



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL TICOMAN  
"INGENIERÍA AERONÁUTICA"**



"DISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS ILS PARA EL AEROPUERTO  
"INTERNACIONAL DE GUANAJUATO"

**TESINA**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO EN AERONÁUTICA**

**P R E S E N T A N:**

HERALIO CASTRO CRUZ  
CARLOS RODRIGO CISNEROS JIMENEZ  
OMAR JUAN HUERTA  
JOSELIT LEON MENDEZ

**ASESORES:**

M. EN C. MARIO ALFREDO BATTA FONSECA  
ING. JUAN MARTIN FUENTES MANCILLA

MEXICO, D.F.

2009



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

### UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: CURRICULAR  
DEBERÁ PRESENTAR: LOS CC. PASANTES:  
**CASTRO CRUZ HERALIO**  
**CISNEROS JIMÉNEZ CARLOS RODRIGO**  
**JUAN HUERTA OMAR**  
**LEÓN MÉNDEZ JOSELIT**

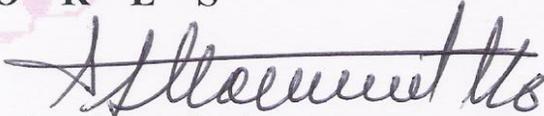
**“DISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS ILS PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUANAJUATO”**

	<b>ÍNDICE</b>
	<b>LISTA DE FIGURAS</b>
	<b>LISTA DE TABLAS</b>
	<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>MARCO HISTÓRICO</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DEL ILS</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS ILS</b>
	<b>APROXIMACIÓN FINAL</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS ILS APROXIMACIÓN FINAL PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUANAJUATO</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>
	<b>LISTADO DE SIGLAS</b>
	<b>GLOSARIO</b>

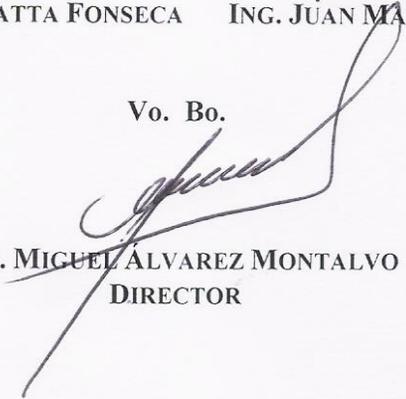
México, DF., a 24 de agosto de 2009.

### A S E S O R E S

  
M. EN C. MARIO ALFREDO BATA FONSECA

  
ING. JUAN MARTÍN FUENTES MANCILLA

Vo. Bo.

  
ING. MIGUEL ALVAREZ MONTALVO  
DIRECTOR



I. P. N.  
ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD TICOMÁN  
DIRECCIÓN

## INDICE

### **CAPÍTULO I MARCO HISTORICO**

	<b>Página</b>
1.1 Planteamiento del problema.	1
1.2 Tema de tesina.	15
1.3 Objetivo general.	15
1.4 Objetivos particulares.	15
1.5 Justificación de la investigación.	16
1.6 Alcance.	16

### **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DEL ILS**

2.1 Antecedentes de la navegación.	17
2.2 Origen del ILS.	23
2.3 Operaciones de baja visibilidad.	28
2.4 Especificaciones para el ILS.	29
2.5 Categorías del ILS.	37
2.6 Relación del ILS con otros sistemas.	47
2.7 PANS-OPS parte III procedimientos de aproximación.	49
2.8 TERPS procedimientos de aproximación ILS.	49

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.1 Metodología.	51
------------------	----

### **CAPÍTULO IV REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS ILS, APROXIMACIÓN FINAL**

4.1 Procedimientos específicos de aproximación por instrumentos (OACI). Margen de franqueamiento de obstáculos del tramo de precisión	55
4.2 Aplicación de los criterios relativos a las superficies de evaluación de obstáculos (OAS).	57
4.3 Procedimientos de aproximación frustrada OACI.	60
4.4 Procedimientos segmento final FAA.	65
4.5 Procedimientos de aproximación frustrada FAA.	73

**CAPÍTULO V DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS ILS APROXIMACIÓN FINAL  
PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUANAJUATO**

5.1	Diseño de procedimientos ILS aproximación final OACI.	79
5.2	ILS básicas.	80
5.3	Aproximación frustrada OACI.	91
5.4	Diseño de procedimientos ILS aproximación final (FAA).	98
5.5	Aproximación frustrada FAA.	106

<b>CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	109
<b>CONCLUSIONES</b>	113
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	115
<b>LISTADO DE SIGLAS</b>	117
<b>GLOSARIO</b>	121
<b>APÉNDICE A</b>	129

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
Nº 1	Aeropuertos que cuentan con ILS.	2
Nº 2	Mapa de la República Mexicana.	3
Nº 3	Orografía de Guanajuato.	4
Nº 4	Terminal del Aeropuerto Internacional de Guanajuato.	6
Nº 5	Rutas con origen en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato.	7
Nº 6	Vista del Aeropuerto Internacional de Guanajuato.	10
Nº 7	Aeronave crítica.	11
Nº 8	Pista del Aeropuerto Internacional de Guanajuato.	12
Nº 9	Vista aérea del aeropuerto MMLO.	14
Nº 10	Esquema de un sistema de aterrizaje.	25
Nº 11	Sistema de senda de planeo equiseñal.	26
Nº 12	Sistema de aterrizaje por instrumentos denominada SCS-51.	27
Nº 13	Amplitud máxima del localizador.	31
Nº 14	Sistema de iluminación CAT I.	34
Nº 15	Iluminación de pista categoría II Y III.	37
Nº 16	Condiciones meteorológicas visuales ideales.	39
Nº 17	Condiciones meteorológicas categoría I (RVR = no inferior a 550 m).	39
Nº 18	Condiciones meteorológicas categoría II (RVR = no inferior a 350 m).	39
Nº 19	Condiciones meteorológicas categoría IIIA (RVR no inferior a 200 m).	40
Nº 20	Condiciones meteorológicas categoría IIIB (RVR inferior a 200m pero no inferior a 50 m).	40
Nº 21	Condiciones meteorológicas categoría IIIC (sin RVR).	40
Nº 22	Cobertura de localizador.	43
Nº 23	Cobertura de localizador en azimut.	44
Nº 24	Intersección de los planos "X" y "Y".	44
Nº 25	Cobertura de trayectoria de planeo.	46
Nº 26	Diagrama de flujo.	53
Nº 27	Divergencia del ILS básicas.	58
Nº 28	Fórmulas para el cálculo de Z ILS básicas.	58
Nº 29	Programa OAS.	60
Nº 30	Datos de ayudas para la navegación de las categorías ILS.	61
Nº 31	Datos de ayudas para la navegación del ángulo de trayectoria de planeo.	61
Nº 32	Datos de ayudas para la navegación de RDH del ángulo de trayectoria de planeo.	61
Nº 33	Datos de ayudas para la navegación de anchura del rumbo en THR.	62
Nº 34	Datos de aproximación frustrada.	62
Nº 35	Datos de las categorías de aeronaves.	62
Nº 36	Constantes del OAS.	63

Nº 37	Coordenadas de plantillas OAS.	63
Nº 38	Cálculos de alturas OAS.	63
Nº 39	Datos del programa OAS generados como ejemplo.	64
Nº 40	Datos generados por el programa OAS.	64
Nº 41	Zona libre de obstáculos de precisión.	65
Nº 42	Secciones transversales del segmento final.	65
Nº 43	Desplazamiento final.	66
Nº 44	Origen de la pendiente de la OCS cuando $GPI < 954$ ft.	67
Nº 45	POFA.	68
Nº 46	OCS "W".	68
Nº 47	OCS "X".	69
Nº 48	OCS "Y".	71
Nº 49	Aproximación Frustrada, Secciones 1a, 1b, 1c.	73
Nº 50	Sección 1a.	74
Nº 51	Penetración en la sección 1a OCS (ajuste).	75
Nº 52	Sección 1b.	76
Nº 53	Penetración de la sección 1b OCS.	77
Nº 54	Sección 1c.	78
Nº 55	Cálculo de divergencia en 3000 m.	80
Nº 56	Cálculo de altura en 3000 m.	81
Nº 57	Cálculo de divergencia en 9600 m.	81
Nº 58	Cálculo de altura en 9600 m.	82
Nº 59	Cálculo de divergencia en 10000 m.	82
Nº 60	Cálculo de divergencia en 10200 m.	83
Nº 61	Cálculo de altura en 12000 m.	83
Nº 62	Cálculo de distancia en "Y" a partir del eje de la pista.	84
Nº 63	ILS básicas (OACI) para aeropuerto MMLO.	84
Nº 64	ILS básicas alturas (OACI) del aeropuerto MMLO.	85
Nº 65	Datos generados por el programa para el aeropuerto MMLO.	92
Nº 66	Aproximación frustrada del aeropuerto MMLO.	93
Nº 67	Alturas de aproximación frustrada del aeropuerto MMLO.	93
Nº 68	Localización del obstáculo 1 en aproximación frustrada (OACI).	93
Nº 69	Localización del obstáculo 2 en aproximación frustrada (OACI).	94
Nº 70	Localización del obstáculo 3 en aproximación frustrada (OACI).	94
Nº 71	Localización del obstáculo 4 en aproximación frustrada (OACI).	94
Nº 72	Localización del obstáculo 5 en aproximación frustrada (OACI).	94
Nº 73	Localización del obstáculo 6 en aproximación frustrada (OACI).	94
Nº 74	Localización del obstáculo 7 en aproximación frustrada (OACI).	95
Nº 75	Localización del obstáculo 8 en aproximación frustrada (OACI).	95
Nº 76	Localización del obstáculo 9 en aproximación frustrada (OACI).	95
Nº 77	Cálculo de GPI.	98

Nº 78	Cálculo de las pendientes de superficie X a 200 ft después del RWT.	98
Nº 79	Cálculo de las pendientes de superficie Y a 200 ft después del RWT.	99
Nº 80	Cálculo de las pendientes de superficie X a 5200 ft después del RWT.	99
Nº 81	Cálculo de las pendientes de superficie Y a 200 ft después del RWT.	100
Nº 82	Zona libre de obstáculos de precisión del aeropuerto MMLO.	100
Nº 83	Divergencia de las superficies W, X, Y del aeropuerto MMLO.	101
Nº 84	Alturas de las superficies W, X, Y del aeropuerto MMLO.	101
Nº 85	Cálculo de Y.	106
Nº 86	Aproximación frustrada.	106
Nº 87	Alturas de aproximación frustrada.	107
Nº 88	Evaluación de obstáculos superficies ILS básicas (OACI).	109
Nº 89	Evaluación de obstáculos segmento final (FAA).	109
Nº 90	Evaluación de obstáculos aproximación frustrada (OACI).	110
Nº 91	Evaluación de obstáculos aproximación frustrada (FAA).	111

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
Nº 1	Altitudes máximas y mínimas.	4
Nº 2	Aerolíneas que operan en Guanajuato.	7
Nº 3	Vuelos domésticos.	8
Nº 4	Vuelos internacionales.	8
Nº 5	Aeronaves que operan en Guanajuato.	9
Nº 6	Categoría de aeronave respecto a la envergadura [6].	55
Nº 7	Obstáculos de superficies ILS básicas.	89
Nº 8	Coordenadas de aproximación frustrada.	92
Nº 9	Obstáculos de aproximación frustrada (OACI).	96
Nº 10	Obstáculos del segmento final en ft (FAA).	104
Nº 11	Obstáculo en aproximación frustrada (FAA).	107
Nº 12	Comparativa aproximación final.	110
Nº 13	Comparativa aproximación frustrada.	111

## **INTRODUCCIÓN**

El ILS o sistema de aterrizaje instrumental, es un procedimiento que permite que un avión sea guiado con precisión durante la aproximación a la pista de aterrizaje y, en algunos casos, a lo largo de la misma, ya que en esos momentos es indispensable tener referencias visuales del entorno próximo y en particular del terreno. De ahí la necesidad de disponer de procedimientos, ayudas visuales y por instrumentos que permitan terminar el vuelo con total seguridad.

Debido a todos estos factores hacen a los procedimientos de aterrizaje (FAA: Federal Aviation Administration, y OACI: Organización de Aviación Civil Internacional) el objeto de estudio de este trabajo. También cabe mencionar que todos los aeropuertos en el país que cuentan con este sistema de aterrizaje por instrumentos, están bajo la normatividad FAA.

El tema es de importancia en México porque en el país son pocos los aeropuertos que cuentan con este sistema, algunas de sus ventajas es que se pueden realizar aproximaciones y aterrizajes en condiciones nulas de visibilidad.

En este texto se mostrará las ventajas de los procedimientos FAA (TERPS: Procedimiento Terminal Instrumental) y OACI (PANS-OPS: Procedimientos para los servicios de navegación aérea-operación de aeronaves) que ofrece para el caso en particular del Aeropuerto Internacional de Guanajuato (IATA: BJX, OACI: MMLO).

La relevancia de dicho trabajo radica que en el país no existe algún documento en donde indique cual de los dos procedimientos, ya sea el de la FAA (TERPS) o el de OACI (PANS-OPS), es factible aplicar en los aeropuertos del territorio de México, tomando en cuenta todas las

condiciones predominantes (visibilidad, temperatura, altitud, obstáculos, vientos etc.)

Para que sea más fácil de comprender la importancia de este texto, se menciona de manera concisa y breve cada uno de los puntos que abarca cada capítulo.

Se tomo en cuenta una introducción, donde se muestra el problema de las aproximaciones, aterrizajes y los factores en los que se involucran dichas fases de vuelo.

En el capítulo I se muestra nombre del tema, objetivo general, objetivos particulares, justificación y el alcance. Además de las características del Estado de Guanajuato como la economía, ubicación, clima y relieve. Del aeropuerto aspectos como la ubicación, características técnicas, orografía, tráfico domestico e internacional, aeronave crítica, aerolíneas que operan actualmente. También la historia y evolución del ILS en el mundo y en México. Ventajas y desventajas del Estado y del ILS para este aeropuerto.

Dentro del capítulo II, se realiza una síntesis de antecedentes de la navegación, origen del ILS, funcionamiento y subsistemas que lo conforman, además de la evolución de este sistema a lo largo del tiempo y cada una de sus categorías. Se muestra todo el marco teórico en el cual se va a sustentar la investigación como el Anexo 10 "Telecomunicaciones Aeronáuticas" de OACI Volumen 1 (Radio ayudas a la navegación), entre otros documentos e incluso se toma como referencia algunas tesis desarrolladas con anterioridad dentro de la carrera de Ingeniería en Aeronáutica del IPN las cuales mencionan, algunos aspectos que intervienen con el ILS.

En el capítulo III, se define la metodología en la cual se basa el desarrollo del tema, puntualizando de manera muy simple lo que se realizó.

En el capítulo IV, se realiza una síntesis específica de los requerimientos básicos para el diseño del procedimiento de aproximación final para el ILS.

En el capítulo V se detalla paso a paso el diseño de los procedimientos de aproximación final y aproximación frustrada del ILS bajo la normatividad de la OACI y de la FAA en la cabecera 13 para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato, Se analiza los obstáculos dentro de las superficies correspondientes a cada segmento.

En el capítulo VI se muestra las diferencias del diseño de los procedimientos de aproximación final y aproximación frustrada del ILS para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato (cabecera 13) entre la normatividad de la OACI y la FAA.

En las conclusiones se determina cual de las dos normatividades analizadas resulta más viable implementar en dicho aeropuerto.



# CAPÍTULO I

# MARCO HISTORICO

---

## 1.1 Planteamiento del problema

Desde los primeros vuelos, comenzó a sentirse la necesidad de disponer de sistemas que permitiesen volar en condiciones meteorológicas adversas.

Los primeros vuelos sólo estaban equipados con dos proyectores uno que iluminaba hacia abajo para que el piloto pudiera ver el carril de las vías férreas, y el otro hacia adelante para ver el suelo, por lo que sólo realizaban vuelos visuales muy pobres.

Durante la década de 1920 pueden encontrarse diversos artículos en Europa y América describiendo sistemas experimentales de "aterizaje automático". Con el paso del tiempo se inventaron nuevos instrumentos y se añadieron al panel de la cabina, con lo que se pudieron realizar vuelos instrumentales seguros.

En 1938, Lorenz junto con la International Telephon and Telegraph (ITT) inició un proyecto, financiado por la Administración Civil de Aviación (CAA) de Estados Unidos, para desarrollar un sistema de aproximación.

Durante los años de la II guerra mundial, se realizaron diversos desarrollos de sistemas militares portátiles basados en el sistema civil de ITT. Finalmente en el año 1943 se tomó una decisión para estandarizar un sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) y la opción seleccionada fue la presentada por ITT.

Al final de la II guerra mundial se realizaron esfuerzos para adaptar las experiencias y equipos desarrollados en el campo militar a un uso civil. El ILS se convirtió en el sistema normalizado de aterrizaje por instrumentos cuando se celebró la reunión de la OACI en Chicago en el año 1944. Incluyéndolo en su Anexo 10 al Convenio Sobre Aviación Civil Internacional titulado "telecomunicaciones aeronáuticas".

Debido a las condiciones orográficas en México, existe la necesidad de disponer de sistemas de aterrizaje en los aeropuertos con condiciones

meteorológicas adversas, para hacer más seguras las operaciones de baja visibilidad y bajo mínimos de operación. Lo que genera mayor número de operaciones con baja visibilidad además de hacer las operaciones más seguras.

De 1966 a 1970 RAMSA (Radio Aeronáutica Mexicana S.A de C.V) logró poner en servicio seguro y confiable los equipos de radar y de aterrizaje por instrumentos del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México que por primera vez fueron certificados.

Posteriormente en 1970 y hasta 1976 RAMSA instaló el ILS en los aeropuertos de Guadalajara, Monterrey, Puerto Vallarta, Tampico y Tijuana. A continuación se muestran los Aeropuertos en México con Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS) bajo la normatividad de la Administración Federal de Aviación (FAA):

- 1.-ACA (Acapulco Cuenta con 2 pistas)
- 2.-ADN (Monterrey)
- 3.-CUN (Cancún)
- 4.-CUU (Chihuahua)
- 5.-GDL (Guadalajara Cuenta con 2 pistas)
- 6.-LAP (la paz)
- 7.-MZT (Mazatlán)
- 8.-MID (Mérida)
- 9.-MEX (AICM cuenta con 2 pistas)
- 10.-MTY (Monterrey)
- 11.-SLW (Saltillo)
- 13.-SLP (San Luis Potosí)
- 14.-TAM (Tampico)
- 15.-TLC (Toluca)
- 16.-TIJ (Tijuana)
- 17.-TGR (Tuxtla Gutiérrez)

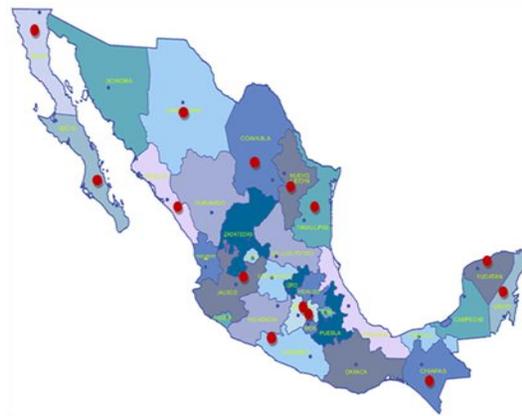


Figura 1. Aeropuertos que cuentan con ILS (Bajo la normatividad FAA).

Se tiene que destacar que todos los aeropuertos que cuentan con ILS en México están bajo la normatividad de la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos.

Cabe mencionar algunas características del Estado de Guanajuato, ya que en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato se realizó el estudio comparativo, entre la normatividad de la OACI y de la FAA.

Indicando la razón por la que se realizó el estudio en dicho aeropuerto, mostrando ventajas y desventajas operacionales.

### **Características del Estado de Guanajuato**

El Estado de Guanajuato se ubica en la mesa central, en la parte Sur de la altiplanicie mexicana; limita al Norte con el Estado de San Luis Potosí, al Este con el de Querétaro, al Sur con el de Michoacán y al Oeste con el de Jalisco.



Figura 2. Mapa de la República Mexicana.

*Orografía del Estado*

En la Región de Los Altos, las llanuras al Norte tienen más de 2000 m de elevación; en el cerro, la sierra central, con yacimientos mineros incluye las serranías de Comanja, Guanajuato, y destacan los cerros de los Llanitos, La Giganta y El Cubilete de 2400 de elevación media; al Este, la Sierra Gorda; al Sur, se localiza la región de El Bajío con barrancas, valles, llanuras y cráteres llamados xalapazcos y axalapazcos; al Sureste, se encuentra valles de Uriangato, San Nicolás de los Agustinos y Guatzingo; y llanos como el de Tarimoro y Acámbaro, enlazados por los cerros Picacho, Tule Blanco, Culiacán y Grande. En general el Estado cuenta con elevaciones de consideración.

<b>Elevación máxima</b>	<b>Elevación mínima</b>
Máxima: Cerro Los Rosillos con 3187 m, ubicado al Oeste de Coroneo en 20 05.1667N' 100 22.6332W'.	Mínima: Cañón del río Santa María con 800 m al noreste del Estado.

Tabla 1. Elevaciones máximas y mínimas.

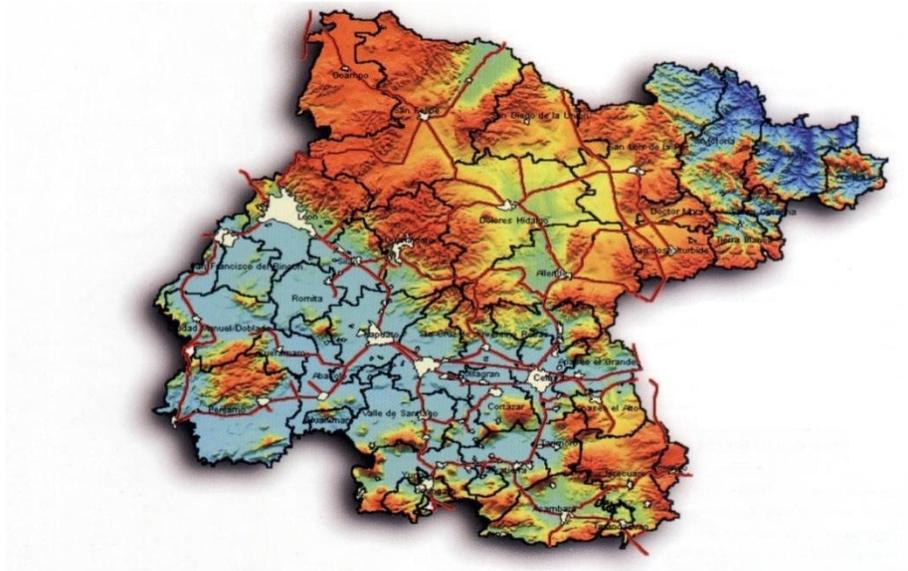


Figura 3. Orografía de Guanajuato.

### *Climas predominantes en el Estado*

Templado sub-húmedo con lluvias en verano. La irregularidad del relieve determina que en las partes elevadas la temperatura disminuyen a menos de 18°C y en las partes bajas llega a 22°C, al Norte, la región más seca con 400 mm de lluvia al año. En el bajío la lluvia supera los 700 mm anuales. Vientos dominantes del Oeste en invierno; el Sureste y Suroeste en primavera; y el Este - Noreste durante verano – otoño. Semi-cálido sub-húmedo con lluvia en verano, templado sub-húmedo con lluvias en verano, Semi-seco, cálido y Semi-seco templado.

### *Perfil socio demográfico*

En el Estado destaca la aportación del sector manufacturero en el PIB (Producto Interno Bruto) estatal, con el 26%, conformado principalmente por la producción de productos metálicos, de maquinaria y equipo. Seguido con el 20% de la conformación del PIB estatal, por los servicios comunales, sociales y personales. En tercer lugar figuran comercios, restaurantes y hoteles con el 16.5% de la captación del PIB. Los servicios turísticos atendieron a 2 millones 380 mil turistas que visitaron el Estado en 2006.

A pesar de la pequeña participación de la actividad agrícola en la economía del Estado, el campo guanajuatense produce la mayor cantidad de trigo, fresa, brócoli, cebolla y es el segundo gran productor de tomate del país.

Siguiendo la tendencia del resto del país, el 96% de las unidades económicas de negocios corresponden a la micro industria. Las Pymes (Pequeñas y Medianas Empresas) conforman el 50% del PIB estatal y el 80% del empleo.

## **Aeropuerto Internacional de Guanajuato (MMLO-BJX)**

El Aeropuerto Internacional del Bajío, cuyo nombre correcto es Aeropuerto Internacional de Guanajuato (IATA: BJX, OACI: MMLO) es un aeropuerto internacional localizado en Silao, Guanajuato, cerca de León, Guanajuato, México. Este aeropuerto se ocupó para realizar el estudio comparativo de dos normatividades debido a su número de operaciones, orografía además de que no cuenta con ILS.



Figura 4. Terminal del Aeropuerto Internacional de Guanajuato.

Maneja el tránsito aéreo nacional e internacional del área que incluye la ciudad de León y su Área Metropolitana, y la capital del Estado, Guanajuato.



Figura 5. Rutas con origen en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato.

En la terminal Aérea operan Aerolíneas que ofrecen vuelos tanto Nacionales como Internacionales tales como:

<b>AEROLINEAS QUE OPERAN EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUANAJUATO</b>
Aeroméxico
Aeroméxico Connect
American Airlines
Click de Mexicana
Continental Express
Continental Airlines
Delta Air Lines
Delta Connection
Volaris
Mexicana

Tabla 2. Aerolíneas que operan en Guanajuato.

<b>Aerolíneas</b>	<b>Destinos</b>
Aeroméxico	Ciudad de México, Tijuana
Aeroméxico Connect	Ciudad de México, Ciudad Juárez, Monterrey
Mexicana Click operado por Aeromar	Ciudad de México
Viva Aerobus	Monterrey
Volaris	Tijuana

Tabla 3. Vuelos domésticos.

<b>Aerolíneas</b>	<b>Destinos</b>
Aeroméxico	Chicago-O'Hare, Los Ángeles
American Eagle	Dallas-Fort Worth
Continental Airlines	Houston-Intercontinental
Continental Express	Houston-Intercontinental
Mexicana	Chicago-O'Hare, Los Ángeles

Tabla 4. Vuelos internacionales.

### Aeronaves que operan en Guanajuato

<b>Nacionales</b>	
Aeroméxico	Boeing 737-300
Aeroméxico Connect	Embraer RJ 145 y RJ190
MexicanaClick	Fokker 100
Aeromar	ATR-42
Viva Aerobús	B737-300
Volaris	Airbus 319
<b>Internacionales</b>	
Aeroméxico	Boeing737-300
American Eagle	Embraer RJ135 y RJ145
Continental Airlines	Boeing737-300 y Boeing 737-500
ExpressJet Airlines	Embraer RJ 145

Tabla 5. Aeronaves que operan en Guanajuato.

Cabe mencionar que el Aeropuerto Internacional de Guanajuato es un aeropuerto utilizado como alternativo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y del Aeropuerto Internacional de Guadalajara, por aerolíneas que vienen de Los Ángeles, New York, Chicago y otros, cuando dichos aeropuertos se encuentran cerrados o bajo mínimos de visibilidad.

**Características técnicas del aeropuerto**



Figura 6. Vista del Aeropuerto [1].

- Designadores del aeropuerto  
 (Código IATA: BJB, código OACI: MMLO)
- Operador  
 Grupo Aeroportuario del Pacífico
- Coordenadas de la pista  
 20° 59' 29" N 101° 28' 48" W
- Elevación del aeropuerto  
 5,956 pies / 1,815 m
- Número de pistas: 1

Ancho		Largo	
ft	m	ft	m
147.63	45	11,480	3500

- Orientación de cabeceras:  
 13 – 31
- Categoría del CREI:  
 VI

- Pavimento:  
Asfalto
- Aeronave critica: MD-80

El dato de la aeronave critica se tomó de la página web de la DGAC el cual esta actualizado, tomando en cuenta que el aeropuerto es capaz de recibir, aeronaves de mayor envergadura.

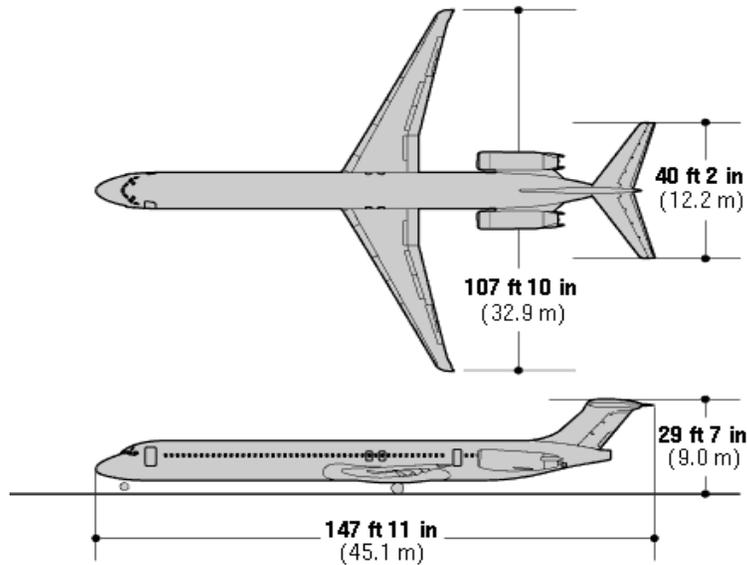


Figura 7. Aeronave Crítica.

- Categoría de aeródromo:  
4D
- PCN del Aeropuerto: PCN/74/F/C/X/T

74: Número de clasificación de pavimento.

F: Pavimento flexible.

C: Categoría de resistencia del terreno de fundación: resistencia baja.

X: Categoría de presión máxima permisible de los neumáticos: mediana, presión limitada a 1.50 MPa.

T: Método de evaluación: Evaluación técnica.

Nota: Para mayor información del PCN consultar el Anexo 14, Volumen 1, Capítulo 2; 2.6 resistencia de los pavimentos.

## **Desventajas del Aeropuerto Internacional de Guanajuato**

### *Obstáculos*

El Aeropuerto Internacional de Guanajuato, cuenta en sus alrededores con grandes elevaciones naturales como el cerro del cubilete, cerro de las águilas y sierra de Guanajuato, además de zonas habitacionales que se encuentran en los alrededores del aeropuerto.



Figura 8. Pista del Aeropuerto Internacional de Guanajuato.

### *Procedimientos*

Es un aeropuerto que tiene aproximaciones mediante el sistema VOR/DME, lo cual no es garantía de operación bajo mínimos, además de que no cuenta con ILS (Véase apéndice A).

## **Ventajas del Aeropuerto Internacional de Guanajuato**

### *Ubicación estratégica*

Ubicado en Silao, el aeropuerto es muy importante ya que maneja el tráfico aéreo nacional e internacional del área que incluye la ciudad de León y su zona metropolitana, así como también a las ciudades de Irapuato, Salamanca y a la capital del estado, Guanajuato.

