista adecuada a estos cruces con las calles de rodaje.

Como las secciones transversales tanto de pistas como de rodaje deben ser a dos aguas para darle mayor rapidez a la salida del agua, se ve que las primeras secciones transversales del rodaje están a una sola agua debido precisamente a la transición que se forma en la intersección. Otra consideración de importancia en la zona de cruce, entre rodaje y pista, es evitar que llegue el agua de ésta a los rodajes, y para solucionar tal problema se proyecta unos escurrideros entre la pista y el rodaje.

El plano de transiciones configurado con sus curvas de nivel nos permite además apreciar, de un solo vistazo, en qué tramos existen pendientes fuertes o suaves, pues a mayor separación entre curvas de nivel habrá pendientes suaves y a menor separación habrá pendientes fuertes.

4.4 PROYECTO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION

Después de terminar el plano de transiciones, se procede al dibujo de las secciones transversales de construcción, ya que el plano de transiciones constituye de hecho el proyecto de las secciones.

Lo ideal sería proyectar las secciones transversales de construcción horizontales, pero entonces el agua no tendría salida, o lo que es peor, escurrirla a todo lo largo de la pista en caso que ésta tuviera una pendiente longitudinal y ninguna transversal. De aquí la necesidad de proporcionar una pendiente transversal para la salida rápida del agua, pero no debe ser una pendiente tan suave que permita encharcamientos, tampoco debe ser lo suficientemente fuerte que ocasione erosiones. Las pendientes transversales aplicadas en el proyecto son las ya expuestas en capítulos anteriores.

La pista y sus diferentes partes está dividida en tres fajas según sea su grado de compactación requerida, las fajas se numeran de izquierda a derecha en el sentido del cadenamiento 1, 2 y 3, véase fig. D del capítulo 3.

La faja más importante es la 2 que es la zona que subyace a la capa subrasante y al pavimento cuando la sección se encuentra en terraplén y se extiende hasta 30 m a ambos lados del eje de la pista o sea el ancho del pavimento más 7.5 m del margen o acotamiento, esta faja deberá tener un grado de compactación de 95 % .

En seguida figuran las franjas de seguridad que se extienden a partir del acotamiento hasta 150 m del eje de la pista a ambos lados, con un ancho a partir del margen de 120 m, estas fajas son la 1 y 3, y tendrán un grado de compactación del 90 %, o para casos específicos que requieran colocar el material y nivelarlo conforme al plano de transiciones, sin darle ninguna compactación especial, a este procedimiento se le denomina conformación . - En una misma faja puede existir corte y terraplén como se observa en la fig D.

Observando las secciones transversales de construcción se nota una línea discontinua paralela al terreno natural, esta línea representa el despalme o sea la capa de tierra vegetal y raíces que es necesario eliminar, dicho despalme será de 20 cm, únicamente se despalmará la faja 2 que es la que tiene un mayor grado de compactación.

4.5 PROYECTO DE CURVA MASA Y MOVIMIENTO DE TERRACERIAS

Para lograr la aproximación debida en el cálculo de los volúmenes de tierra, se obtuvo la elevación de la rasante tanto en las estaciones cerradas como en las intermedias en que se acusan cambios en la pendiente del terreno, asimismo, es conveniente el cálculo que se realizó de los puntos principales de las curvas verticales.

Obtenida la elevación de la rasante para cada una de estas estaciones consideradas en el proyecto, se determinó el espesor correspondiente dado -

por la diferencia que existe entre la elevación del terreno y de la rasante. Este espesor se consideró en el proyecto de la sección de construcción.

El cálculo de los volúmenes se hace con base a las áreas medidas en las secciones de construcción proyectadas y los movimientos de los materiales se analizan mediante un diagrama llamado de curva masa.

Para fines de presupuesto y pago de la obra, es preciso determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén, para lograr lo anterior, es necesario calcular el área de las distintas fajas consideradas en el proyecto de la sección de construcción.

Existen varios métodos para obtener las áreas, los tres siguientes son los más comunes :

- a) Método analítico
- b) Método gráfico
- c) Método del planímetro

El método del planímetro es el que se utilizó para obtener las áreas, por la rapidez en su operación y por la precisión que proporciona. De los diferentes tipos que existen en el mercado, el polar de brazo ajustable es el más empleado.

Teniendo en cuenta que las secciones de construcción se dibujaron en papel milimétrico a determinada escala, es norma práctica, antes de efectuar las mediciones de áreas, ajustar el planímetro para obtener las áreas correctas.

Una vez que se han determinado las áreas de las secciones de construcción, conforme a sus diferentes grados de compactación que comprenden las diversas fajas, se procede al cálculo de los volúmenes de tierras. Para tal efecto es necesario suponer que la pista está formada por una serie de prismoides tanto en corte como en terraplén.

Cada uno de estos prismoides está limitado en sus extremos por dos superficies paralelas verticales representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes y del terreno natural.

La S.C.T. no considera las correcciones prismoidales debido a la labor

riosidad que presenta su cálculo, considerando que las simplificaciones hechas al dibujar las secciones de construcción y los pequeños accidentes no considerados en el dibujo, pueden introducir errores muy superiores a la magnitud de tales correcciones.

Es por esto que se ha optado por calcular los volúmenes con la fórmula de las áreas medias, pero considerando el mayor número de secciones posibles, generalmente cuando el terreno es muy uniforme la cubicación se va calculando cada 20 m, sólo cuando el terreno presenta fuertes depresiones o irregularidades muy notables se cubicaran secciones de construcción intermedias.

