

# **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:  
**ZUÑIGA GREGORIO JANET**  
**HERNÁNDEZ TORRES VICENTE**

**“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE PROCEDIMIENTOS DE NAVEGACIÓN BASADA  
EN PERFORMANCE (PBN) PARA SER IMPLEMENTADOS EN LA CABECERA 35 DEL  
AEROPUERTO INTERNACIONAL PLAN DE GUADALUPE EN SALTILLO, COAHUILA”**

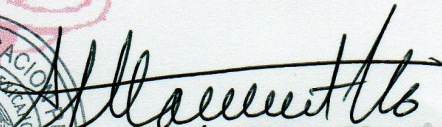
CAPÍTULO I  
CAPÍTULO II  
CAPÍTULO III  
CAPÍTULO IV  
CAPÍTULO V

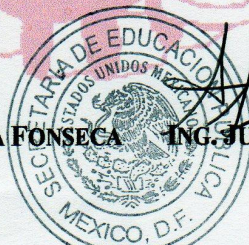
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**  
**MARCO CONCEPTUAL**  
**MARCO TEÓRICO**  
**METODOLOGÍA UTILIZADA**  
**DISEÑO CONCEPTUAL**  
**CONCLUSIONES**  
**BIBLIOGRAFÍA**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**  
**ABREVIATURAS Y SIGLAS**  
**APÉNDICE**

México, DF., a 22 de septiembre de 2009.

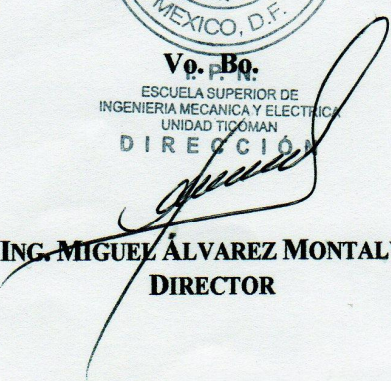
**A S E S O R E S**

  
M. EN C. MARIO ALFREDO BATTA FONSECA

  
ING. JUAN MARTÍN FUENTES MANCILLA



**Vº. Bº.**  
ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD TICOMÁN  
**DIRECCIÓN**

  
ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO  
DIRECTOR





# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



**Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y  
Eléctrica  
Unidad Profesional Ticomán.  
Ingeniería en Aeronáutica**

*“Análisis de factibilidad técnica de procedimientos  
de Navegación Basada en Performance (PBN)  
para ser implementados en la cabecera 35 del  
Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en  
Saltillo, Coahuila”*

## **TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
AERONÁUTICA

## **PRESENTA:**

Janet Zuñiga Gregorio  
Vicente Hernández Torres

## **ASESORES:**

ING. JUAN MARTÍN FUENTES MANCILLA  
M en C. MARIO ALFREDO BATA FONSECA

**México D.F., Septiembre 2009**



**A MIS PADRES:**

A quienes jamás encontraré la forma de agradecer

por la herencia más valiosa que pudiera recibir

fruto de su apoyo, comprensión y confianza.

Hoy solo deseo que sepan que el logro mío es el logro de ustedes,

que mi esfuerzo es inspirado en ustedes

y que mi único ideal ha sido hacer este sueño realidad.

Papá, mamá, palabras tan sencillas de pronunciar,

que siempre enaltecen de orgullo mi hablar

por la fortuna de ser hija suya

y con su ayuda el sueño de mi vida alcanzar.

Con cariño, respeto y admiración

GRACIAS.

Janet Zuñiga Gregorio



## **A MIS SERES QUERIDOS:**

Cuando uno escribe una dedicatoria, busca las palabras más elocuentes que se le pueden ocurrir, y no se me ocurre algo más elocuente para empezar esta dedicatoria dirigida a ustedes que la siguiente palabra:

¡¡¡VICTORIA!!!

Lo hemos logrado.

Este trabajo es la culminación de una serie de esfuerzos, estudio, dedicación, análisis, sacrificio, y todo lo que engloba la fortuna de cursar una carrera, lo considero como uno de mis logros mas relevantes y un éxito no solo para mi, sino para todas aquellas personas que han estado a mi lado durante todo el trayecto seguido para llegar a esta etapa.

En primer instancia a mi familia por darme un hogar en el que nunca faltará el amor que nos mantiene unidos, ese amor del que se desprenden todas las virtudes y valores que uno como humano puede poseer, por su apoyo y su ejemplo.

A mis valiosos amigos que han estado conmigo en momentos difíciles y que han estado a mi lado para darme ánimo, consejos y por compartir instantes de su vida conmigo.

Finalmente a mis profesores y asesores que han nutrido mi mente con sus enseñanzas, destacando a mis profesores Maricruz Garfiaz e Isaac Meza quienes me enseñaron a ambicionar y trabajar por ser siempre mejor.

A todos ustedes les debo lo que soy y les estaré eternamente agradecido. Con mi admiración cariño y respeto.

Vicente Hernández Torres.

---

# ÍNDICE

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                                                 | <b>1</b>  |
| Objetivo general                                                                             | 12        |
| Objetivos específicos                                                                        | 12        |
| Justificación de la investigación                                                            | 13        |
| Alcance del trabajo                                                                          | 18        |
| <b>CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL</b>                                                          | <b>19</b> |
| PBN (Performance Based Navigation / Navegación Basada en Rendimientos).                      | 21        |
| Infraestructura de navegación                                                                | 22        |
| Especificación de navegación                                                                 | 25        |
| Aplicación de navegación                                                                     | 28        |
| Waypoint                                                                                     | 29        |
| Longitud mínima de un tramo limitado por dos puntos de recorrido con viraje                  | 32        |
| Sistema mundial de coordenadas WGS-84                                                        | 32        |
| Error Total del Sistema (TSE, Total System Error)                                            | 33        |
| Error Total del Sistema Lateral (TSE)                                                        | 35        |
| OPMA (Sistema de abordó de monitoreo y alerta, On board Performance Monitoring and Alerting) | 37        |
| Estado de Coahuila                                                                           | 37        |
| <b>CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO</b>                                                            | <b>44</b> |
| Criterios generales                                                                          | 44        |
| Criterios OACI                                                                               | 46        |
| Criterios FAA                                                                                | 56        |



---

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA</b>         | 67 |
| Descripción de pasos de la metodología utilizada | 68 |
| <b>CAPÍTULO V DISEÑO CONCEPTUAL</b>              | 70 |
| Diseño OACI                                      | 73 |
| Diseño FAA                                       | 81 |
| Diseño final                                     | 88 |
| <b>CONCLUSIONES</b>                              | 89 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                              | 90 |
| <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>                      | 91 |
| <b>ABREVIATURAS Y SIGLAS</b>                     | 94 |
| <b>APÉNDICE</b>                                  | 97 |

## RELACIÓN DE FIGURAS

| No.                                          | Nombre                                                                                  | Página |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> |                                                                                         |        |
| Figura 1                                     | Orografía cercana al Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila | 2      |
| Figura 2                                     | Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 1 en gota Pista 17 Saltillo Coahuila     | 3      |
| Figura 3                                     | Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 2 en arco Pista 17 Saltillo Coahuila     | 4      |
| Figura 4                                     | Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 3 en gota Pista 17 Saltillo Coahuila     | 5      |
| Figura 5                                     | Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 1 en gota Pista 17 Saltillo Coahuila     | 6      |
| Figura 6                                     | Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 2 en arco Pista 17 Saltillo Coahuila     | 7      |
| Figura 7                                     | Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 3 en gota Pista 17 Saltillo Coahuila     | 8      |
| Figura 8                                     | Carta de aproximación por instrumentos VOR A Pista 17 Saltillo Coahuila                 | 9      |
| Figura 9                                     | Carta AD-MMIO-O del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila  | 11     |
| Figura 10                                    | Carta topográfica de Saltillo Coahuila                                                  | 14     |
| Figura 11                                    | Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras                                     | 15     |
| Figura 12                                    | Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras                                     | 16     |
| Figura 13                                    | Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras                                     | 17     |
| <b>CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL</b>          |                                                                                         |        |
| Figura 14                                    | Documentos 9613 OACI y Manual sobre Navegación Basada en Rendimientos                   | 20     |
| Figura 15                                    | Concepto PBN                                                                            | 21     |
| Figura 16                                    | Constelación y Satélite del Sistema Galileo                                             | 23     |
| Figura 17                                    | Conformación del sistema GNSS (Global Navigation Satelital System)                      | 24     |
| Figura 18                                    | Especificación de Navegación                                                            | 27     |
| Figura 19                                    | Esquema global del Concepto PBN                                                         | 29     |
| Figura 20                                    | Navegación PBN                                                                          | 30     |
| Figura 21                                    | Trayectoria con waypoint                                                                | 30     |
| Figura 22                                    | Símbolos de los tipos de waypoint                                                       | 31     |
| Figura 23                                    | Trayectoria de los tipos de waypoint                                                    | 31     |
| Figura 24                                    | Coordenadas WGS84                                                                       | 33     |
| Figura 25                                    | Error Total del Sistema                                                                 | 34     |
| Figura 26                                    | Representación del TSE                                                                  | 35     |
| Figura 27                                    | Desviación lateral                                                                      | 36     |
| Figura 28                                    | ATT Y XTT                                                                               | 36     |
| Figura 29                                    | OPMA                                                                                    | 37     |

---

|                                          |                                                                                                                |    |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 30                                | Ubicación del Estado de Coahuila en la República Mexicana                                                      | 38 |
| Figura 31                                | Ubicación del municipio de Ramos Arizpe                                                                        | 40 |
| Figura 32                                | Ubicación del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila                               | 43 |
| <b>CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO</b>        |                                                                                                                |    |
| Figura 33                                | Gradiente de descenso                                                                                          | 45 |
| Figura 34                                | Viraje de radio fijo                                                                                           | 55 |
| Figura 35                                | Términos de Precisión                                                                                          | 57 |
| Figura 36                                | Punto ficticio del umbral                                                                                      | 58 |
| Figura 37                                | Puntos de trayectoria de aproximación de precisión                                                             | 59 |
| Figura 38                                | Ruta de curso 3D                                                                                               | 60 |
| Figura 39                                | Localización del PGPI Y AFTP                                                                                   | 63 |
| Figura 40                                | Umbral                                                                                                         | 64 |
| <b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA</b> |                                                                                                                |    |
| Figura 41                                | Metodología de investigación                                                                                   | 67 |
| <b>CAPÍTULO V DISEÑO CONCEPTUAL</b>      |                                                                                                                |    |
| Figura 42                                | Radiales                                                                                                       | 71 |
| Figura 43                                | Ubicación de VOR y umbral                                                                                      | 71 |
| Figura 44                                | WP1                                                                                                            | 73 |
| Figura 45                                | WP2                                                                                                            | 74 |
| Figura 46                                | MOC                                                                                                            | 75 |
| Figura 47                                | WP3                                                                                                            | 75 |
| Figura 48                                | Segmento de viraje en WP2                                                                                      | 78 |
| Figura 49                                | Segmento de viraje en WP3                                                                                      | 79 |
| Figura 50                                | Procedimiento PBN en el aeropuerto internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila por criterios OACI  | 80 |
| Figura 51                                | Segmento inicial                                                                                               | 81 |
| Figura 52                                | WP1-WP2                                                                                                        | 83 |
| Figura 53                                | Segmento intermedio                                                                                            | 84 |
| Figura 54                                | WP5                                                                                                            | 85 |
| Figura 55                                | Viraje WP2                                                                                                     | 86 |
| Figura 56                                | Viraje WP3                                                                                                     | 86 |
| Figura 57                                | Procedimiento PBN en el aeropuerto internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila por criterios TERPS | 87 |
| Figura 58                                | Procedimiento PBN final en el aeropuerto internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila               | 88 |

---



---

## RELACIÓN DE TABLAS

| No.      | Nombre                                                                                                                            | Página |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|          | <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                                                                                      |        |
| Tabla 1  | Datos técnicos del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo Coahuila                                              | 10     |
|          | <b>CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL</b>                                                                                               |        |
| Tabla 2  | Aplicación de Navegación OACI                                                                                                     | 28     |
| Tabla 3  | Aplicación de Navegación FAA                                                                                                      | 28     |
| Tabla 4  | Vuelos comerciales del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila                                         | 41     |
| Tabla 5  | Vuelos de Carga del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila                                            | 42     |
|          | <b>CAPÍTULO III MARCO TEORICO</b>                                                                                                 |        |
| Tabla 6  | Valores intermedios de RNP                                                                                                        | 48     |
| Tabla 7  | Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral | 49     |
| Tabla 8  | Velocidades (IAS) para el calculo de procedimientos en kilómetros por hora (km/h)                                                 | 50     |
| Tabla 9  | Gradientes de descenso                                                                                                            | 51     |
| Tabla 10 | Áreas de protección lateral FAA                                                                                                   | 65     |
| Tabla 11 | Gradientes de descenso FAA                                                                                                        | 66     |
| Tabla 12 | ROC                                                                                                                               | 66     |
|          | <b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA</b>                                                                                          |        |
|          | <b>CAPÍTULO V DISEÑO CONCEPTUAL</b>                                                                                               |        |
| Tabla 13 | Obtención de rumbo verdadero empleando la fórmula del círculo máximo.                                                             | 70     |
| Tabla 14 | Semianchura para áreas RNP                                                                                                        | 72     |
| Tabla 15 | Comparación de semianchura para áreas RNP de OACI y FAA                                                                           | 72     |

---

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre la problemática que actualmente existe en la cabecera 35 del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila (En adelante será nombrado aeropuerto de Saltillo), debido a que las operaciones de aproximación en esta cabecera, en condiciones de baja visibilidad, se ven afectadas o interrumpidas principalmente por la orografía existente en la región y a las condiciones meteorológicas adversas que prevalecen gran parte del año.