La creciente actividad industrial de la zona del Bajío, se ha reflejado en un incremento sustancial de la demanda de transporte aéreo de largo alcance, para comunicarla con otros centros productivos y turísticos, tanto del extranjero como del país.

- *Fue el aeropuerto 11 en México en el 2008, gracias a que recibió 1 274 100 pasajeros.*
- *Fue el aeropuerto 10 en México en el 2007, gracias a que recibió a 1 102 800 pasajeros.*

Según datos publicados por el Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP).

El Aeropuerto Internacional de Guanajuato tiene una capacidad de atender 26 vuelos por hora, cuenta también con una nueva zona de carga denominada *Puerto Interior* el cual conecta a el aeropuerto con los diferentes medios de transportación y abastecimiento como el tren de carga y camiones de carga o de distribución, así como también permite acoplar aviones de grandes dimensiones.

## **Ventajas del ILS en el aeropuerto MMLO**

El sistema de aterrizaje instrumental (o ILS, del inglés: Instrument Landing System) es un sistema de control que permite que un avión sea guiado con precisión durante la aproximación a la pista de aterrizaje y, en algunos casos, a lo largo de la misma por lo que beneficiara directamente al Aeropuerto Internacional de Guanajuato en los siguientes aspectos:

- Realizar operaciones en condiciones de baja visibilidad o nula.
- Mayor seguridad en la aproximación.
- Mayor cantidad de operaciones en condiciones de baja visibilidad o nula.

## **Aplicación del sistema en los 2 criterios**

El diseño de los procedimientos para Aeropuerto Internacional de Guanajuato, sirve como un análisis comparativo, para la futura implementación y recomendación del sistema que más le convenga al aeropuerto y a los demás aeropuertos en el país que no cuenten con éste.



Figura 9. Vista aérea del aeropuerto MMLO.

## **1.2 Tema de Tesina**

“Diseño de los procedimientos ILS para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato”.

## **1.3 Objetivo General**

Diseño de procedimientos ILS en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato bajo la normatividad de la OACI y FAA.

## **1.4 Objetivos Particulares**

1. Revisar los criterios establecidos en TERPS y PANS-OPS para el diseño de los procedimientos ILS.
2. Diseñar los procedimientos ILS de aproximación final en la cabecera 13, para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato bajo las dos normatividades.
3. Determinar cual normativa es factible aplicar en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato desde el punto de vista operacional.

## **1.5 Justificación de la Investigación**

El ILS o sistema de aterrizaje instrumental, es un sistema que permite que un avión sea guiado con precisión durante la aproximación a la pista de aterrizaje.

El tema es de importancia en México ya que, son pocos los aeropuertos que cuentan con el ILS, además de estar establecidos bajo una sola normatividad, por la FAA.

Hasta ahora en México no se ha realizado un estudio comparativo entre ambas normatividades, por lo que consideramos justificable esta propuesta. Además de que dicho trabajo servirá como base, para el diseño de procedimientos ILS, en aeropuertos que no cuenten con éste. En particular para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato se puede establecer.

## **1.6 Alcance**

Diseñar los procedimientos de aproximación ILS bajo la normatividad de la OACI y de la FAA para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato, para evaluar que normatividad es factible implementar operacionalmente.



## CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

## 2.1 Antecedentes de la navegación

La navegación aérea se puede dividir en dos tipos, dependiendo de si la aeronave necesita de instalaciones exteriores a la aeronave para poder guiarse:

- Navegación aérea autónoma.
- Navegación aérea no autónoma.

La navegación aérea autónoma es, por tanto, aquella que no necesita de ninguna infraestructura o información exterior a la aeronave para poder completar con éxito el vuelo. A su vez, ésta se divide en:

- *Navegación observada*: se toma en cuenta con la observación directa por parte del piloto de las referencias necesarias en el terreno para conocer la posición de la aeronave. El piloto estima la posición actual, conocidas la dirección y la velocidad respecto al terreno.
- *Navegación por fijación de la posición*: ésta a su vez se subdivide en navegación aérea astronómica, navegación aérea Doppler, navegación aérea inercial (INS).

En cambio, la navegación aérea no autónoma sí necesita de instalaciones exteriores ya que, por sí sola, la aeronave no es capaz de *navegar*. Las instalaciones necesarias para su guiado durante el vuelo reciben el nombre de ayudas a la navegación. Estas ayudas se pueden dividir a su vez, dependiendo del tipo de información que transmiten así como del canal a través del cual lo hacen, en:

- *Ayudas visuales al aterrizaje*: son instalaciones que proporcionan señales visuales durante la etapa de aterrizaje de la aeronave.
- *Radio ayudas*: Se basan en señales radioeléctricas, generalmente generadas en instalaciones terrestres y recibidas a bordo de la aeronave.

- *Navegación por satélite:* Este tipo de navegación, permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra.

### **Reglas de vuelo instrumental**

*Vuelo IFR* (Instrumental Flight Rules), el conjunto de normas y procedimientos recogidos en el Reglamento de Tránsito Aéreo que regulan el pilotaje de aeronaves en condiciones de visibilidad reducida. Se trata de otro método de navegación tal como las Reglas de Vuelo Visual o VFR (Visual Flight Rules).

### **Separación de aeronaves**

Lo más importante del vuelo instrumental es que permite la operación continua de aeronaves, donde la capacidad del piloto para ver y evitar colisiones con otras aeronaves u obstáculos está claramente reducida.

Para ello se aplican criterios de separación entre aeronaves y con el terreno. De la primera es responsable el controlador aéreo, mientras que la segunda se encuentra en las cartas de navegación aeronáutica. El controlador establece la separación entre aeronaves mediante el cálculo de tiempo, distancias y velocidades entre los mismos. Obtiene tales informaciones de dos modos: mediante los datos de velocidad, altura, rumbo o posición que le transmite el piloto, o bien por razón de la pantalla de radar, que obtiene esos mismos datos gracias a un emisor de radio en la aeronave, llamado transpondedor.

### **El controlador de tránsito aéreo**

Generalmente, el vuelo instrumental requiere la autorización del controlador para cada fase del vuelo. El controlador proporciona rumbo o aerovía, altitud y límite (el punto más lejano al que la aeronave puede volar antes de recibir una

nueva autorización). En las áreas más sobrecargadas de tráfico es usual que también se reclamen estas autorizaciones a los vuelos visuales.

En espacio aéreo no controlado, las separaciones están establecidas mediante las Cartas de Navegación, que indican altitudes mínimas para evitar el terreno y los obstáculos, las altitudes de crucero para evitar la colisión de aeronaves que vuelen en direcciones distintas. Asimismo, en el espacio aéreo no controlado los pilotos deben informar de sus intenciones utilizando una frecuencia específica de radio, para mantener alerta a los otros pilotos.

### **Meteorología**

Una ventaja del vuelo instrumental es la capacidad de volar en Condiciones Meteorológicas Instrumentales (siglas en inglés: IMC), esto es, aquellas condiciones que no permiten el vuelo visual. En estas condiciones, el piloto controla su avión atendiendo a la lectura de los instrumentos de vuelo, y confía al controlador su separación respecto de otras aeronaves y al terreno a pesar de que la mayoría de los aviones de línea y cada vez más aeronaves ligeras, incorporan sus propios sistemas de alarma de proximidad al terreno (GPWS) y de colisión con otras aeronaves (TCAS).

De cualquier manera, es importante no confundir Reglas de Vuelo Instrumental (IFR) con Condiciones Meteorológicas Instrumentales (IMC). La inmensa mayoría de aviones comerciales operan bajo las Reglas de vuelo instrumental, incluso cuando las condiciones permiten el vuelo visual. Siempre y cuando la visibilidad lo permite, el piloto utiliza como referencia primaria la observación directa, incluso para evitar Colisiones con otras aeronaves, ya que en algunos casos (en áreas con cobertura de radar limitada), el controlador carece de información sobre los aviones en vuelo visual. Habitualmente, el piloto navega usando los instrumentos de vuelo.

En áreas con cobertura de radar puede recibir también vectores, esto es, diferentes rumbos y altitudes del controlador. También deben existir unas condiciones mínimas de visibilidad para permitir la operación, que dependen de varios factores: la habilitación de la tripulación, el equipamiento de la aeronave (algunas de ellas permiten aterrizajes completamente a ciegas, gracias al sistema de aterrizaje automático ILS), los vientos dominantes y las radio ayudas existentes en las inmediaciones del aeropuerto.

### **Procedimientos IFR**

Un vuelo instrumental consta de cuatro etapas: salida, ruta, llegada y aproximación. Cada una de estas etapas cuenta con sus procedimientos estándar, publicados en las cartas de navegación aeronáutica y permiten a los vuelos instrumentales moverse de un modo ordenado y seguro, desde que el avión enciende sus motores hasta que los apaga. Estos procedimientos también permiten al piloto, en caso de fallo de comunicaciones, completar un vuelo de modo que sus intenciones puedan predecirse, tanto por el controlador como por los aviones que puedan encontrarse en la zona.

### **Salidas y Llegadas IFR**

Las salidas están descritas en las Cartas de salida instrumental (SID) y describen las rutas a seguir por la aeronave en función de su destino, desde el aeropuerto hasta que se incorpora a la aerovía asignada. Las cartas de llegada instrumental (STAR), por su parte, detallan la ruta desde que el avión abandona la aerovía hasta el punto donde inicia la aproximación final a la pista.

La función de ambos procedimientos es permitir las salidas y llegadas en el área de control del aeropuerto sin riesgos de colisión. Las rutas de salida y llegada están claramente detalladas y se fijan a partir de las radio ayudas existentes (fundamentalmente los llamados VOR y NDB), de puntos referidos a

distancias y rutas a partir de tales radio ayudas, llamados fijos o intersecciones, y de otros puntos marcados mediante GPS.

### **Aproximaciones**

La aproximación a pista se detalla en las llamadas Cartas de aproximación instrumental (IAC), que describen la ruta, tanto vertical como horizontal, hasta un punto a partir del cual el piloto debe tener contacto visual con la pista y completar el vuelo sin ayuda de los instrumentos. Dicho punto se denomina mínimo, o Altitud de Decisión. Si en este punto el piloto no tiene contacto visual con la pista, deberá frustrar el aterrizaje, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la misma carta, y esperar instrucciones del controlador o bien dirigirse a un aeropuerto alternativo especificado en su plan de vuelo.

### **Aproximación de precisión**

Llamamos aproximación de precisión a aquella en la que el aeropuerto dispone de radio ayudas específicas, llamadas ILS. Esta radio ayuda proporciona al avión, en el tramo final, una guía horizontal y vertical que le permite dirigirse y descender de modo seguro hasta la pista de aterrizaje.

### **Aproximación de no precisión**

Las aproximaciones de no precisión se utilizan en aeropuertos o pistas no equipados con ILS. En estos casos, las cartas conducen a la aeronave hasta un punto más cercano y alineado con la pista, de modo que el piloto completa el aterrizaje de forma visual.

## **Rutas y aerovías**

Asimismo, las rutas también están ordenadas mediante las llamadas Cartas de Ruta, que establecen aerovías por las que los aviones deben volar de forma obligada. Una aerovía, también llamada ruta aérea, es una porción de espacio aéreo compuesta por varias intersecciones y estaciones VOR, DME y NDB, por donde circulan las aeronaves, comprendiendo una ruta nominal y un área de protección. Cada aerovía se denomina con un conjunto de números o letras.

Las aerovías también se clasifican en:

- Aerovías de gran altitud (arriba de 18 000 ft de altura)
- Aerovías de baja altitud (debajo de 18 000 ft de altura)

Estas aerovías pueden ser usadas por cualquier aeronave dentro de un determinado espacio aéreo.

## **Habilitación instrumental**

No todos los pilotos, ni tampoco todas las aeronaves, pueden volar bajo las Reglas de Vuelo Instrumental. Los pilotos requieren una licencia especial y, además, acreditar que han volado recientemente bajo estas condiciones. Del mismo modo, las aeronaves deben disponer del siguiente equipamiento:

- Dos emisores/receptores de radio para comunicaciones con los controladores.
- Dos receptores VOR para contactar con las radio ayudas en tierra.
- Dos receptores NDB para contactar con los radiofaros en tierra y un equipo de medición de distancias (DME) para conocer las distancias con las radio ayudas.

## 2.2 Origen del ILS

Con los primeros pasos de la aviación comercial, empezó a sentirse la necesidad de disponer de sistemas que permiten volar en condiciones meteorológicas adversas. El rápido desarrollo que durante los primeros años del siglo XX tuvieron los sistemas de radiodifusión, permitió la puesta en marcha de los primeros sistemas de radionavegación.

En el año 1907 se concede en Alemania una patente a Otto Scheller, director técnico de la compañía C. Lorenz (más tarde Standard Elektrik Lorenz), para un sistema de radionavegación direccional. Este sistema estaba formado por dos transmisores direccionales transmitiendo en la misma frecuencia y con la misma potencia, pero con las antenas colocadas formando un cierto ángulo una respecto a la otra y emitiendo señales de forma alternativa.

En el año 1919 en Estados Unidos, F. H. Engel y F. Dunmore utilizaron el principio de "zona de equiseñal" para realizar una prueba de vuelo alineado con la pista. Los transmisores radiaban en la frecuencia de 300 Khz. y las señales de manipulación consistían en las letras "A" (-.) y "N" (-.) en código Morse.

Durante la década de 1920 pueden encontrarse diversos artículos en Europa y América describiendo sistemas experimentales de "aterrizaje automático".

Bajo la responsabilidad de la Oficina de Normas del Departamento de Comercio de Estados Unidos y con el apoyo de la Fundación Guggenheim, durante el año 1929 se instaló en Mitchel Field un localizador consistente en un sistema equiseñal alineado con el eje de la pista, en el que se habían añadido a las letras en código Morse dos señales de modulación de frecuencias establecidas en 65 Hz y 86.7 Hz, y una radiobaliza de baja potencia para señalar el punto a partir del cual podía iniciarse el descenso seguro a la pista.

Así en el año 1932 el Dr. Ernst Kramer de Lorenz patentó un sistema combinado de localizador (información de azimut) y senda de planeo (información de elevación) verticalmente polarizado que operaba en la frecuencia de 33.3 MHz. En el localizador, instalado en el extremo de la pista y de tipo equiseñal, la portadora estaba modulada por una señal de 1150 Hz que se manipulaba con las letras "E" (.) y "T" (-) en código Morse.

Además de la información acústica, en el panel de instrumentos del avión se introdujo una indicación visual de la posición respecto al eje de pista por medio de una aguja.

La senda de planeo era del tipo "intensidad constante" y originalmente consistía en el borde inferior del lóbulo formado por la superposición de los diagramas del localizador. El piloto tenía que seguir la trayectoria determinada por los puntos del espacio en los que detectaba una intensidad constante indicada en un instrumento.

Durante el invierno del año 1932-33 Lufthansa realizó varios vuelos de prueba utilizando este sistema instalado en el aeropuerto de Berlín – Tempelhof.

Con el fin de mejorar la información de la trayectoria de planeo, en 1937 la compañía Lorenz dio forma a una patente del Dr. Kramar consistente en un transmisor en UHF conectado a dos antenas colocadas una encima de la otra y que radiaban alternativamente. De esta forma se generaban en el espacio dos lóbulos cuya intersección formaba un haz en la trayectoria de descenso de 3 grados. Esta era la senda de planeo equiseñal que se reinventó en Estados Unidos en 1940.

En la figura siguiente puede verse el esquema de un sistema que estaba formado por un transmisor como localizador en la frecuencia de 300 Khz. y otro como senda de planeo de intensidad constante a 93.7 MHz. A este sistema

instalado en varios aeropuertos de Estados Unidos y Europa se le encontraron grandes limitaciones debido principalmente a problemas por reflexiones.

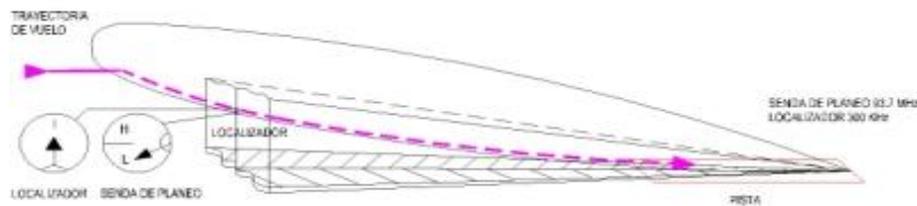


Figura 10. Esquema de un sistema de aterrizaje.

En el año 1938 se desarrolló otro sistema de aterrizaje sin visibilidad por Irving Metcalf de la Oficina de Comercio Aéreo de Estados Unidos con el apoyo del Massachusetts Institute of Technology. Este tipo de sistema de aterrizaje por instrumentos se basaba en un transmisor situado en el aeropuerto que producía un blanco en una pantalla de rayos catódicos situada en la aeronave. También se presentaban en la pantalla otros blancos que se obtenían de un giróscopo direccional y de un horizonte artificial.

Así, al aproximarse el avión a tierra, la pantalla presentaba el cambio aparente de posición del transmisor con respecto al horizonte. Tras las primeras pruebas, este sistema fue abandonado.

También en 1938, Lorenz junto con Teléfono y Telégrafo Internacional (ITT) inició un proyecto, financiado por la Administración de Aviación Civil (CAA) de Estados Unidos, para desarrollar un sistema formado por un localizador horizontalmente polarizado radiando en la frecuencia de 110 MHz, una senda de planeo de intensidad constante a 93.9 MHz que proporcionaba una trayectoria de descenso de tipo parábola y una radiobaliza de 75 MHz.

En este sistema ya se habían adaptado las frecuencias de 90 Hz y 150 Hz para los tonos que, por medio de un modulador mecánico consistente en dos ruedas con 3 y 5 álabes respectivamente y que giraban movidas por un motor

síncrono, modulaban a la portadora. En 1939 el sistema se completó con supervisión y control remoto y se instaló en el aeropuerto de Indianápolis, llevándose a cabo un programa de pruebas con un Boeing 247-D equipado con receptores y registradores para evaluar las señales. El localizador y las radiobalizas eran en principio iguales a las utilizadas hoy en día.

Alentados por los resultados obtenidos con la senda de planeo de intensidad constante, la CAA llegó a un acuerdo con ITT para desarrollar un sistema de senda de planeo equiseñal en la frecuencia de 330 MHz consiguiéndolo en 1941.

En esta Senda de Planeo equiseñal, la portadora de 330 MHz se separaba en dos canales cada uno de los cuales se modulaba con un tono de 90 Hz ó de 150 Hz. El sistema radiante estaba formado por dos antenas montadas en un mástil vertical. La antena inferior se colocaba a una altura de 1.8 m del suelo y se alimentaba con la señal modulada con 90 Hz, la antena superior estaba a aproximadamente 8 m del suelo y se alimentaba con la señal modulada con 150 Hz.

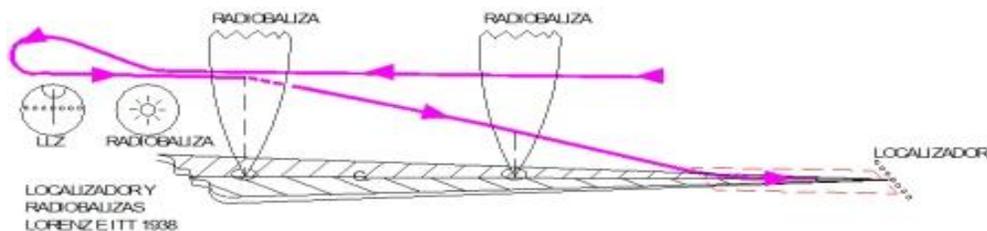


Figura 11. Sistema de senda de planeo equiseñal.

Utilizando la reflexión en el terreno se producían dos diagramas de radiación de tal forma que, modificando las alturas y las amplitudes de las señales que alimentaban a las antenas, se variaban estos diagramas para obtener una línea de puntos de equiseñal en el ángulo de la trayectoria de descenso. Por debajo de la trayectoria predominaba la señal de 150 Hz y por encima la de 90 Hz.

Durante los años de la II Guerra Mundial, se realizaron diversos desarrollos de sistemas militares portátiles basados en el sistema civil de ITT. También hubo otros desarrollos como el realizado por Sperry en Estados Unidos y consistente en un localizador y senda de planeo equiseñal en la frecuencia de 300 MHz.

Finalmente en el año 1943 se tomó una decisión para estandarizar un sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS: Instrument Landing System) y la opción seleccionada fue la presentada por ITT trabajando en VHF y UHF y denominada SCS-51.

El SCS-51, como el sistema de Lorenz, estaba basado en una radiación en VHF formada por dos diagramas de onda continua (CW: continuous wave) que se superponían y formaban un haz en acimut conocido como Localizador (LLZ). Había otra segunda radiación en UHF formada por otros dos diagramas que formaban un haz en el plano vertical llamado Senda de Planeo (GP). Por tanto el ILS no solo proporcionaba información de guiado acimutal, sino que también daba información de guiado en la trayectoria de descenso. La diferencia básica entre el ILS y el sistema de Lorenz era que sus dos diagramas estaban polarizados horizontalmente y modulados por tonos en vez de manipulados con señales Morse.

El ILS tenía la ventaja de dar una indicación del grado de divergencia respecto al eje en vez de solo indicar si el avión se encontraba a un lado o a otro del eje como hacían los primeros sistemas.

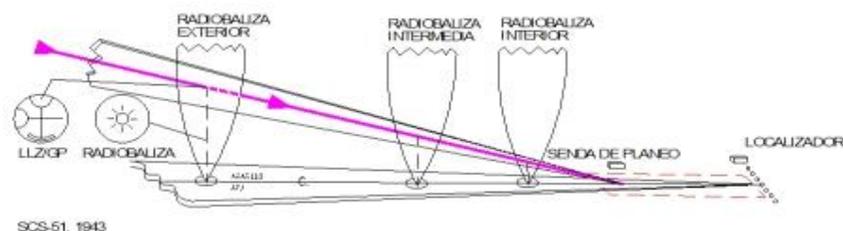


Figura 12. Sistema de aterrizaje por instrumentos denominada SCS-51.

En 1944 en Gran Bretaña se realizaban pruebas con un prototipo de SCS-51, se modificaba un sistema de radar Rebecca-Eureka para convertirlo en un Equipo Medidor de Distancias (DME: Distance Measuring Equipment).

Al final de la II Guerra Mundial se realizaron esfuerzos para adaptar las experiencias y equipos desarrollados en el campo militar a un uso civil. Fruto de estos trabajos el ILS se convirtió en el sistema normalizado de aterrizaje por instrumentos cuando se celebró la reunión de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en Chicago en el año 1944. Incluyéndolo en su Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional titulado "Telecomunicaciones Aeronáuticas".

Y así este sistema cuyos antecedentes empezaron a establecerse hace más de 70 años, sigue operativo en los aeropuertos de todo el mundo posibilitando que las más modernas aeronaves realicen aproximaciones y aterrizajes seguros y fiables en cualquier condición meteorológica.

### **2.3 Operaciones de baja visibilidad**

Uno de los problemas de la navegación aérea es la baja visibilidad y especialmente en las operaciones de aproximación, aterrizaje y despegue ya que en esos momentos es indispensable tener referencias visuales del entorno próximo y en particular del terreno. De ahí la necesidad de disponer de un procedimiento y ayudas visuales e instrumentales que le permitan terminar el vuelo con total seguridad.

Por todo ello uno de los primeros trabajos encomendados a OACI después de su creación en 1947, fue establecer lo que se denomina "Operaciones Todo Tiempo" (AWO: All Weather Operations) y que la propia OACI define como:

“Todo despegue o aterrizaje realizado en condiciones meteorológicas que reduzcan la referencia visual”.

En lo referente a la aproximación y el aterrizaje, las operaciones de baja visibilidad se dividen en categorías dependiendo de los mínimos meteorológicos y de los objetivos operacionales que se pretendan conseguir. OACI en el Adjunto C del Anexo 10 “Telecomunicaciones aeronáuticas” menciona las categorías (véase capítulo 2.5).

## **2.4 Especificaciones para el ILS**

*Instalación ILS de Categoría de actuación I.* Un ILS que proporciona información de guía desde el límite de cobertura del ILS hasta el punto en que el eje de rumbo del localizador corta la trayectoria ILS de planeo a una altura de 60 m (200 ft), o menos, por encima del plano horizontal que contiene el umbral.

*Instalación ILS de Categoría de actuación II.* Un ILS que proporciona información de guía desde el límite de cobertura del ILS hasta el punto en el que el eje de rumbo del localizador corta la trayectoria ILS de planeo a una altura de 15 m (50 ft), o menos, por encima del plano horizontal que contiene el umbral.

*Instalación ILS de Categoría de actuación III.* Un ILS que con la ayuda de equipo auxiliar cuando sea necesario, proporcione información de guía desde el límite de cobertura de la instalación hasta la superficie de la pista, y a lo largo de la misma.

*Integridad del ILS.* La calidad referente a la seguridad que ofrece la precisión de la información suministrada por la instalación. El nivel de integridad del

localizador o de la trayectoria de planeo se expresa en función de la probabilidad de que no se radien señales de guía falsas.

*Punto "A" del ILS.* Punto de la trayectoria de planeo situado a 7,5 km (4 NM) del umbral, medido sobre la prolongación del eje de la pista en la dirección de la aproximación.

*Punto "B" del ILS.* Punto de la trayectoria de planeo situado a 1 050 m (3 500 ft) del umbral, medidos sobre la prolongación del eje de la pista en la dirección de la aproximación.

*Punto "C" del ILS.* Punto por el que la parte recta descendente de la prolongación de la trayectoria nominal de planeo nominal pasa a la altura de 30 m (100 ft) sobre el plano horizontal que contiene el umbral.

*Punto "D" del ILS.* Punto situado a 4 m (12 ft) sobre el eje de la pista y que dista 900 m (3 000 ft) del umbral en la dirección del localizador.

*Punto "E" del ILS.* Punto situado a 4 m (12 ft) sobre el eje de la pista y que dista 600 m (2 000 ft) del extremo de parada de la pista en la dirección del umbral.

*Referencia ILS (Punto "T").* Punto situado a una altura especificada, sobre la intersección del eje de la pista con el umbral, por el cual pasa la prolongación rectilínea hacia abajo de la trayectoria de planeo ILS.

*Sector de rumbo.* Sector en un plano horizontal que contiene el eje de rumbo, limitado por los lugares geométricos de los puntos más cercanos al eje de rumbo.

*Sector de rumbo frontal.* El sector de rumbo situado al mismo lado del localizador que la pista.

*Sector de rumbo posterior.* El sector de rumbo situado en el lado opuesto del localizador respecto a la pista.

*Sector de trayectoria de planeo ILS.* Sector situado en el plano vertical que contiene la trayectoria de planeo ILS y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos a la trayectoria de planeo.

*Semisector de rumbo.* Sector situado en un plano horizontal que contiene el eje de rumbo y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos al eje de rumbo.

*Semisector de trayectoria de planeo ILS.* Sector situado en el plano vertical que contiene la trayectoria de planeo ILS y limitado por el lugar geométrico de los puntos más cercanos a la trayectoria de planeo.

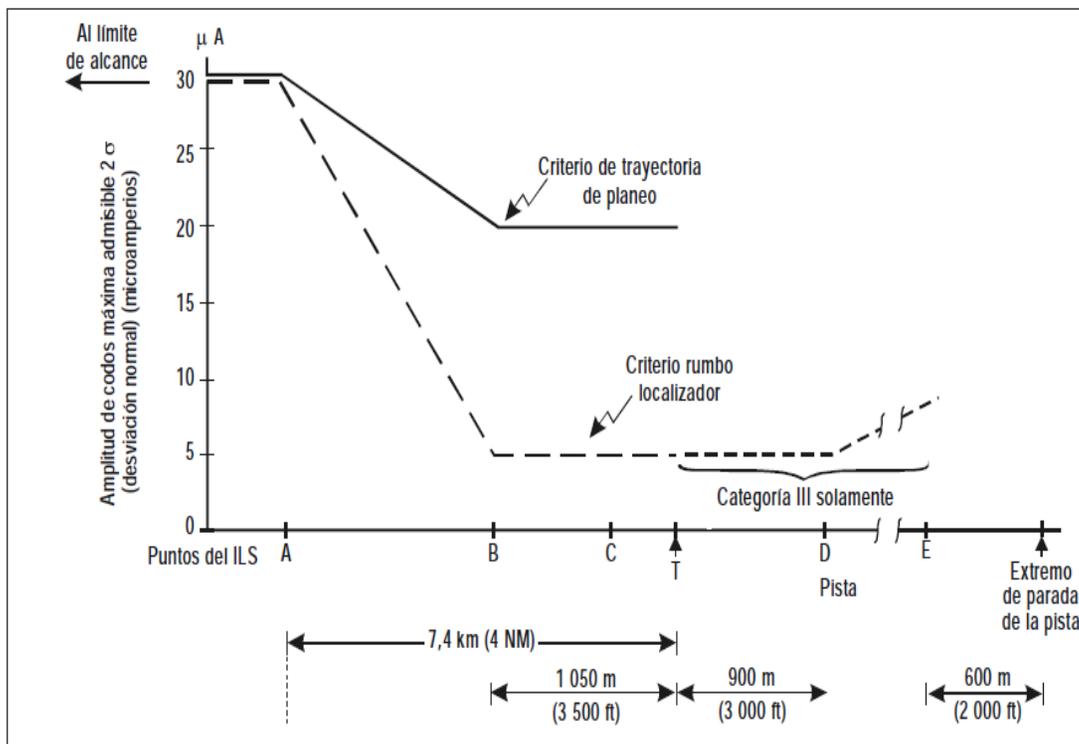


Figura 13. Amplitud máxima del localizador.

## **Sistema de iluminación de aproximación de precisión categoría I**

El sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categoría I consistirá en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de pista, extendiéndose donde sea posible, hasta una distancia de 900 m a partir del umbral, con una fila de luces que formen una barra transversal de 30 m de longitud, a una distancia de 300 m del umbral de la pista.

Las luces que formen la barra transversal seguirán, siempre que sea posible, una línea recta horizontal, perpendicular a la fila de luces de la línea central y cortada por ella. Las luces de barra transversal estarán espaciadas de forma que produzcan un efecto lineal, pero pueden dejarse espacios vacíos a cada lado de la línea central. Estos espacios vacíos se mantendrán reducidos al mínimo necesario para satisfacer las necesidades locales y cada uno de ellos no excederá de 6 m.

Las luces que forman la línea central se situarán a intervalos longitudinales de 30 m con la luz situada más próxima a la pista instalada a 30 m del umbral.

El sistema se encontrará situado tan cerca como sea posible del plano horizontal que pasa por el umbral, de manera que:

Ningún objeto, salvo una antena acimutal ILS, sobresalga del plano de las luces de aproximación dentro de una distancia de 60 m a partir del eje del sistema.

Ninguna luz, salvo la luz emplazada en la parte central de una barra transversal o de una barreta de línea central (no las luces de los extremos), quedará oculta para las aeronaves que realicen la aproximación.