La ecuación de las áreas medias es :

$$V = L \frac{(A_I + A_{II})}{2}$$

Donde :

L : Longitud entre la sección I y la sección II.

A_I : Area sección I

A_{II} : Area sección II

En el anexo 4.1 se presenta el área de cada una de las secciones consideradas y la obtención del volumen conforme a la ecuación anterior, en este anexo se presentan los demás elementos del cálculo para la obtención de las ordenadas de la curva masa, del aeropuerto de Huejotzingo, Pue.

Del mismo anexo, en las columnas de coeficiente de abundamiento o reducción (coef. de variabilidad volumétrica) aparecen cuatro columnas, esto es para el caso en que hubieren diferentes capas o estratos de material y cada uno estuviera afectado de diferente coeficiente de variabilidad volumétrica; para el proyecto que se realiza existe un sólo estrato.

El material de corte o de préstamo empleado en la formación de los terraplenes experimenta un cambio de volumen al pasar de su estado natural a formar parte del terraplén, es esencial el conocimiento de este cambio para la correcta determinación de los volúmenes y de los movimientos de tierra --

correspondiente.

Se le 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.

El coeficiente será mayor que la unidad, cuando con un metro cúbico de material obtenido en el corte o en préstamo pueda construirse un terraplén de volumen mayor; contrariamente, el coeficiente será menor que la unidad cuando el volumen del terraplén requiera un volumen mayor de material.

Los volúmenes de corte y terraplén están medidos geoméricamente en las secciones de construcción, por lo que el volumen del terraplén se obtiene compacto y su coeficiente siempre será la unidad al igual que el de corte en su estado natural.

Cuando una de las áreas sea igual a cero como en el caso de los puntos de paso de corte a terraplén o viceversa, el volumen será el área de la otra sección multiplicada por la semidistancia de las dos secciones.

Debe tenerse especial cuidado al observar la sección que resulte en los puntos de paso, pues cuando el terreno es inclinado, aunque en el eje no haya movimiento de material, sí existe área en corte y en terraplén en ese punto, una se promediará con la sección de atrás y otra con la de adelante.

Va calculados los volúmenes se llega a la parte final, que es la obtención de las ordenadas de la curva masa.

La curva masa es una gráfica dibujada en un sistema de ejes cartesianos, cuyas abscisas representan el cadenamamiento del eje de la pista y cuyas ordenadas representan volúmenes de corte o terraplén según sea la gráfica ascendente o descendente.

Es el método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados, y calcular el corte para llevar a cabo di

cha distribución .

La gráfica de la curva masa se dibuja junto con el perfil longitudinal del terreno natural y el proyecto de rasante, pues el cadenamiento debe coincidir, como se observa en el plano realizado para el aeropuerto de Huejotzingo. Entre estaciones consecutivas la gráfica subirá si hay corte (+) el número de metros cúbicos correspondiente al tramo; o bajará si hay terraplén (-).

Como es una gráfica acumulativa, siempre al marcar un volumen se hará partiendo del punto anterior a donde se llegó. La escala horizontal de la curva masa será la misma del perfil longitudinal y para la escala vertical de la gráfica de la curva masa se utilizó $1 \text{ cm} = 1\,000 \text{ m}^3$, pero cabe notar que se podría haber utilizado otra según los volúmenes acumulativos. Para la obtención de las ordenadas de la curva masa recurrimos al anexo antes mencionado, donde en las últimas columnas se encuentran tabulados los volúmenes afectados por el coeficiente de variabilidad volumétrica tanto de terraplén y de corte, ambos con sus respectivos signos, (-) y (+).

Partiendo de una ordenada origen, que es arbitraria, estos volúmenes obtenidos se van sumando algebraicamente a la ordenada origen, para ir obteniendo las ordenadas de cada estación y a la vez obtener la gráfica de la curva masa.

Independientemente de la forma como se construya la curva masa. resultarán las siguientes propiedades :

1. Entre los límites de una excavación, la curva crece de izquierda a derecha cuando hay corte y decrece cuando hay terraplén.
2. En las estaciones donde hay cambio de corte a terraplén habrá un máximo y viceversa.
3. Cualquier línea horizontal que corte la curva marcará puntos consecutivos entre los cuales habrá compensación, es decir, que entre ellos el volumen de corte sea igual que el de terraplén.
4. La diferencia de ordenadas entre dos puntos representa el volumen de terracerías dentro de la distancia comprendida entre los dos puntos.

5. Cuando la curva queda encima de la línea horizontal compensadora que se escoge para ejecutar la construcción, los acarreos serán hacia adelante y viceversa.
6. El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera compensadora, es el producto de un volumen por una distancia, y nos representa el volumen por la longitud de acarreo.

La D.G.A. clasifica los acarreos de acuerdo a la distancia que hay entre el centro de gravedad de la excavación y el centro de gravedad del terraplén a construir :

- a) Acarreo libre .- Es el que se efectúa dentro de una distancia de 20 m
- b) Sobreacarreo en m^3 estación .- Cuando la distancia entre los centros de gravedad está comprendida entre 20 y 120 m
- c) Sobreacarreo en m^3 hectómetro.- Cuando la distancia entre los centros de gravedad está comprendida entre 120 y 520 m
- d) Sobreacarreo en m^3 kilómetro.- Cuando la distancia entre los centros de gravedad exceda de 520 m

Al estudiarse un tramo pueden trazarse varias compensadoras, según resulte la curva masa obtenida, y entre una y otra quedarán tramos sin compensar, en estos tramos si la curva asciende habrá un volumen de excavación excedente, que si no hay donde emplearlo para relleno nos dará un sobrante, y si la curva descende indicará que hace falta material para el terraplén, - en estos casos debe traerse material de un banco de préstamo.