Con el fin de solucionar este problema se ha llevado a cabo el trabajo de investigación de un método de navegación basado en los rendimientos de las aeronaves al cual nos referimos como Navegación Basada en Rendimientos (Performance Based Navigation, PBN); gracias a este nuevo método de navegación por instrumentos podemos optimizar el espacio aéreo transitado para poder realizar aproximaciones seguras en la cabecera mencionada.

El análisis de la factibilidad técnica de la implementación de la PBN pretende atraer grandes beneficios como consecuencia secundaria a toda la región de Saltillo, debido al aumento de las operaciones aeronáuticas del aeropuerto, ésto como consecuencia de que las operaciones serán en menor tiempo por tener un método de aproximación por instrumentos, además de ser más seguro para los usuarios, aunado a ésto se prevé un crecimiento en la derrama económica que representa para la región de Saltillo, la cual es una ciudad que está en crecimiento económico constante

Para poder realizar este análisis se tomarán en cuenta dos criterios, por una parte la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) con los PANS-OPS y por otra parte la FAA (Administración Federal de Aviación, Federal Aviation Administration) con los TERPS. También basado en la legislación aeronáutica nacional existente por parte de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Al analizar estos dos criterios se llegó a un procedimiento de aproximación más factible y seguro para la cabecera antes mencionada.

---

Esta investigación se conforma de cinco capítulos, en el capítulo I “Planteamiento del Problema” se menciona la problemática de dicho aeropuerto así como sus características y datos técnicos. Definiendo el objetivo general y específico así como la justificación de esta investigación y definiendo el alcance que tendrá la investigación.

En el capítulo II “Marco Conceptual” se describen todos los conceptos que se toman en cuenta para la investigación así como definiendo los criterios a utilizar.

En el capítulo III “Marco Teórico” en este capítulo se proporcionan los aspectos teóricos necesarios para el desarrollo y aplicación de los conceptos mencionados en el capítulo II “Marco Conceptual”.

En el capítulo IV “Metodología de la Investigación” se menciona la organización y planeación de nuestra metodología para realizar la investigación.

En el capítulo V “Diseño Conceptual” se realiza la aplicación de los conceptos establecidos y criterios a considerar para el diseño del procedimiento de aproximación para cumplir con el objetivo de ésta investigación y poder realizar la comparación final de ambos procedimientos y así determinar cual es el que mejor se adapta al aeropuerto de Saltillo Coahuila.

# CAPÍTULO I



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



---

## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en México, la mayoría de los procedimientos por instrumentos son convencionales, los cuales no se aplican a todos los aeropuertos de nuestro país debido a que cuentan con un área de protección muy amplia, la cual limita las operaciones a diferentes aeropuertos como lo es el aeropuerto de Saltillo que, por la orografía que tiene a su alrededor en especial hacia la cabecera 35, tal como se muestra en la figura 1, no se pueden aplicar. Con procedimientos de Navegación Basada en Rendimientos o PBN se puede resolver este tipo de problemas ya que, cuenta con un área de protección menor y su aplicación nos ayuda a llevar con una mayor seguridad a la aeronave hasta su aterrizaje y así aumentar el número de operaciones hacia esta cabecera.

Actualmente los procedimientos de aproximación hacia la cabecera 35 se realizan de forma visual y sólo se hacen en condiciones meteorológicas favorables, siendo éstas una limitante muy grande para las operaciones.

Con el diseño de los procedimientos de aproximación PBN se hace una propuesta para contrarrestar esta limitante de la cabecera 35, aumentar el número de operaciones hacia dicha cabecera y por lo tanto mejorar su rentabilidad así como aprovechar que el sistema de aeropuertos de Houston, USA, el cual agrupa a tres terminales aéreas, explora la posibilidad de construir un nuevo aeropuerto en Saltillo, o bien invertir para ampliar el existente, ésto como parte de su estrategia para participar más activamente en América Latina. Con esta propuesta se cuenta con un elemento de juicio para considerar la inversión en éste mismo.



Figura 1- Orografía cercana al Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila. Fuente Google Earth

Actualmente para este aeropuerto se utilizan procedimientos convencionales como se muestra en las siguientes figuras las cuales nos muestran que únicamente aplican para la cabecera 17 debido a que en la cabecera 35 no se pueden implementar por sus áreas de protección amplias y la orografía que se encuentra a su alrededor.

En la figura 2 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante ILS en gota por el radial 172°.

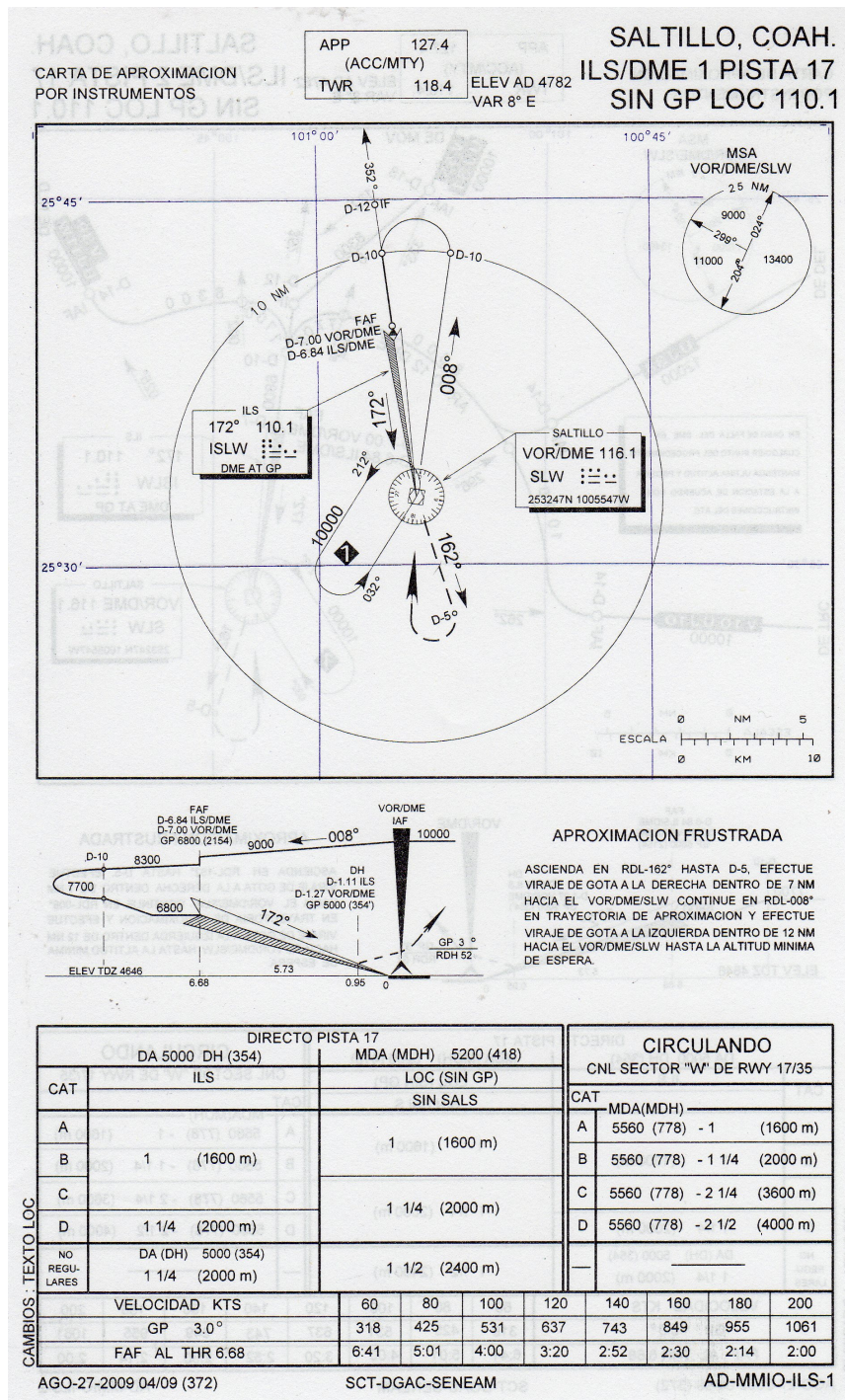


Figura 2-Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 1 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
 Fuente AIP-MEX



En la figura 3 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante ILS en arco mostrando el radial 172° y las aerovías V10/UJ10 provenientes de Torreón (TRC), la UJ8 proveniente de Delicias (DEL), la V51/UJ31 proveniente de Monclova (MOV) y la V39/UJ11W proveniente de Nuevo Laredo (NLD).

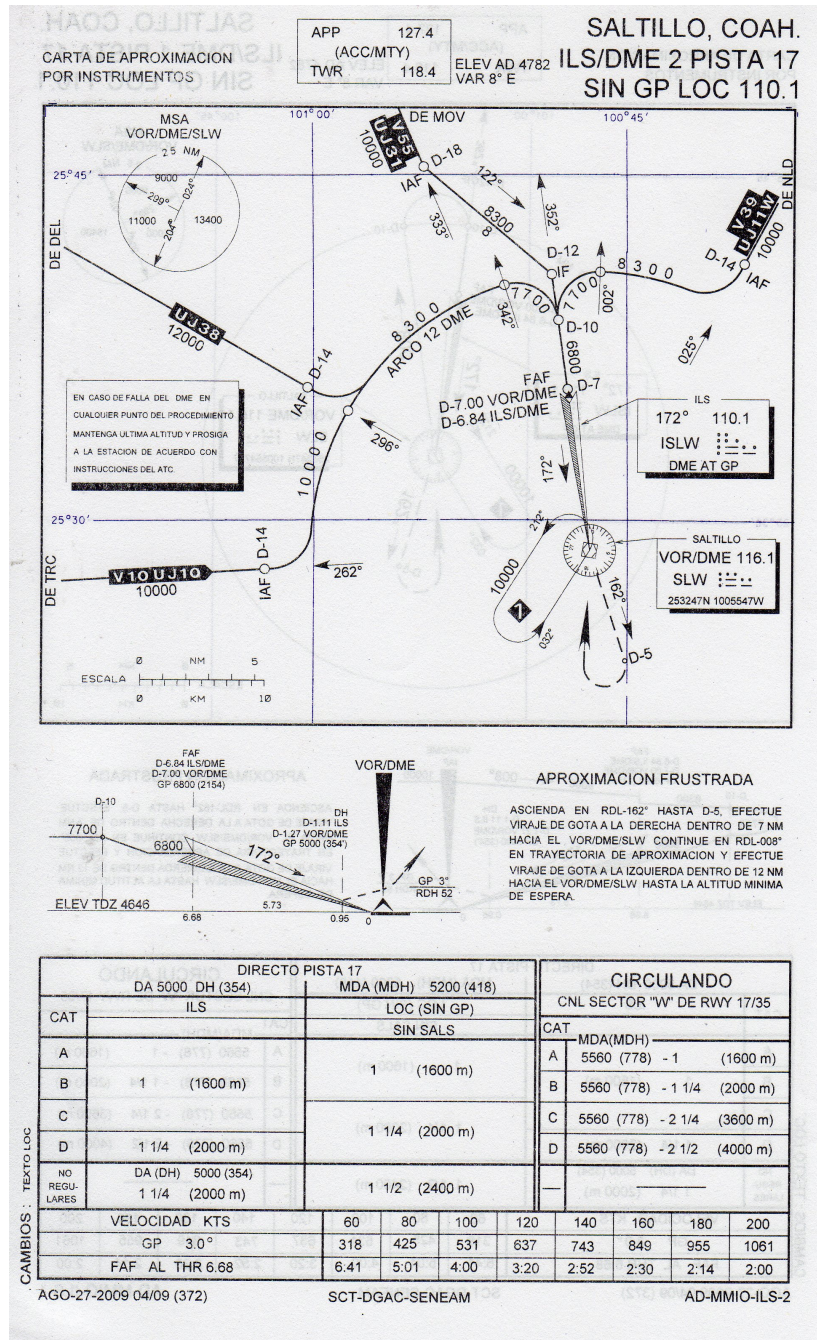


Figura 3-Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 2 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
 Fuente AIP-MEX

En la figura 4 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante ILS en gota por el radial 172°.