Toda antena acimutal ILS que sobresalga del plano de las luces se considerará como obstáculo y se señalará e iluminará en consecuencia.

## Características

Las luces de línea central y de barra transversal de un sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categoría I serán luces fijas de color blanco y variable. Cada una de las posiciones de luces de la línea central consistirá en:

- a) una sola luz en los 300 m internos de la línea central, dos luces en los 300 m intermedios de la línea central y tres luces en los 300 m externos de la línea central, para proporcionar información a distancia; o bien
- b) una barreta.

Las barretas tendrán por lo menos 4 m de longitud. Cuando las barretas estén formadas por luces que se aproximan a fuentes puntiformes, las luces estarán espaciadas uniformemente a intervalos de no más de 1,5 m.

Cada una de las luces del condensador emitirá dos destellos por segundo, comenzando por la luz más alejada del sistema y continuando en sucesión en dirección del umbral hasta la última luz. El circuito eléctrico se concebirá de forma que estas luces puedan hacerse funcionar independientemente de las demás luces del sistema de iluminación de aproximación.

Además de la barra trasversal a 300 m del umbral se instalarán barras transversales adicionales de luces situadas a 150 m, 450 m, 600 m y 750 m del umbral. Las luces que formen cada barra transversal seguirán, siempre que sea posible, una línea recta horizontal, perpendicular a la fila de luces de línea central y dividida por ella. Las luces estarán espaciadas de forma que produzcan un efecto lineal pero pueden dejarse espacios vacíos a cada lado de la línea central. Estos espacios vacíos se mantendrán reducidos al mínimo necesario para satisfacer las necesidades locales y cada uno de ellos no medirá más de 6 m.

Cuando las barras transversales adicionales descritas, se incorporen al sistema, los extremos exteriores de las barras transversales estarán dispuestos en dos rectas paralelas a la fila de luces de línea central o que converjan para cortar el eje de la pista, a 300 m del umbral.

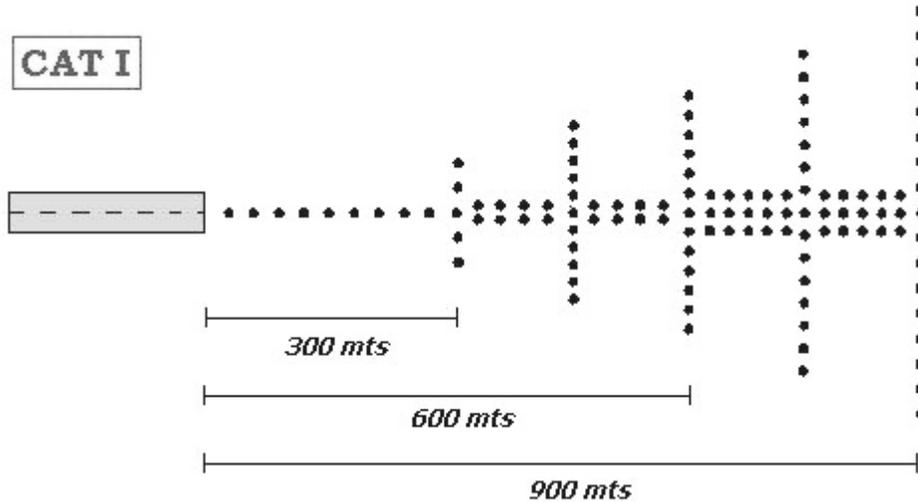


Figura 14. Sistema de iluminación de CAT I.

### **Sistema de iluminación de aproximación de precisión categorías II y III**

Cuando se instale, el sistema de iluminación de aproximación consistirá en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de la pista, extendiéndose, donde sea posible, hasta una distancia de 900 m a partir del umbral de la pista. Además, el sistema tendrá dos filas laterales de luces, que se extenderán hasta 270 m a partir del umbral, y dos barras transversales, una a 150 m y la otra a 300 m del umbral.

El estado de funcionamiento de las luces de aproximación especificado como objetivo de mantenimiento, el sistema puede tener dos filas laterales de luces que se extenderían hasta 240 m a partir del umbral, y dos barras transversales, una a 150 m y la otra a 300 m del umbral.

Las luces que forman la línea central se colocarán a intervalos longitudinales de 30 m con las luces más cercanas a la pista colocadas a 30 m del umbral.

Las luces que forman las filas laterales se colocarán a cada lado de la línea central, con un espaciado longitudinal igual al que tienen las luces de línea central, y con la primera luz instalada a 30 m del umbral. Cuando pueda demostrarse el nivel de estado de funcionamiento de las luces de aproximación especificado como objetivo de mantenimiento, las luces que forman las filas laterales pueden colocarse a cada lado de la línea central, con un espaciado longitudinal de 60 m, estando la primera luz colocada a 60 m del umbral.

El espaciado lateral (o vía) entre las luces de las filas laterales más cercanas no será inferior a 18 m ni superior a 22,5 m y, con preferencia, debería ser de 18 m, pero en todo caso será igual al de las luces de la zona de toma de contacto.

La barra transversal instalada a 150 m del umbral llenará los espacios vacíos entre las luces de línea central y las de las filas laterales.

La barra transversal instalada a 300 m del umbral se extenderá a ambos lados de las luces de línea central hasta una distancia de 15 m de la línea central.

El sistema se encontrará situado tan cerca como sea posible del plano horizontal que pasa por el umbral, de manera que:

- Ningún objeto, salvo una antena acimutal ILS, sobresalga del plano de las luces de aproximación dentro de una distancia de 60 m a partir del eje del sistema.
- Ninguna luz, salvo la luz emplazada en la parte central de una barra transversal o de una barreta de línea central (no las luces de los extremos), quedará oculta para las aeronaves que realicen la aproximación.

- Toda antena acimutal ILS que sobresalga del plano de las luces se considerará como obstáculo y se señalará e iluminará en consecuencia (véase figura 13).

### **Características**

En los primeros 300 m a partir del umbral, la línea central de un sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categorías II y III consistirá en barretas de color blanco variable, excepto cuando el umbral esté desplazado 300 m ó más, en cuyo caso la línea central puede consistir en elementos de una sola luz de color blanco variable.

Cuando pueda demostrarse el nivel de estado de funcionamiento de las luces de aproximación especificado como objetivo de mantenimiento, en la línea central de un sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categorías II y III hasta los primeros 300 m a partir del umbral puede consistir en cualquiera de:

- a) Barretas, cuando la línea central 300 m más allá del umbral consta de barretas.
- b) Luces individuales alternando con barretas, cuando la línea central 300 m más allá del umbral consta de luces solas, con la luz sola de más adentro emplazada a 30 m y la barreta de más adentro emplazada a 60 m del umbral.
- c) Luces solas cuando el umbral esté desplazado 300 m o más; todas ellas de color blanco variable.

Más allá de 300 m del umbral, cada posición de luz de la línea central consistirá en:

- a) Una barreta como las utilizadas en los 300 m internos; o
- b) Dos luces en los 300 m intermedios de la línea central y tres luces en los 300 m externos de la línea central; todas ellas de color blanco variable.

Cuando pueda demostrarse el nivel de estado de funcionamiento de las luces de aproximación especificado como objetivo de mantenimiento, más allá de los 300 m a partir del umbral la posición de la luz de la línea central puede consistir en cualquiera de:

- a) Una barreta; color blanco variable.
- b) Una sola luz; color blanco variable.

Las barretas tendrán 4 m de longitud como mínimo. Cuando las barretas estén compuestas de luces que se aproximen a fuentes luminosas puntiformes, las luces estarán uniformemente espaciadas a intervalos no superiores a 1.5 m.

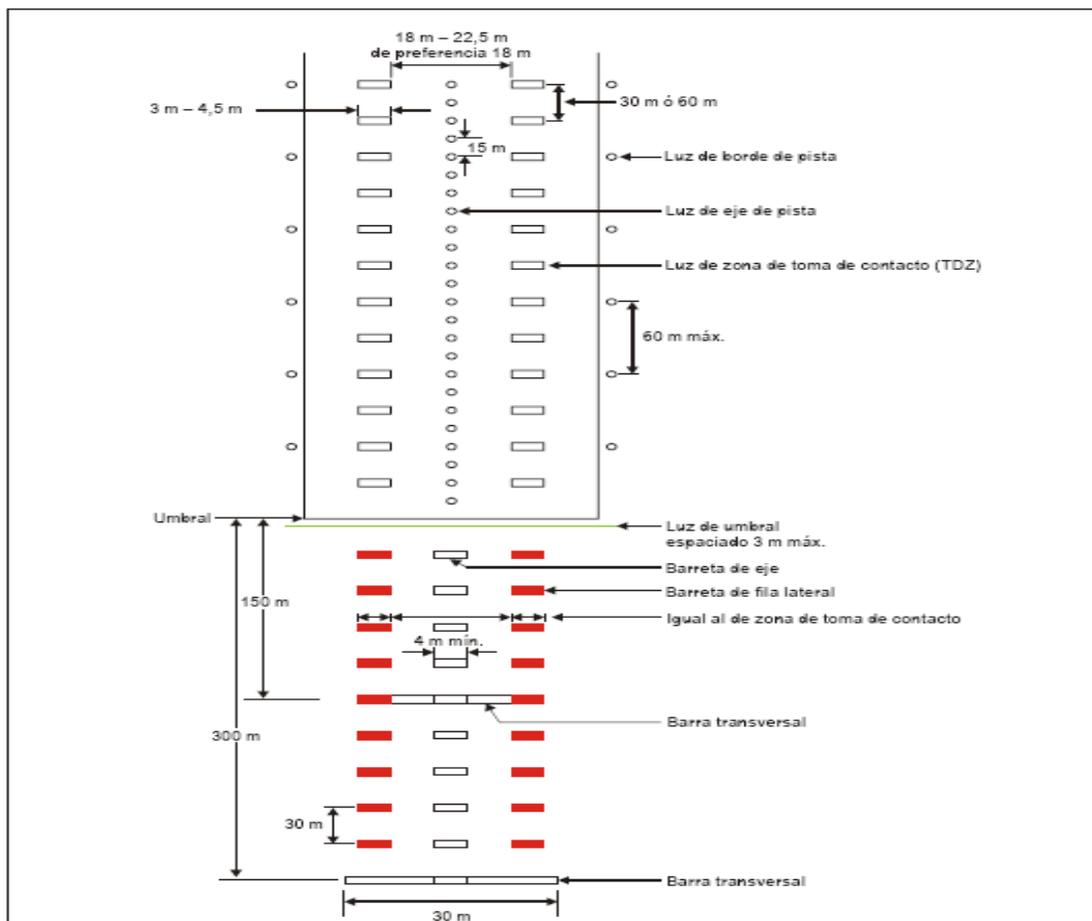


Figura 15. Iluminación de pista categorías II y III.

Cada una de las luces de descarga de condensador emitirá dos destellos por segundo, comenzando por la luz más alejada del sistema y continuando en sucesión en dirección del umbral hasta la última luz. El circuito eléctrico se concebirá de forma que estas luces puedan hacerse funcionar independientemente de las demás luces del sistema de iluminación de aproximación.

La fila consistirá en barretas rojas. La longitud de las barretas de la fila lateral y el espaciado entre sus luces serán iguales a los de las barretas luminosas de la zona de toma de contacto.

## **2.5 Categorías del ILS**

*Operación de Categoría I:* Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión no inferior a 60 m y con una visibilidad no inferior a 800 m o un alcance visual en la pista (RVR: Runway Visual Range) no inferior a 550 m.

*Operación de Categoría II:* Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión inferior a 60 m pero no inferior a 30 m y un RVR no inferior a 350 m.

*Operación de Categoría IIIA:* Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 30 m, o sin altura de decisión; y con un RVR no inferior a 200 m.

*Operación de Categoría IIIB:* Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 15 m, o sin altura de decisión; y un RVR inferior a 200m pero no inferior a 50 m.

*Operación de Categoría IIIC:* Aproximación y aterrizaje por instrumentos sin limitaciones de altura de decisión ni de RVR.



Figura 16. Condiciones meteorológicas visuales ideales.



Figura 17. Condiciones meteorológicas categoría I  
(**RVR = no inferior a 550 m**).



Figura 18. Condiciones meteorológicas categoría II  
(**RVR = no inferior a 350 m**).



Figura 19. Condiciones meteorológicas categoría IIIA  
(RVR no inferior a 200 m).



Figura 20. Condiciones meteorológicas categoría IIIB (RVR inferior a 200m pero no inferior a 50 m).



Figura 21. Condiciones meteorológicas categoría IIIC (sin RVR).

En las definiciones anteriores se entiende como altura de decisión a la del punto de la aproximación final en el que el piloto debe decidir continuar el aterrizaje si tiene referencias visuales externas (luces de aproximación o de pista) o iniciar una maniobra de aproximación frustrada si no las tiene. Por otra parte el alcance visual en la pista o RVR se define como la distancia a la que un piloto situado a 5 m de altura sobre el eje de pista, puede ver las señales de la superficie o las luces que la delimitan o identifican su eje.

De las definiciones anteriores y en el extremo de una operación en categoría IIIC se deduce que un piloto puede realizar una maniobra de aproximación a un aeropuerto convenientemente equipado, aterrizar y rodar por la pista hasta detener el avión y abandonarla, sin tener ninguna referencia visual y guiándose únicamente por los instrumentos.

Para poder realizar aproximaciones instrumentales, el piloto de una aeronave necesita conocer en todo momento su posición en el espacio con relación a la pista de aterrizaje donde debe tomar tierra, y tener información de guiado que le lleve hasta ella.

Al encontrarse el avión en un espacio tridimensional, necesita tres parámetros para definir su posición:

- En el plano horizontal, desplazamiento en acimutal con respecto al eje de pista y su prolongación.
- En el plano vertical que pasa por el eje de pista, desplazamiento con respecto a la trayectoria de descenso establecida como segura por encontrarse por encima de todos los obstáculos.
- La distancia hasta el punto en que comienza la superficie de la pista que puede ser utilizada para el aterrizaje.

Para proporcionar esta información de forma continua al piloto, se utilizan dos sistemas radioeléctricos complementarios, el ILS y el DME divididos cada uno

en dos segmentos, los equipos de tierra instalados en el aeropuerto y los instrumentos de a bordo instalados en el avión.

### **Subsistemas del ILS**

El ILS de tierra se divide en tres subsistemas:

- Localizador (LLZ).
- La Senda de Planeo (GP).
- Radiobalizas.

### **Localizador (LLZ)**

El Localizador (LLZ) define por medio de dos haces un plano vertical que pasa por el eje de pista y su prolongación, proporciona la información de desplazamiento acimutal con respecto a ese plano. Las antenas del localizador se sitúan más allá del extremo de pista y dan información de guiado durante toda la maniobra de aproximación y aterrizaje e incluso durante el rodaje por la pista. El localizador además transmite en código Morse el indicativo de la estación.

Las especificaciones en esta sección se refieren a los localizadores ILS que proporcionan información positiva de guía en los 360° de azimut, o que proporcionan dicha guía solamente dentro de una parte específica de la cobertura frontal.

La radiación del sistema de antenas del localizador producirá un diagrama de campo compuesto, modulado en amplitud por un tono de 90 Hz y otro de 150 Hz. El diagrama de campo de radiación produce un sector de rumbo con un tono predominando en un lado del rumbo y el otro tono predominando en el lado opuesto.

## Radiofrecuencia

El localizador trabajará en la banda de 108 a 111.975 MHz. La emisión del localizador se polarizará horizontalmente.

## Cobertura

El localizador proporciona señales suficientes para permitir un funcionamiento satisfactorio de una instalación típica de abordaje, dentro de los sectores de cobertura del localizador y de la trayectoria de planeo. El sector de cobertura del localizador se extenderá desde el centro del sistema de antena del localizador hasta distancias de:

46.3 km (25 NM) dentro de  $\pm 10^\circ$  respecto al eje de rumbo frontal.

31.5 km (17 NM) entre  $10^\circ$  y  $35^\circ$  respecto al eje de rumbo frontal.

18.5 km (10 NM) fuera de los  $\pm 35^\circ$  si se proporciona cobertura.

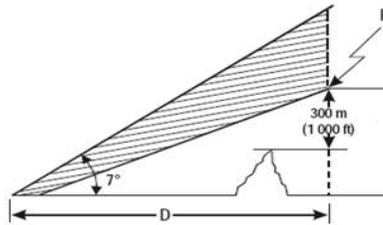
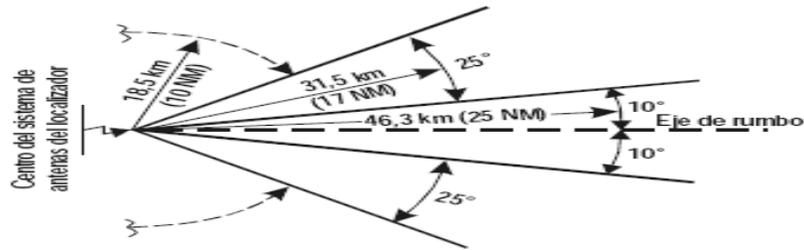


Figura 22. Cobertura del localizador con respecto a elevación.



Cuando las características topográficas lo dicten o cuando los requisitos operacionales y las demás instalaciones de navegación lo permitan, puede proporcionarse la cobertura siguiente:

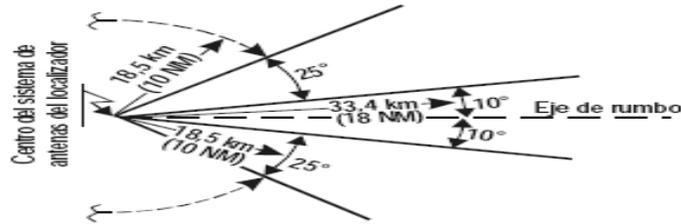


Figura 23. Cobertura del localizador en azimut.

### Senda de planeo (GP)

La Senda de Planeo (GP) define por medio de dos haces un plano inclinado que pasa de forma segura por encima de los obstáculos que pueda haber en la aproximación. Además la pendiente de este plano permite a las aeronaves realizar un descenso cómodo y suave. Las antenas de la senda de planeo se instalan próximas al umbral (THR: Threshold) a un lado de la pista y la información de guiado que proporcionan lleva a la aeronave hasta el punto de contacto con la pista.

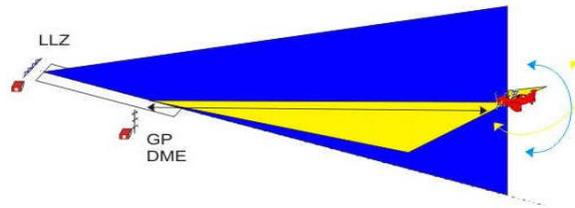


Figura 24. Intersección de los planos "X" y "Y".

La intersección de los dos planos indicados anteriormente define la curva hiperbólica seguida por el avión durante la maniobra de aproximación y aterrizaje, denominada trayectoria de descenso.

La radiación del sistema de antenas de trayectoria de planeo, UHF, producirá un diagrama de campo compuesto modulado en amplitud por un tono de 90 Hz y otro de 150 Hz. El diagrama está dispuesto de modo que suministra una trayectoria de descenso recta en el plano vertical que contiene al eje de la pista, con el tono de 150 Hz predominando por debajo de la trayectoria y el tono de 90 Hz predominando por encima de la trayectoria por lo menos hasta un ángulo igual a  $1.75 \theta$ .

La prolongación rectilínea, hacia abajo, de la trayectoria de planeo pasa por la referencia ILS a una altura que garantiza guía sin peligro sobre los obstáculos, así como la utilización segura y eficiente de la pista en servicio.

La altura de la referencia ILS, para las instalaciones ILS de las Categorías de actuación II y III, es de 15 m (50 ft). Se permite una tolerancia de + 3 m.

### **Radiofrecuencia**

El equipo de trayectoria de planeo funciona en la banda de 328.6 a 335.4 MHz. La emisión del equipo de trayectoria de planeo se polariza horizontalmente.

### **Cobertura**

El equipo de trayectoria de planeo emite señales suficientes para permitir el funcionamiento satisfactorio de una instalación típica de aeronave, en sectores de  $8^\circ$  en azimut a cada lado del eje de la trayectoria de planeo del ILS, hasta una distancia de por lo menos 18.5 km (10 NM) entre  $1.75 \theta$  y  $0.45 \theta$  por encima de la horizontal, o un ángulo menor tal que, siendo igual o superior a  $0.30 \theta$ , se requiere para garantizar el procedimiento de interceptación de la trayectoria de planeo.

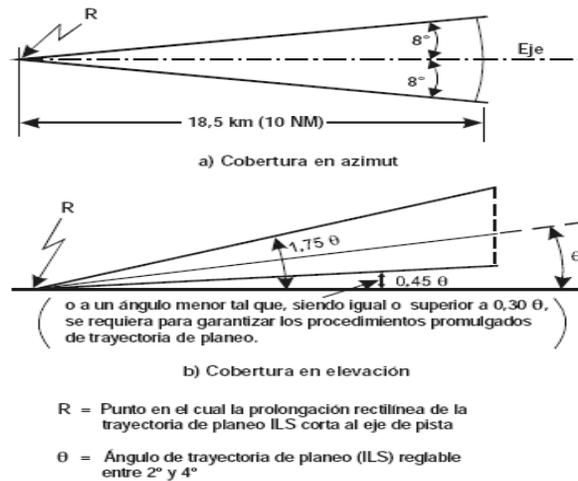


Figura 25. Cobertura de trayectoria de planeo.

## Radiobalizas

Las radiobalizas operan a 75 MHz y se utilizan para indicar la altura y posición aproximadas a las que se encuentra el avión durante su aproximación.

*Radiobaliza exterior* (OM, del inglés: *Outer Marker*): localizada a 3.9 millas náuticas (7.2 km) del umbral de la pista. Emite dos rayas (Morse) por segundo con un tono de 400 Hz; su indicador es azul. Se utiliza esta radiobaliza para ayudar a los chequeos de altura, distancia y funcionamiento del equipo. Se puede combinar con un NDB para crear una Radiobaliza Exterior de Localizador (LOM, del inglés: *Locator Outer Marker*).

*Radiobaliza intermedia* (MM, del inglés: *Middle Marker*): se localiza para que, en condiciones de baja visibilidad informe que el contacto con la pista es inminente. Está modulada con un tono de 1300 Hz y emite puntos y rayas (Morse) alternativos. Su color es ámbar.

*Radiobaliza interior* (IM, del inglés: *Inner Marker*): cuando está instalada, se localiza para que en condiciones de baja visibilidad se indique que se está a punto de cruzar el umbral de la pista. En esta posición un avión normalmente

llega a las condiciones mínimas de la Categoría II. La modulación es de puntos en código Morse a 3000 Hz, en 6 segundos y es de color blanca.

### **Radiofrecuencia**

Las radiobalizas trabajan en 75 MHz con una tolerancia de frecuencia de  $\pm 0.005\%$  y utiliza polarización horizontal.

### **Cobertura**

El sistema de radiobalizas se ajusta de modo que proporciona cobertura en las siguientes distancias, medidas en la trayectoria de planeo y en la línea de rumbo del localizador del ILS:

- a) *Radiobaliza interna (si se instala):* 150 m  $\pm$  50 m (500 ft  $\pm$  160 ft).
- b) *Radiobaliza intermedia:* 300 m  $\pm$  100 m (1 000 ft  $\pm$  325 ft).
- c) *Radiobaliza exterior:* 600 m  $\pm$  200 m (2 000 ft  $\pm$  650 ft).

## 2.6 Relación del ILS con otros sistemas

El sistema DME proporciona a la aeronave de forma continua información de distancia hasta el umbral de la pista. Las antenas del DME se instalan próximas al umbral junto con las de la senda de planeo y su frecuencia se intercepta con la del localizador. La referencia de distancia cero se establece en el umbral.

Como hemos visto en el apartado dedicado a la historia, durante mucho tiempo y aún hoy en día en muchos aeropuertos, la información de distancia se proporcionaba por medio de dos o tres radiobalizas de 75 MHz instaladas en puntos específicos e indicados en las cartas de aproximación. Al generalizarse la instalación de interrogadores DME a bordo de las aeronaves, se han ido sustituyendo las radiobalizas por transpondedores DME a bordo que proporcionan las siguientes ventajas:

- La información de distancia es continua, lo que mejora y facilita los procedimientos de aproximación.
- No requiere instalaciones en el exterior del aeropuerto abaratando la instalación.

Con estas tres informaciones el piloto es capaz de conocer su posición en el espacio y guiar a la aeronave, siguiendo sus instrumentos, de forma segura hasta la pista incluso en condiciones de baja visibilidad.

Si estas tres informaciones se introducen en el sistema del piloto automático, este es capaz de guiar al avión de forma completamente automática y segura hasta la pista facilitando el trabajo del piloto durante esta crítica fase del vuelo.

También hay que incluir dentro del ILS y del DME los elementos de supervisión y control, que por medio de antenas, sensores y monitores supervisan constantemente las señales del ILS garantizando su fiabilidad e integridad.

Como hemos dicho, el ILS y el DME son el componente radioeléctrico de las operaciones de aproximación instrumental pero no son los únicos necesarios para que puedan realizarse. Los componentes visuales como luces de aproximación, zona de contacto, eje, borde de pista, rodadura, etc. también son imprescindibles proporcionando al piloto las necesarias referencias visuales en el momento establecido por la categoría de operación, para poder culminar con seguridad el aterrizaje en la pista y el rodaje hasta la plataforma, donde realmente acaba el vuelo y el viaje para los pasajeros.

La instrumentación a bordo de las aeronaves, la rigurosa preparación y constante entrenamiento de las tripulaciones así como el riguroso cumplimiento de los procedimientos tanto a bordo como en el aeropuerto, son así mismo indispensables para la realización de aproximaciones de baja visibilidad.

Todos estos elementos y el trabajo de muchas personas de mantenimiento, control y operaciones permiten que todos los días en todo el mundo se realicen cientos de operaciones de baja visibilidad, que con total seguridad garantizan la regularidad del transporte aéreo y ahorran mucho tiempo, incomodidades y dinero a pasajeros y compañías aéreas.

## **2.7 PANS-OPS parte III procedimientos de aproximación**

En general, el procedimiento de aproximación por instrumentos se establece según el tipo de terreno que rodea el aeródromo, el tipo de operaciones que se prevé y la aeronave de que se trate. A su vez, estos factores influyen sobre el tipo y emplazamiento de las ayudas para la navegación en relación con la pista o el aeródromo. Las restricciones del espacio aéreo también pueden afectar el emplazamiento de las ayudas para la navegación.

Los criterios ILS que se exponen en detalle en el capítulo 21 (del PANS-OPS) tienen en cuenta el performance del equipo en tierra y del equipo de a bordo y, así mismo, la integridad necesaria para responder a los objetivos operacionales de las categorías I, II y III que se describen en el Anexo 10. Dentro del mismo capítulo se encuentra el tramo de precisión del ILS y el tramo de aproximación frustrada.

## **2.8 TERPS procedimientos de aproximación ILS**

El volumen III, capítulo 3 de los TERPS contiene el diseño de procedimientos de aproximación inicial, intermedio, final y de la aproximación frustrada.

Estos criterios son aplicados a las aproximaciones basadas en el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS).

En este documento se encuentran las especificaciones para el diseño de aproximación final y aproximación frustrada con sus respectivas fórmulas para la evaluación de obstáculos dependiendo de la superficie en la que se encuentren los obstáculos.



# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

### 3.1 Metodología

Este trabajo está fundamentado en un método propio, ya que para su planteamiento y desarrollo se utilizaron ideas y parámetros propuestos por los integrantes del proyecto en estudio.

Para la realización del proyecto llevamos a cabo una lluvia de ideas, de la cual surgieron diversas propuestas, todas ellas encaminadas al ILS, sin embargo, al final se eligió aquella que fue de interés general con respecto a las inquietudes de los integrantes del equipo y que fue el diseño de procedimientos ILS (Sistema de Aterrizaje Instrumental que permite guiar a la aeronave con seguridad y precisión a la pista).

Posteriormente, nos dimos a la tarea de hacer una revisión exhaustiva en diferentes fuentes de información que nos permitieran obtener datos relevantes, metodologías y aspectos normativos que fueran de utilidad para darle una mejor y óptima orientación a esta investigación, entre los que destacan los siguientes documentos:

- Documento Oficial de la OACI, PANS-OPS, del cual se obtuvieron los lineamientos para la elaboración del diseño de los procedimientos ILS, basados en la normatividad de la OACI.
- Documento Oficial de la FAA, TERPS, del cual se obtuvieron los lineamientos para la elaboración del diseño de los procedimientos ILS, basados en la normatividad de la FAA.

Una vez que definidos la metodología y el tema, nos dispusimos a buscar un aeropuerto en la República Mexicana que, como condición principal, no contara con ILS, cuyas condiciones meteorológicas fuesen adversas y cuya orografía no fuese la adecuada para realizar operaciones seguras. Basados en lo expuesto anteriormente, elegimos el Aeropuerto Internacional de Guanajuato y la cabecera 13 de éste, para realizar el estudio.

Después de haber consultado los documentos antes mencionados, se inicio el diseño de los procedimientos ILS en la aproximación final a la cabecera 13 del Aeropuerto Internacional de Guanajuato; primero bajo la normatividad OACI, es decir, los PANS-OPS. Para ello fue necesario utilizar AUTOCAD 2007, en el cual se realizó el trazo de las superficies ILS en tres dimensiones.