Los pagos de acarreos se harán multiplicando el volumen acarreado, por la distancia de acarreo expresada en m^3 est., m^3 hm ó m^3 km y por el precio unitario para cada una de estas unidades.

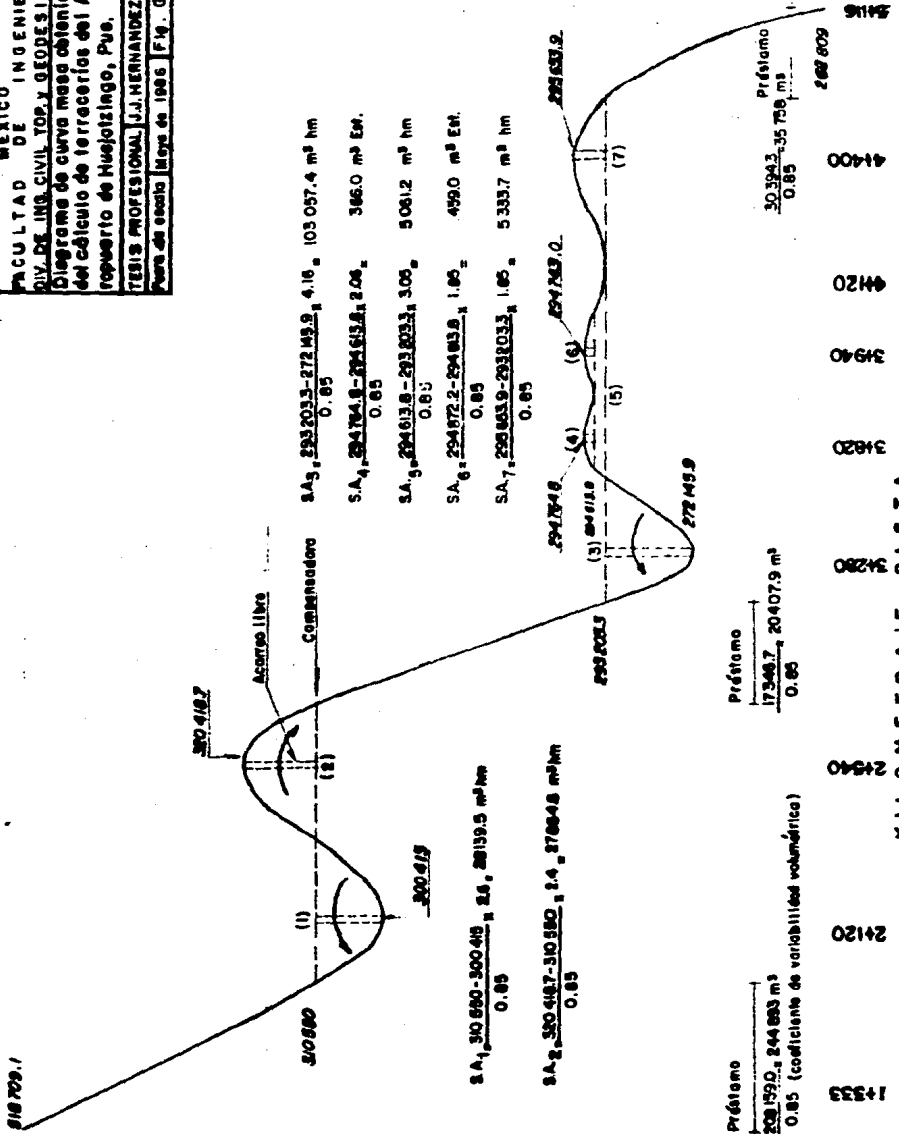
En la fig. G se presenta el esquema de un tramo de la curva masa que se obtuvo del proyecto del aeropuerto de Huejotzingo.

En aeropuertos los préstamos laterales no son permitidos puesto que en tiempo de lluvias las depresiones dejadas por las extracciones de material se llenan de agua dando origen a un posible creadero de aves, que son un peligro para la navegación aérea.

La distancia mínima especificada para la localización de bancos de ---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. DE ING. CIVIL, TOPOY. GEODESICA
Diagrama de curva masa obtenido
del cálculo de terracerías del As.
puerto de Huejotzingo, Pue.
TESIS PROFESIONAL J.J. HERNANDEZ Z.
Para el grado de Ingeniero en 1985 F. 14. 0

ORDENADAS CURVA MASA



SA₁ $\frac{310\ 680 - 300\ 048}{0.85} = 2.6$ 28139.5 m³ hm

SA₂ $\frac{330\ 417 - 310\ 590}{0.85} = 2.4$ 27064.8 m³ hm

SA₃ $\frac{294\ 913.8 - 293\ 823.3}{0.85} = 3.05$ 5061.2 m³ hm

SA₄ $\frac{294\ 754.8 - 294\ 513.8}{0.85} = 2.04$ 306.0 m³ hm

SA₅ $\frac{294\ 872.2 - 294\ 833.8}{0.85} = 1.85$ 459.0 m³ hm

SA₆ $\frac{299\ 633.9 - 293\ 803.3}{0.85} = 1.85$ 5333.7 m³ hm

SA₇ $\frac{294\ 754.8 - 294\ 513.8}{0.85} = 2.04$ 306.0 m³ hm

Préstamo
 $\frac{17348.7}{0.85} = 20407.9$ m³

Préstamo
 $\frac{200159.0}{0.85} = 244883$ m³

1+333 2+420 2+540 3+620 3+940 4+120 4+400 2+609

KILOMETRAJE PISTA

préstamo para las terracerías es de 500 m al eje de la pista y aguas abajo.