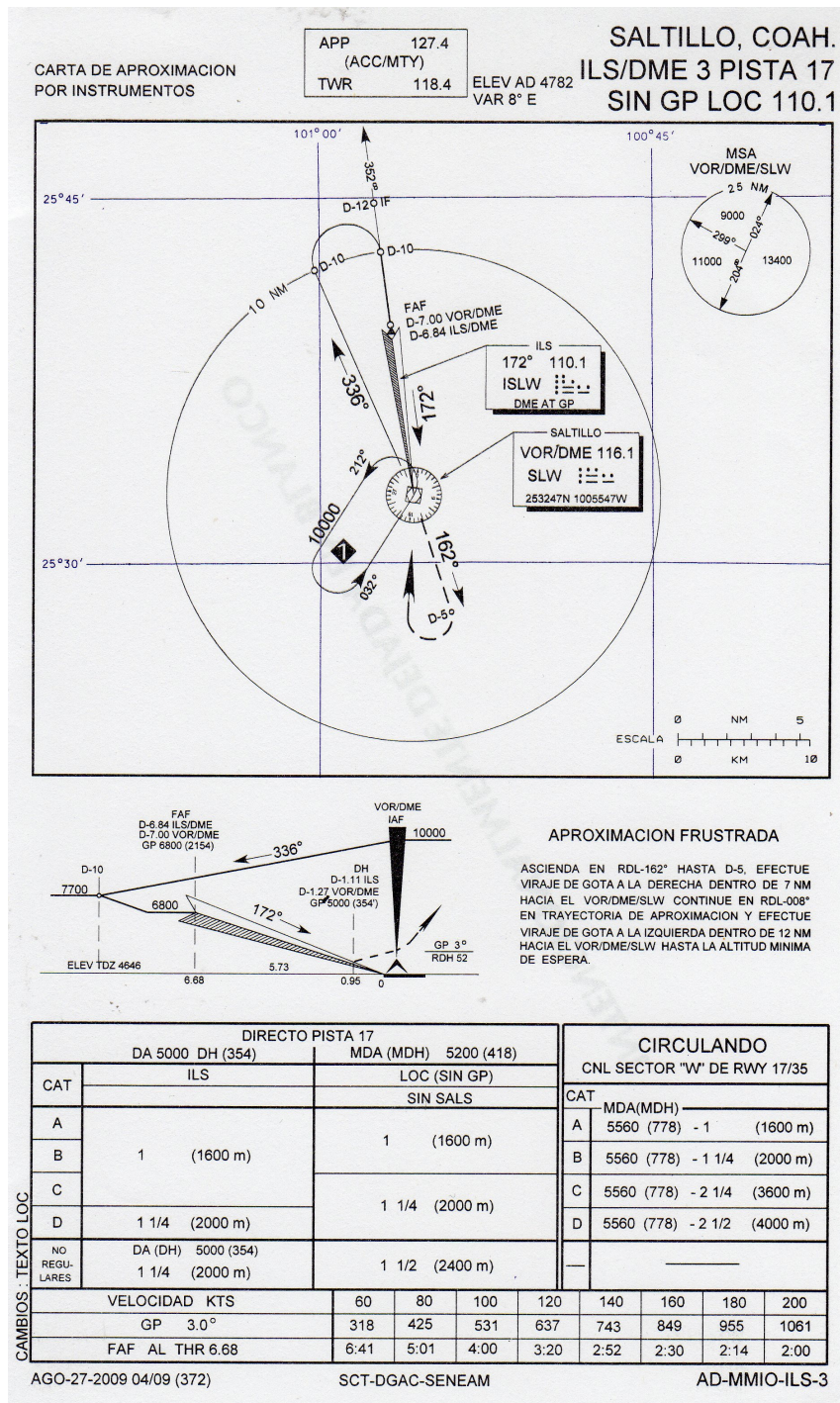


Figura 4-Carta de aproximación por instrumentos ILS/DME 3 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
 Fuente AIP-MEX



En la figura 5 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante VOR/DME en gota por el radial 172°.

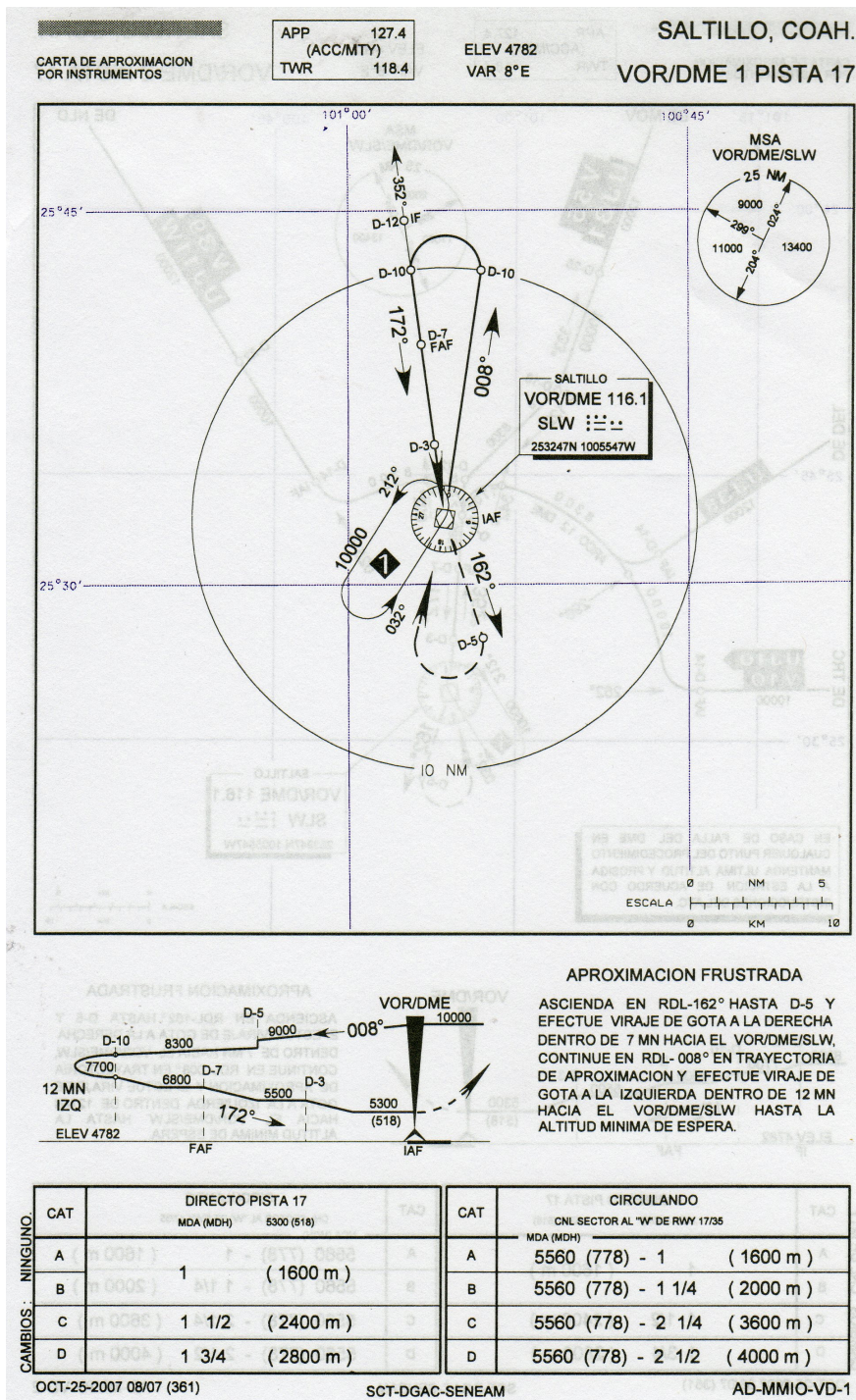


Figura 5-Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 1 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
Fuente AIP-MEX

En la figura 6 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante VOR/DME en arco mostrando el radial 172° y las aerovías V10/UJ10 provenientes de Torreón (TRC), la UJ8 proveniente de Delicias (DEL), la V51/UJ31 proveniente de Monclova (MOV) y la V39/UJ11W proveniente de Nuevo Laredo (NLD).

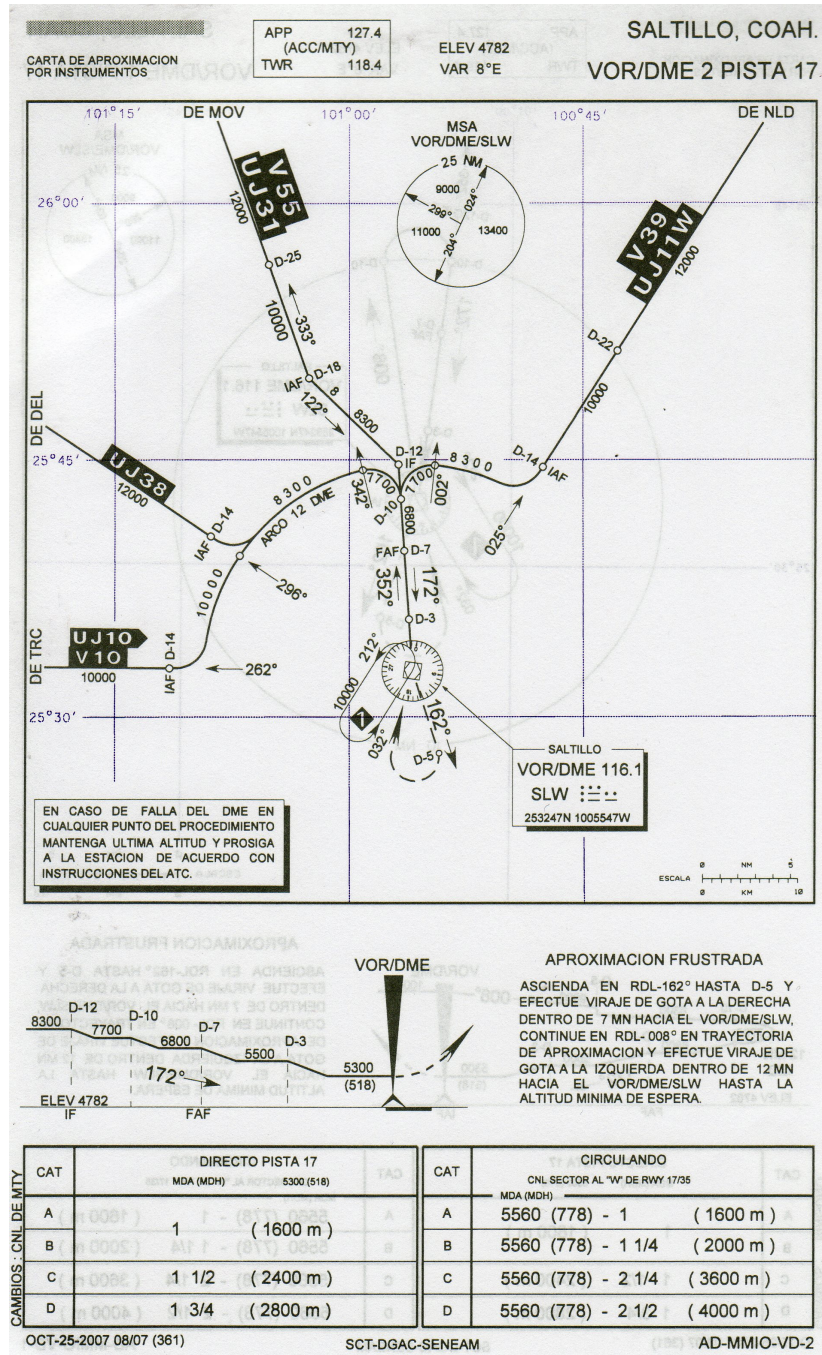


Figura 6-Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 2 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
Fuente AIP-MEX



En la figura 7 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 mediante VOR/DME en gota por el radial 172°.