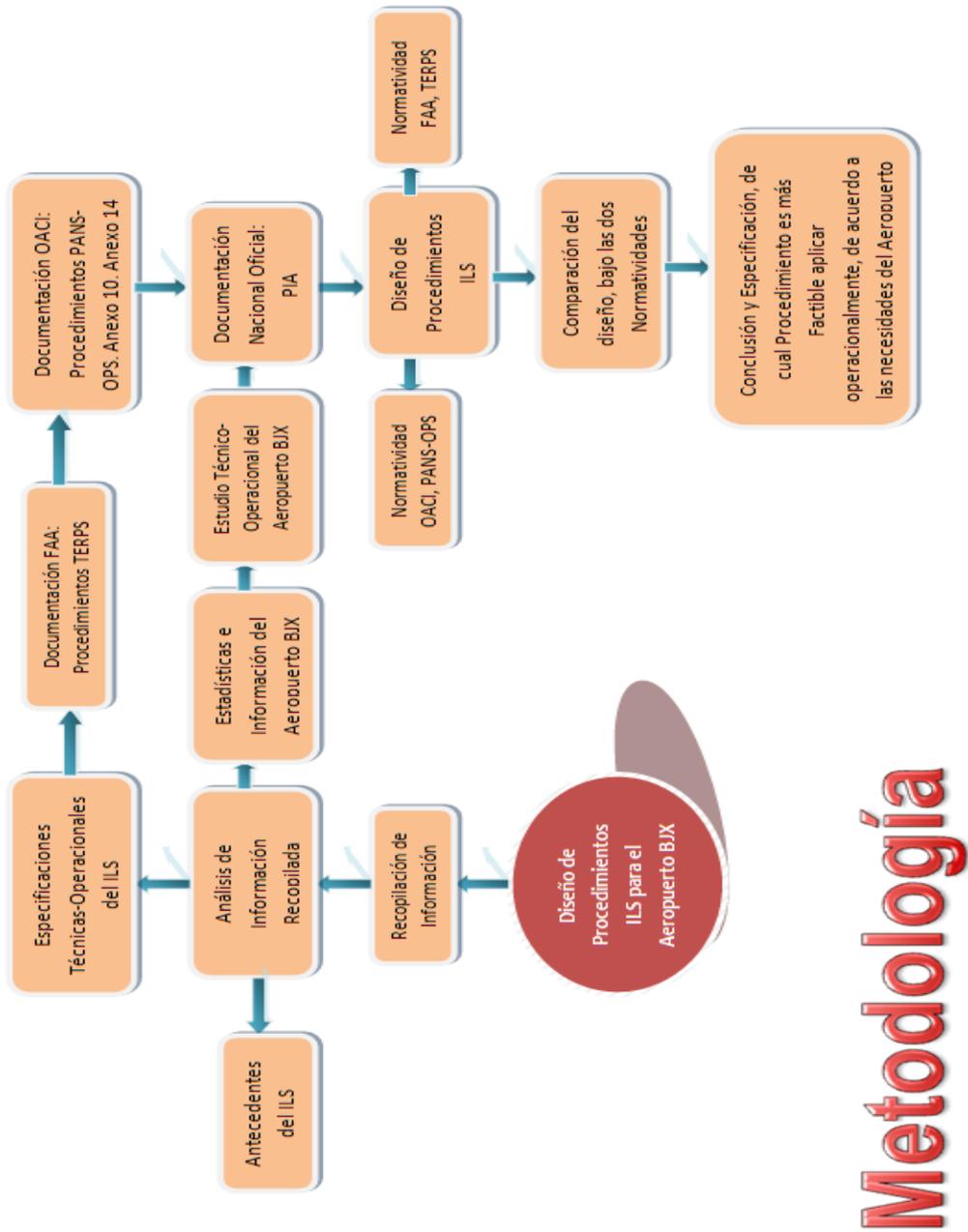
Posteriormente utilizamos Google SketchUp, para simular las superficies ILS y Google Earth, para mostrar un panorama real de cómo quedarían los diseños de ser aplicados en el aeropuerto en estudio. Por último utilizamos el programa diseñado por la OACI denominado OAS (Superficies de Evaluación de Obstáculos), con el fin de calcular las distancias y alturas para graficar las superficies ILS en el segmento final bajo procedimientos PANS-OPS.

Se continuó con el mismo procedimiento para realizar los diseños de las superficies ILS en el segmento final, para la cabecera 13 del Aeropuerto Internacional de Guanajuato, pero ahora bajo la normatividad FAA, es decir, los TERPS.

Ya concluidos ambos procedimientos, proseguimos con la realización del análisis de obstáculos para este aeropuerto, definiendo como obstáculo, todo aquel objeto que penetra en cualquier lugar las superficies ILS, bajo los dos procedimientos, también elaboramos los diseños a mano alzada a escala 1:50000 de dichas superficies.

Al finalizar el análisis de obstáculos, se compararon los procedimientos desarrollados, identificando las diferencias entre ambas normatividades y resaltando las ventajas y desventajas de cada uno.

Se determinó cuál procedimiento es factible de aplicar operacionalmente hablando, de acuerdo a las necesidades y condiciones establecidas en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato.



# Metodología

Figura 26. Diagrama de flujo.



**CAPÍTULO IV**  
**REQUERIMIENTOS**  
**PARA EL DISEÑO DE**  
**PROCEDIMIENTOS ILS**  
**APROXIMACIÓN FINAL**

## 4.1 Procedimientos específicos de aproximación por instrumentos (OACI)

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación final del ILS bajo la normatividad de la OACI que se encuentra en el documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

### Construcción del procedimiento

El procedimiento que ha de seguirse a partir del vuelo en ruta hasta el tramo de precisión de la aproximación ILS y en la fase final de la aproximación frustrada debe estar de acuerdo con los criterios generales.

### Condiciones normalizadas

Las hipótesis normalizadas en las cuales se basan los procedimientos son las siguientes:

Se supone que las dimensiones máximas de la aeronave son:

Categoría de aeronave	Envergadura (m)	Distancia vertical entre las trayectorias en vuelo de las ruedas y de la antena GP (m)
H	30	3
A,B	60	6
C,D	65	7
D <sub>L</sub>	80	8

Tabla 6. Categoría de aeronave respecto a la envergadura [6].

## **Cálculo de la OCA/H**

Hay tres métodos de cálculo de la OCA/H.

El primer método comprende un juego de superficies calculado a partir de las superficies de limitación de obstáculos en la aproximación de precisión del Anexo 14 y una superficie de aproximación frustrada denominada "ILS básicas".

El segundo método comprende un conjunto de superficies de evaluación de obstáculos (OAS) por encima de las superficies ILS básicas.

El tercer método, que utiliza un modelo de riesgo de colisión (CRM), se emplea ya sea en el reemplazo del segundo método, que se funda en el empleo de los criterios OAS, o cuando se opina que es excesiva la densidad de los obstáculos por debajo de las OAS.

*Tramo de precisión:* El tramo de precisión comienza en el punto de aproximación final.

## **4.2 Margen de franqueamiento de obstáculos del tramo de precisión – aplicación de las superficies ILS básicas**

Definición de las superficies ILS básicas. Las superficies que han de considerarse corresponden a las superficies limitadoras de obstáculos del Anexo 14 prescritas para las pistas de aproximación de precisión de números de clave 3 ó 4.

La superficie de aproximación cuya segunda parte continua con una pendiente del 2.5% hasta el Punto de Aproximación Final (FAP).

La franja de pista que se supone horizontal en la elevación del umbral.

Una superficie en pendiente que comienza en un punto situado 900 m pasado el umbral, a la elevación de este último, elevándose con una pendiente del 2.5%; y divergiendo para extenderse entre las superficies de transición. Esta es la superficie de aproximación frustrada, que se extiende divergiendo constantemente hasta el nivel de la superficie horizontal interna, y a partir de ésta continua con la misma pendiente, pero con una divergencia del 25% hasta la terminación del tramo de precisión.

Las superficies de transición se extienden longitudinalmente a lo largo de los costados de las superficies de aproximación y de aproximación frustrada y hasta una altura de 300 m sobre la elevación del umbral.

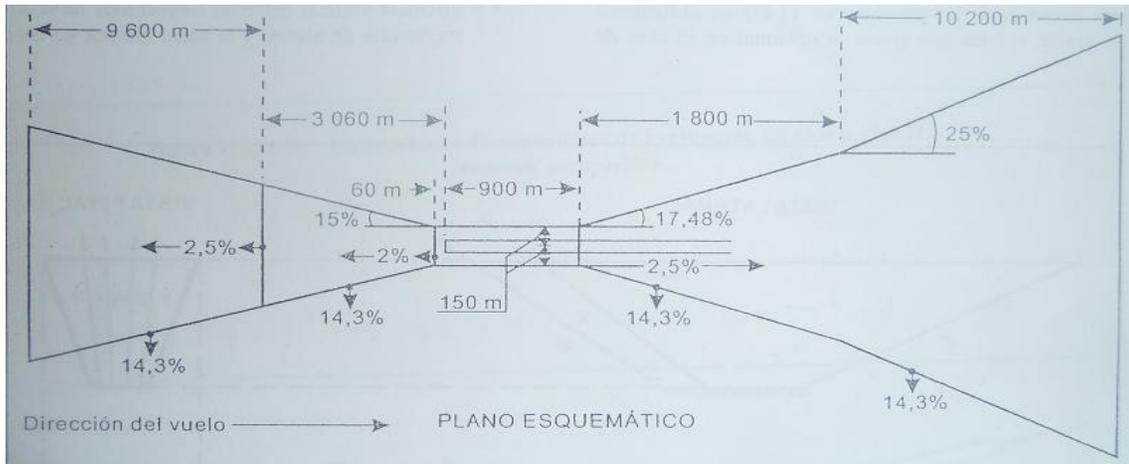


Figura 27. Divergencia de ILS básicas [6].

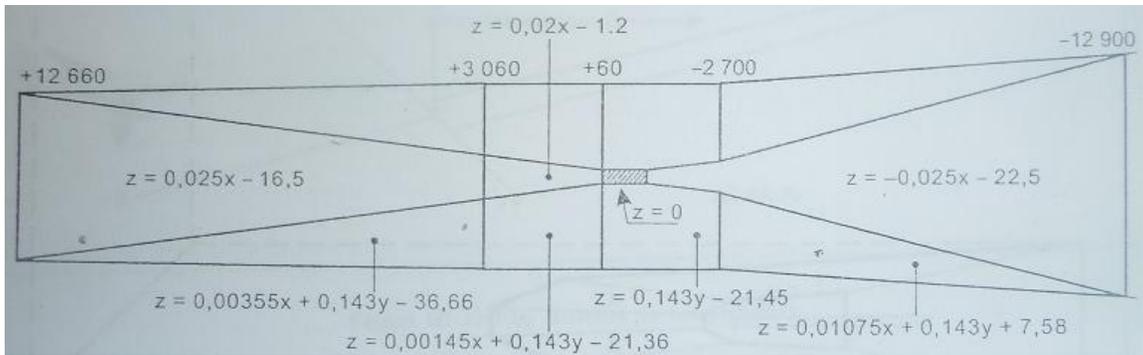


Figura 28. Fórmulas para el cálculo de Z ILS básicas [6].

Fórmulas para el cálculo de Z (altura) dependiendo la zona en donde se encuentre el obstáculo ya establecidas en el documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

Formulas para el cálculo de Z

- $z = 0.025x - 16.5$  (1)
- $z = 0.00355x + 0.143y - 36.66$  (2)
- $z = 0.00145x + 0.143y - 21.36$  (3)
- $z = 0.025x - 16.5$  (4)
- $z = 0.143y - 21.45$  (5)
- $z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$  (6)
- $z = - 0.025x - 22.5$  (7)

## **Margen de franqueamiento de obstáculos del tramo de precisión – aplicación de los criterios relativos a las superficies de evaluación de obstáculos (OAS)**

Determinación de las superficies. Las OAS están formadas por seis superficies planas en pendientes (indicadas por las letras W, +X, -X, +Y, -Y y Z) dispuestas simétricamente alrededor de la derrota del tramo de precisión, y por el plano horizontal que contiene el umbral. La geometría de las superficies en pendiente esta precisamente definida por cuatro ecuaciones lineales simples  $z = Ax + By + C$ . En estas ecuaciones, "x" e "y" son coordenadas de posición y "z" es la altura de la superficie en esa posición. Para cada superficie A, B y C se obtienen del programa OAS de los PANS-OPS correspondientes a la gama operacional de distancias entre el localizador y el umbral y los ángulos de trayectoria de planeo.

Sistema de coordenadas. Las posiciones de los obstáculos están relacionadas con un sistema convencional de coordenadas x, y, z que tienen su origen en el umbral. El eje x es paralelo a la derrota del tramo de precisión, los valores positivos de x están medidos antes del umbral y los valores negativos de x después del umbral. El eje y, esta en ángulo recto con el eje x, en todos los cálculos conexos con la geometría de las OAS, la coordenada siempre se considera positiva. Todas las dimensiones relacionadas con OAS se especifican en metros. El eje z es vertical y las alturas por encima del umbral son positivas.

Constantes OAS. Las constantes A, B y C para cada superficie en pendiente que correspondan a las Categorías I y II se obtienen del programa OAS de los PANS-OPS.

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación frustrada del ILS bajo la normatividad de la OACI contenida dentro del documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

### 4.3 Procedimiento de aproximación frustrada OACI

#### Programa OAS

A continuación se hace una descripción del funcionamiento del programa OAS.

Datos de ayudas para la navegación.

The screenshot shows the 'PANS-OPS\_OAS - [OAS]' software interface. The window title is 'PANS-OPS\_OAS - [OAS]'. The interface includes a menu bar with 'File', 'Edit', and 'Help'. The main area is divided into several sections:

- Bok\_AcCat**: Contains 'ILS Category' (dropdown), 'Glide path (°)' (dropdown), 'ILS RDH at THR' (input field with '15'), 'LLZ THR Dist' (input field), and 'LLZ Course width at THR' (input field with '210').
- AIRCRAFT DATA**: Contains 'M/App CG (%)' (dropdown), 'CAT' (dropdown), 'STD' (checkbox), 'Wing Semi Span' (input field with '0'), and 'GP Wheel / Antenna height' (input field with '0').
- ILS OAS constants**: A table of input fields for W, W\*, X, Y, Z, A, B, and C.
- OAS Template coordinates -m (metres)**: Contains 'THR Elevation' and two tables of input fields for C, D, E, C\*, C\*\*, D\*, E\* and X, Y.
- Bok\_AcStd**: Contains 'X', 'Y', and 'Z' (input field with '0') coordinates.

Figura 29. Programa OAS.

La primera pestaña muestra la categoría de aproximación a elegir:

Figura 30. Datos de ayudas para la navegación categoría ILS [6].

La segunda pestaña muestra el ángulo de la trayectoria de planeo (ángulo óptimo 3°).

Figura 31. Datos de ayudas para la navegación ángulo de trayectoria de planeo [6].

En el recuadro de la RDH se inserta el valor del punto de referencia del ILS con las siguientes características:

Pistas categoría I, claves 1 y 2: RDH 12 y 18 m (40 y 60 ft).

Pistas categoría I, claves 3 y 4: RDH 15 y 18 m (50 y 60 ft).

Pistas categoría II, claves 3 y 4: RDH 15 y 18 m (50 y 60 ft).

Figura 32. Datos de ayudas para la navegación RDH [6].

En el recuadro de anchura del rumbo en el THR no puede ser inferior a 210 m y si es mayor se debe utilizar el método del modelo de riesgo de colisión.

Figura 33. Datos de ayudas para la navegación anchura del rumbo en el THR [6].

En la primera pestaña de datos de aeronave se elige la pendiente de aproximación frustrada.

	W	B	C	Y	A	B	C
W	2.5	0.000000	-8.01		0.023948	0.210054	-21.51
W*	2			Z	-0.025000	0.000000	-22.50

Figura 34. Datos de aproximación frustrada [6].

Datos de aeronave

En la segunda pestaña se elige la categoría de aeronave y en el recuadro de STD se elige la opción estándar si se quiere.

	W	C	Y	A	B	C
W	0.028500	0.000000		0.024904	0.218443	-16.06
W*			Z	-0.025000	0.000000	-22.50

Figura 35. Datos de categoría de aeronave [6].

Constantes: son datos de las fórmulas para calcular las alturas en cada superficie.

Varían dependiendo:

La categoría del ILS.

Ángulo de la trayectoria de planeo.

Datos de la aeronave.

Constantes OAS							
	A	B	C		A	B	C
W	0.028500	0.000000	-8.01	Y	0.023948	0.210054	-21.51
W*				Z	-0.025000	0.000000	-22.50
X	0.027681	0.182500	-16.72				

Figura 36. Constantes OAS [6].

Coordenadas de plantillas: son datos para el diseño del procedimiento de aproximación frustrada.

Varían dependiendo:

La categoría del ILS.

Ángulo de la trayectoria de planeo.

Datos de la aeronave.

Coordenadas de plantillas OAS-m (metros)					
Elevación THR			Altura 300 m		
	X	Y		X	Y
C	281	49	C*	10807	96
D	-286	135	C**		
E	-900	205	D*	5438	910
			E*	-12900	3001

Figura 37. Coordenadas de plantillas OAS [6].

Calculador de altura: al insertar las coordenadas en X y Y arroja la altura en Z.

Varían dependiendo:

La categoría del ILS. Incrementándose Z para categoría II.

Ángulo de la trayectoria de planeo. Aumentando Z de 2.8 a 3.5.

Datos de la aeronave. Decreciendo Z, categoría A mayor y categoría D<sub>L</sub> menor.

Calculador de altura OAS			
X	<input type="text"/>	m	
Y	<input type="text"/>	m	
Z	<input type="text"/>	m	

Figura 38. Calculador de altura OAS [6].

Ejemplo: a continuación se ven los datos calculados con una longitud de pista de 2700 m + 300 m (distancia del umbral al localizador), categoría I del ILS, ángulo de trayectoria de planeo 3°, una RDH de 15 m, anchura del rumbo en

el THR de 210 m, para una categoría de aeronave A. Generados por el programa.

**PANS-OPS\_OAS**  
 Edit Archivo Help

**OAS**

**DATOS DE AYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN**

Categoría de aproximación: Categoría I  
 Trayectoria de planeo (°): 3  
 RDH: 15 m  
 Dist LLZ THR <sup>(1)</sup>: 3000 m  
 Anchura del rumbo en el THR: 210 m

**DATOS DE AERONAVE**

M/App CG (%): 2,5  
 CAT: A  
 STD:   
 Semienvvergadura: 30 m  
 GP Ruedas / Altura de antena: 6 m

**Constantes OAS**

	A	B	C		A	B	C
W	0,028500	0,000000	-8,01	Y	0,023948	0,210054	-21,51
W*				Z	-0,025000	0,000000	-22,50
X	0,027681	0,182500	-16,72				

**Coordenadas de plantillas OAS-m (metros)**

Elevación THR

	X	Y
C	281	49
D	-286	135
E	-900	205

Altura 300 m

	X	Y
C*	10807	96
C**		
D*	5438	910
E*	-12900	3001

**Calculador de altura OAS**

X: m Y: m Z: 0 m

Figura 39. Datos del programa OAS generados como ejemplo [6].

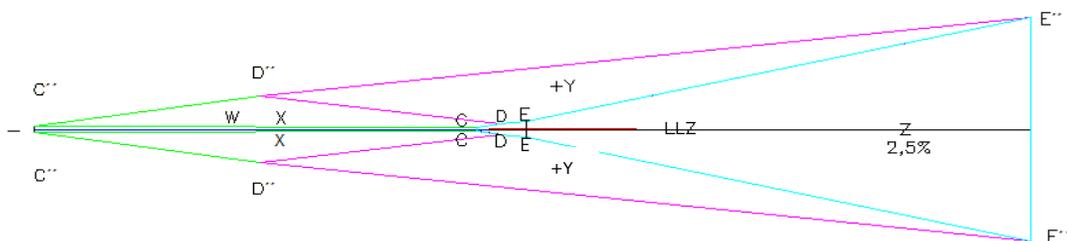


Figura 40. Plantilla diseñada con datos generados por el programa OAS [6].

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación final bajo la normatividad de la FAA contenida en el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3. Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

### 4.4 Procedimiento segmento final FAA

El área se origina 200 ft desde el LTP (punto del umbral de aterrizaje) o FTP (punto del umbral ficticio) y termina en el PFAF (punto de referencia de la aproximación final de precisión). El área primaria consiste en las superficies OCS "W" y "X", y el área secundaria consiste en la superficie OCS "Y".

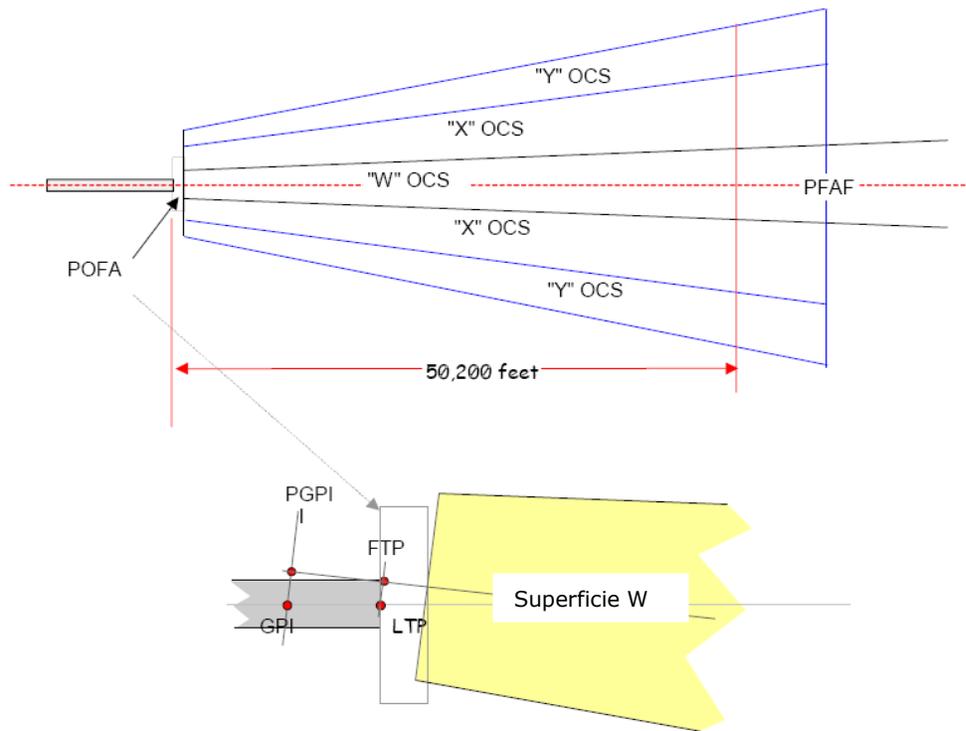


Figura 41. Zona libre de obstáculos de precisión.

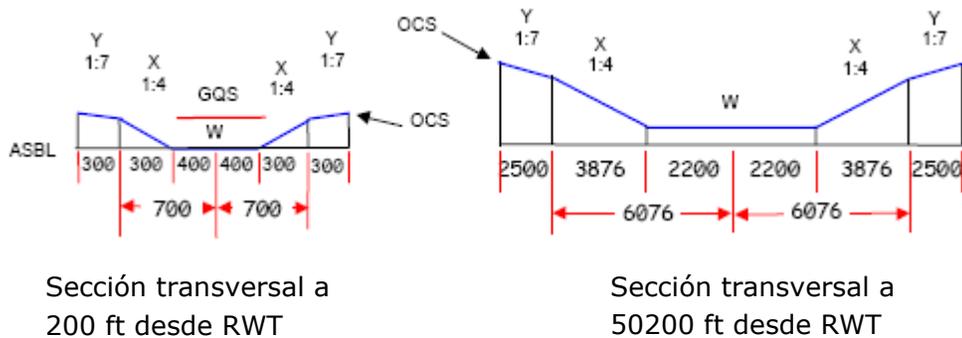


Figura 42. Secciones transversales del segmento final.

## Alineación

El rumbo final se alinea normalmente con el eje de la pista extendida ( $\pm 0.03^\circ$ ) con el LTP/RWT (umbral de pista) ( $\pm 5$  ft). Donde un único requerimiento operacional indica una necesidad para un rumbo desplazado, puede ser aprobado si el desplazamiento no excede  $3^\circ$ . Donde el rumbo no se alinea con el RCL (eje de pista), el mínimo HAT (altura por encima de la zona de aterrizaje) es de 250 ft, y el mínimo RVR es de 2400 ft. Además, el rumbo debe interceptar el eje de la pista en un punto 1100 a 1200 ft hacia el LTP/RWT desde el punto de la DA (altura de decisión).

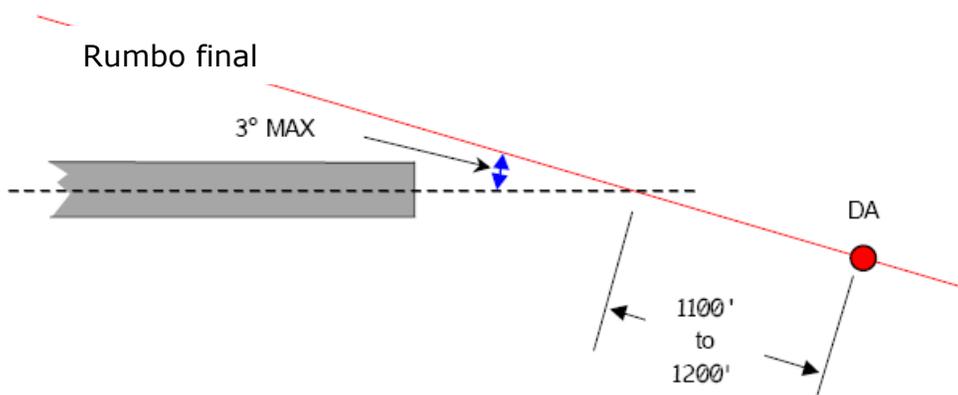


Figura 43. Desplazamiento final.

## Pendiente de OCS

En este documento, las pendientes se expresan como ascenso sobre vuelo; Ejemplo. Determine la pendiente de OCS asociada a un GPA (ángulo de pendiente de planeo) específico usando la fórmula siguiente:

$$S = \frac{102}{\text{GPA}} \quad \text{Ejemplo: } \frac{102}{3} = 34 \quad (8)$$

## Origen

La OCS comienza en 200 ft desde LTP o FTP, medido a lo largo del eje del rumbo y extendiéndose al PFAF. La pendiente de levantamiento normalmente comienza en el origen de OCS. Sin embargo, cuando la distancia del GPI al RWT es menor de 954 ft, la pendiente es cero desde este origen a la distancia "d" desde el origen. La pendiente asociada con la senda de planeo comienza en este punto. Utilice la fórmula siguiente para determinar la distancia "d":

$$d = 954 - \text{GPI} \quad (9)$$

Donde: GPI = 801.41      Ejemplo:  $954 - 801.41 = 152.59$

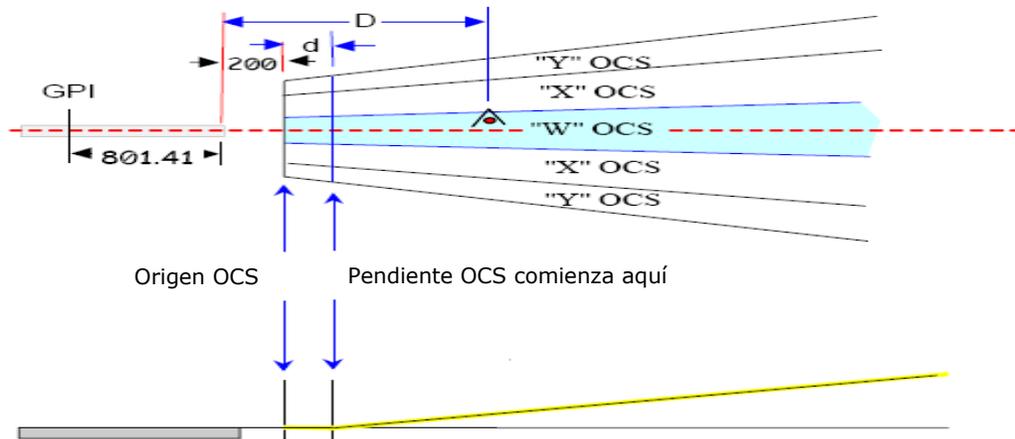


Figura 44. Origen de la pendiente de la OCS cuando  $\text{GPI} < 954$  ft.

## Zona de precisión libre de objetos (POFA)

La POFA es un área centrada extendida en el eje de la pista, comenzando en el RWT, 200 ft de largo, y  $\pm 400$  ft de ancho. El dueño del aeropuerto es responsable de mantener requerimientos de obstrucción de la POFA (zona de precisión libre de obstáculos) en la AC 150/5300-13. Si la POFA no está despejada, el mínimo HAT/visibilidad es 250 ft/ 3/4 SM.

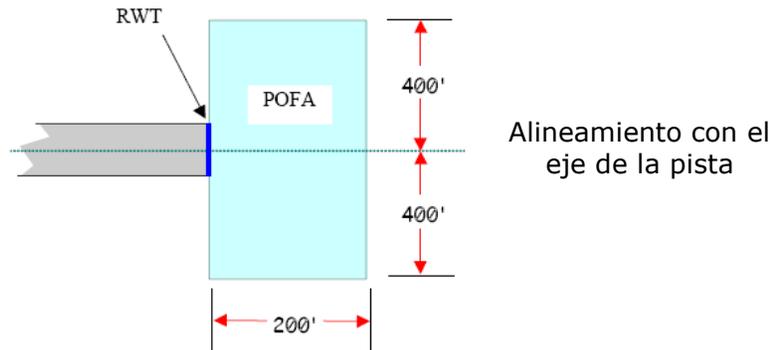


Figura 45. POFA.

**Superficie W**

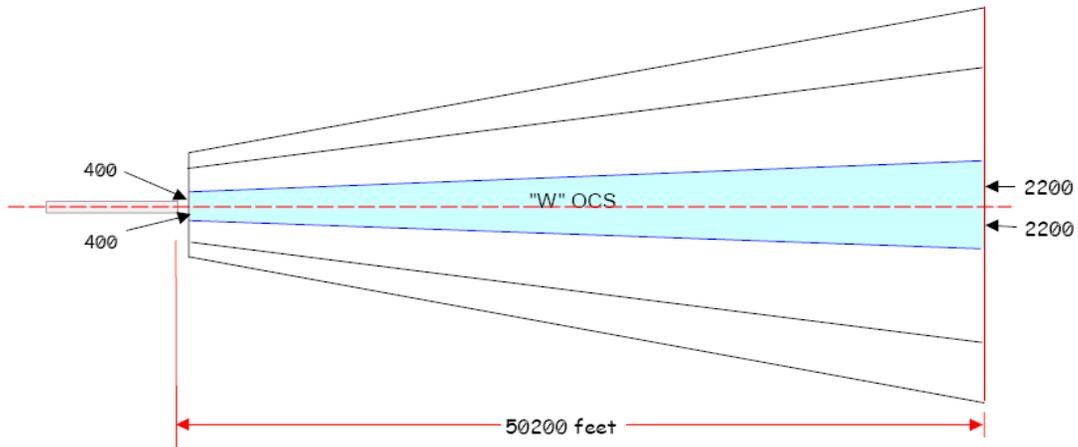


Figura 46. OCS "W".

Ancho. El ancho es de 400 ft a cualquier lado del rumbo comenzando, y ampliándose uniformemente a 2200 ft a cualquier lado del rumbo, 50200 ft desde el LTP o FTP, como es definido por la fórmula:

$$D_w = 0.036 (D - 200) + 400 \tag{10}$$

Donde:

D = la distancia en ft desde el LTP o FTP.

D<sub>w</sub> = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "W".

Altura. La altura ( $Z_w$ ) de la "W" OCS sobre ASBL es definida por la fórmula:

$$Z_w = (D - (200 + d))/S \quad (11)$$

Donde:

D = la distancia en ft desde el RWT.

d = 954 ft - GPI, si el GPI es mayor que 954 ft d = 0.

S = pendiente de la superficie " W".

Penetraciones OCS " W". Bajo mínimos se alcanzan cuando la superficie de "W" este despejada. Si la superficie es penetrada por un obstáculo existente, ajuste la altura de la obstrucción, incremente el GPA, o desplace el RWT para eliminar la penetración. Si la penetración no puede ser eliminada, ajuste la DA.