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente se llevó a cabo el proyecto de terracerías y curva masa para la pista 17-35 del aeropuerto de Huejotzingo Pue. cuyos datos obtenidos del proyecto se notaron en el tema Plano de Perfil y Cantidades de Obra.

5). CONCLUSIONES

El transporte aéreo en México cumple una función importante dada las características orográficas del país y las necesidades de comunicación a largas distancias, así como su participación en el fomento del turismo.

En particular el transporte aéreo alimentador y regional constituye un servicio esencial de comunicaciones y abastos a zonas marginadas, dada la dispersión de las poblaciones, ubicadas en un alto porcentaje en sierras. Permite su participación sustancial en la descentralización económica y administrativa, y en el ordenamiento del territorio nacional, al facilitar la distribución equilibrada de los asentamientos humanos y del ingreso.

Se debe entender entonces al aeropuerto, como un conjunto de elementos muy bien planeados encaminados a satisfacer la demanda del transporte aéreo, y no sólo como una mera estación, ya sea terminal o de partida.

Antes de iniciar los proyectos del sistema aeroportuario de Huejotzingo, Pue., fue necesario llevar a cabo una serie de estudios básicos encaminados a obtener la solución óptima del proyecto.

En el proyecto que se desarrolló en la presente tesis se apoyó como --partida en algunos estudios básicos entre los cuales se mencionan los estudios meteorológicos, topográficos, geológicos, hidrológicos y socioeconómico efectuados para tal efecto, con el propósito de adecuar el aeropuerto a las características físicas propias de la región, combinándolos con las especificaciones inherentes al proyecto y dar así las mejores condiciones de funcionamiento a la transportación aérea, teniendo presente que el primer contacto de la aeronave con tierra es precisamente con la pista del aeropuerto en cuestión.

La elaboración del proyecto se llevó a cabo siguiendo de cerca el procedimiento que utiliza la Dirección General de Aeropuertos dependiente de la S.C.T., referente al proyecto geométrico y de terracerías.

El proyecto se inició realizando el estudio topográfico del emplazamiento, en el cual se abarca toda la zona que comprende dicho emplazamiento.

Dentro del estudio mencionado se obtubieron las coordenadas geográficas y la orientación astronómica de la pista, todo lo anterior se realizó con el propósito de tener una ubicación precisa del aeropuerto y conocer todos sus accidentes topográficos con detalle.

Para el proyecto geométrico de la pista, fué necesario conocer los elementos del aeropuerto con que se relaciona la pista, así como conocer las características geométricas de las aeronaves que operarán, conocer el desarrollo del plan maestro para de esta manera proyectar con el conocimiento de las futuras modificaciones o ampliaciones a etapas futuras.

El proyecto de la rasante se llevo a cabo, tomando muy en cuenta lo estipulado en los capítulos 3 y 4, ajustando hasta donde fué posible la rasante a la configuración del terreno, tratando desde este momento de compensar volúmenes de corte y terraplén, al mismo tiempo se contemplaba otro aspecto importante que esta en función de la topografía, este aspecto consistió en obtener el sistema de drenaje más adecuado para el desalojo de aguas superficiales de manera que no se ocasionen inundaciones en la intersección de pista con calles de rodaje y plataformas.

Los resultados del proyecto referente a cantidades de obra como acarreos, sobreacarreos, préstamos etc., con relación exclusivamente a la faja No. 2, fueron presentados en el capítulo 4, en el anexo 4.1 se expone el cálculo de volúmenes y curva masa.

Con la presente tesis no se pretendió de ninguna manera exponer una obra completa sobre este tipo de proyecto, ya que esto representaría un volumen demasiado extenso en el cual serían involucrados los trabajos de varios especialistas en diversas materias, como se indico en su oportunidad.

Se pretendió solamente dar una idea somera sobre los pasos que tendrá que seguir el proyectista para llevar a buen fin su proyecto.

BIBLIOGRAFIA

OACI-DGA-SCT " Apuntes del curso de Ingeniería de Aeropuertos ". Septiembre-October 1985, México.

Montes de Oca A.M. " Topografía ". Cuarta edición 1970, Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México.

Toscano Ricardo. " Metodos Topográficos ". Decimocuarta edición 1974 Ed. Porrúa, México.

Horojeff Robert. " Planificación y Diseño de Aeropuertos ". Tercera edición 1983, Ed. Mc. Graw Hill.

S.C.T. " Proyecto Geométrico de Carreteras ". Primera edición 1977, México.

OACI " Aeródromos, Anexo 14 ". Octava edición Marzo de 1983.

Alonso Lerch F. " Apuntes de las clases de Astronomía Esférica y de Posición ". Facultad de Ingeniería, UNAM.