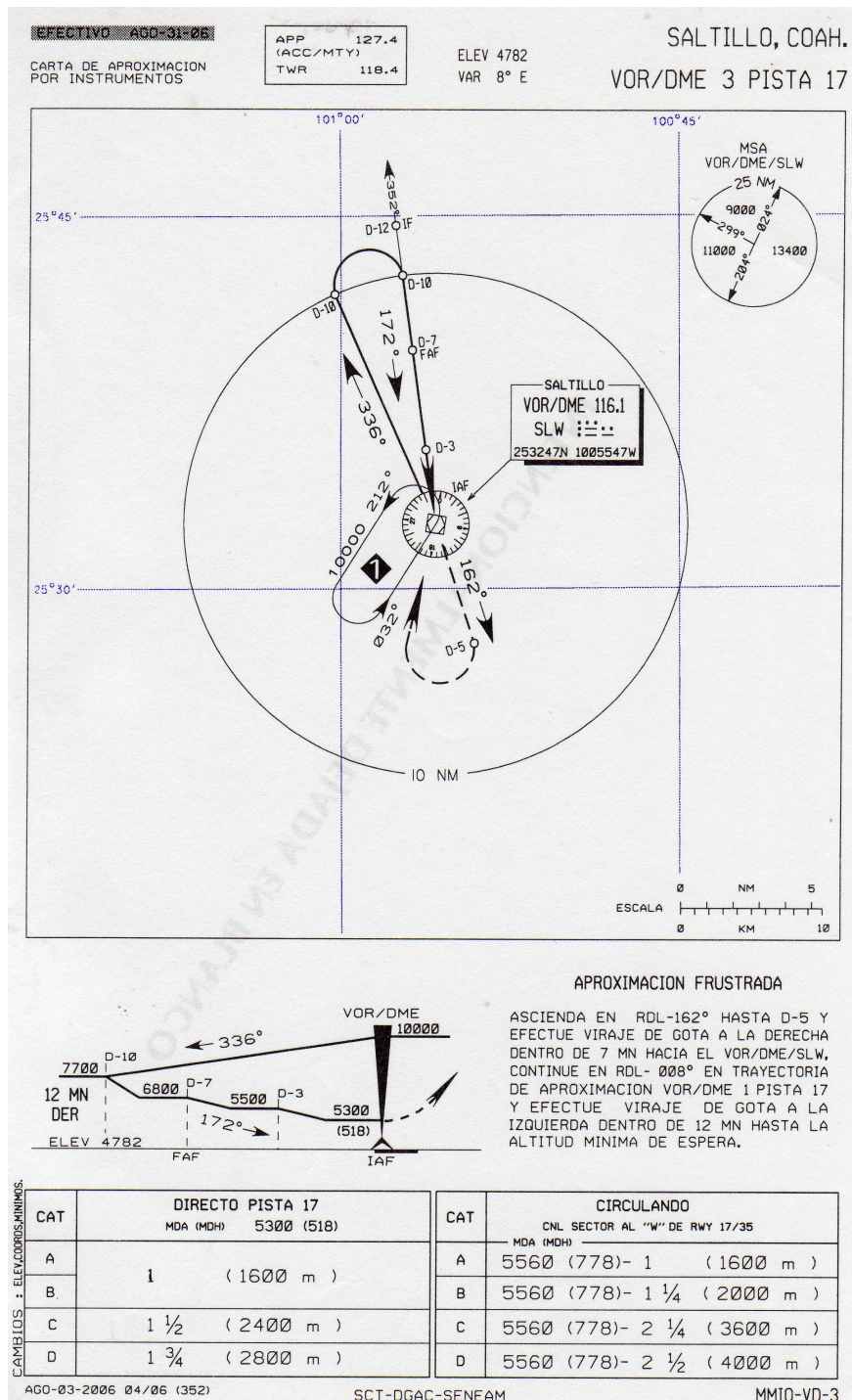


Figura 7-Carta de aproximación por instrumentos VOR/DME 3 Pista 17 Saltillo Coahuila.  
Fuente AIP-MEX

En la figura 8 se muestra un procedimiento de aproximación por instrumentos hacia la pista 17 utilizando únicamente VOR en gota por el radial 172°.

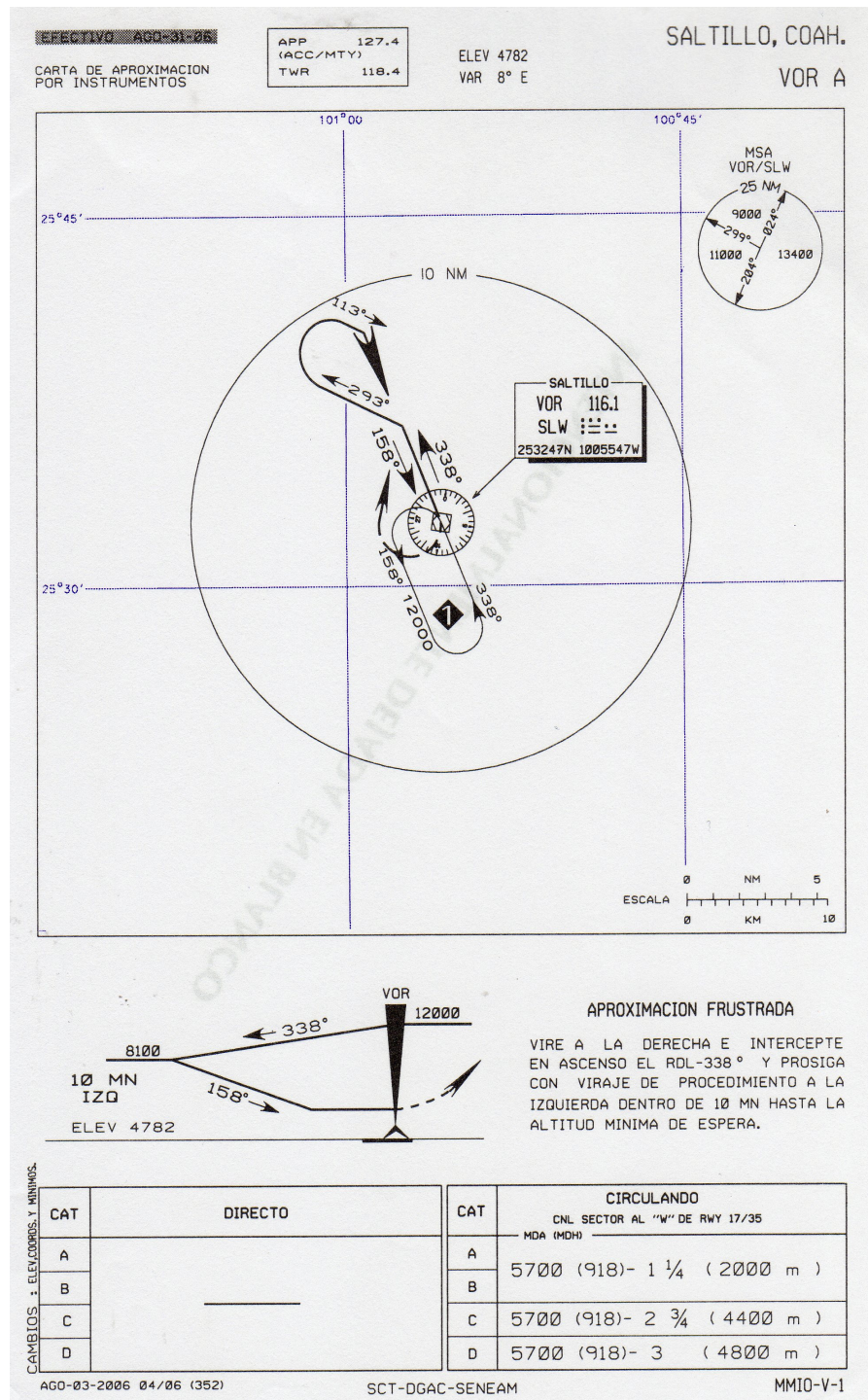


Figura 8-Carta de aproximación por instrumentos VOR A Pista 17 Saltillo Coahuila. Fuente AIP-MEX



Como se puede observar en la tabla 1 se encuentran los datos técnicos más importantes del aeropuerto de Saltillo, los cuales sirven posteriormente para realizar el análisis que se tiene por objetivo en este proyecto de investigación.

Posteriormente tenemos la carta cero del aeropuerto de Saltillo donde podemos encontrar otras de las especificaciones técnicas que posee así como la posición de la pista como se muestra en la figura 9.

| AEROPUERTO INTERNACIONAL “PLAN DE GUADALUPE” EN SALTILLO, COAHUILA |  |                                    |  |               |  |
|--------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------|--|---------------|--|
| IATA: SLW - OACI: MMIO                                             |  |                                    |  |               |  |
| SUMARIO                                                            |  |                                    |  |               |  |
| TIPO                                                               |  | PUBLICO                            |  |               |  |
| OPERADOR                                                           |  | SERVICIOS ESTATALES AEROPORTUARIOS |  |               |  |
| CIUDAD                                                             |  | SALTILLO                           |  |               |  |
| ELEVACIÓN                                                          |  | 4782 pies / 1456 m                 |  |               |  |
| TEMPERATURA DE REFERENCIA                                          |  | 24°C                               |  |               |  |
| VARIACIÓN MAGNÉTICA                                                |  | 8°E                                |  |               |  |
| TIPO DE TRÁNSITO PERMITIDO                                         |  | VFR/IFR                            |  |               |  |
| COORDENADAS                                                        |  | 25°32'59.2325''N 100°55'42.0749''W |  |               |  |
| PISTA                                                              |  |                                    |  |               |  |
| DIRECCIÓN                                                          |  | LARGO                              |  | SUPERFICIE    |  |
|                                                                    |  | pies                               |  | m             |  |
| 17/35                                                              |  | 9711                               |  | 2960          |  |
|                                                                    |  |                                    |  | Asfalto       |  |
| Estadísticas (2008)                                                |  |                                    |  |               |  |
| NÚMERO DE PASAJEROS *                                              |  |                                    |  | 101,600 anual |  |
| ACN:40                                                             |  |                                    |  | PCN:40        |  |
| AERONAVE CRÍTICA: B-757 *                                          |  |                                    |  |               |  |

Tabla 1.- Datos técnicos del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo Coahuila .Fuente AIP-MEX,

\*[http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto\\_Internacional\\_Plan\\_de\\_Guadalupe](http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Plan_de_Guadalupe).