### Superficie X

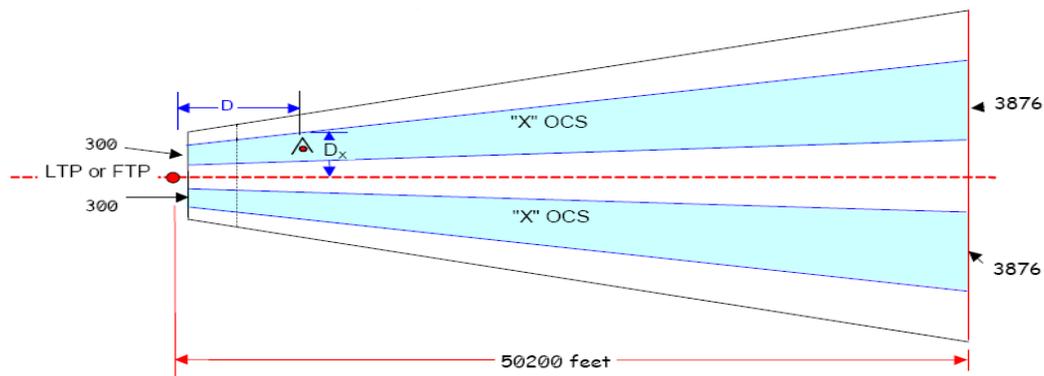


Figura 47. OCS "X".

Ancho. La distancia perpendicular ( $D_x$ ) desde el rumbo al límite externo del " X" OCS es definido por la fórmula:

$$D_x = 0.10752 (D - 200) + 700 \quad (12)$$

Donde:

D = la distancia en ft desde el RWT.

$D_x$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "X".

Altura. El " X" OCS comienza en la altura de la superficie " W" a la distancia "D" desde el LTP o FTP, e incrementándose con una pendiente de 1:4 en dirección perpendicular al rumbo de la aproximación final. Determine la altura ( $Z_x$ ) sobre la ASBL (línea base de la superficie de aproximación) para una localización específica de la " X" OCS usando la fórmula siguiente:

$$Z_x = ((D - (200 + d))/S) + ((D_0 - D_w)/4) \quad (13)$$

Donde:

D = la distancia en ft desde el LTP o FTP.

d = 954 ft - GPI, si el GPI es mayor que 954 ft d = 0.

S = pendiente de la superficie " W".

$D_0$  = la distancia perpendicular en ft entre el rumbo del eje de la pista y un punto específico en la superficie "X".

$D_w$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al límite exterior de la superficie "W".

Penetraciones OCS " X". Bajo mínimos se pueden alcanzar cuando la " X" OCS este despejada. Para eliminar, evitar, o atenuar una penetración, tome una de las siguientes medidas de preferencia en el orden enlistado.

- a) Quitar o ajustar la localización de la obstrucción.
- b) Desplazar el RWT.
- c) Incrementar el GPA.
- d) Ajustar la DA.

**Superficie Y**

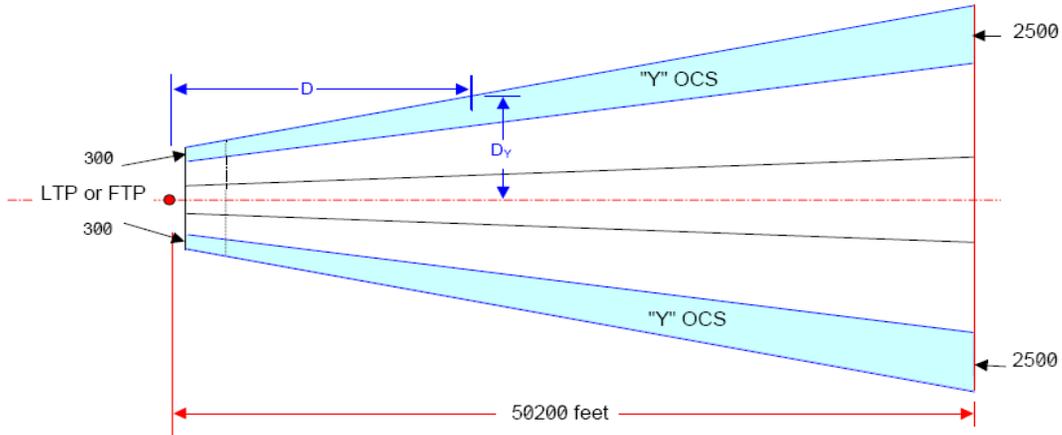


Figura 48. OCS "Y".

Ancho. La distancia perpendicular ( $D_y$ ) desde el eje de la pista extendiéndose al límite externo de la "Y" OCS es definido por la fórmula:

$$D_y = 0.15152 (D-200)+1000 \quad (14)$$

Donde:

$D$  = la distancia en ft desde el LTP o FTP.

$D_y$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "Y".

Altura. "Y" OCS comienza en la altura de la superficie "X" a una distancia "D" desde el LTP o FTP, incrementándose con una pendiente de 1:7 en dirección perpendicular al rumbo de aproximación final. La altura ( $Z_y$ ) de la superficie "Y" sobre el ASBL se define por la fórmula:

$$Z_y = ((D - (200 + d))/S) + ((D_x - D_w)/4) + ((D_0 - D_x)/7) \quad (15)$$

Donde:

$D$  = la distancia en ft desde el LTP o FTP.

$d = 954 \text{ ft} - \text{GPI}$ , si el GPI es mayor que 954 ft  $d = 0$ .

S = pendiente de la superficie " W".

$D_0$  = la distancia perpendicular en ft entre el rumbo del eje de la pista y un punto específico en la superficie "Y".

$D_x$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "X".

$D_w$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "W".

Penetraciones OCS " Y". Bajo mínimos se pueden alcanzar cuando la " Y" OCS este despejada. Cuando la OCS es penetrada, quite la obstrucción o reduzca su altura para despejar la OCS. Si esto no es posible, una evaluación individual es necesaria. Considere la naturaleza física de la obstrucción, la cantidad de penetración, localización de la obstrucción con respecto al limite de la superficie " X", y densidad del medio ambiente de la obstrucción para determinar si el procedimiento requiere ajuste. (USAF: Ajuste obligatorio si la obstrucción no puede ser quitada, ajustar altura), Si se requiere un ajuste, tome medidas apropiadas de la lista siguiente:

Ajustar la DA para obstáculos existentes

Desplazar el umbral.

Compensar el rumbo final.

Incrementar el GPA.

Si un ajuste no es requerido, graficar la obstrucción.

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación frustrada bajo la normatividad de la FAA contenida en el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

## 4.5 Procedimiento de aproximación frustrada FAA

El segmento de aproximación frustrada comienza en DA y termina en el límite de separación. Está compuesto de la sección 1 (ascenso inicial) y de la sección 2 (del extremo de la sección 1 al límite de separación). La sección 2 se construye bajo criterios contenidos en el documento 8260.44 para los procedimientos de ILS. La anchura que comienza de la sección 2 es  $\pm 0.5$  NM.

El 40:1 OCS comienza en la elevación de la sección 1b, en la línea central. Los procedimientos de MA se limitan a dos arreglos.

La sección 1. Se alinea con el rumbo de la aproximación final. Comprende 3 subdivisiones, comenzando en DA y ampliando 9860.69 ft.

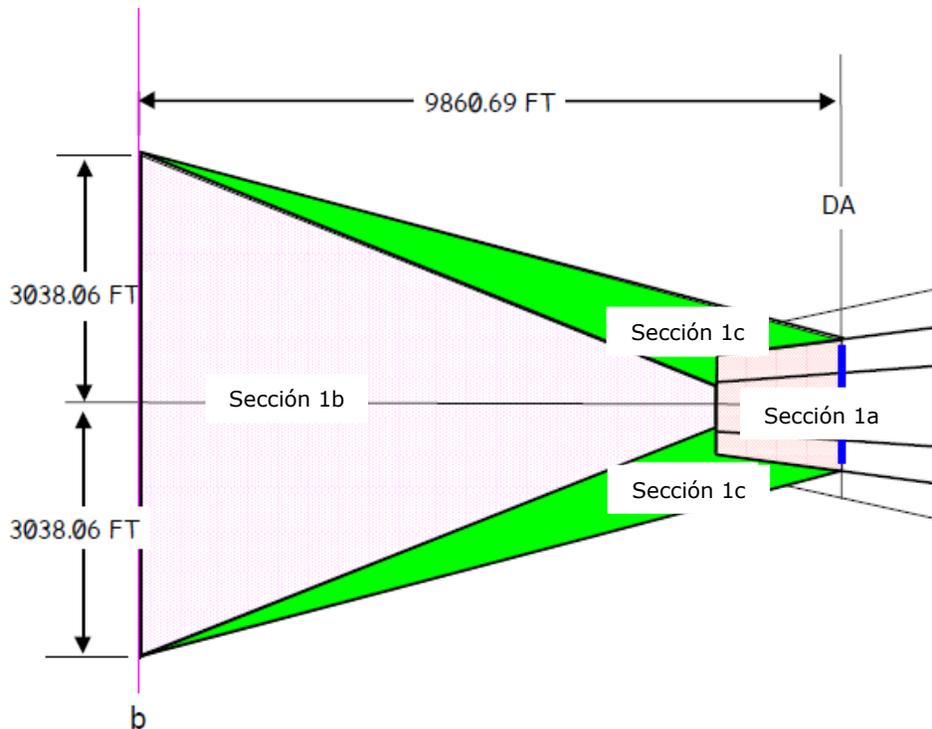


Figura 49. Aproximación Frustrada, Secciones 1a, 1b, 1c.

## Sección 1a

Zona. Sección 1a comienza en el punto DA y sobre la aproximación final de la OCS primaria (superficies "W" y "X"), que se extiende 1460 ft en dirección de la aproximación frustrada. Esta sección está siempre alineada con el rumbo de aproximación final.

OCS. La altura de la superficie de la sección 1a es igual a la base de las superficies "W" o "X", según corresponda. Si esta sección es penetrada, ajuste la DA.

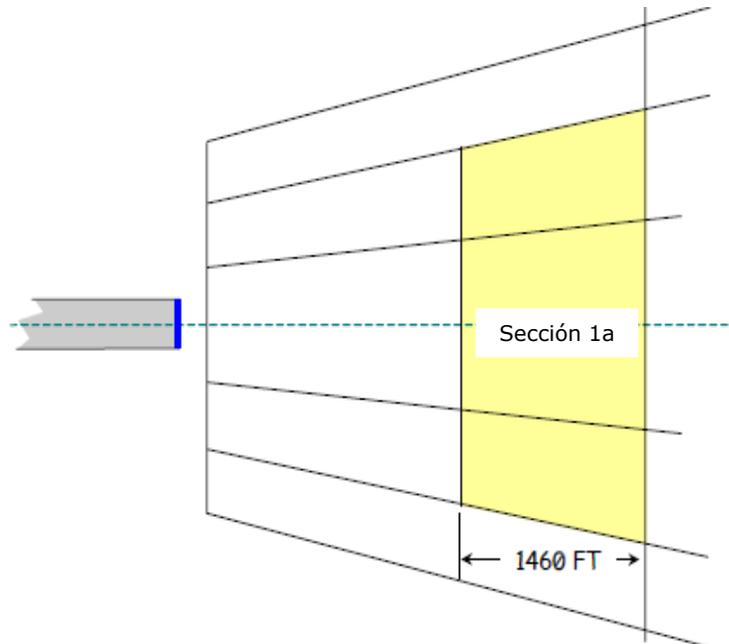


Figura 50. Sección 1a.

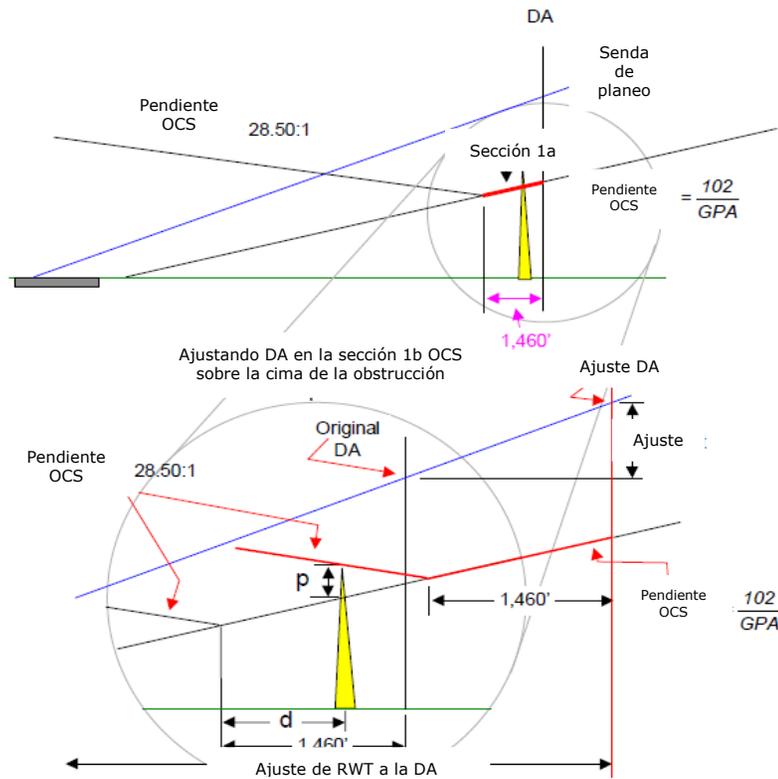


Figura 51. Penetración en la sección 1a OCS (ajuste).

$$d = X_0(\text{RWT a DA distancia} - 1.460) \quad (16)$$

$$\text{Ajuste} = \tan(\text{GPA}) \times \left[ \left( \frac{p}{\frac{1}{28.50} + \frac{\text{GPA}}{102}} \right) + d \right] \quad (17)$$

$$\text{Ajuste DA (MSL)} = \text{ORIGINAL DA} + \text{Ajuste} \quad (18)$$

$$\text{Ajuste RWT a DA (MSL)} = \frac{\text{Ajuste DA (MSL)} - (\text{RWT MSL Elevación} + \text{TCH})}{\tan(\text{GPA})} \quad (19)$$

Donde:

P= penetración (ft).

GPA= ángulo del la pendiente de descenso.

X<sub>0</sub>= distancia desde el RWT a obstruir.

D= distancia (ft) desde el punto de obstrucción.

## Sección 1b

Zona. Sección 1b comienza al final de la sección 1, se extiende hasta un punto 9860.69 ft de la DA, y se extiende a lo largo del rumbo final a un anchura total de 1 NM. Esta sección está siempre alineada con el rumbo de aproximación final.

OCS. La sección 1b de la OCS es un plano inclinado de 1:28.5 de aumento en la dirección de la aproximación frustrada. La altura del inicio de la sección 1b es igual a la altura de la "W" OCS al final de la sección 1. Evaluar obstáculos utilizando la distancia más corta de la obstrucción del final de la sección 1a. Ajustar la DA.

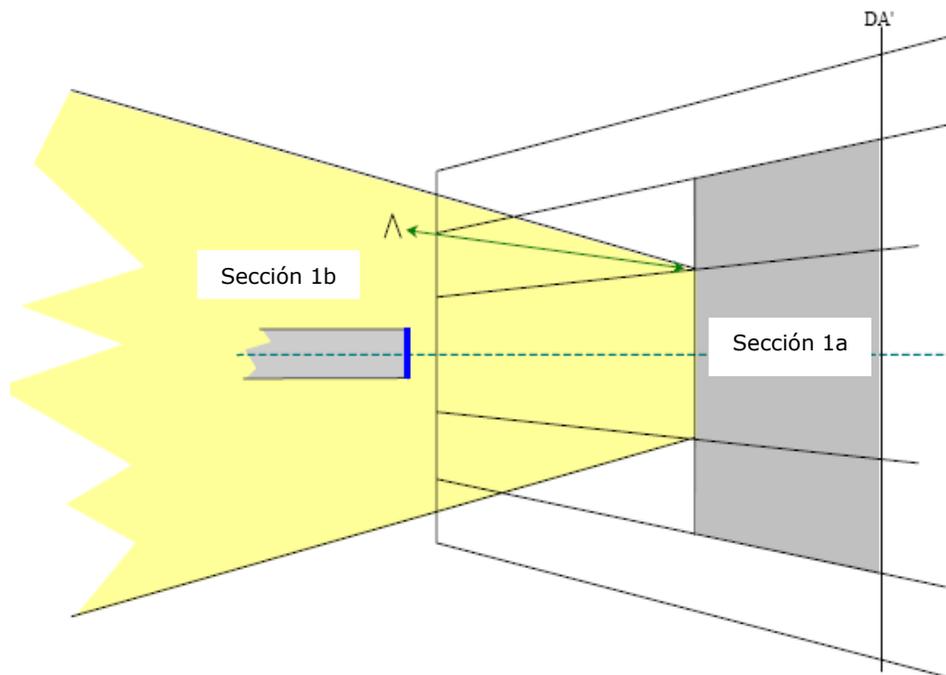


Figura 52. Sección 1b.

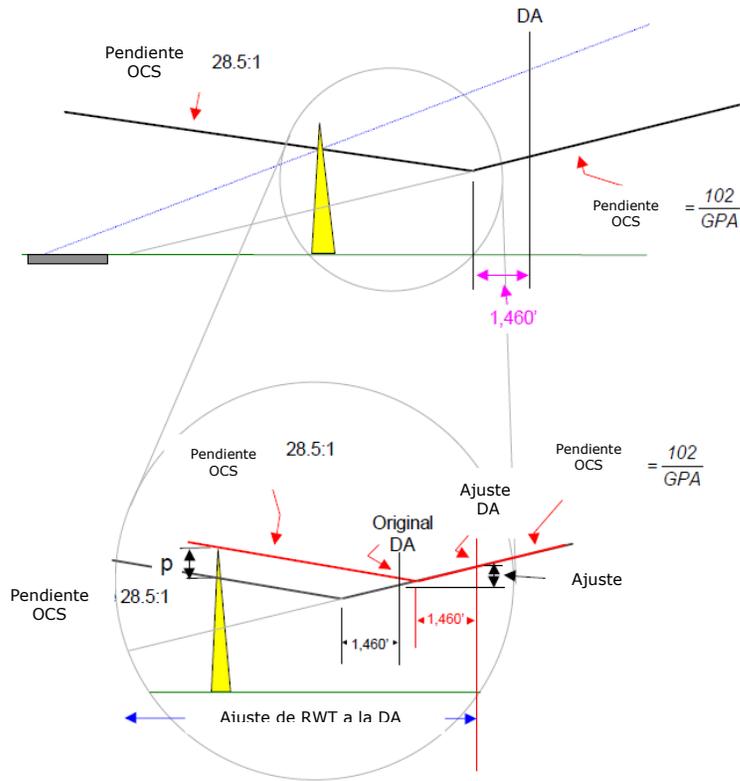


Figura 53. Penetración de la sección 1b OCS.

$$\text{Ajuste} = \tan(\text{GPA}) \times \left( \frac{p}{\frac{1}{28.5} + \frac{1}{102}} \right) \quad (20)$$

$$\text{Ajuste DA (MSL)} = \text{Original DA} + \text{ajuste} \quad (21)$$

$$\text{Ajuste RWT para distancia DA} = \text{ajuste DA (MSL)} - (\text{RWT MSL Elevación} + \text{TCH})$$

$$\tan(\text{GPA}) \quad (22)$$

Donde:

P= penetración (ft)

GPA= Ángulo de descenso

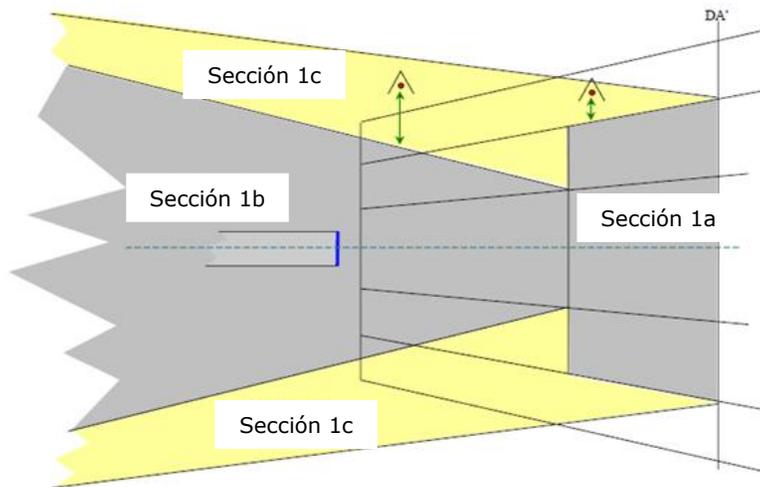


Figura 54. Sección 1c.

### Sección 1c

Zona. Estas son las áreas secundarias 1:7 que comienzan en DA. Estas secciones divergen en un punto en el borde y al final de la sección 1b.

OCS. Un plano inclinado a partir del punto DA y la pendiente 1:7, perpendicular al rumbo de la MA. El interior de los límites comienza en la elevación de los bordes exteriores de la superficie "W" a partir de la sección 1b. El límite exterior da su origen en la elevación de los bordes exteriores de la superficie "X" en el punto de la DA. Estos límites interiores y exteriores convergen al final de la sección 1b (9860.69 ft del punto DA).

Obstáculos en la sección 1c, adyacente a la superficie "X", son evaluados con una pendiente de 1:7 desde la elevación del límite exterior de la superficie "X". Obstáculos en la sección 1c, adyacente a la sección 1b, son evaluados usando la pendiente de 1:7 a partir de la elevación en el borde exterior de la sección 1b. Reducir la altura de la obstrucción por la cantidad de 1:7 de la superficie de levantamiento desde el borde de la sección 1a o 1b (medida perpendicular a la sección 1 del rumbo). Entonces evaluar la obstrucción como si estuviera en sección 1a o 1b.



**CAPÍTULO V**  
**DISEÑO DE**  
**PROCEDIMIENTOS ILS**  
**PARA EL**  
**AEROPUERTO INTERNACIONAL**  
**DE GUANAJUATO**

---

## **5.1 Diseño de procedimientos ILS aproximación final (OACI)**

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación final del ILS para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato cabecera 13 bajo la normatividad de la OACI que se encuentra en el documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

### **Construcción del procedimiento**

El procedimiento que ha de seguirse en la fase final de la aproximación debe estar de acuerdo con los criterios generales.

### **Condiciones normalizadas**

Para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato según la DGAC la aeronave crítica es un MD-80 con las siguientes características:

Categoría: H.

Semienvergadura: 16.435m  $\approx$  17.

GP Ruedas / Altura de antena: 3m.

## 5.2 ILS básicas

Para realizar el cálculo de divergencia y altura se utiliza el método del triángulo. Se basa en el sistema de coordenadas ya mencionados en el capítulo de requerimientos para el diseño de aproximación final (OACI) que se encuentra en el documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

Las medidas de la pista del Aeropuerto Internacional de Guanajuato son 3500 m de largo X 45 m de ancho. Las distancias de las ILS básicas son medidas ya establecidas por OACI.

A partir del umbral se mide 60 m en el eje "X" y 150 m en el eje "Y", en ese punto comienza la divergencia del 15% hasta una distancia de 3060 m.

Para conocer la distancia correcta a la cual va a llegar la divergencia restamos:  
 $3060 \text{ m} - 60 \text{ m} = 3000 \text{ m}$

Se calcula la distancia en el punto donde comienza la divergencia en el eje "Y".  
 $3000 \text{ m} * 0.15 = 450 \text{ m}$

Se calcula la distancia de divergencia a partir del eje de la pista.

$450 \text{ m} + 150 \text{ m} = 600 \text{ m}$

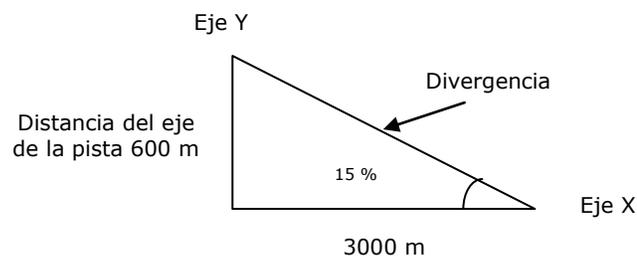


Figura 55. Cálculo de divergencia en 3000 m.

Para calcular la altura Z en esta zona

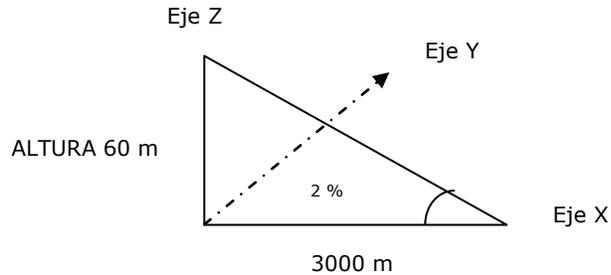


Figura 56. Cálculo de altura en 3000 m.

$$3000 \cdot 0.02 = 60 \text{ m}$$

A partir del umbral se mide 3060 m en el eje "X" y 600 m en el eje "Y", en ese punto comienza la divergencia del 15% hasta una distancia de 12660 m.

Para conocer la distancia correcta a la cual va a llegar la divergencia restamos:  
 $12660 \text{ m} - 3060 \text{ m} = 9600 \text{ m}$

Se calcula la distancia en el punto donde comienza la divergencia en el eje "Y".  
 $9600 \text{ m} \cdot 0.15 = 1440 \text{ m}$

Se calcula la distancia de divergencia a partir del eje de la pista.  
 $1440 \text{ m} + 600 \text{ m} = 2040 \text{ m}$

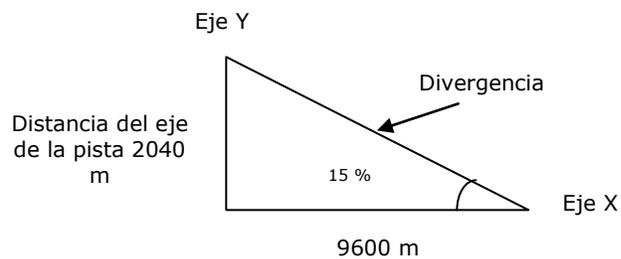


Figura 57. Cálculo de divergencia en 9600 m.

Para calcular la altura Z en esta zona

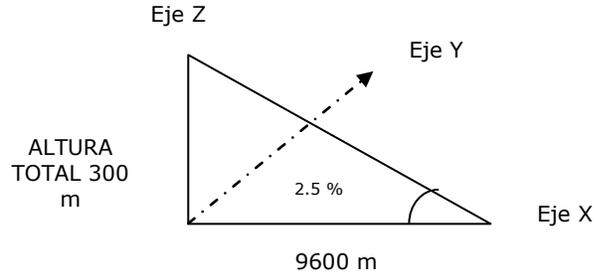


Figura 58. Cálculo de altura en 9600 m.

$$9600 * 0.025 = 240 \text{ m}$$

Para calcular la altura total se suma los 60 m en la zona anterior y los 240 m en esta zona esto da como resultado la altura total que hay desde el umbral hasta el punto final de aproximación que son 300 m.

A partir del umbral se mide -900 m en el eje "X", se mide 150 m en el eje "Y", en ese punto comienza la divergencia del 17.48 % hasta una distancia de -2700 m.

Para conocer la distancia correcta a la cual va a llegar la divergencia restamos:  
 $2700 \text{ m} - 900 \text{ m} = 1800 \text{ m}$

Se calcula la distancia en el punto donde comienza la divergencia en el eje "Y".  
 $1800 \text{ m} * 0.1748 = 314.64 \text{ m}$

Se calcula la distancia de divergencia a partir del eje de la pista.

$$314.64 \text{ m} + 150 \text{ m} = 464.64 \text{ m}$$

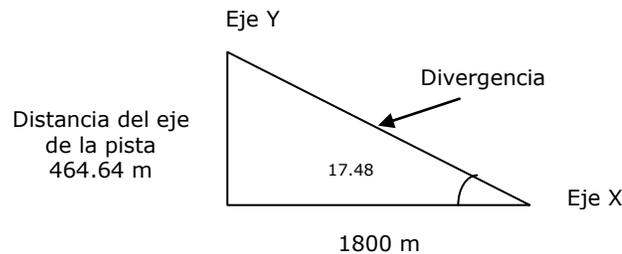


Figura 59. Cálculo de divergencia 1800 m.

A partir del umbral se mide -2700 m en el eje "X", se mide 150 m en el eje "Y", en ese punto comienza la divergencia del 25 % hasta una distancia de - 12900 m.

Para conocer la distancia correcta a la cual va a llegar la divergencia restamos:  
 $12900 \text{ m} - 2700 \text{ m} = 10200 \text{ m}$

Se calcula la distancia en el punto donde comienza la divergencia en el eje "Y".  
 $10\ 200 \text{ m} * 0.25 = 2550 \text{ m}$

Se calcula la distancia de divergencia a partir del eje de la pista.

$2550 \text{ m} + 464.64 \text{ m} = 3014.64 \text{ m}$

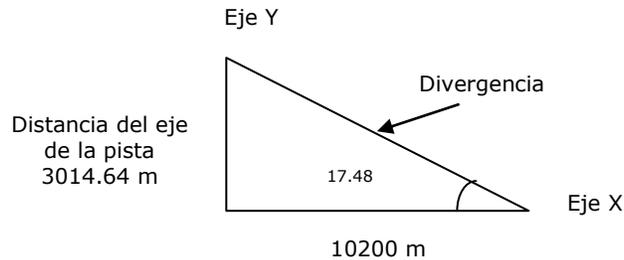


Figura 60. Cálculo de divergencia 10200 m.

Para calcular la altura Z a partir de los -900 m a -10200 m

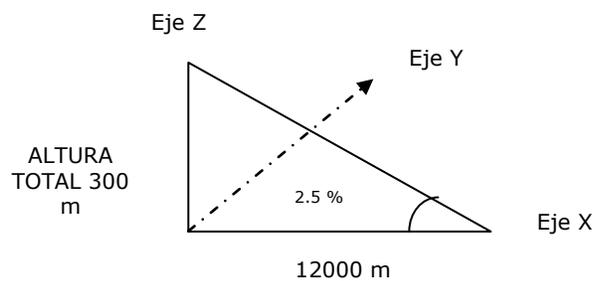


Figura 61. Cálculo de altura en 12000 m.

$12000 * 0.025 = 300 \text{ m}$

Cálculo de distancia en eje "Y" para: +3060,+60 y -2700 en el eje "X".

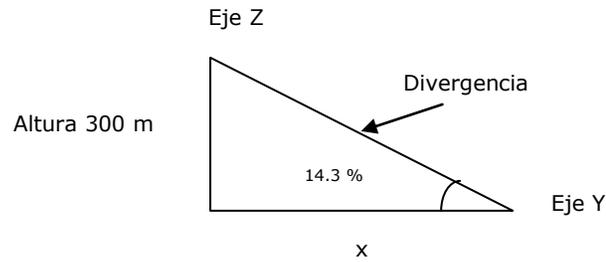


Figura 62. Cálculo de distancia en Y a partir del eje de la pista.

$300/0.143 = 2097.90$  m esta distancia es a partir del eje de la pista.