UNIVERSIDAD DE INGENIERIA CIVIL TOPOGRAFICA Y GEODESICA

CALCULO DE SASANTE Y CURVA MASA

Aeropuerto de: Huajitzingo, Pue.
Concepto: Pista 17-35, foja núm. 2 compactado al 95%
Artículo 4.1

ESTACION	ELEVACION TERRENO	TANG. VERTICAL	CORREC. ELEVACION	CORR. CURV. VER.	ESPESORES		A R E A S		A ₁ + A ₂	Terrellón	D/2	VOLUMENES		SUMA ALGEBRAICA DE LAS ORDENADAS DE LA CURVA
					Calos	Terrellón	Entrada	Terrellón				Entrada	Terrellón	
1+333	2 219.29				0.00		0.0							319.709.1
360	2 218.96				7.16		370.6		370.6		29.9			8709.1
1+400	2 218.96				6.94		363.2		733.8		10.0			502 662.0
420	2 219.13				7.31		382.7		749.9		"			7499.0
440	2 219.21				7.39		521.9		904.5		"			9045.0
460	2 219.19				7.97		614.7		1136.5		"			11365.0
480	2 219.24				7.65		647.7		1862.4		"			12624.0
1+500	2 219.44				7.64		630.0		1277.7		"			12777.0
520	2 219.64				7.60		500.0		1190.0		"			11900.0
540	2 220.11				7.29		428.5		986.5		"			9865.0
560	2 220.42				7.08		387.0		795.5		"			7955.0
580	2 220.21				7.51		363.7		730.7		"			7307.0
1+600	2 221.36				6.92		329.0		692.7		"			6927.0
620	2 221.45				6.99		346.3		677.3		"			6773.0
640	2 221.44				6.70		349.1		697.4		"			6974.0
660	2 221.64				6.62		370.9		720.0		"			7200.0
680	2 221.60				6.72		326.7		699.6		"			6996.0
1+700	2 222.09				6.59		335.1		664.8		"			6648.0
720	2 222.19				6.96		341.0		677.1		"			6771.0
740	2 222.93				6.74		319.3		660.3		"			6603.0
760	2 223.78				6.44		285.5		604.8		"			6048.0
780	2 223.88				5.74		278.4		663.9		"			6639.0
1+800	2 224.02				5.46		257.7		538.1		"			5341.0
820	2 224.78				4.86		242.1		499.8		"			4998.0
840	2 225.09				4.71		221.9		464.0		"			4640.0
860	2 225.43				4.53		209.8		431.7		"			4317.0
900	2 225.89				4.23		189.1		398.9		"			3989.0
1+900	2 226.29				3.79		165.6		354.7		"			3547.0
920	2 226.78				3.66		156.9		324.5		"			3245.0
940	2 227.34				3.26		134.6		293.5		"			2935.0
960	2 227.82				2.94		118.2		246.8		"			2468.0
980	2 228.15				2.79		105.8		218.0		"			2180.0
1+000	2 228.50				2.59		90.7		184.5		"			1845.0
1020	2 228.81				2.33		79.3		170.0		"			1700.0
1040	2 229.32				2.08		60.9		140.8		"			1408.0
1060	2 229.70				1.86		50.1		111.0		"			1110.0
1080	2 230.21				1.51	0.6	28.6		0.5	78.7	"	5.0	0.89	787.0
1100	2 230.42				1.48	1.6	23.6		2.1	92.2	"	21.0	322.0	922.0
1120	2 230.87				1.16	5.3	7.9		6.9	31.5	"	6.0	315.0	315.0
1140	2 231.05				1.12	10.4	4.5		157.0	124.0	"	133.5	124.0	133.5
1160	2 231.63				0.66	21.6			342	4.5	"	342.0	450	450
1180	2 232.00				0.32	43.8			776		"	776.0		776.0
1200	2 232.12				0.31				907		"	907.0		907.0
1220	2 232.63				0.20	46.9			108.6		"	108.6		108.6
1240	2 232.63				0.07	58.9					"			