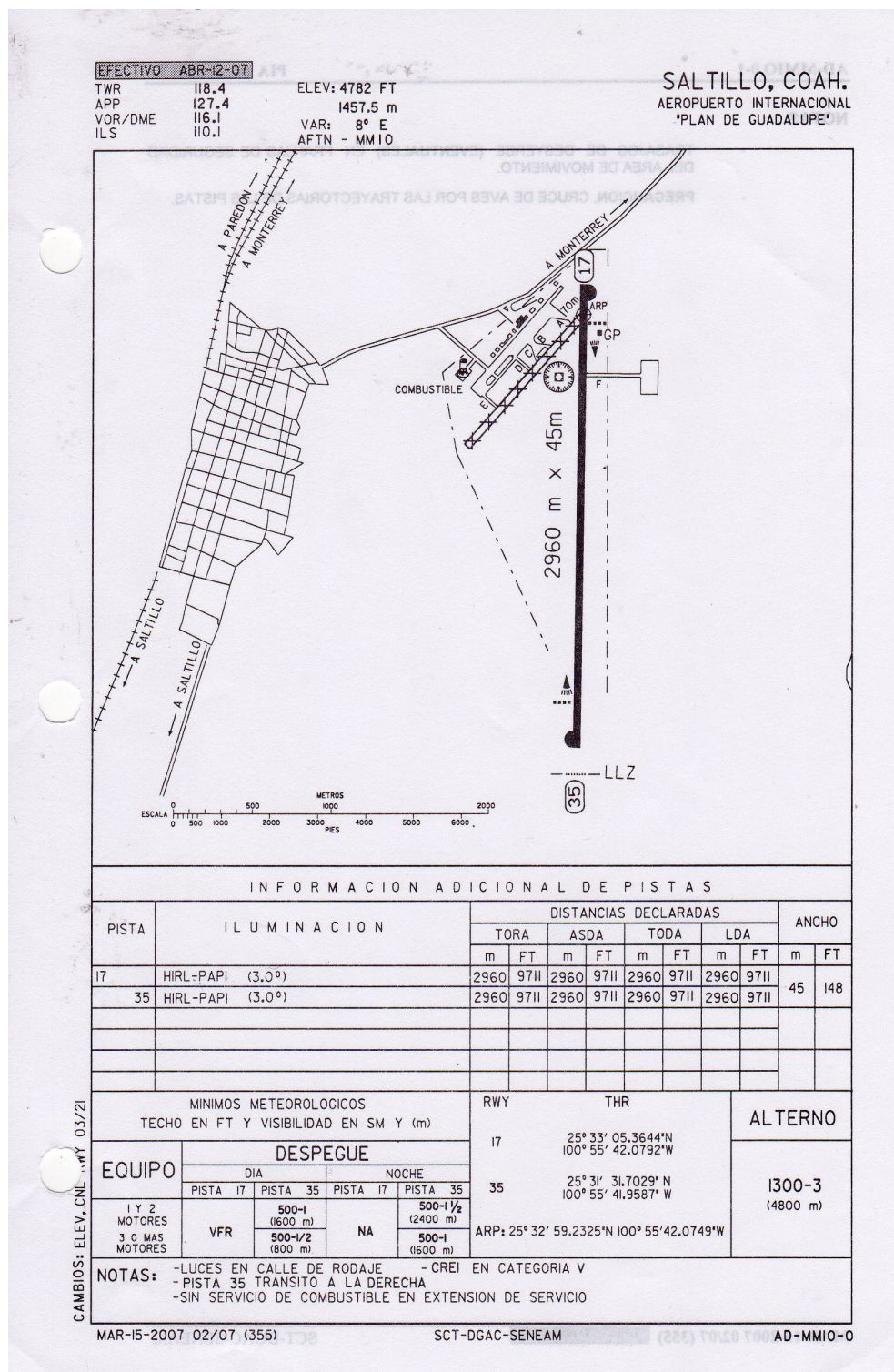


Figura 9.- Carta AD-MMIO-O del Aeropuerto Internacional "Plan de Guadalupe" en Saltillo, Coahuila. Fuente AIP-MEX.

---

Ante la problemática descrita anteriormente; el objetivo de este trabajo de investigación es:

## **1.1 Objetivo general**

Analizar la factibilidad técnica para implementar procedimientos de Navegación Basada en Rendimientos (PBN) para la aproximación a la cabecera 35 del aeropuerto internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila; con base en los criterios establecidos por la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) y la Administración Federal de Aviación (FAA).

## **Objetivos específicos.**

Revisar las características del aeropuerto de Saltillo, así como la orografía que lo rodea y las posibles limitaciones operacionales que pudieran imponer los obstáculos.

Revisar la normatividad emitida por la OACI y la reglamentación de la FAA, relativa al diseño de procedimientos PBN para aproximación.

Hacer el diseño de los procedimientos de aproximación PBN utilizando los criterios OACI y FAA.

Comparar las características de cada uno de los procedimientos desarrollados para determinar el que ofrezca mayores ventajas para la operación segura en aproximaciones a la cabecera 35.



---

## 1.2 Justificación de la investigación

Utilizando el concepto de la PBN tenemos la ventaja de que se puede aplicar ante cualquier tipo de orografía existente. Todos estos criterios se aplican al aeropuerto de Saltillo debido a que en éste no existen procedimientos de aproximación por instrumentos en la cabecera 35. Actualmente las aproximaciones se realizan de forma visual debido a las condiciones de orografía del lugar lo cual se puede observar en la figura 10. Con la implementación de la PBN se podrán realizar procedimientos de llegada por instrumentos que hacen las operaciones más eficientes y seguras; de igual manera se puede operar en condiciones de baja visibilidad e incluso se planea aumentar el tráfico aéreo.

Con estos procedimientos PBN se puede realizar un mayor número de operaciones y utilizar la pista bajo condiciones meteorológicas adversas ya que de lo contrario seguirán limitadas a esta cabecera y la demanda del aeropuerto disminuirá.

De igual forma a las compañías aéreas les traerá diversos beneficios como mayor número de vuelos por lo tanto mayor actividad económica así como el ahorro en el combustible debido a que un procedimiento PBN contribuye a un menor consumo de combustible, con respecto a los procedimientos por instrumentos convencionales, debido a que se cuenta con un rendimiento mayor y se aprovecha el desempeño de la aeronave.

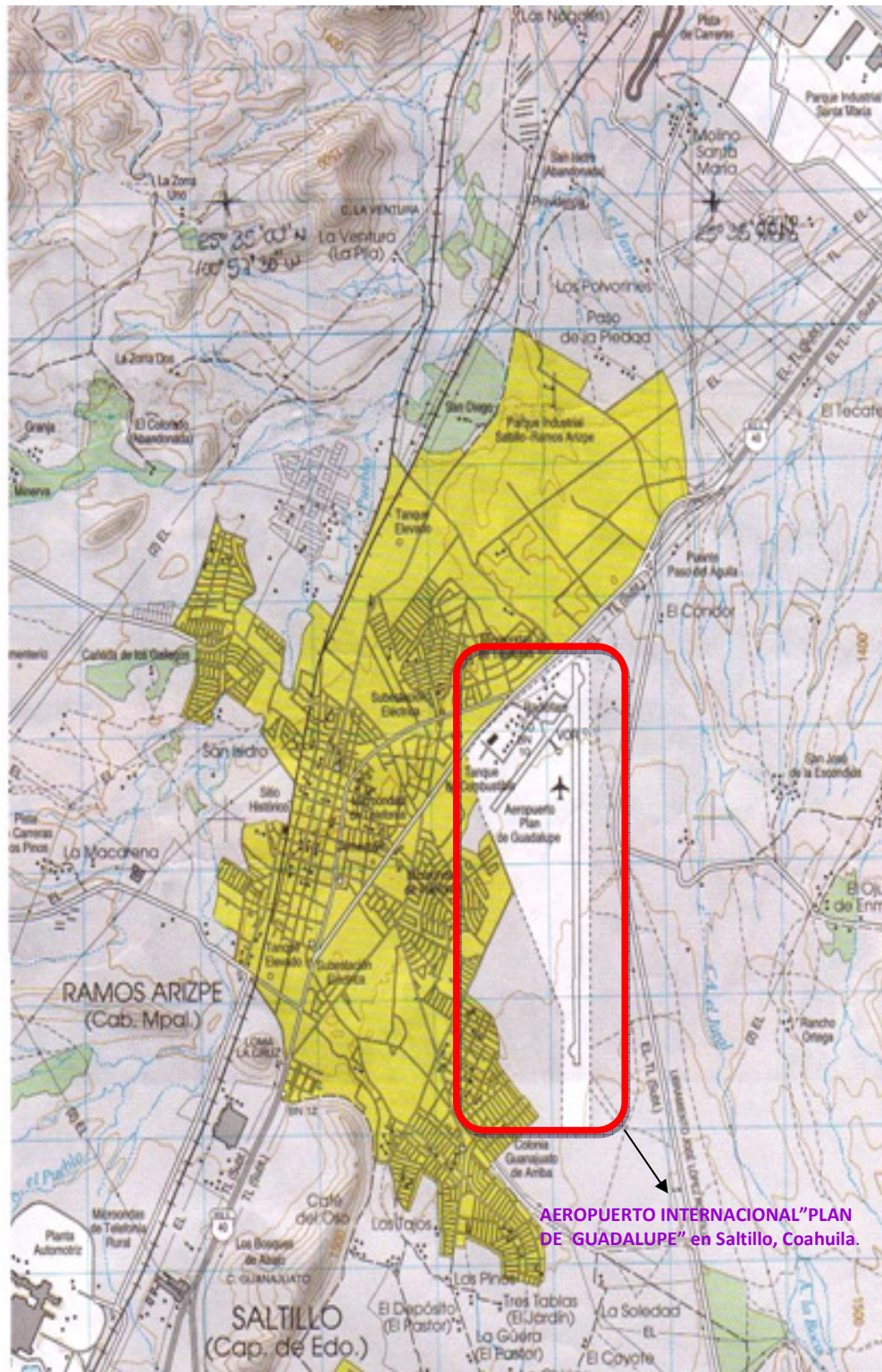


Figura 10.- Carta topográfica de Saltillo Coahuila. Fuente INEGI

Este tipo de método de navegación se ha logrado consolidar en otros países con aeropuertos de características similares, tal es el caso en Tegucigalpa, Honduras y así mismo se aplica ésto en otros aeropuertos de Europa. Como se muestra en las siguientes figuras en las cartas de navegación JEPPESEN utilizadas con el método de navegación PBN ya implementado en el aeropuerto anteriormente mencionado.

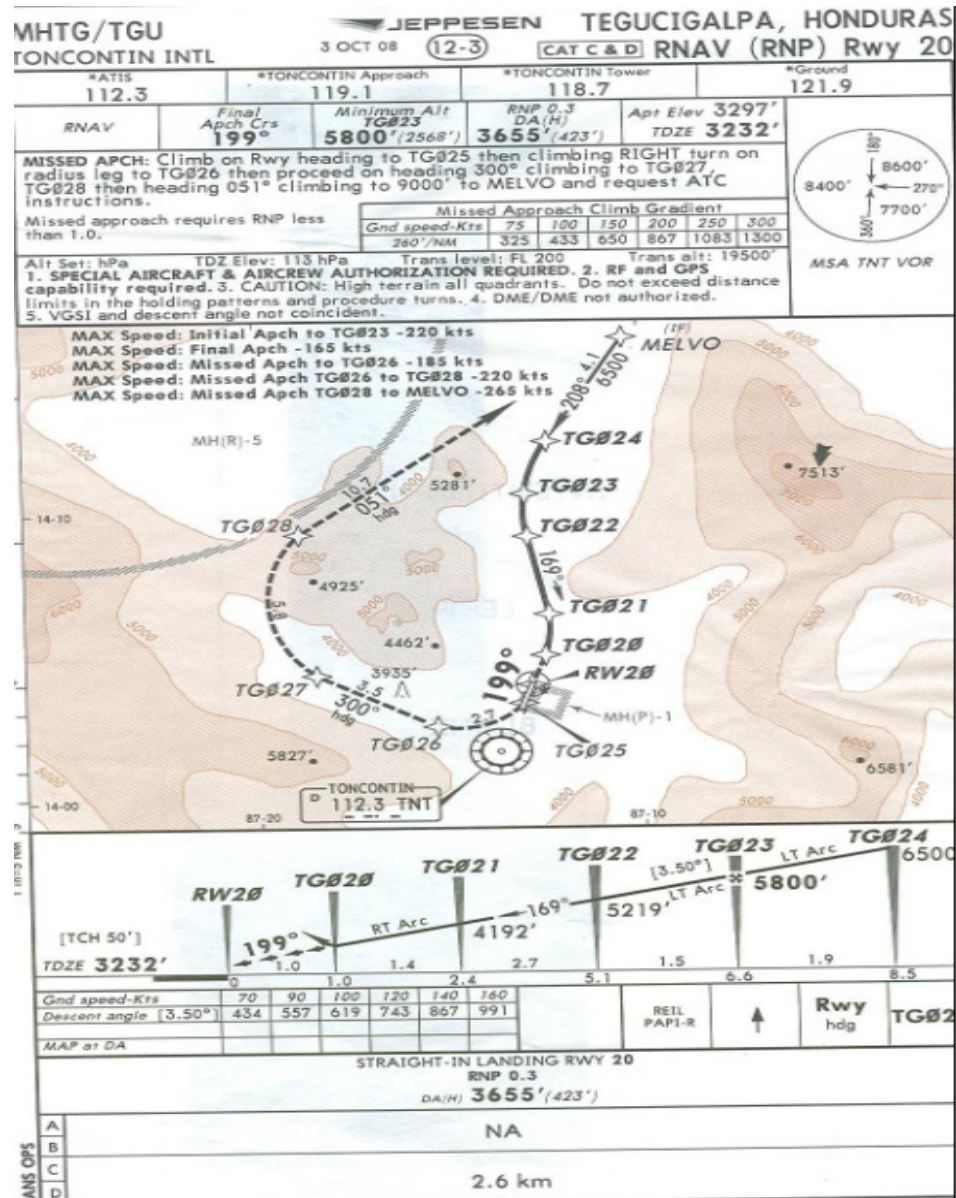


Figura 11.- Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras. Fuente JEPPESEN