Ya con todas las medidas de divergencia y alturas en cada punto se diseña el procedimiento de aproximación final categoría I para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato en la cabecera 13.

El diseño de las ILS básicas queda de la siguiente manera.

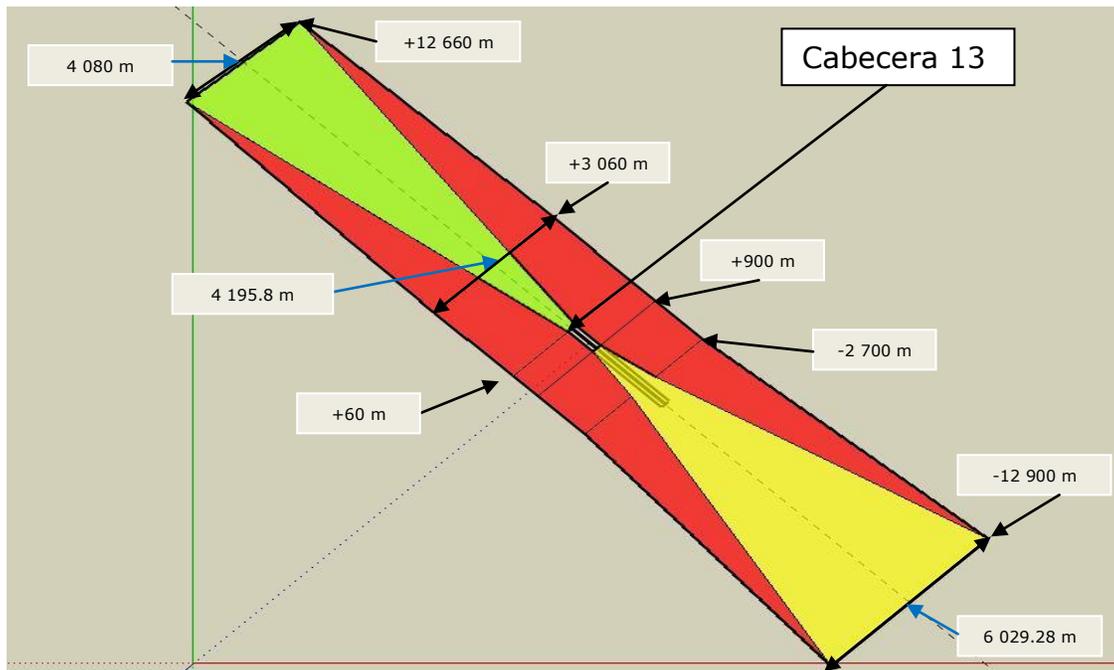


Figura 63. ILS básicas (OACI) para aeropuerto MMLO.

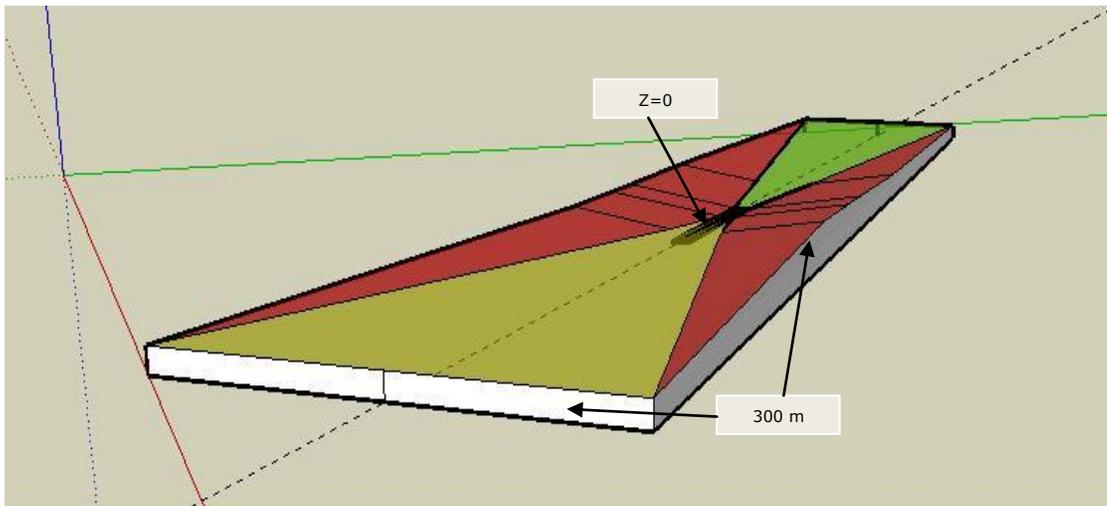


Figura 64. ILS básicas alturas (OACI) del aeropuerto MMLO.

A continuación se calcula la altura en las ILS básicas de acuerdo a la localización (coordenadas) del obstáculo. Se utilizan las fórmulas contenidas en el documento 8168 PANS-OPS de OACI, Volumen II, Capítulo 21 ILS.

Todas las distancias son en metros (las coordenadas de los obstáculos son aproximadas ya que se midieron a escala 1:50000).

#### Coordenadas de obstáculo 1(Tanque elevado)

Fórmula:  $z=0.025x-16.5$

$x=5047$  m

$y=650$  m

$z=0.025(5047)= 110.375$  m

#### Coordenadas de obstáculo 2(Tanque elevado)

$x=9100$  m

$y=1150$  m

$z=0.025(9100)= 211$  m

Coordenadas de obstáculo 3(Fraccionamiento Monte Bello)

$$x=8000 \text{ m}$$

$$y=1150 \text{ m}$$

$$z=0.025(8000)= 183.5 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 4(Tanque elevado)

$$x=11900 \text{ m}$$

$$y=1800 \text{ m}$$

$$z=0.025(11900)= 281 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 5(Tanque elevado)

$$\text{Fórmula: } z=0.00355x+0.143y-36.66$$

$$x=4750 \text{ m}$$

$$y=1875 \text{ m}$$

$$z= 0.00355 (4750)+0.143(1875)-36.66= 248.32 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 6(Tanque elevado)

$$z= 0.00145x+ 0.143y- 21.36$$

$$x=1050 \text{ m}$$

$$y=-450 \text{ m}$$

$$z= 0.00145 (1050) + 0.143(-450) - 21.36 = 44.51 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 7(Tanque elevado)

$$z= 0.143y - 21.45$$

$$x=-1425 \text{ m}$$

$$y=-575 \text{ m}$$

$$z= 0.143(-575) - 21.45= 60.77 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 8(Tanque elevado)

$$z = 0.143y - 21.45$$

$$x = -1600 \text{ m}$$

$$y = -1725 \text{ m}$$

$$z = 0.143(-1725) - 21.45 = 225.22 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 9(Tanque elevado)

$$z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$$

$$x = -3150 \text{ m}$$

$$y = 1350 \text{ m}$$

$$z = 0.01075(-3150) + 0.143(1350) + 7.58 = 166.76 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 10(Tanque elevado)

$$z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$$

$$x = -6475 \text{ m}$$

$$y = 2200 \text{ m}$$

$$z = 0.01075(-6475) + 0.143(2200) + 7.58 = 252.57 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 11(Tanque elevado)

$$z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$$

$$x = -6500 \text{ m}$$

$$y = 2250 \text{ m}$$

$$z = 0.01075(-6500) + 0.143(2250) + 7.58 = 259.45 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 12(Tanque elevado)

$$z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$$

$$x = -7525 \text{ m}$$

$$y = -1800 \text{ m}$$

$$z = 0.01075(-7525) + 0.143(-1800) + 7.58 = 184.08 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 13(Tanque elevado)

$$z = 0.01075x + 0.143y + 7.58$$

$$x = -7675 \text{ m}$$

$$y = -1750 \text{ m}$$

$$z = 0.01075(-7675) + 0.143(-1750) + 7.58 = 182.47 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 14(Tanque elevado)

$$z = -0.025x - 22.5$$

$$x = -4850 \text{ m}$$

$$y = 725 \text{ m}$$

$$z = -0.025(-4850) - 22.5 = 98.75 \text{ m}$$

Coordenadas de obstáculo 15(Tanque elevado)

$$z = -0.025x - 22.5$$

$$x = -5500 \text{ m}$$

$$y = 925 \text{ m}$$

$$z = -0.025(-5500) - 22.5 = 115 \text{ m}$$

A continuación se muestra una tabla para facilitar la localización del obstáculo.

<b>Obstáculos</b>					
<b>Para <math>z = 0.025x - 16.5</math></b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
X		5075	9100	8000	11900
Y		650	1150	1150	1800
Z		<b>110.37</b>	<b>211</b>	<b>183.5</b>	<b>281</b>
<b>Para <math>z = 0.00355x + 0.143y - 36.66</math></b>				<b>5</b>	
X				4750	
Y				1875	
Z				<b>248.32</b>	
<b>Para <math>z = 0.00145x + 0.143y - 21.36</math></b>				<b>6</b>	
X				1050	
Y				450	
Z				<b>44.51</b>	
<b>Para <math>z = 0.143y - 21.45</math></b>			<b>7</b>	<b>8</b>	
X			-1425	-1600	
Y			575	1725	
Z			<b>60.77</b>	<b>225.22</b>	
<b>Para <math>z = 0.01075x + 0.143y + 7.58</math></b>		<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
X		-3150	-6475	-6500	-7525
Y		1350	2200	2250	1800
Z		<b>166.76</b>	<b>252.57</b>	<b>259.45</b>	<b>184.08</b>
				<b>182.47</b>	
<b><math>z = - 0.025x - 22.5</math></b>		<b>14</b>	<b>15</b>		
X		-4850	-5500		
Y		725	925		
Z		<b>98.75</b>	<b>115</b>		

Tabla 7. Obstáculos de superficies ILS básicas.

La altura de los obstáculos son 40 m por ser tanques elevados excepto el fraccionamiento Monte Bello con una elevación de 1850 m N.M.M (las alturas y elevaciones fueron tomadas de acuerdo a la carta topográfica de la INEGI).

Se evalúan los obstáculos para ver si penetran o no. Con la siguiente fórmula se calcula si penetra o no el obstáculo.

$$z - O = R \quad (23)$$

Donde:

$z$  = Altura en el punto donde se encuentra el obstáculo.

$O$  = Altura del obstáculo.

$R$  = Resultado. Si el obstáculo llega a penetrar el resultado es negativo y si no penetra el resultado es positivo.

<b>Obstáculo 1:</b> 110.37 m - 40 m = 70.37 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 2:</b> 211 m - 40 m = 171 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 3:</b> 183.5 m - 24 m = 159.5 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 4:</b> 281m - 40 m = 241 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 5:</b> 248.32 m - 40 m = 208.32 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 6:</b> 44.51 m - 40 m = 4.51 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 7:</b> 60.77 m - 40 m = 20.77 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 8:</b> 225.22 m - 40 m = 185.22 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 9:</b> 166.76 m - 40 m = 126.76 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 10:</b> 252.57 m - 40 m = 212.57 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 11:</b> 259.45 m - 40 m = 219.45 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 12:</b> 184.08 m - 40 m = 144.08 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 13:</b> 182.47 m - 40 m = 142.47 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 14:</b> 98.75 m - 40 m = 58.75 m	NO PENETRA
<b>Obstáculo 15:</b> 115 m - 40 m = 75 m	NO PENETRA

Se puede observar en los resultados que ningún obstáculo penetra.

Para realizar el cálculo de divergencia y altura en la aproximación frustrada Categoría I para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato (cabecera 13) se utiliza el programa OAS. Se basa en el sistema de coordenadas ya mencionados en el capítulo de requerimientos para el diseño de aproximación final (OACI).

### 5.3 Aproximación frustrada OACI

Al programa se le insertan los siguientes datos:

Categoría I/ángulo GP de 3°/LLZ-THR 3800 m/pendiente de aproximación frustrada de 2,5%.

Categoría de aeronave según semievenvergadura para el MD-80 que es la aeronave crítica del Aeropuerto Internacional de Guanajuato (H). Se le quita la palomita en el recuadro de STD y se inserta el valor de la semievenvergadura 17 m y la distancia vertical entre las trayectorias en vuelo de las ruedas y de la antena GP 3 m.

El programa OAS nos arroja como resultado las constantes OAS para las ecuaciones de las superficies de evaluación de obstáculos y las coordenadas de la plantilla.

Ecuaciones de las superficies de evaluación de obstáculos:

$$W I z = 0.0285x - 5.01$$

$$X I z = 0.028636x + 0.1888y - 11.84$$

$$Y I z = 0.024904x + 0.218443y - 16.06$$

$$Z I z = -0.025x - 22.50$$

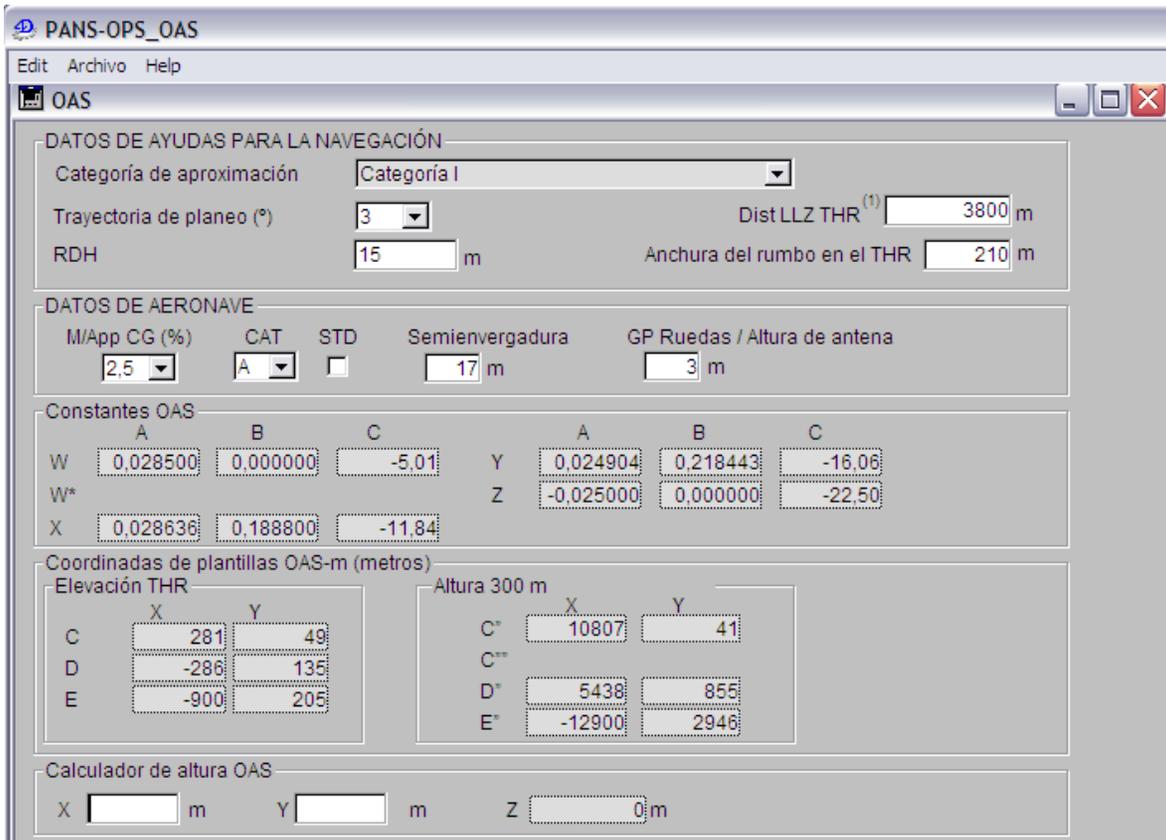


Figura 65. Datos generados por el programa para el aeropuerto MMLO.

Coordenadas de los puntos C, D, E, C", D", E", (metros).

	C	D	E	C"	D "	E"
X	281	-286	-900	10807	5438	-12900
Y	49	135	205	41	855	2946
Z	0	0	0	300	300	300

Tabla 8. Coordenadas de aproximación frustrada.

Con estos datos se diseña la aproximación frustrada para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato.

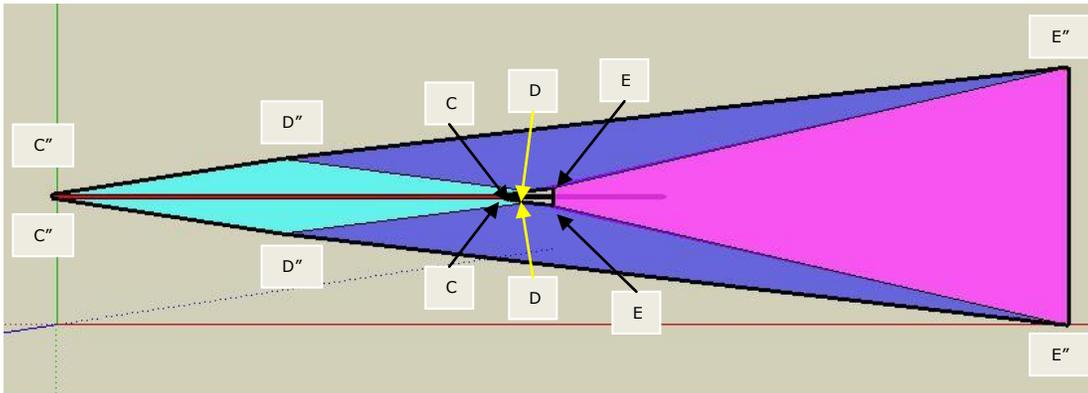


Figura 66. Aproximación frustrada del aeropuerto MMLO.

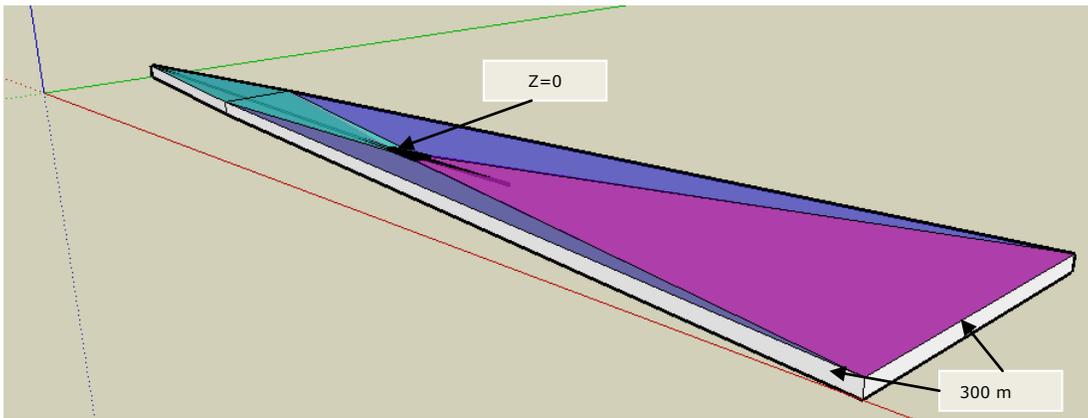


Figura 67. Alturas de aproximación frustrada del aeropuerto MMLO.

A continuación se calculan las alturas (Z) con las coordenadas del obstáculo para después evaluarlas.

Superficie X

Coordenadas del obstáculo 1

Calculador de altura OAS

X  m Y  m Z  m

Figura 68. Localización del obstáculo 1 en aproximación frustrada (OACI).

## Superficie Y

Coordenadas del obstáculo 2

Calculador de altura OAS

X	<input type="text" value="1050"/>	m	Y	<input type="text" value="450"/>	m	Z	<input type="text" value="108.39"/>	m
---	-----------------------------------	---	---	----------------------------------	---	---	-------------------------------------	---

Figura 69. Localización del obstáculo 2 en aproximación frustrada (OACI).

Coordenadas del obstáculo 3

Calculador de altura OAS

X	<input type="text" value="-1425"/>	m	Y	<input type="text" value="575"/>	m	Z	<input type="text" value="74.06"/>	m
---	------------------------------------	---	---	----------------------------------	---	---	------------------------------------	---

Figura 70. Localización del obstáculo 3 en aproximación frustrada (OACI).

Coordenadas del obstáculo 4

Calculador de altura OAS

X	<input type="text" value="-3150"/>	m	Y	<input type="text" value="1350"/>	m	Z	<input type="text" value="200.39"/>	m
---	------------------------------------	---	---	-----------------------------------	---	---	-------------------------------------	---

Figura 71. Localización del obstáculo 4 en aproximación frustrada (OACI).

Coordenadas del obstáculo 5

Calculador de altura OAS

X	<input type="text" value="-6475"/>	m	Y	<input type="text" value="2200"/>	m	Z	<input type="text" value="296.95"/>	m
---	------------------------------------	---	---	-----------------------------------	---	---	-------------------------------------	---

Figura 72. Localización del obstáculo 5 en aproximación frustrada (OACI).

Coordenadas del obstáculo 6

Calculador de altura OAS

X	<input type="text" value="-7525"/>	m	Y	<input type="text" value="1800"/>	m	Z	<input type="text" value="189.73"/>	m
---	------------------------------------	---	---	-----------------------------------	---	---	-------------------------------------	---

Figura 73. Localización del obstáculo 6 en aproximación frustrada (OACI).

Superficie Z

### Coordenadas del obstáculo 7

Calculador de altura OAS		
X	<input type="text" value="-4850"/> m	Y <input type="text" value="725"/> m
Z	<input type="text" value="98,75"/> m	

Figura 74. Localización del obstáculo 7 en aproximación frustrada (OACI).

### Coordenadas del obstáculo 8

Calculador de altura OAS		
X	<input type="text" value="-5050"/> m	Y <input type="text" value="925"/> m
Z	<input type="text" value="103,75"/> m	

Figura 75. Localización del obstáculo 8 en aproximación frustrada (OACI).

### Coordenadas del obstáculo 9

Calculador de altura OAS		
X	<input type="text" value="-7675"/> m	Y <input type="text" value="1750"/> m
Z	<input type="text" value="175,08"/> m	

Figura 76. Localización del obstáculo 9 en aproximación frustrada (OACI).

A continuación se muestra una tabla para facilitar la localización del obstáculo.

	<b>SUPERFICIE X</b>	<b>SUPERFICIE Y</b>	<b>SUPERFICIE Z</b>
<b>OBSTÁCULO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
<b>X</b>	5075	1050	-4850
<b>Y</b>	650	450	725
<b>Z</b>	<u>256.21</u>	<u>108.39</u>	<u>98.75</u>
<b>OBSTÁCULO</b>		<b>3</b>	<b>8</b>
<b>X</b>		-1425	-5050
<b>Y</b>		575	925
<b>Z</b>		<u>74.06</u>	<u>103.75</u>
<b>OBSTÁCULO</b>		<b>4</b>	<b>9</b>
<b>X</b>		-3150	-7675
<b>Y</b>		1350	1750
<b>Z</b>		<u>200.39</u>	<u>175.08</u>
<b>OBSTÁCULO</b>		<b>5</b>	
<b>X</b>		-6475	
<b>Y</b>		2200	
<b>Z</b>		<u>296.95</u>	
<b>OBSTÁCULO</b>		<b>6</b>	
<b>X</b>		-7525	
<b>Y</b>		1800	
<b>Z</b>		<u>189.73</u>	

Tabla 9. Obstáculos de aproximación frustrada (OACI).

Se evalúan los obstáculos. La altura de los obstáculos son 40 m por ser tanques elevados datos tomados como referencia de la carta topográfica de INEGI.

$$z - O = R \quad (23)$$

Donde:

z= Altura en el punto donde se encuentra el obstáculo.

O = Altura del obstáculo.

R = Resultado. Si el obstáculo llega a penetrar el resultado es negativo y si no penetra el resultado es positivo.

256.21 m - 40 m = 216.21 m	NO PENETRA
108.39 m - 40 m = 68.39 m	NO PENETRA
74.06 m - 40 m = 34.06 m	NO PENETRA
200.39 m - 40 m = 160.39 m	NO PENETRA
296.95 m - 40 m = 256.95 m	NO PENETRA
189.73 m - 40 m = 149.73 m	NO PENETRA
98.75 m - 40 m = 58.75 m	NO PENETRA
103.75 m - 40 m = 63.75 m	NO PENETRA
175.08 m - 40 m = 135.08 m	NO PENETRA

Se observa que ningún obstáculo penetra.

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación final ILS para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato bajo la normatividad de la FAA contenida en el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

## 5.4 Diseño de procedimientos ILS aproximación final (FAA)

Se calcula el GPI con los siguientes datos:

$$15 \text{ m} = 49.21 \text{ ft}$$

$$\text{ángulo pendiente de planeo} = 3^\circ$$

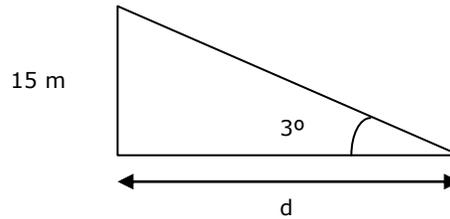


Figura 77. Cálculo del GPI

Se calcula GPI por medio de la tangente.

$$\text{GPI} = 49.21 / \tan 3^\circ = 939 \text{ ft}$$

Para determinar "d"

$$\text{GPI} = 939$$

$$d = 954 - 939 = 15$$

Para calcular las pendientes A 200 ft desde RWT

En la superficie X

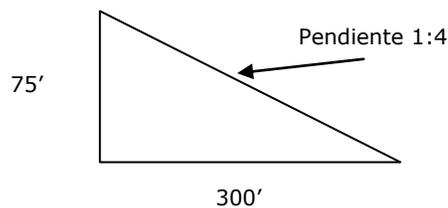


Figura 78. Cálculo de la pendiente superficie X a 200 ft desde el RWT.

$$0.25 * 300 \text{ ft} = 75 \text{ ft}$$

En la superficie Y

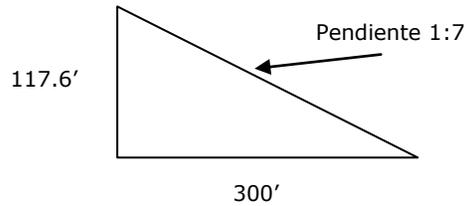


Figura 79. Cálculo de la pendiente superficie Y a 200 ft desde el RWT.

Para calcular la altura total se le suma los 75' en la superficie anterior.

$$0.142 * 300 \text{ ft} = 42.6 \text{ ft} + 75 \text{ ft} = 117.6 \text{ ft}$$

Para calcular  $Z_w$  hasta la distancia de 50 200 ft se utiliza la siguiente fórmula ya establecida el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

$$Z_w = (D - (200 + d))/S$$

$$Z_w = (50\ 200 \text{ ft} - (200 + 15 \text{ ft}))/34 = 1442.97 \text{ ft}$$

Para el cálculo de la altura en la superficie X a 50200 ft

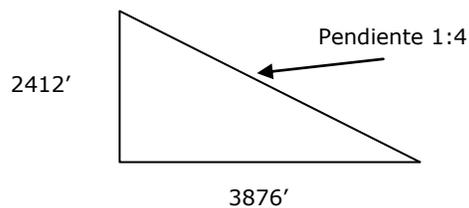


Figura 80. Cálculo de la pendiente superficie X a 50 200 ft desde el RWT.

Para el cálculo en la superficie Y y se le suma la pendiente anterior.

$$0.25 * 3876 \text{ ft} = 969 \text{ ft} + 1442.97 \text{ ft} = 2411.97 \text{ ft}$$

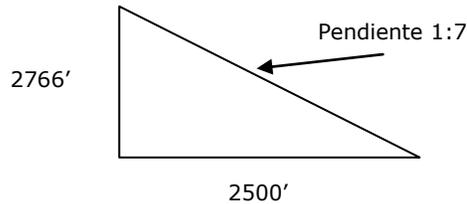
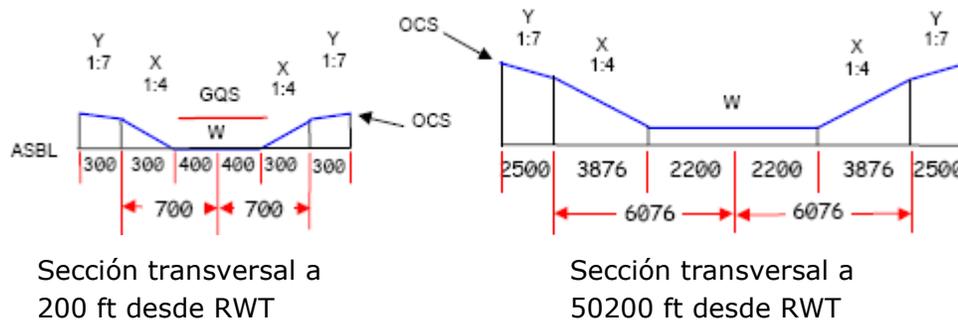


Figura 81. Cálculo de la pendiente superficie Y a 50 200 ft desde el RWT.

$$0.142 * 2500 \text{ ft} = 355 \text{ ft} + 2411.97 \text{ ft} = 2766.97 \text{ ft}$$

Para tener una mejor referencia se muestran los cortes transversales.



Sección transversal a 200 ft desde RWT

Sección transversal a 50200 ft desde RWT

Figura 82. Zona libre de obstáculos de precisión del aeropuerto MMLO.

El largo de la superficies se mide desde el RWT a los 50 200 ft ó al PFAF. Con las distancias de divergencia que están el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

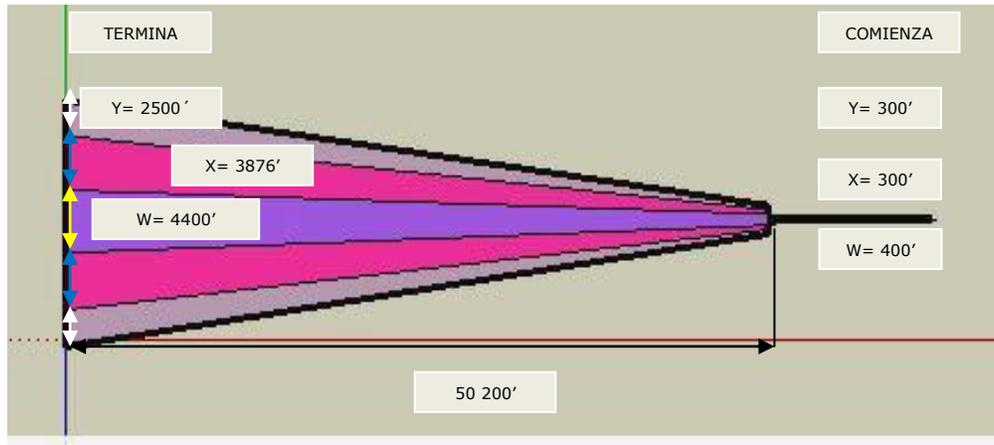


Figura 83. Divergencia de las superficies W, X, Y del aeropuerto MMLO.