ESTACION C.C.C.O.	ELEVACION TERRENO	TANG. VERTICZ. Pend.	CORREC. Coef.	CURVAS	ELEVACION ESPESORES		A. R. E. A. S.		A1 + A2 Estrato 1	0/2	VOLUMENES		COEF. DE ABUND. Estrato 1	TOTAL VOLUMEN AFIRMANDO CORRECCION	CANTIDAD M. CUBICOS	CANTIDAD M. CUBICOS
					RADIANTE	Corte	Entero 1	Terraplen 1			Entero 1	Terraplen 1				
240	2 232.53				0.07	599				10.0	1 256.0		0.98	1 069.3		302 999.9
240	2 232.71					689		125.6			1 366.0			1 182.6		304 069.8
240	2 232.86					697		135.6			1 488.0			1 313.9		305 221.4
240	2 233.07					731		142.8			1 688.0			1 443.9		306 485.2
2 1 300	2 233.32					890		199.1			1 688.0			1 443.9		307 779.1
340	2 233.33					848		179.6			1 746.0			1 484.1		310 708.5
340	2 233.63					998		174.2			1 782.0			1 497.7		312 204.2
340	2 233.70					864		174.4			1 744.0			1 482.4		313 686.6
2 1 800	2 233.92					867		177.7			1 777.0			1 510.5		315 197.1
420	2 233.79					740		165.7			1 697.0			1 408.8		316 626.6
440	2 233.66					689		142.8			1 426.0			1 213.9		317 819.4
460	2 233.65					619		51.2			1 180.0			1 003.0		318 222.4
460	2 233.43					344		87.6	1.9		676.0	16.0	1.0	744.6	18.0	319 949.0
2 1 700	2 233.36					297		66.1	4.9		610.0	49.0		561.9	49.0	320 081.9
2 1 500	2 233.28					203		6.8	9.9		502.0	99.0		426.7	99.0	320 329.6
540	2 232.95					149		15.6	22.4		394.0	224.0		300.9	224.0	320 466.6
550	2 232.93					108		1.9	34.5		397.0	345.0		218.5	345.0	320 540.0
560	2 232.66					102		6.8	27.1		174.0	460.0		82.5	460.0	320 627.9
2 1 600	2 232.61					31		45.4	9.7	72.5	97.0	783.0		82.5	725.0	319 385.4
620	2 232.72					149		51.4	4.2	96.8	42.0	980.0		35.7	960.0	316 451.1
640	2 232.23					247		66.9	1.1	118.3	11.0	1 183.0	0.89	9.4	1 183.0	317 270.5
670	2 232.46					234		76.5		145.4		1 454.0		1 454.0	1 454.0	315 823.0
670	2 232.19					271		94.6		173.1		1 731.0		1 731.0	1 731.0	314 094.5
2 1 700	2 232.33					264		98.1		192.7		1 927.0		1 927.0	1 927.0	312 167.5
720	2 232.25					211		59.8		193.9		1 520.0		1 520.0	1 520.0	310 229.5
740	2 232.45					275		97.2		193.0		1 930.0		1 930.0	1 930.0	308 279.5
760	2 232.43					247		104.7	201.9		2 019.0			2 019.0	2 019.0	306 203.6
760	2 232.74					239		95.1		199.8		1 930.0		1 930.0	1 930.0	304 521.5
2 1 800	2 232.11					234		87.8		182.9		1 829.0		1 829.0	1 829.0	302 453.5
820	2 232.78					258		92.7		180.5		1 805.0		1 805.0	1 805.0	300 647.5
840	2 233.34					282		76.0		170.7		1 707.0		1 707.0	1 707.0	298 940.5
860	2 233.57					233		83.9		141.9		1 419.0		1 419.0	1 419.0	297 561.5
880	2 233.45					248		73.3		137.2		1 372.0		1 372.0	1 372.0	296 147.5
2 1 900	2 233.62					238		74.8		150.1		1 501.0		1 501.0	1 501.0	294 640.5
920	2 233.61					229		70.1		146.9		1 469.0		1 469.0	1 469.0	293 179.5
940	2 234.03					217		63.1		133.2		1 332.0		1 332.0	1 332.0	291 647.5
960	2 234.02					248		65.4		166.5		1 665.0		1 665.0	1 665.0	290 562.5
960	2 234.02					238		70.0		135.4		1 354.0		1 354.0	1 354.0	289 208.5
3 1 000	2 234.30					220		66.3		134.3		1 343.0		1 343.0	1 343.0	287 695.5
050	2 234.27					233		69.5		133.8		1 338.0		1 338.0	1 338.0	286 527.5
060	2 234.45					229		66.9		134.4		1 344.0		1 344.0	1 344.0	285 183.5
060	2 236.43					237		74.1		139.0		1 390.0		1 390.0	1 390.0	283 793.5
060	2 234.59					232		71.3		143.4		1 434.0		1 434.0	1 434.0	282 339.5
3 1 100	2 234.68					236		75.6		146.9		1 469.0		1 469.0	1 469.0	280 670.5
120	2 234.60					220		67.7		143.3		1 433.0		1 433.0	1 433.0	279 437.5
140	2 236.00					220		63.9		131.6		1 316.0		1 316.0	1 316.0	278 121.5
160	2 235.00					236		70.9		134.7		1 347.0		1 347.0	1 347.0	276 774.5
160	2 235.36					204		56.4		125.2		1 252.0		1 252.0	1 252.0	275 522.5
3 1 200	2 235.95					191		41.5		102.9		1 029.0		1 029.0	1 029.0	274 438.5