MHTG/TGU JEPPESEN TEGUCIGALPA, HONDURAS  
TONCONTIN INTL 3 OCT 08 (12-1) CAT C & D NORTH RNAV (RNP) Rwy 02

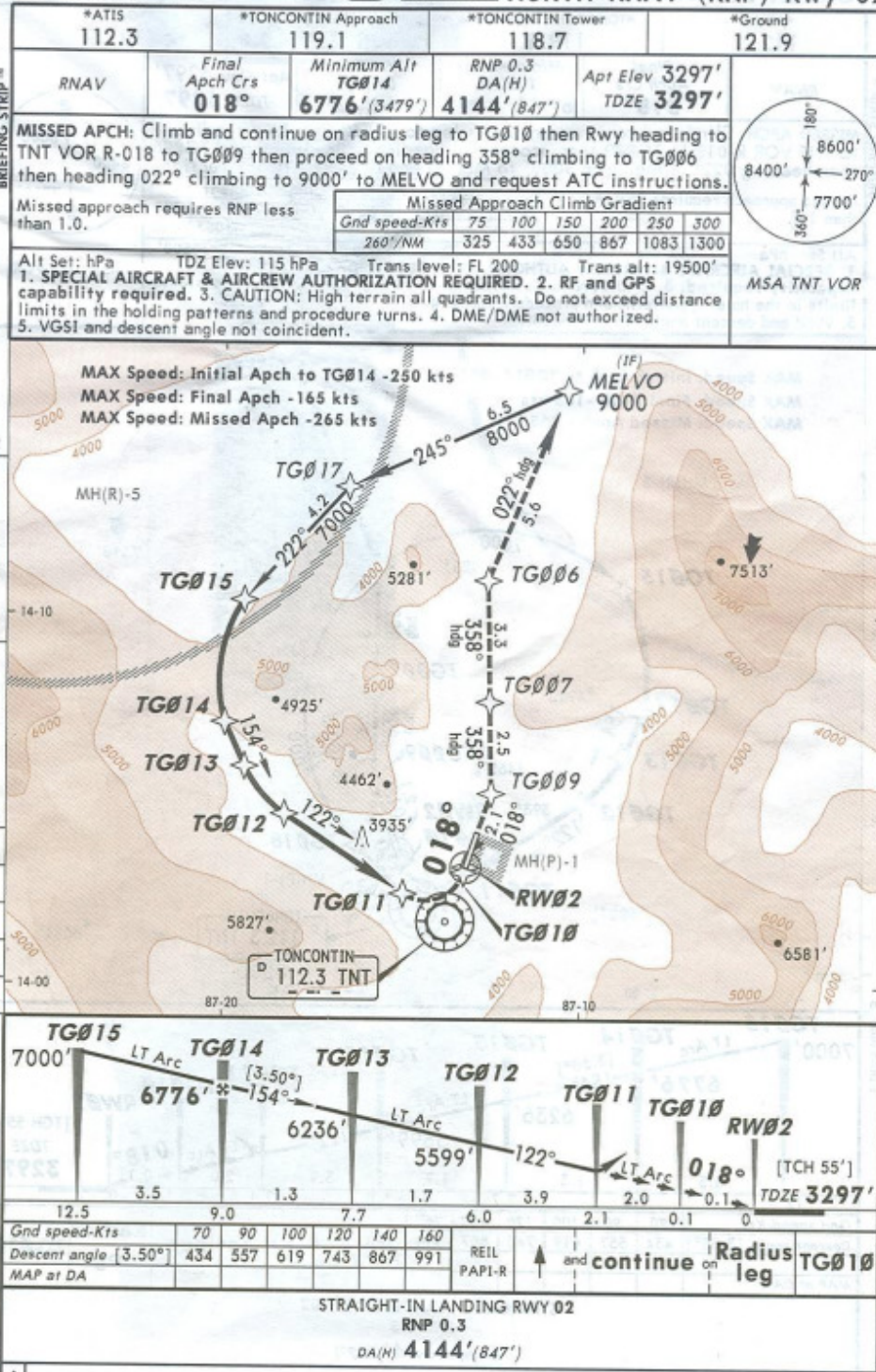


Figura 12.- Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras. Fuente JEPPESEN

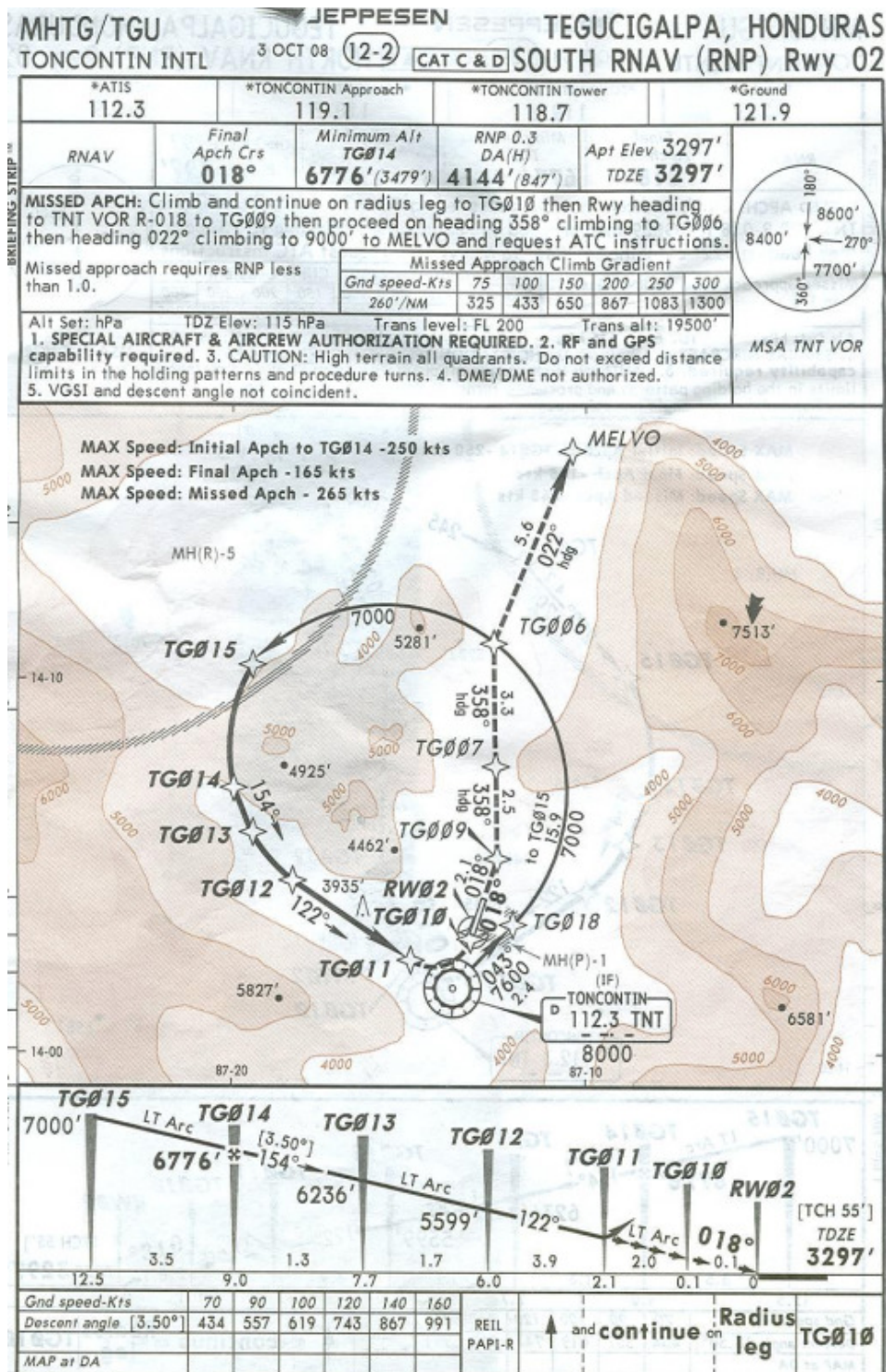


Figura 13.- Carta de procedimientos PBN en Tegucigalpa Honduras. Fuente JEPPESEN

---

### **1.3 Alcance del trabajo**

Este trabajo hace un comparativo entre los criterios establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Administración Federal de Aviación (FAA) identificando las diferencias que hay entre estos dos y seleccionando aquel que se adapte mejor al aeropuerto de Saltillo.

Se analiza únicamente lo relacionado a los segmentos de aproximación inicial, intermedio y final hacia la cabecera 35 del aeropuerto de Saltillo. Es necesario mencionar que la aproximación interrumpida no es analizada puesto que no cuenta con problemas de obstáculos y queda fuera del objetivo de este trabajo.



# CAPÍTULO II



# MARCO CONCEPTUAL

---

## CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL

Las ayudas a la navegación han evolucionado desde los primeros vuelos, con los inventos más simples como puede ser una manga de viento hasta la última generación de satélites para el posicionamiento de las aeronaves conocido como GPS (Global Positioning System). Los primeros métodos de navegación estaban basados en las técnicas usadas en la marina, adaptadas para el uso de las aeronaves, las cuales representaban sobre un mapa la ruta programada, dibujando las posiciones del avión sobre la base de su rumbo (gracias a una brújula) y su velocidad (gracias a un anemómetro) respecto del aire. Rápidamente surgió la necesidad de disponer ayudas para que la aeronave se dirigiese al aeródromo de manera sencilla, creándose así las primeras ayudas para la navegación basadas en tierra: los aerofaros luminosos. Además, en 1930 los primeros aeródromos con "gran demanda de tráfico" se designaba un jefe de pista que ayudaba a las aeronaves por medio de la radio. Con el tiempo y el desarrollo de las aeronaves, que aumentaron la capacidad de transporte y alcance, el desarrollo de la infraestructura para la ayuda de la navegación se extendió de tal manera que ya no está presente sólo en las proximidades del aeródromo sino que se extendió a todo el espacio terrestre para poder controlar y guiar adecuadamente a las aeronaves. Este gran desarrollo ha sido impulsado por la evolución de la demanda del transporte aéreo.

Desde hace unos 15 años las aeronaves están equipadas para hacer más de lo que los Estados han sido capaces de regular. El criterio convencional de diseño de procedimientos instrumentales y aerovías e incluso el criterio de la Navegación por Área (RNAV) básico que se ha implementado hasta ahora, funcionan sobre la base de considerar el equipamiento básico y promedio que una aeronave debería poseer, protegiendo siempre una menor relación de ascenso, la máxima deriva causada por el viento, la mayor desviación que se puede admitir y el entrenamiento normal que una tripulación debe tener.