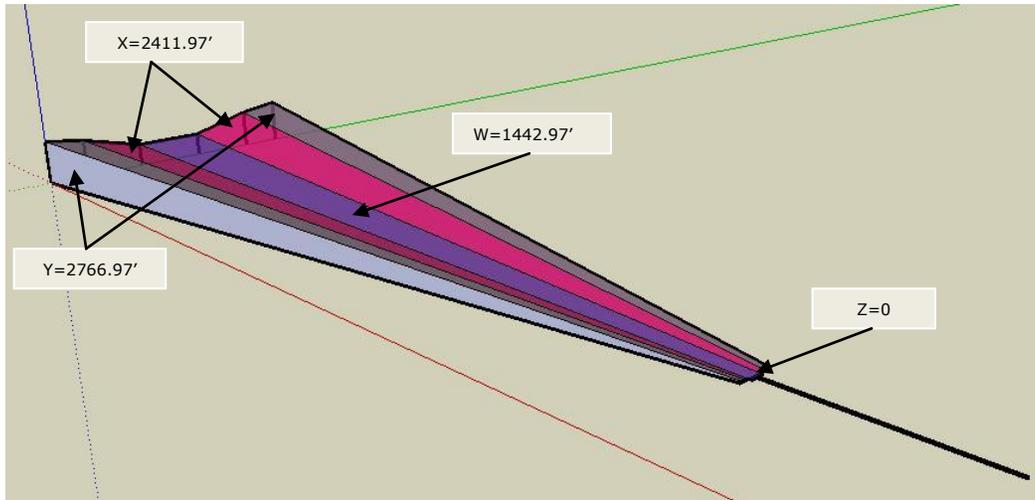


Figura 84. Alturas de las superficies W, X, Y del aeropuerto MMLO.

Las alturas se calculan con las fórmulas contenidas en el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS. Todas las distancias son en ft por fórmulas.

$$D_x = 0.10752 (D-200) + 700$$

$$D_w = 0.036 (D- 200) + 400$$

$$D_y = 0.15152 (D-200) + 1000$$

$$Z_x = ((D - (200 + d))/S) + ((D_0 - D_w)/4)$$

$$Z_y = ((D - (200 + d))/S) + ((D_x - D_w)/4) + ((D_0 - D_x)/7)$$

Donde:

$$d = 15$$

D = la distancia en ft desde el LTP o FTP.

$D_0$  = la distancia perpendicular en ft entre el rumbo del eje de la pista y un punto específico en la superficie "Y".

$D_x$  = distancia perpendicular en ft desde el rumbo del eje de la pista al limite exterior de la superficie "X".

$D_w$  = distancia perpendicular en ft desde la línea central del rumbo al limite de la superficie "W".

S = pendiente de la superficie "W".

### **SUPERFICIE X**

Obstáculo 1 (Tanque elevado)

$$D = 29855.64 \text{ ft}$$

$$D_0 = 3772.96 \text{ ft}$$

$$D_x = 0.10752 (29855.64 - 200) + 700 = \underline{3888.57 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036(29855.64 - 200) + 400 = \underline{1467.60 \text{ ft}}$$

$$Z_x = ((29855.64 - (200 + 15))/34 + ((3772.96 - 1467.60)/4) = \underline{1448.12 \text{ ft}}$$

Obstáculo 2 (Tanque elevado)

$$D = 16640.42 \text{ ft}$$

$$D_0 = 2132.54 \text{ ft}$$

$$D_x = 0.10752 (16640.42 - 200) + 700 = \underline{2468.73 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (16640.42 - 200) + 400 = \underline{992.20 \text{ ft}}$$

$$Z_x = ((16640.42 - (200 + 15)) / 34 + ((2132.54 - 992.20) / 4) = \underline{768.18 \text{ ft}}$$

Obstáculo 3 (Fraccionamiento Monte Bello)

$$D = 26246.71 \text{ ft}$$

$$D_0 = 3772.96 \text{ ft}$$

$$D_x = 0.10752 (26246.71 - 200) + 700 = \underline{3500.54 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (26246.71 - 200) + 400 = \underline{1337.68 \text{ ft}}$$

$$Z_x = ((26246.71 - (200 + 15)) / 34) + ((3772.96 - 1337.68) / 4) = \underline{1374.46 \text{ ft}}$$

**SUPERFICIE Y**Obstáculo 4 (Tanque elevado)

$$D = 3444.88 \text{ ft}$$

$$D_0 = 1476.37 \text{ ft}$$

$$D_y = 0.15152 (3444.88 - 200) + 1000 = \underline{1491.66 \text{ ft}}$$

$$D_x = 0.10752 (3444.88 - 200) + 700 = \underline{1048.88 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (3444.88 - 200) + 400 = \underline{516.81 \text{ ft}}$$

$$Z_y = ((3444.88 - (200 + 15)) / 34) + ((1048.88 - 516.81) / 4) + ((1476.37 - 1048.88) / 7) = \underline{289.08 \text{ ft}}$$

Obstáculo 5 (Tanque elevado)

$$D = 39041.99 \text{ ft}$$

$$D_0 = 5905.51 \text{ ft}$$

$$D_y = 0.15152 (39041.99 - 200) + 1000 = \underline{6885.33 \text{ ft}}$$

$$D_x = 0.10752 (39041.99 - 200) + 700 = \underline{4876.29 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (39041.99 - 200) + 400 = \underline{1798.31 \text{ ft}}$$

$$Z_y = ((39041.99 - (200 + 15)) / 34) + ((4876.29 - 1798.31) / 4) + ((5905.51 - 4876.29) / 7) = \underline{2058.49 \text{ ft}}$$

Obstáculo 6 (Tanque elevado)

$$D = 45734.90 \text{ ft}$$

$$D_0 = 7956.03 \text{ ft}$$

$$D_y = 0.15152 (45734.90 - 200) + 1000 = \underline{7899.44 \text{ ft}}$$

$$D_x = 0.10752 (45734.90 - 200) + 700 = \underline{5595.91 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (45734.90 - 200) + 400 = \underline{2039.25 \text{ ft}}$$

$$Z_y = ((45734.90 - (200 + 15))/34) + ((5595.91 - 2039.25)/4) + ((7956.03 - 5595.91)/7) = \underline{2565.14 \text{ ft}}$$

Obstáculo 7 (Tanque elevado)

$$D = 46751.96 \text{ ft}$$

$$D_0 = 8038.05 \text{ ft}$$

$$D_y = 0.15152 (46751.96 - 200) + 1000 = \underline{8053.55 \text{ ft}}$$

$$D_x = 0.10752 (46751.96 - 200) + 700 = \underline{5705.26 \text{ ft}}$$

$$D_w = 0.036 (46751.96 - 200) + 400 = \underline{2075.87 \text{ ft}}$$

$$Z_y = ((46751.96 - (200 + 15))/34) + ((5705.26 - 2075.87)/4) + ((8038.05 - 5705.26)/7) = \underline{2609.34 \text{ ft}}$$

A continuación se muestra una tabla para facilitar la localización del obstáculo.

Obstáculos: "X"				
	1	2	3	
<b>D</b>	29855.64	16640.41	26246.71	
<b>D<sub>0</sub></b>	3772.96	2132.54	3772.96	
<b>D<sub>x</sub></b>	3888.57	2468.73	3500.54	
<b>D<sub>w</sub></b>	1467.60	992.20	1337.68	
<b>Z<sub>x</sub></b>	<b>1448.12</b>	<b>768.18</b>	<b>1374.46</b>	
Obstáculos: "Y"				
	4	5	6	7
<b>D</b>	3444.88	39041.99	45734.90	46751.96
<b>D<sub>0</sub></b>	1476.37	5905.51	7956.03	8038.05
<b>D<sub>y</sub></b>	1491.66	6885.33	7899.44	8053.55
<b>D<sub>x</sub></b>	1048.88	4876.29	5595.91	5705.26
<b>D<sub>w</sub></b>	516.81	1798.31	2039.25	2075.87
<b>Z<sub>y</sub></b>	<b>289.08</b>	<b>2058.49</b>	<b>2565.14</b>	<b>2609.34</b>

Tabla 10. Obstáculos del segmento final en ft (FAA).

La altura de los obstáculos son 131.23 ft (40 m) por ser tanques elevados excepto el fraccionamiento Monte Bello con una elevación de 6069.55 ft (1850 m) N.M.M los datos se tomaron como referencia de la carta topográfica de INEGI.

$$z - O = R \quad (23)$$

Donde:

z= Altura en el punto donde se encuentra el obstáculo.

O = Altura del obstáculo.

R = Resultado. Si el obstáculo llega a penetrar el resultado es negativo y si no penetra el resultado es positivo.

1448.12 ft - 131.23 ft = 1316.89 ft	NO PENETRA
768.18 ft - 131.23 ft = 636.95 ft	NO PENETRA
1374.46 ft - 78.74 ft = - 1295.72 ft	NO PENETRA
289.08 ft - 131.23 ft = 157.85 ft	NO PENETRA
2058.49 ft - 131.23 ft = 1927.26 ft	NO PENETRA
2565.14 ft - 131.23 ft = 2433.91 ft	NO PENETRA
2609.34 ft - 131.23 ft = 2478.11 ft	NO PENETRA

Se observa que ningún obstáculo penetra.

A continuación se detalla el diseño del procedimiento de aproximación frustrada ILS para el Aeropuerto Internacional de Guanajuato bajo la normatividad de la FAA contenida en el documento 8260.3B TERPS de FAA, Volumen III, Capítulo 3, Segmento de aproximación final y aproximación frustrada del ILS.

## 5.5 Aproximación frustrada FAA

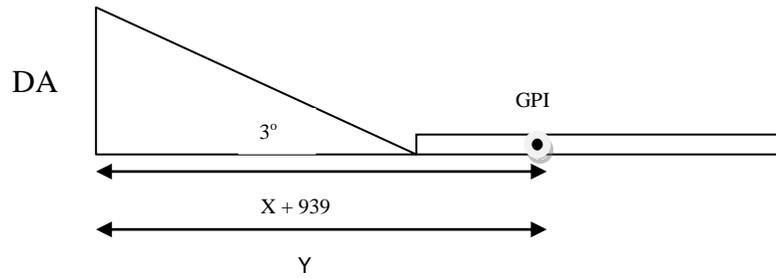


Figura 85. Cálculo de y.

Para una DA = 200 ft

GPI = 939 ft

$\tan 3^\circ = 200\text{ft} / (x + 939 \text{ ft})$

$x = (200 \text{ ft} / \tan 3^\circ) - 939 \text{ ft}$

$x = 2877.22 \text{ ft}$

$y = x + 939 \text{ ft} = 3816.22 \text{ ft} (1163.18 \text{ m})$

Con estas distancias se diseña el procedimiento de aproximación frustrada.

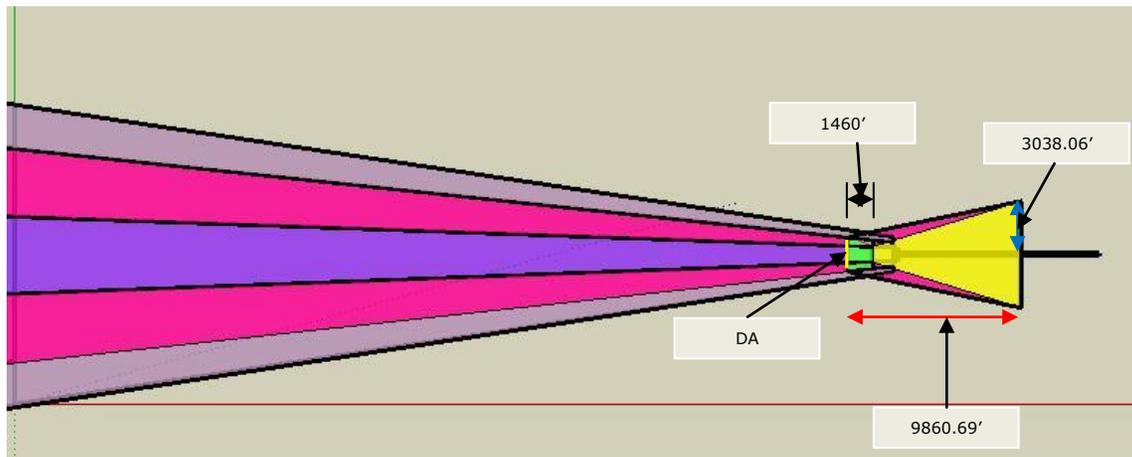


Figura 86. Aproximación frustrada.



Figura 87. Alturas de aproximación frustrada.

Sección 1b	
<b>X</b>	4675.19 ft
<b>Y</b>	1886.48 ft
<b>Z</b>	<b>249.01 ft</b>

Tabla 11. Obstáculo en aproximación frustrada (FAA).

La altura del obstáculo es de 131.23 ft (40 m) por ser tanque elevado el dato se tomó como referencia de la carta topográfica de INEGI.

$$z - O = R \tag{23}$$

Donde:

z= Altura en el punto donde se encuentra el obstáculo.

O = Altura del obstáculo.

R = Resultado. Si el obstáculo llega a penetrar el resultado es negativo y si no penetra el resultado es positivo.

La altura de los obstáculos son 131.23 ft (40 m) por ser tanques elevados.

$$249.01 - 131.23 = 117.77 \text{ ft} \quad \text{NO PENETRA}$$

Se observa que el obstáculo no penetra.



## CAPÍTULO VI

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

## Análisis de resultados

Al diseñar los dos procedimientos de aproximación final del ILS se observaron y analizaron los criterios para cada una de las normatividades OACI y FAA con sus correspondientes documentos PANS-OPS y TERPS pudiendo ver las características de los obstáculos que se localizaban en cada una de las superficies de acuerdo a cada normatividad y así determinar si el obstáculo penetraba o no, para poder calcular las alturas en cada punto donde se encontraba el obstáculo, se aplicaron fórmulas ya establecidas por cada normatividad.

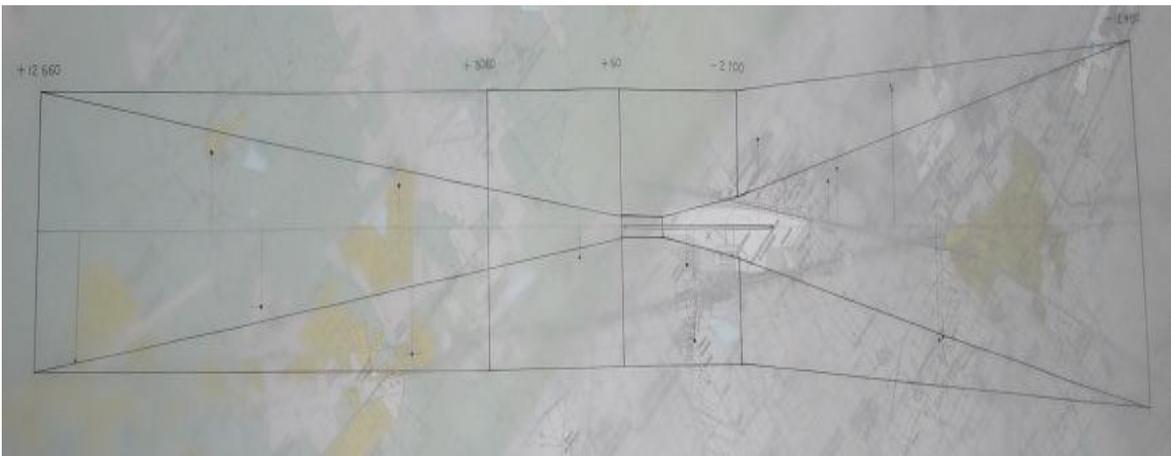


Figura 88. Evaluación de obstáculos superficies ILS básicas (OACI).

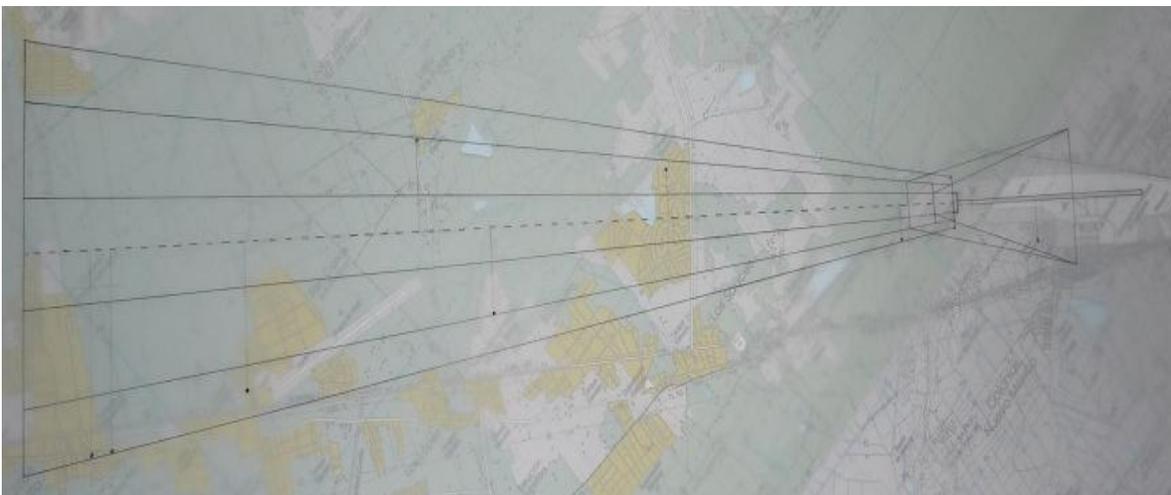


Figura 89. Evaluación de obstáculos segmento final (FAA).

Observaciones

Aproximación final en descenso.

<b>Normatividad OACI</b>	<b>Normatividad FAA</b>
La superficie de aproximación es de 12 660 m de largo.	La superficie de aproximación es de 15 300.96 m de largo.
Consta de superficie W y X.	Consta de tres superficies X, Y, y W.
La altura del umbral (0m) al punto final de aproximación es de 300m.	La altura del umbral (0m) a la PFAF para W es de 439.81m y para Y es de 843.37m.
El ancho de la superficie de aproximación final es de 4080m en la PFAF.	El ancho de la superficie de aproximación final es de 5 227.9m en la PFAF.
La superficie W es de 98 m de ancho en la PFAF.	La superficie W es de 1 341.12m de ancho en la PFAF.

Tabla 12. Comparativa aproximación final.



Figura 90. Evaluación de obstáculos aproximación frustrada (OACI).

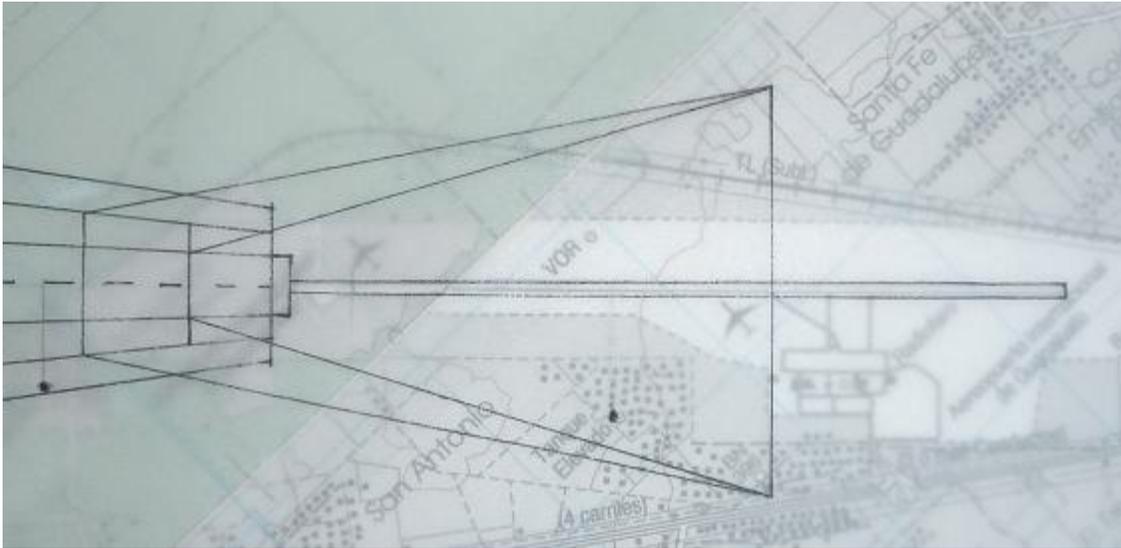


Figura 91. Evaluación de obstáculos aproximación frustrada (FAA).

Aproximación frustrada

<b>Normatividad OACI</b>	<b>Normatividad FAA</b>
La superficie de aproximación es de 10 807 m de largo a partir del umbral.	La superficie de aproximación es de 2 128.5m de largo a partir del umbral.
Consta de superficie W, X, Y y Z.	Consta de 1 sección, que se divide en tres, 1a, 1b y 1c.
La altura del umbral (0m) al punto final de aproximación frustrada es de 300m.	La altura de la sección 1a (24m) al punto final de aproximación frustrada es de 100.53m.
La superficie W es de 98 m de ancho en la PFAF.	La superficie W es de 1 341.12m de ancho en la PFAF.

Tabla 13. Comparativa aproximación frustrada.



# CONCLUSIONES

---

## **CONCLUSIONES**

Al termino y durante la investigación realizada con base al diseño de los procedimientos ILS en el Aeropuerto Internacional de Guanajuato, encontramos que los procedimientos TERPS por parte de FAA Y los procedimientos PANS-OPS por parte de OACI, no tiene ninguna similitud en cuanto a sus áreas, pendientes y divergencias se refiere, como se mostró en el análisis de resultados.

Con lo cual se concluye que es factible implementar la normatividad OACI para aproximación final debido a que la superficie W es más restringida por lo cual la aeronave puede aterrizar con mayor seguridad en la pista; Además de que México estaría más acorde con la normatividad Internacional al implementar este procedimiento.

Y para aproximación frustrada es factible aplicar la normatividad FAA debido a que es más restringido, de acuerdo a las áreas que maneja, que en este caso sería la sección 1, con sus respectivas secciones (1a, 1b, 1c).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS LIBROS Y TESIS

- [1] Aage Roed. *Seguridad de Vuelo*. Ed. Paraninfo. Madrid, España 1995.
- [2] Bravo Saldaña Adriana. *Sistema de aterrizaje por Instrumentos* (Tesis). México, DF. 2007.
- [3] González Espinoza Ezequiel. *Descripción y operación de sistemas para navegación y procedimientos de control de tránsito aéreo*. (Tesis), DF. 1984.
- [4] Ruíz Romero Manuel. *La Aviación Civil en México*. Impresores Profesionales. México DF. 1999.

## DOCUMENTOS

- [5] Organización de Aviación Civil Internacional. *Anexo 10 telecomunicaciones aeronáuticas Volumen 1*, Radio Ayudas a la Navegación. Montreal: OACI. 1995.
- [6] Organización de Aviación Civil Internacional. *Documento 8168 PANS-OPS, Volumen II*. Montreal: OACI. 2005.
- [7] Federal Aviation Administration. *Documento 8260.3B TERPS, Volumen III*. Washington DC: FAA. 2002.

### **PAGINAS WEB**

[8] [http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia\\_aviacion/tema3.html](http://www.aero.upm.es/es/alumnos/historia_aviacion/tema3.html)

[9] <http://www.fsai.es> NAVEGACIÓN AEREA

[10] <http://www.icao.int/>

[11] <http://www.seneam.gob.mx/web/infra.asp>

**LISTADO DE SIGLAS**

- AC:** Circular informativa.
- ASBL:** Línea base de la superficie de aproximación.
- AWO:** Operaciones todo tiempo.
- AWY:** Aerovía.
- CAA:** Administración de aviación civil.
- CREI:** Cuerpo de rescate y extinción de incendio.
- CRM:** Modelo de riesgo de colisión.
- DH:** Altura de decisión.
- Hz:** Hertz.
- DA:** Altitud de decisión.
- DGAC:** Dirección general de aeronáutica civil.
- DME:** Equipo medidor de distancia.
- FAA:** Administración federal de aviación.
- FAP:** Punto de aproximación final.
- FL:** Nivel de vuelo.
- FTP:** Punto del umbral ficticio.
- GAP:** Grupo aeroportuario del pacífico.
- GP:** Pendiente de planeo.
- GPA:** Angulo de pendiente de planeo.
- GPI:** Punto de intercepción en la pista.
- GPS:** Sistema de posicionamiento global.
- GPWS:** Sistema de alarma de proximidad al terreno.
- GS:** Senda de planeo.
- HAT:** Altura por encima de la zona de aterrizaje.
- IFR:** Reglas de vuelo instrumental.
- ILS:** Sistema de aterrizaje por instrumentos.
- IM:** Radiobaliza interior.
- IMC:** Condiciones meteorológicas instrumentales.
- INS:** Navegación aérea inercial.

**ITT:** Teléfono y telégrafo internacional.

**LOC:** Localizador (LLZ).

**LTP:** Punto del umbral de aterrizaje.

**MA:** Aproximación frustrada.

**MAPt:** Punto de aproximación frustrada.

**MHz:** Mega Hertz.

**MLS:** Sistema de aterrizaje por microondas.

**MM:** Radiobaliza intermedia.

**MSL:** Nivel medio del mar.

**NDB:** Baliza no direccional.

**NM:** Millas náuticas.

**OACI:** Organización de aviación civil internacional.

**OAS:** Superficies de evaluación de obstáculos.

**OCA:** Altitud de franqueamiento de obstáculos.

**OCH:** Altura de franqueamiento de obstáculos.

**OCS:** Superficie libre de obstáculos.

**OM:** Radiobaliza exterior.

**PAN- OPS:** Procedimientos para los servicios de navegación aérea-operación de aeronaves.

**PFAF:** Punto de referencia de la aproximación final de precisión.

**PGPI:** Punto supuesto de intercepción en la pista.

**PIA:** Publicación de información aeronáutica.

**POFA:** Zona de precisión libre de objetos

**RCL:** Eje de pista.

**RNAV:** Navegación de área.

**ROC:** Margen de altura libre de obstáculos.

**RVR:** Rango visual de pista.

**RWT:** Umbral de pista.

**RWY:** Pista.

**SENEAM:** Servicios a la navegación en el espacio aéreo mexicano.

**STAR:** Cartas de llegada instrumental.

**TAA:** Altitud de llegada a terminal.

**TCAS:** Sistema anticolidión de aeronaves.

**TDZE:** Cota de la zona de aterrizaje.

**TERPS:** Procedimiento terminal instrumental (basados en la normatividad FAA).

**TWR:** Torre de control de aeródromo.

**UHF:** Señal de ultra alta frecuencia.

**USAF:** Ajuste obligatorio si la obstrucción no puede ser quitada.

**VFR:** Reglas de vuelo visual.

**VHF:** Señal de alta frecuencia.

**VOR:** Radiofaro omnidireccional de VHF.

## GLOSARIO

**Aeródromo:** Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

**Aerovía (AWY:** Área de control o parte de ella dispuesta en forma de corredor y equipada con radio ayudas para la navegación" vendrían a ser las rutas en el cielo que unen los aeropuertos entre sí.

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

**Altitud:** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar.

**Altitud de franqueamiento de obstáculos (OCA) o altura de franqueamiento de obstáculos (OCH):** La altitud más baja o la altura más baja por encima de la elevación del umbral de la pista pertinente o por encima de la elevación del aeródromo, según corresponda, utilizada para respetar los correspondientes criterios de franqueamiento de obstáculos.

**Nota 1.** — *Para la altitud de franqueamiento de obstáculos se toma como referencia el nivel medio del mar y para la altura de franqueamiento de obstáculos, la elevación del umbral, o en el caso de aproximaciones que no son de precisión, la elevación del aeródromo o la elevación del umbral, si éste estuviera a más de 2 m (7 ft) por debajo de la elevación del aeródromo. Para la altura de franqueamiento de obstáculos en aproximaciones en circuito se toma como referencia la elevación del aeródromo.*

**Nota 2.** — Cuando se utilicen estas dos expresiones, pueden citarse convenientemente como "altitud/altura de franqueamiento de obstáculos" y abreviarse en la forma "OCA/H".

**Altitud de llegada a terminal (TAA):** La altitud más baja que se pueda utilizar que proporcione un margen mínimo de franqueamiento de 300 m (1 000 ft) por encima de todos los objetos ubicados dentro de un arco de círculo de 46 km (25 NM) de radio con centro en el punto de aproximación inicial (IAF) o, cuando no hay IAF, en el punto de referencia de aproximación intermedio (IF) delimitado por líneas rectas que unen los extremos del arco al IF. Las TAA combinadas relacionadas con un procedimiento de aproximación representarán un área de 360° alrededor del IF.

**Altitud mínima de sector:** La altitud más baja que puede usarse en condiciones de emergencia y que permite conservar un margen vertical mínimo de 300 m (1 000 ft), sobre todos los obstáculos situados en un área comprendida dentro de un sector circular de 46 km (25 NM) de radio, centrado en una radio ayuda para la navegación.

**Altura:** Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y una referencia especificada.

**Aproximación final.** Parte de un procedimiento de aproximación por instrumentos que se inicia en el punto o referencia de aproximación final determinado o, cuando no se haya determinado dicho punto o dicha referencia,

a) al final del último viraje reglamentario, viraje de base o viraje de acercamiento de un procedimiento en hipódromo, si se especifica uno; o

b) en el punto de interceptación de la última trayectoria especificada del procedimiento de aproximación; y que finaliza en un punto en las inmediaciones del aeródromo desde el cual:

- 1) puede efectuarse un aterrizaje; o bien
- 2) se inicia un procedimiento de aproximación frustrada.

**Elevación:** Distancia vertical entre un punto o un nivel de la superficie de la tierra, o unido a ella, y el nivel medio del mar.

**Elevación del aeródromo:** Elevación del punto más alto del área de aterrizaje.

**Marcador Externo (Outer Marker) OM:** Es uno de los componentes del ILS, se trata de una radiobaliza normalmente ubicada en el eje de pista entre cuatro y siete millas del umbral, transmite dos pulsos (rayas) por segundo en un tono de 400 Hz, que son recibidos en forma visual y auditiva por la aeronave cuando pasa exactamente sobre él. Esto ayuda al piloto a saber que está en la trayectoria correcta.

**Marcador Medio (Middle Marker) MM:** Es una radiobaliza ubicada en el eje de pista que define un punto cerca de la altura de decisión. Transmite alternadamente puntos y rayas a un tono de 1300 Hz que son recibidas visual y auditivamente por el correspondiente equipo de la aeronave. En los ILS categoría I, luego de pasar sobre MM, el Piloto tiene que tomar una decisión: aterriza o hace procedimiento de aproximación frustrada (escape).

**Obstáculo:** Todo objeto fijo (ya sea temporal o permanente) o móvil, o partes del mismo, que esté situado en un área destinada al movimiento de las aeronaves en la superficie o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger a las aeronaves en vuelo.

**Pista:** Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

**Plan de vuelo (PLN):** Información especificada que, respecto a un vuelo proyectado, o a parte de un vuelo de una aeronave, se somete a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo" Concretamente, el PLN contiene información acerca de un vuelo determinado indicando origen, destino, nivel de vuelo en ruta, tiempo de vuelo, aeropuertos de alternativa, autonomía, etc.