ESTACION	ELEVACION (MANG. VERTICAL)		CORREC. CURNER	CORRECCIONES		A	R	E	S	A ₁	A ₂	D/2	VOLUMENES		COEF. DE FUND. TOTAL VOLUMEN		APUNTADO	SUMA ALGABRICA
	TERRENO	Pend.		Conto	ERRATO 1								ERRATO 2	ERRATO 1	ERRATO 2	ERRATO 1		
3+200	2 235.39	1.91		2 237.50	49.5											1.0		234 493.9
200	2 235.84	1.76		2 237.60	36.2					83.4	100		645.0				694.0	273 639.5
240	2 235.98	1.72		2 237.70	33.1					70.0	"		700.0				700.0	273 938.5
260	2 236.19	1.61		2 237.80	27.9					61.0	"		610.0				610.0	273 328.5
280	2 236.79	1.61		2 237.90	1.1					31.9	"		48.0				34.8	273 047.1
3+300	2 237.28	0.72		2 238.00	4.3					4.3	40		226.0			1.0	40.0	272 992.2
360	2 237.49	0.61		2 238.10	28.0					48.3	"		463.0				393.6	272 692.8
340	2 237.67	0.55		2 238.20	35.3					62.3	"		633.0				598.1	273 130.9
360	2 237.96	0.31		2 238.30	45.1					67.4	"		674.0				668.4	273 814.3
380	2 238.16	0.24		2 238.40	37.4					97.5	"		808.0				828.9	274 643.1
3+400	2 238.51	0.01		2 238.50	54.0					116.3	"		1164.0				899.4	275 632.5
420	2 238.54	0.06		2 238.60	63.6					129.6	"		1296.0			1.0	101.8	276 732.1
440	2 238.76	0.05		2 238.70	72.0					137.6	"		1376.0				1168.6	277 903.7
460	2 238.94	0.24		2 239.00	79.8					149.8	"		1498.0				1273.3	279 177.0
400	2 239.09	0.06		2 239.00	74.8					154.8	"		1548.0				1344.1	280 491.1
3+500	2 239.34	0.34		2 239.00	86.9					161.7	"		1617.0				1374.0	281 865.6
520	2 239.21	0.11		2 239.10	86.9					161.7	"		1617.0				1374.0	283 342.9
540	2 239.50	0.10		2 239.20	71.9					158.8	"		1588.0				1369.8	284 692.7
560	2 239.30	0.02		2 239.30	89.7					141.6	"		1416.0				1203.6	285 702.3
580	2 239.42	0.05		2 239.40	86.3					136.0	"		1360.0				1188.0	287 028.3
3+600	2 239.47	0.03		2 239.50	85.8					132.1	"		1321.0				1122.9	288 172.2
620	2 239.64	0.04		2 239.60	88.2					134.0	"		1340.0				1139.0	289 314.2
600	2 239.95	0.15		2 239.70	93.8					122.0	"		1220.0				1037.0	290 351.2
650	2 239.95	0.29		2 239.80	48.7					103.6	"		1036.0				879.6	291 231.0
650	2 239.76	0.14		2 239.90	93.2					108.9	"		1089.0				923.7	292 156.7
3+700	2 240.08	0.06		2 240.00	96.3					117.3	"		1173.0				998.8	293 153.5
720	2 239.47	0.63		2 247.10	25.3					83.6	"		836.0				710.8	293 820.1
740	2 239.31	0.89		2 240.20	13.4					36.7	0.3		367.0			1.0	329.0	294 182.1
760	2 239.41	0.89		2 240.30	11.5					24.9	0.7		249.0				211.7	294 266.9
780	2 239.47	0.93		2 240.40	9.9					21.4	1.4		214.0				181.0	294 327.7
3+800	2 239.64	0.95		2 240.50	11.7					0.2	1.8	"	16.0				183.6	294 738.3
820	2 239.68	1.12		2 240.60	12.2					4.2	7.1		152.0				135.2	294 792.5
840	2 239.37	1.13		2 240.70	11.3					4.1	8.3		83.0				70.6	294 725.1
860	2 239.71	1.09		2 240.80	10.9					5.2	9.3		93.0				79.1	294 874.2
880	2 239.75	1.12		2 240.90	10.2					5.0	4.5		102.0				66.7	294 868.9
3+900	2 239.79	1.28		2 241.00	12.8					7.3	7.4		74.0				62.9	294 613.8
820	2 240.23	0.87		2 241.10	24.1					0.1	26.3		263.0				223.3	294 765.1
840	2 240.17	1.03		2 241.20	9.8					5.3	27.9		279.0				237.2	294 946.3
960	2 240.09	1.22		2 241.30	3.2					13.0	7.0		70.0				59.5	294 820.8
980	2 240.20	1.20		2 241.40	12.0					1.6	4.8		48.0				40.8	294 605.6
4+000	2 240.39	1.17		2 241.50	11.7					1.5	10.4		31.0				26.4	294 402.0
020	2 240.07	1.13		2 241.60	11.3					1.5	10.2		30.0				25.5	294 221.0
040	2 240.44	1.26		2 241.70	13.4					3.0	20.6		39.0				29.0	294 014.2
060	2 240.40	1.31		2 241.80	13.1					1.7	31.0		17.0				14.5	293 718.7
080	2 240.55	1.55		2 241.90	13.5					1.9	32.9		18.0				15.3	293 402.0
4+100	2 240.52	1.08		2 242.00	10.8					2.4	20.3		39.0				33.2	293 233.2
120	2 241.10	1.00		2 242.10	10.0					4.9	3.6		73.0				62.1	293 203.3
140	2 241.36	0.84		2 242.20	6.4					1.2	11.3		113.0				96.1	293 231.4
160	2 241.32	0.78		2 242.30	10.5					16.9	1.2		189.0				143.7	293 175.1
200	2 241.50	1.22		2 242.40	1.5					4.7	12.0		122.0			1.0	47.0	293 420.1