El advenimiento de las nuevas tecnologías de navegación a bordo de las aeronaves, la automatización de los sistemas, la capacitación y experiencia que las tripulaciones han logrado en su uso y manejo, han creado la necesidad urgente de incorporar nuevos conceptos, nuevas regulaciones y procedimientos

---

que sean más flexibles y consideren las capacidades ya instaladas a bordo para optimizar rutas, procedimientos y separaciones, con el fin de lograr mayor eficiencia e incrementar la seguridad operacional. La PBN ha venido a consolidar esto.

En Diciembre de 2003 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estableció el Grupo de Estudio sobre la Navegación con Performance Requerido y Requisitos Operacionales Especiales (RNPSORSG) con el fin de lograr armonizar y terminar con la proliferación de los distintos tipos de RNP o RNAV que se venían implementando en diferentes partes del planeta, que si bien, lograban satisfacer los requerimientos específicos de cada país o región, a nivel global se estaban convirtiendo en un problema para la industria aérea que se veía continuamente obligada a llevar a cabo distintos procesos de certificación para demostrar sus capacidades de acuerdo a los diferentes reglamentos existentes en Europa y Estados Unidos principalmente como se puede mostrar en la figura 14.



Figura 14.- Documentos 9613 OACI y Manual sobre Navegación Basada en Rendimientos.  
Fuente <http://www.atcchile.cl>

Los requisitos de performance están definidos en términos de la precisión, integridad, continuidad, disponibilidad y funcionalidad necesarias para la operación propuesta dentro del contexto de un determinado concepto de espacio aéreo. Los requisitos de performance están identificados en las distintas especificaciones de navegación, las cuales también identifican qué sensores y equipos de navegación pueden ser utilizados para satisfacerlos.



---

A continuación se definen estos requerimientos:

*La exactitud* significa el nivel de conformidad entre la posición estimada de una aeronave y su posición verdadera.

*La disponibilidad* es la proporción de tiempo durante el cual el sistema cumple con los requisitos de performance bajo ciertas condiciones.

*La integridad* es la función de un sistema que advierte a los usuarios de una manera oportuna cuando no debe ser usado dicho sistema.

*La continuidad* es la probabilidad que un sistema seguirá disponiéndose durante una fase determinada.

## 2.1 PBN (Performance Based Navigation / Navegación Basada en Rendimientos).

PBN se conforma de tres conceptos fundamentales que son infraestructura de navegación, especificación de navegación y aplicación de la navegación como se muestra en la siguiente figura 15

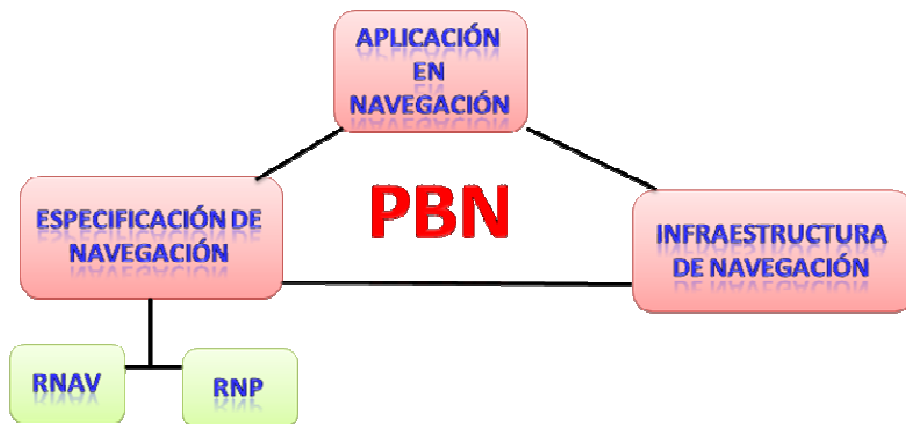


Figura 15.-Concepto PBN

---

## 2.2 Infraestructura de navegación

Se refiere al conjunto de componentes que hacen posible que se cumplan los requisitos para operar este sistema de navegación, es decir son todas las ayudas de navegación, éstas pueden ser terrestres o espaciales, la PBN se apoya principalmente en el sistema GNSS que pertenece a los sistemas espaciales.

*GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).*

El primer sistema de navegación por satélite que operó en el mundo fue establecido por la marina de los Estados Unidos en 1959 y fue denominado Transit. Desde 1967 fue permitido su uso libre a la navegación civil. El usuario de este sistema podía determinar su posición con unos pocos cientos de metros y requería que cada usuario conociera su altitud y datos de efemérides del satélite.

En 1973 se desarrolló un nuevo concepto y fue la síntesis de los sistemas previos y los ya existentes, este nuevo sistema fue conocido como USA-GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite Estadounidense) y a la fecha es el principal sistema de navegación por satélite existente.

Los rusos por su parte lanzaron el sistema Tsikada que era un sistema de navegación similar al Transit, luego desarrollaron un sistema en forma paralela al sistema norteamericano y lo denominaron GLONASS.

Galileo, es un Sistema global de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea (UE), con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas USA-GNSS y GLONASS, entre otros motivos porque el sistema de defensa estadounidense, de carácter militar, se reserva la posibilidad de introducir errores de entre 15 y 100 metros en la localización y si hay algún accidente debido a estos errores no hay ningún tipo de responsabilidad (Véase figura 16).

En principio el sistema Galileo iba a estar disponible en el 2008. El proyecto acumula ya tres años de retraso y no podrá comercializar sus primeros servicios hasta 2011, entre temores de que esa fecha pueda demorarse hasta 2014, entre otros motivos, por disensiones entre los países participantes. Se ha logrado que el Galileo, de uso civil, sea operativo con la señal abierta emitida por el sistema estadounidense GPS.

---

El 28 de diciembre de 2005 se lanzó el satélite Giove-A (Galileo in-orbit validation element), primero de este sistema de localización por satélite, desde el cosmódromo de Baikonur, en Kazajistán, un país Euroasiático. El segundo de los satélites de prueba, el Giove-B debería haberse lanzado en abril de 2006, pero su lanzamiento fue retrasado hasta mediado o final de 2007 por fallos en su computador de a bordo.

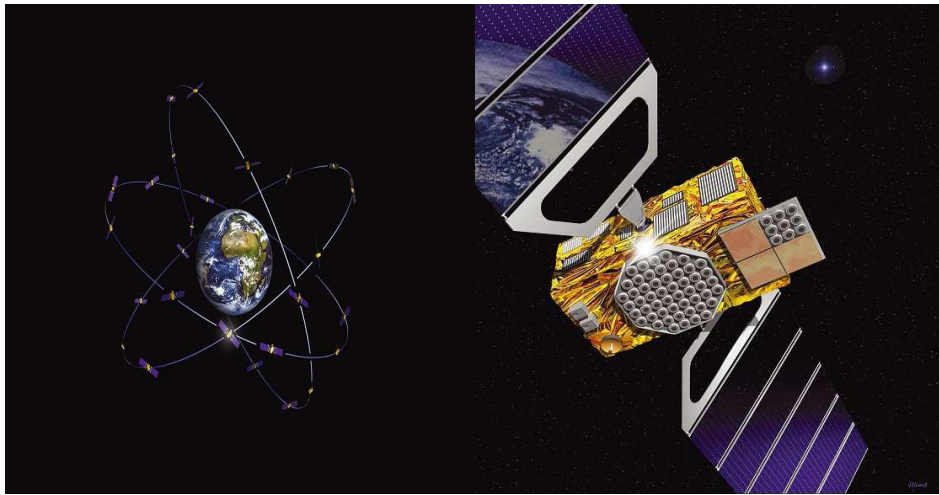


Figura 16.- Constelación y Satélite del Sistema Galileo. Fuente <http://es.wikipedia.org/wiki/Galileo>

Por tanto entre los sistemas de navegación por satélite que operan actualmente podemos mencionar:

USA-GNSS, GLONASS (Sistema Orbital de Navegación por Satélite), y eventualmente Galileo (Sistema de Navegación Satelital de la Comunidad Europea).

El sistema total, incluyendo las constelaciones de satélite centrales (USA-GNSS, GLONASS, y eventualmente Galileo) y todos los sistemas de aumentación se conoce como GNSS (Sistema Mundial de Navegación por Satélite) como se muestra en la figura 17.



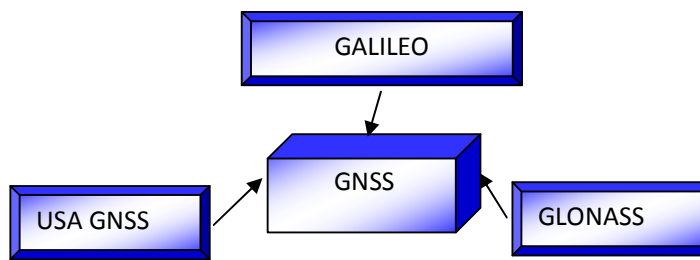


Figura 17.- Conformación del sistema GNSS (Global Navigation Satelital System)

No obstante, las constelaciones de satélite centrales existentes no satisfacen los requisitos aeronáuticos estrictos. Para satisfacer los requisitos operacionales de varias fases de vuelo, las constelaciones de satélite centrales requieren una aumentación en forma de Sistema de Aumentación Basado en la Aeronave (ABAS), Sistema de Aumentación Basado en Satélites (SBAS) o Sistema de Aumentación Basado en Tierra (GBAS).

El ABAS se basa en técnicas de procesamiento de aviónica o integración de aviónica para satisfacer los requisitos aeronáuticos. Los otros dos sistemas de aumentación utilizan estaciones de seguimiento en tierra para verificar la validez de las señales de satélite y calculan correcciones para mejorar la exactitud. El SBAS envía esta información por un satélite en Órbita Terrestre Geoestacionaria (GEO), mientras que el GBAS utiliza una radiodifusión de datos en VHF (VDB) a partir de una estación terrestre.

Los sistemas de satélite que proporcionan funciones de navegación para la comunidad de la aviación civil internacional deben ajustarse a la referencia geodésica común aprobada por la OACI con fecha de aplicación el 1 de enero de 1998 (Servicios de información aeronáutica, Anexo 15), es decir, el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS-84). El GPS utiliza el WGS-84 como referencia; no obstante, el GLONASS utiliza el PZ-90 (parámetros del sistema de coordenadas terrestres 1990). Los SARPS para GNSS proporcionan un algoritmo de transformación que convierte las coordenadas PZ-90 en coordenadas WGS-84. La implantación del WGS-84 implica, entre otras cosas, la transformación al WGS-84 de las coordenadas y puntos de referencia existentes.

---

## 2.4 Especificación de navegación

Esta define el rendimiento, la funcionalidad, sensores de navegación y requerimientos del sistema; existen dos tipos de especificaciones de navegación para la PBN:

- RNAV: Es una especificación de navegación sin la función de Monitoreo y Alerta de Performance aBordo (On board Performance Monitoring and Alerting , OPMA).

La RNAV permite a la aeronave volar desde un punto de camino (waypoint) a otro punto de camino donde estos pueden estar definidos en cualquier localización en dos o tres dimensiones. Un punto de camino es un punto en el espacio que define el comienzo y el fin de una trayectoria de vuelo deseada. La RNAV basada en la radionavegación requiere una computadora para transformar al menos dos señales en información guía adecuada. El beneficio esencial de RNAV es permitir a los usuarios escoger, a lo largo de una trayectoria definida por los puntos de camino la mejor ruta que ellos determinen con respecto a un criterio de performance, como tiempo mínimo o consumo de combustible hasta el destino.

RNAV es una especificación de navegación que permite la operación de la aeronave sobre cualquier trayectoria de vuelo, es decir, “rutas de usuario preferidas”. El futuro ambiente de operación de los sistemas CNS/ATM se basará en la navegación definida por puntos de camino geográficos expresados por latitud y longitud en el sistema de coordenadas del Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84). Los procedimientos por instrumentos y las rutas de vuelo no requerirán que la aeronave vuele por encima de las ayudas a la navegación basadas en tierra definidas en puntos específicos.

La aplicación de técnicas RNAV ofrece ventajas sobre formas de navegación convencionales, incluyendo:

1. Rutas de usuario preferidas - trayectorias que consideran presión, altitud y viento.
2. Establecimiento de más rutas directas, resultando en distancias de vuelo más cortas.