**Procedimiento de aproximación por instrumentos:** Serie de maniobras predeterminadas realizadas por referencia a los instrumentos de a bordo, con protección específica contra los obstáculos desde el punto de referencia de aproximación inicial o, cuando sea el caso, desde el inicio de una ruta definida de llegada hasta un punto a partir del cual sea posible hacer el aterrizaje; y, luego, si no se realiza éste, hasta una posición en la cual se apliquen los criterios de circuito de espera o de margen de franqueamiento de obstáculos en ruta.

**Punto de aproximación frustrada (MAPt):** En un procedimiento de aproximación por instrumentos, el punto en el cual, o antes del cual se ha de iniciar la aproximación frustrada prescrita, con el fin de respetar el margen mínimo de franqueamiento de obstáculos.

**Punto de referencia de aeródromo:** Punto cuya situación geográfica designa al aeródromo.

**Punto de referencia de aproximación final o punto de aproximación final:** Punto de un procedimiento de aproximación por instrumentos en que comienza el tramo de aproximación final.

**Relieve:** Desigualdades de elevación en la superficie de la Tierra, representadas en las cartas aeronáuticas por curvas de nivel, tintas hipsométricas, sombreados o cotas.

**Rodaje:** Movimiento autopropulsado de una aeronave sobre la superficie de un aeródromo, excluidos el despegue y el aterrizaje.

**Rumbo:** Es el ángulo comprendido entre el Norte y la línea que une el punto de salida A, al de destino B, leídos en sentido horario, los rumbos pueden ser magnéticos o geográficos, dependiendo del Norte que tenemos como referencia.

**Ruta:** Se denomina a la proyección trazada sobre la carta del punto A al punto B.

**Servicio de tránsito aéreo:** Expresión genérica que se aplica, según el caso, a los servicios de información de vuelo, alerta, asesoramiento de tránsito aéreo, control de tránsito aéreo (servicios de control de área, control de aproximación o control de aeródromo).

**Sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS):** Es un sistema de aterrizaje de precisión que le permite a una aeronave realizar una aproximación hacia la pista aún cuando los valores de techo de nubes y visibilidad del aeropuerto sean muy bajos. Consta básicamente de un localizador (LOC) que es un haz electrónico que guía a la aeronave en la dirección del aterrizaje, una trayectoria de planeo (GP: Glide Path) que la hace descender hacia la pista, y algunos marcadores: externo, medio e interno (OM, MM & IM) que le indican al piloto la proximidad al punto de toma de contacto. Los ILS se dividen en varias categorías de acuerdo a las mínimas meteorológicas de aterrizaje.

**Tramo de aproximación final:** Fase de un procedimiento de aproximación por instrumentos durante la cual se ejecutan la alineación y el descenso para aterrizar.

**Tramo de aproximación inicial:** Fase de un procedimiento de aproximación por instrumentos entre el punto de referencia de aproximación inicial y el punto de referencia de aproximación intermedia o, cuando corresponda, el punto de referencia de aproximación final.

**Tramo de aproximación intermedia:** Fase de un procedimiento de aproximación por instrumentos entre, ya sea el punto de referencia, de aproximación intermedia y el punto de referencia de aproximación final o el punto de aproximación final; o entre el final de un procedimiento de inversión, de hipódromo o de navegación a estima y el punto de referencia de aproximación final o el punto de aproximación final, según sea el caso.

**Trayectoria de planeo:** Perfil de descenso determinado para guía vertical durante una aproximación final.

**Zona de toma de contacto:** Parte de la pista, situada después del umbral, destinada a que los aviones que aterrizan hagan el primer contacto con la pista.

**Zona despejada de obstáculos (OFZ):** Espacio aéreo por encima de la superficie de aproximación interna, de las superficies de transición interna, de la superficie de aterrizaje interrumpido y de la parte de la franja limitada por esas superficies, no penetrada por ningún obstáculo fijo salvo uno de masa ligera montado sobre soportes frangibles necesario para fines de navegación aérea.

**Zona libre de obstáculos:** Área rectangular definida en el terreno o en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada o preparada como área adecuada sobre la cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.

**Zona peligrosa:** Espacio aéreo de dimensiones definidas en el cual pueden desplegarse en determinados momentos actividades peligrosas para el vuelo de las aeronaves.

**Zona prohibida.** Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio o las aguas jurisdiccionales de un Estado, dentro del cual está prohibido el vuelo de las aeronaves.

**Zona restringida.** Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio o las aguas jurisdiccionales de un Estado, dentro del cual está restringido el vuelo de las aeronaves, de acuerdo con determinadas condiciones especificadas.



AIP DE MEXICO

AD 2-3 MMLO  
JUL-02-2009

AD 2.13 - DISTANCIAS DECLARADAS					
Designador RWY	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LOA (m)	Observaciones
1	2	3	4	5	6
13	3500	3500	3500	3500	
31	3500	3500	3500	3500	

AD 2.14 - LUCES DE APROXIMACION Y DE PISTA									
Designador RWY	Tipo LGT APCH LEN INTST	Color LGT THR WBAR	PAPI VASIS (MEHT)	LEN, LGT TDZ	Longitud, espaciado, color, INTST LGT eje RWY	Longitud, espaciado, color, INTST LGT borde RWY	Color WBAR LGT extremo RWY	LEN (m) color LGT SWY	Observaciones
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	NIL	Verde	VER AD MMLO-0	NIL	NIL	3000 m 60 m Blanca LIH	Roja	NIL	LGT Borde RWY últimos 600 m Ambar
31	NIL	Verde	VER AD MMLO-0	NIL	NIL	3000 m 60 m Blanca LIH	Roja	NIL	LGT Borde RWY últimos 600 m Ambar

AD 2.15 - OTRAS LUCES, FUENTE SECUNDARIA DE ENERGIA	
1	Emplazamiento, características y horas de funcionamiento ABN/IBN: Sobre torre de control, según condiciones de visibilidad.
2	Emplazamiento LDI y LGT: Anemómetro LDI y LGT: Indicador de dirección de aterrizaje en cabezales 13/31
3	Luces de borde y eje de TWY: En borde de TWY si, en eje, no.
4	Fuente auxiliar de energía/tiempo de conmutación: Si, 3 segundos.
5	Observaciones: Ninguna

AD 2.16 - AREA DE ATERRIJAJE DE HELICOPTEROS	
1	Coordenadas TLOF o THR de FATO:
2	Elevación de TLOF y/o FATO M/FT:
3	Dimensiones, superficie, resistencia, señales de las áreas TLOF y FATO:
4	BRG geográficas y MAG de FATO:
5	Distancia declarada disponible:
6	Luces APP y FATO:
7	Observaciones: Para llegadas y salidas de helicópteros, se utiliza la plataforma de aviación general (OPERACIONES aeropuerto coordina posición)

AD 2.17 - ESPACIO AEREO ATS	
1	Designación y límites laterales:
2	Límites verticales:
3	Clasificación del espacio aéreo:
4	Distintivo de llamada de la dependencia ATS. Idioma(s):
5	Altitud de transición:
6	Observaciones: Ninguna

AD 2.18 - INSTALACIONES DE COMUNICACIONES ATS				
Designación del servicio	Distintivo de llamada	Frecuencia	Horas de funcionamiento	Observaciones
1	2	3	4	5
TWR	Torre León	118.35 MHz	1000/0600 TSC 0900/0500 TVC	Ninguna
APP	Aproximación León	119.05 MHz	1000/0600 TSC 0900/0500 TVC	Ninguna
FPQ	Información de Vuelo León	122.30 MHz	1000/0600 TSC 0900/0500 TVC	

AD 2.19 - RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACION Y EL ATERRIJAJE						
Tipo de ayuda, CAT de ILS (Para VOR/ILS, se indica VAR)	ID	Frecuencia	Horas de funcionamiento	Coordenadas del emplazamiento de la antena transmisora	Elevación de la antena transmisora del DME	Observaciones
1	2	3	4	5	6	7
VOR/DME	BJX	115.8 MHz	H24	209950.36 N 1012857.86 W		

SCT-DGAC-SENEAM

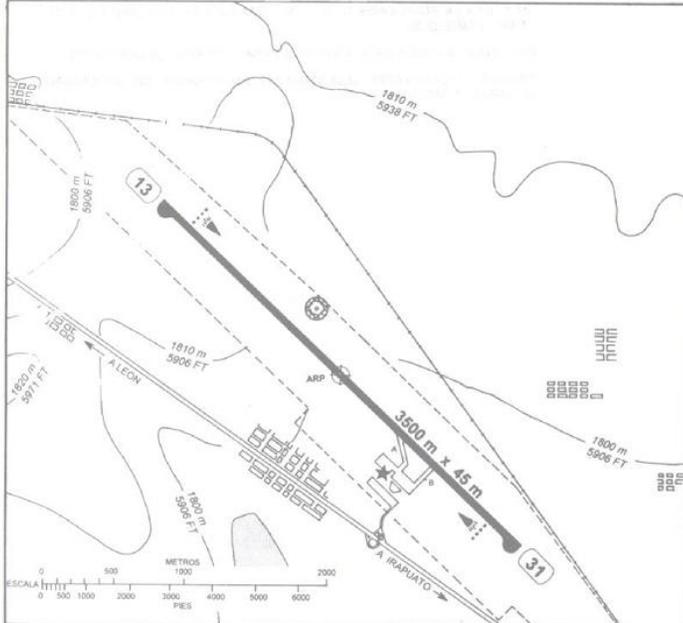
AMDT 03/09 (371)

AGO-07-2003 04/03 (326)

TWR 118.35  
 APP 119.05  
 ATIS 128.40  
 VOR/DME 115.8

ELEV 5956 FT  
 1813.5 m  
 VAR 8° E  
 AFTN - MMLG

**LEON, GTO.**  
 AEROPUERTO INTERNACIONAL  
 "DE GUANAJUATO"



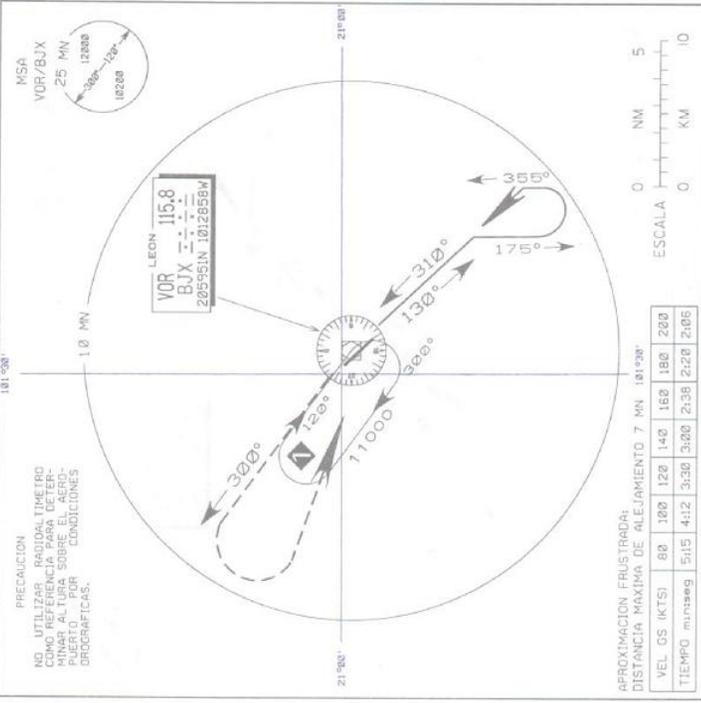
INFORMACION ADICIONAL DE PISTAS

PISTA	ILUMINACION	DISTANCIAS DECLARADAS								ANCHO	
		TORA		ASDA		TODA		LDA		m	FT
		m	FT	m	FT	m	FT	m	FT		
13	HIRL - PAPI (3.0°)	3500	11483	3500	11483	3500	11483	3500	11483	45	148
31	HIRL - PAPI (3.0°)	3500	11483	3500	11483	3500	11483	3500	11483		

MINIMOS METEOROLOGICOS TECHO EN FT Y VISIBILIDAD EN SM y (m)				RWY		THR		ALTERNO  1200 - 3 (4800 m)
EQUIPO	DESPEGUE		DIA Y NOCHE	DIA Y NOCHE	13	31	ARP: 20° 59' 35.9033 N 101° 28' 51.4721 W	
	PISTA 13	PISTA 31						
1 Y 2 MOTORES	300 - 1/2 (800 m)	300 - 1 (1600 m)						
3 O MAS MOTORES								

**NOTAS:** LUCES EN CALLES DE RODAJE  
 PISTA 13 TRANSITO A LA DERECHA

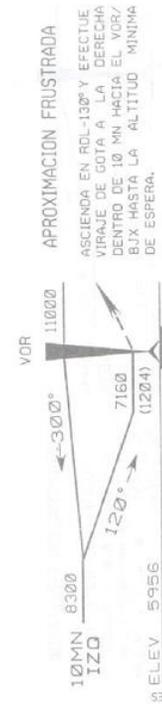
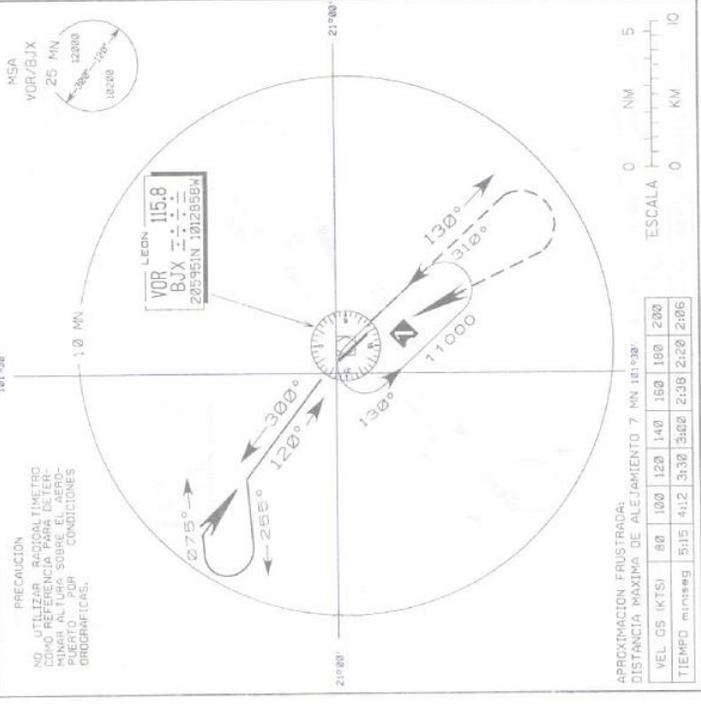
**EFFECTIVO DIC-21-06**  
**LEON, GTO.**  
**VOR PISTA 31**  
 ATIS 128.40  
 TWR 118.35 ELEV 5956  
 APP 119.05 VAR 8° E



DIRECTO PISTA 31		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 1/4 (2000 m)	A	6960 (10004) - 1 1/4 (2000 m)
B	1 1/2 (2400 m)	B	6960 (10004) - 1 1/2 (2400 m)
C	3 (4800 m)	C	6960 (10004) - 3 (4800 m)
D		D	

NOV-23-2006 05/06 (353) SCT-DGAC-SENEAM MMLO-V-2

**EFFECTIVO DIC-21-06**  
**LEON, GTO.**  
**VOR PISTA 13**  
 ATIS 128.40  
 TWR 118.35 ELEV 5956  
 APP 119.05 VAR 8° E



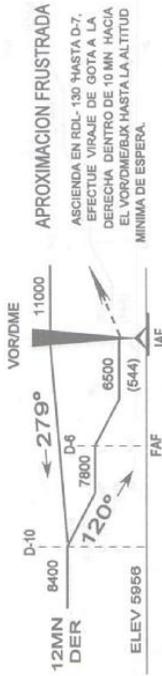
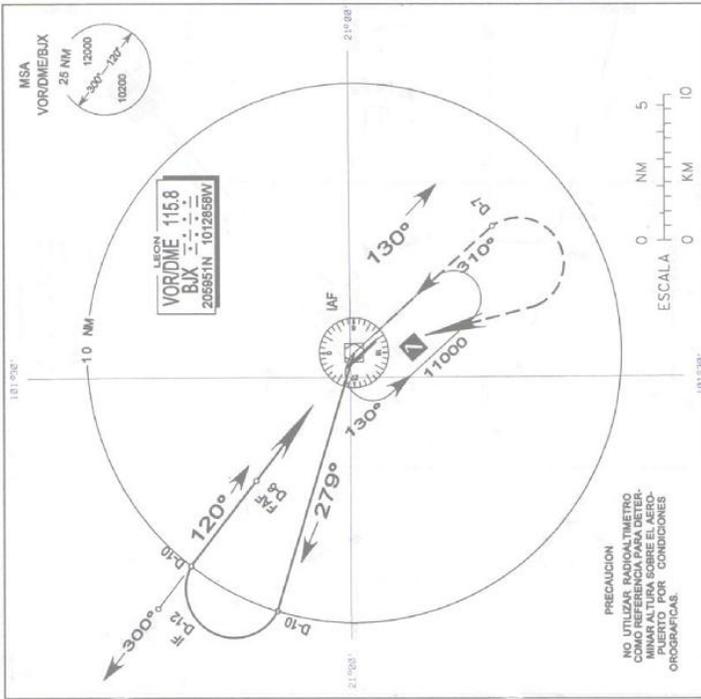
DIRECTO PISTA 13		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 1/4 (2000 m)	A	7160 (1204) - 1 1/4 (2000 m)
B	1 1/2 (2400 m)	B	7160 (1204) - 1 1/2 (2400 m)
C	3 (4800 m)	C	7160 (1204) - 3 (4800 m)
D		D	

NOV-23-2006 05/06 (353) SCT-DGAC-SENEAM MMLO-V-1

LEON, GTO.  
VOR/DME 1 PISTA 13

ATIS 128.40  
TWR 116.35  
APP 119.05  
ELEVAD 5956  
VAR 8° E

CARTA DE APROXIMACION  
POR INSTRUMENTOS



CAMBIOS : RDL

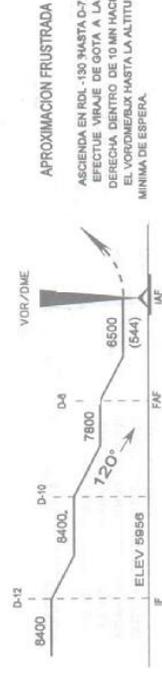
DIRECTO PISTA 13		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 (1600 m)	A	6560 (604) - 1 (1600 m)
B	1 1/2 (2400 m)	B	6600 (644) - 1 3/4 (2800 m)
C	1 3/4 (2800 m)	C	6600 (644) - 2 (3200 m)
D	1 3/4 (2800 m)	D	6600 (644) - 2 (3200 m)

AGO-28-2008 04:08 (398) SCT-DGAC-SENEAM AD-MMLO-VD-1

LEON, GTO.  
VOR/DME 2 PISTA 13

ATIS 128.40  
TWR 116.35  
APP 119.05  
ELEVAD 5956  
VAR 8° E

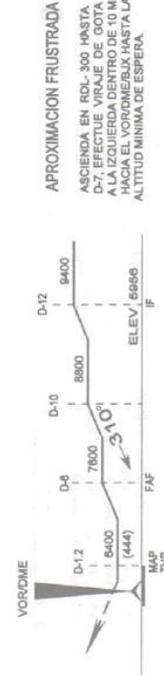
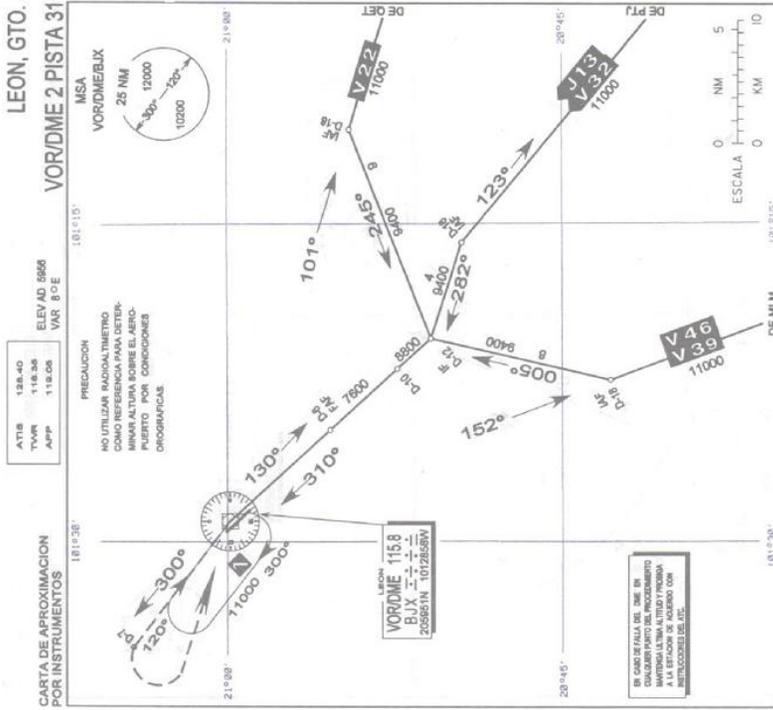
CARTA DE APROXIMACION  
POR INSTRUMENTOS



CAMBIOS :

DIRECTO PISTA 13		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 (1600 m)	A	6560 (604) - 1 (1600 m)
B	1 1/2 (2400 m)	B	6600 (644) - 1 3/4 (2800 m)
C	1 3/4 (2800 m)	C	6600 (644) - 2 (3200 m)
D	1 3/4 (2800 m)	D	6600 (644) - 2 (3200 m)

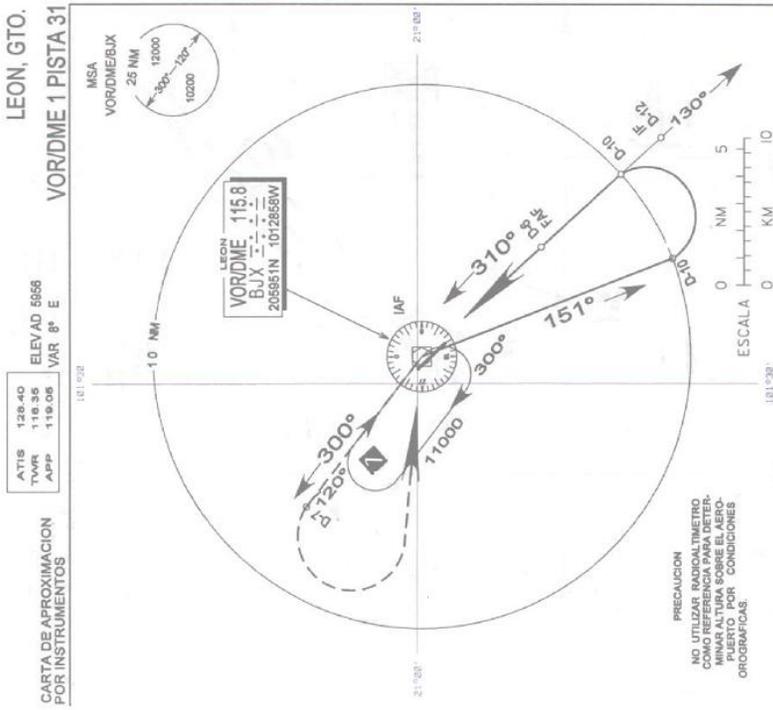
AGO-28-2008 04:08 (398) SCT-DGAC-SENEAM AD-MMLO-VD-2



CAMBIOS :

DIRECTO PISTA 31		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 (1600 m)	A	6460 (504) - 1 (1600 m)
B	1 1/4 (2000 m)	B	6600 (514) - 1 3/4 (2800 m)
C	1 1/2 (2400 m)	C	6800 (534) - 2 (3200 m)
D	3 (3000 m)	D	7000 (554) - 2 (3200 m)

AGC-28-2008 04/08 (366) SCT-DGAC-SENEAM AD-MMLLO-VD-4



CAMBIOS :

DIRECTO PISTA 31		CIRCULANDO	
CAT	MDA (MDH)	CAT	MDA (MDH)
A	1 (1600 m)	A	6460 (504) - 1 (1600 m)
B	1 1/2 (2400 m)	B	6600 (514) - 1 3/4 (2800 m)
C	1 3/4 (2800 m)	C	6800 (534) - 2 (3200 m)
D	3 (3000 m)	D	7000 (554) - 2 (3200 m)

AGC-28-2008 04/08 (366) SCT-DGAC-SENEAM AD-MMLLO-VD-3



FEB-14-2008 01/08 (363)

AD-MMLO-S-1-1

**SALIDAS PISTA 13**

SALIDA AVRIK UNO (AVRIK1)

ASCIENDA POR RADIAL 130° HASTA D-12, VIRE A LA IZQUIERDA Y PROSIGA EN RUMBO 065° HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 101° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO AVRIK Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

SALIDAS: URVEM UNO (URVEM1)

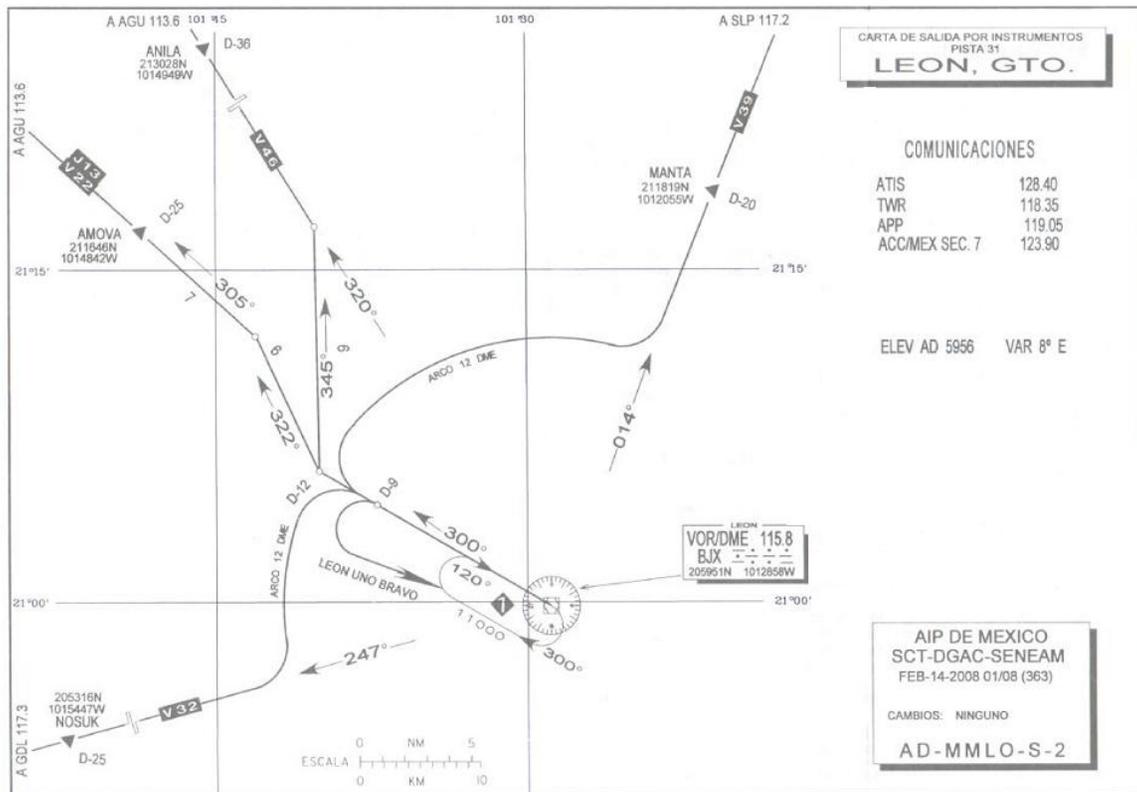
ASCIENDA POR RADIAL 130° HASTA D-12, VIRE A LA DERECHA EN RUMBO 185° HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 152° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO URVEM Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

SALIDAS: LEON UNO ALFA (BJX1A)

ASCIENDA POR RADIAL 130° HASTA D-9 (EN CASO DE FALLA DEL DME HASTA ALCANZAR 7600 FT), EFECTUE VIRAJE DE GOTA A LA DERECHA DENTRO DE 12 MN HACIA EL VOR/DME/BJX, ABANDONALO DE ACUERDO A LA MCA DE LA RUTA ASIGNADA O INSTRUCCIONES DEL ATC.

**MCA:**

A	SLP	V-39		10600
A	QET	V-22		10000
A	PTJ	V-32	J-13	10000
A	MLM	V-39		9600
A	GDL	V-32		9600
A	AGU	V-22	J-13	9600
A	AGU	V-46		10000



FEB-14-2008 01/08 (363)

AD-MMLO-S-2-1

**SALIDAS PISTA 21**

SALIDA: NOSUK UNO (NOSUK1)

ASCIENDA POR RADIAL 300° HASTA D-9, VIRE A LA IZQUIERDA Y PROSIGA EN ARCO 12 DME HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 247° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO NOSUK Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

SALIDA: AMOVA UNO (AMOVA1)

ASCIENDA POR RADIAL 300° HASTA D-12, VIRE A LA DERECHA EN RUMBO 322° HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 305° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO AMOVA Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

SALIDA: ANILA UNO CHARLIE (ANILA1C)

ASCIENDA POR RADIAL 300° HASTA D-12, VIRE A LA DERECHA EN RUMBO 345° HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 320° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO ANILA Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

LAS SALIDAS AMOVA UNO Y ANILA UNO CHARLIE REQUIEREN UN GRADIENTE MINIMO DE ASCENSO DE 230 FT/MN HASTA ALCANZAR 11000 FT.

VEL(GS)KTS	80	100	120	140	160	180	200
FT/min.	307	383	460	537	613	690	767

SALIDA: MANTA UNO (MANTA1)

ASCIENDA POR RADIAL 300° HASTA D-9, VIRE A LA DERECHA Y PROSIGA EN ARCO 12 DME HASTA INTERCEPTAR EL RADIAL 014° DEL VOR/DME/BJX HACIA EL FIJO MANTA Y CONTINUE EN RUTA ASIGNADA O DE ACUERDO A INSTRUCCIONES DEL ATC.

ESTA SALIDA REQUIERE DE UN GRADIENTE MINIMO DE ASCENSO DE 320 FT/MN HASTA ALCANZAR 11000 FT.

VEL(GS)KTS	80	100	120	140	160	180	200
FT/min.	427	533	640	747	853	960	1067

SALIDA: LEON UNO BRAVO (BJX1B)

ASCIENDA POR RDL-300° HASTA D-9 (EN CASO DE FALLA DEL DME HASTA ALCANZAR 7700 FT), EFECTUE VIRAJE DE GOTA A LA IZQUIERDA DENTRO DE 12 MN HACIA EL VOR/DME/BJX, ABANDONALO DE ACUERDO A LA MCA DE LA RUTA ASIGNADA O INSTRUCCIONES DEL ATC.

**MCA:**

A	SLP	V-39		10600
A	QET	V-22		10000
A	PTJ	V-32	J-13	10000
A	MLM	V-39		9600
A	GDL	V-32		9600
A	AGU	V-22	J-13	9600
A	AGU	V-46		10000

SCT-DGAC-SENEAM

PIA DE MEXICO