ESTACION	LEVACION TERCENO	TRAB. PEND.	TRAB. VERTICAL	COLTR. CORR. CURVTR.	CORREC. PASANTE	ESPEORES	A R E A S	A 1 + A 2	D/2	VOLUMENES	COEF. DE ABUND.	TOTAL VOLUMEN	ABUNDANCIA	
							Entrada - 1	Terrablin.	Entrada - 1	Terraplin.	Entrada - 1	Terraplin.	Entrada - 1	
							Entrada - 1	Entrada - 1		Entrada - 1	Entrada - 1	Terraplin.	Entrada - 1	
241.42	241.42	1	242.50	242.50	1.00	22	3.1	8.7	7.8	76.0	0.88	74.0	74.0	
241.01	241.01	1	242.00	242.00	0.92	7.1	0.8	14.3	5.9	143.0	39.0	121.8	39.0	
241.78	241.78	1	242.70	242.70	0.86	18.4	0.8	25.8	1.6	266.0	18.0	260.1	19.0	
242.00	242.00	0	242.80	242.80	0.80	11.2		30.0	0.8	300.0	8.0	295.0	6.0	
242.83	242.83	0	242.83	242.83	0.81									
242.90	242.90	0	242.90	242.90	0.84	12.6	0.1	33.8	0.1	238.0	1.0	238.3	1.0	
242.98	242.98	0	242.98	242.98	0.84	12.2	0.1	24.8	0.2	248.0	2.0	210.8	2.0	
242.29	242.29	7	243.10	243.10	0.76	17.3		23.5	0.1	285.0	1.0	250.8	1.0	
242.20	242.20	0	243.20	243.20	0.81	19.1		32.4		324.0		275.4		
243.11	243.11	0	243.11	243.11	0.70	19.9		34.9		348.0		296.7		
243.40	243.40	0	243.40	243.40	0.78	19.8		35.6		356.0		302.6		
243.20	243.20	0	243.20	243.20	0.84	8.1	1.0	23.9	1.0	239.0	10.0	203.2	10.0	
243.23	243.23	0	243.23	243.23	1.27	0.1	11.3	8.5	18.3	82.0	13.0	69.7	13.0	
243.18	243.18	0	243.18	243.18	1.39	0.3	13.2	0.4	24.3	4.0	243.0	3.4	249.5	3.4
243.17	243.17	0	243.17	243.17	1.31	0.3	13.6	0.6	26.8	6.0	268.0	5.1	263.0	5.1
243.10	243.10	0	243.10	243.10	1.25	0.9	16.2	1.2	27.2	12.0	272.0	10.2	272.0	10.2
243.08	243.08	0	243.08	243.08	1.20		16.3	0.0	30.9	9.0	299.0	0.81	299.0	0.81
243.02	243.02	0	243.02	243.02	1.34		19.2		34.3		345.0		345.0	
243.06	243.06	0	243.06	243.06	1.41									
243.54	243.54	1	243.54	243.54	1.42		21.6		39.8		398.0		398.0	
243.90	243.90	1	243.90	243.90	1.40		23.6		47.2		472.0		472.0	
243.78	243.78	1	243.78	243.78	1.51		28.7		58.3		583.0		583.0	
243.70	243.70	1	243.70	243.70	1.60		34.5		64.3		643.0		643.0	
243.62	243.62	1	243.62	243.62	1.73		41.4		79.7		797.0		797.0	
243.54	243.54	1	243.54	243.54	1.77		42.5		83.9		839.0		839.0	
243.45	243.45	1	243.45	243.45	1.72		43.7		86.2		862.0		862.0	
243.40	243.40	1	243.40	243.40	1.79		44.8		88.5		885.0		885.0	
243.32	243.32	1	243.32	243.32	1.85		51.4		95.2		952.0		952.0	
243.22	243.22	1	243.22	243.22	1.93		55.4		104.8		1048.0		1048.0	
243.16	243.16	1	243.16	243.16	2.00		68.0		120.4		1204.0		1204.0	
243.06	243.06	1	243.06	243.06	2.02		62.2		127.2		1272.0		1272.0	
243.00	243.00	1	243.00	243.00	2.10		64.5		126.7		1267.0		1267.0	
242.90	242.90	1	242.90	242.90	2.28		74.1		138.6		1386.0		1386.0	
242.82	242.82	1	242.82	242.82	2.44		68.9		144.0		1440.0		1440.0	
242.76	242.76	1	242.76	242.76	2.63		90.0		159.3		1593.0		1593.0	
242.58	242.58	1	242.58	242.58	2.41		83.0		173.0		1730.0		1730.0	
242.51	242.51	1	242.51	242.51	2.41		79.8		162.8		1628.0		1628.0	
242.42	242.42	1	242.42	242.42	2.53		76.0		159.8		1598.0		1598.0	
242.34	242.34	1	242.34	242.34	2.40		84.1		169.9		1699.0		1699.0	
242.13	242.13	1	242.13	242.13	2.20	01	90.6	0.1	164.7	1.0	1647.0	0.85	1647.0	0.85
242.14	242.14	1	242.14	242.14	2.04	02	87.7	8.3	148.3		1483.0		1483.0	
242.10	242.10	1	242.10	242.10	2.01	26.2	57.7	34.4	125.4	34.0	1254.0		1254.0	
242.02	242.02	1	242.02	242.02	1.76	18.9	90.8	46.0	108.6	49.0	1086.0		1086.0	
242.04	242.04	1	242.04	242.04	1.44	6.3	66.6	25.1	77.7		777.0		777.0	
242.00	242.00	1	242.00	242.00	1.47	0.4	33.7	6.7	60.5		605.0		605.0	
242.00	242.00	1	242.00	242.00	1.57		33.9	0.4	67.6		676.0		676.0	
242.06	242.06	1	242.06	242.06	1.76		48.5	00.4	80.4	4.0	804.0		804.0	
242.00	242.00	1	242.00	242.00	0.00		0.0		46.5	8.0	465.0		465.0	