- 
3. Establecimiento de rutas duales o paralelas para acomodar un flujo más grande de tráfico en ruta.
  4. Establecimiento de rutas de desviación (bypass) para aeronaves que vuelan por encima de áreas terminales de alta densidad.
  5. Establecimiento de alternativas o rutas contingentes, tanto planeadas o no planeadas (por ejemplo, para evitar climas severos); y
  6. Establecimiento de las mejores ubicaciones para configuraciones de apoyo.

Un uso más eficiente del espacio aéreo significa una mayor afluencia del tránsito y rutas más cortas hacia la pista y a los puntos de salida. Tener menos vectores radar, ayuda a reducir las comunicaciones, permitiendo que el controlador tenga más tiempo para mantener el máximo ritmo posible de llegadas, y ayuda a predecir el tiempo necesario para la aproximación y el aterrizaje, aumentando así la eficacia de los servicios de escala. Se logran economías de combustible, en su mayoría, en el punto de descenso inicial: cuanto más cerca esté una aeronave de la pista cuando finaliza su descenso inicial, mayor es dicha economía.

- RNP: Es una especificación de navegación con la función de Monitoreo y Alerta de Performance aBordo, la especificación RNP provee una precisión del 95% durante el vuelo.

El término RNP, se define como la “declaración de la precisión de rendimiento de navegación, necesaria para operar dentro de un espacio aéreo definido”. La precisión requerida en materia de navegación correspondiente a un espacio aéreo se expresa como un tipo de RNP.

El concepto permite eliminar la necesidad de especificar determinado equipo de navegación a bordo, e implica que una aeronave puede utilizar cualquier tipo de sistema de navegación, siempre que pueda alcanzar la precisión de navegación requerida para la operación en el espacio aéreo correspondiente.

Las operaciones RNP introducen el requerimiento para monitoreo de rendimiento a bordo y alerta. Una característica crítica de las operaciones RNP es la habilidad del sistema de navegación de la aeronave para monitorear el rendimiento de navegación que éste consigue y para informar a la tripulación si no se cumple el

---

requerimiento durante una operación. Esta capacidad de monitoreo y alerta abordo mejora el conocimiento de la situación por parte del piloto y puede habilitar espaciamentos más cercanos de rutas sin intervención por parte del Control de Tráfico Aéreo (ATC).

Por tanto podemos decir que:

$$\text{RNP} = \text{RNAV} + \text{OPMA}$$

A continuación en la figura 18 se muestra los tipos de especificación de navegación junto con el OPMA.

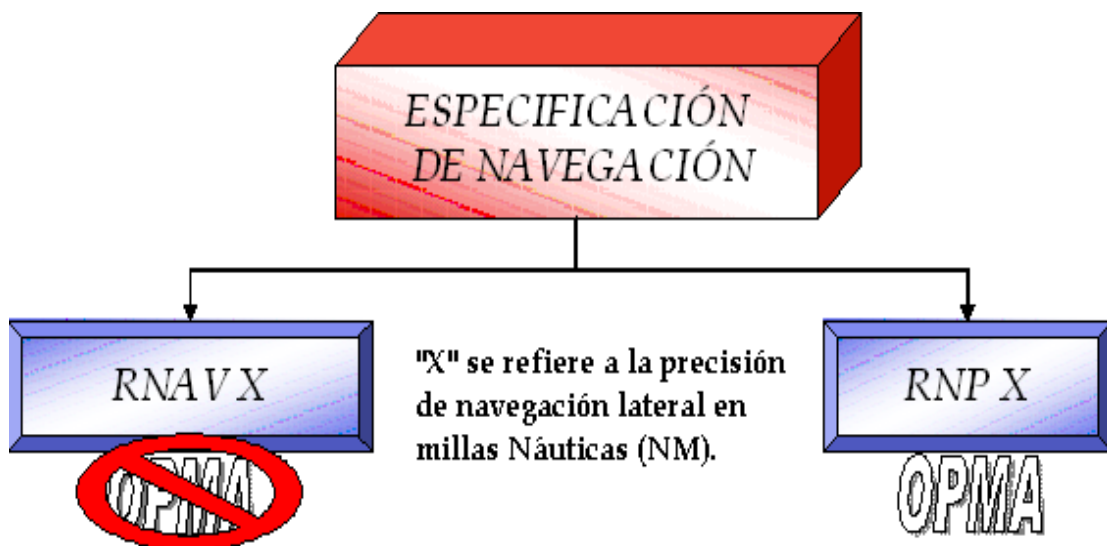


Figura 18.- Especificación de Navegación



## 2.5 Aplicación de navegación

La aplicación de navegación se refiere al uso operacional que se le dará al sistema, es decir, la aplicación de la especificación de navegación y la tolerancia que se empleará durante la fase de vuelo. A continuación se muestra en la tabla 2 las aplicaciones de navegación para OACI y en la tabla 3 para FAA).

| <b>OACI</b>           |                                            |             |
|-----------------------|--------------------------------------------|-------------|
| Área de Operación     | Aplicación de Especificación de Navegación |             |
|                       | RNAV                                       | RNP         |
| Oceánico              | RNAV10                                     | RNP 4       |
| En ruta / Continental | RNAV5                                      | _____       |
|                       | RNAV2                                      |             |
|                       | RNAV1                                      |             |
| Área Terminal         | RNAV2                                      | RNP1 Básico |
|                       | RNAV1                                      |             |
| Área de Aproximación  | _____                                      | RNP APCH    |
|                       |                                            | RNP AR APCH |

Tabla 2.- Aplicación de Navegación OACI

| <b>FAA.</b>        |                        |
|--------------------|------------------------|
| <b>Tipo de RNP</b> | <b>Aplicación</b>      |
| 2.0 MN             | En ruta                |
| 1.0 MN             | Inicial                |
| 0.5 MN             | Intermedio             |
| 0.0384 MN          | WAAS final             |
| 0.3 MN             | IPV final              |
| 0.3 MN             | LNAV                   |
| 1.0 MN             | Aproximación frustrada |

Tabla 3.- Aplicación de Navegación FAA

---

Finalmente, se presenta un esquema global de lo que conforma el concepto PBN en la figura 19 partiendo del concepto general de espacio aéreo operacional.

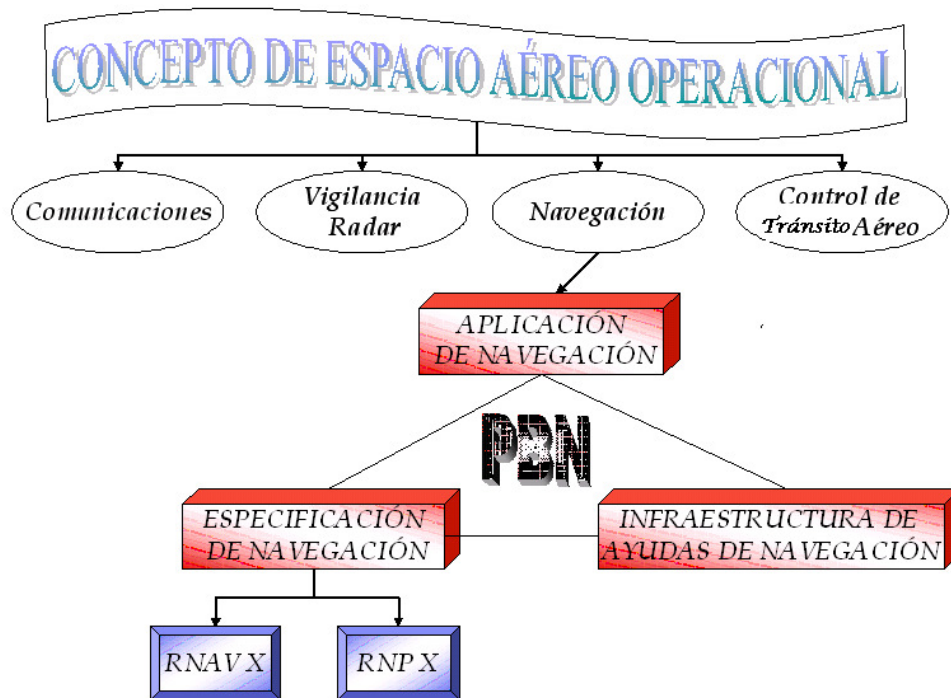


Figura 19.- Esquema global del Concepto PBN

## 2.6 Waypoint

Los waypoint (punto de recorrido) son coordenadas expresadas en el sistema WGS84 para ubicar puntos de referencia tridimensionales utilizados en la navegación fundamentada en GPS (Global Positioning System). La palabra viene compuesta del inglés way (recorrido) y point (punto), en realidad se emplean para trazar rutas mediante agregación secuencial de puntos.

Con este tipo de navegación PBN se acortan distancias ya que al introducir las coordenadas de los waypoint permite acortar distancias y tener diferentes rutas que con un procedimiento convencional como se muestra en la figura 20 además de contar con una mayor seguridad para la aeronave y seguir su trayectoria como se muestra en la figura 21

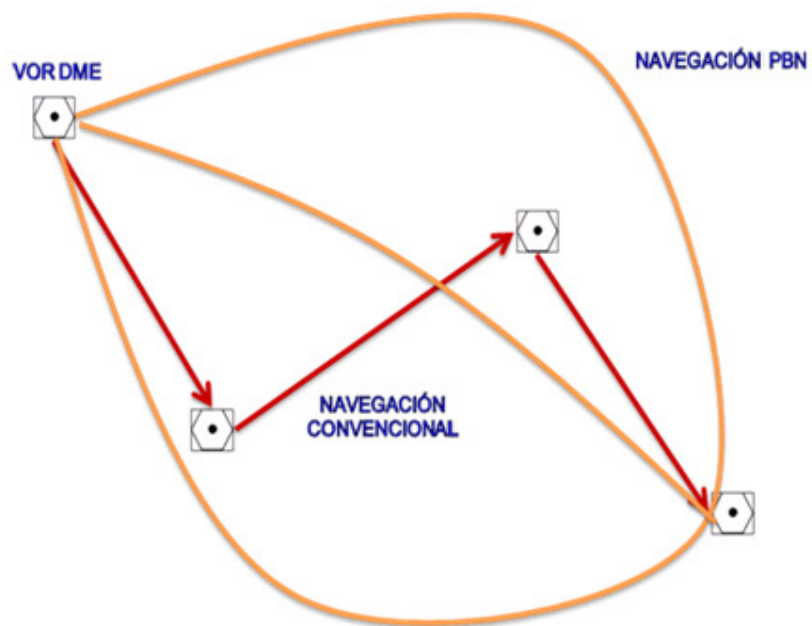


Figura 20.- Navegación PBN

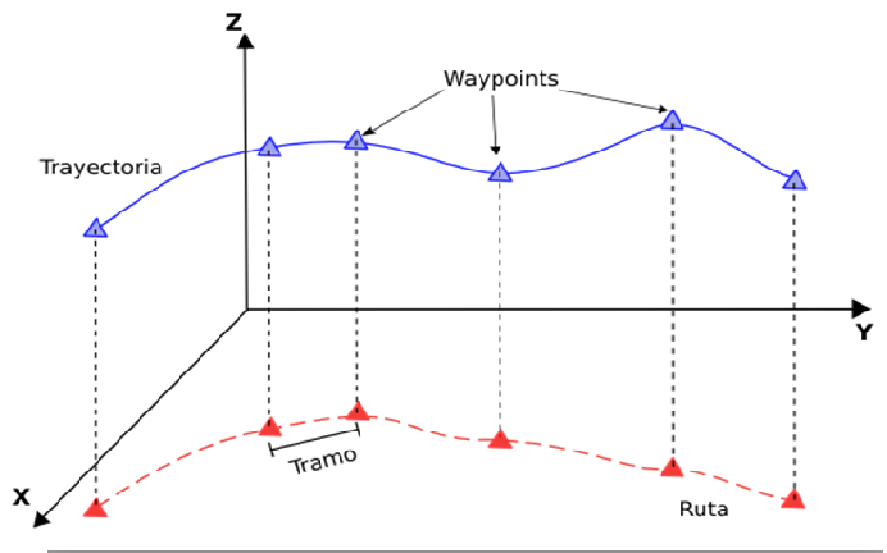


Figura 21.- Trayectoria con waypoint

---

Existen dos tipos de waypoint los llamados fly by y los fly over .

En los fly by (punto de recorrido de paso) la aeronave no pasa sobre el fijo su símbolo se muestra en la figura 22.

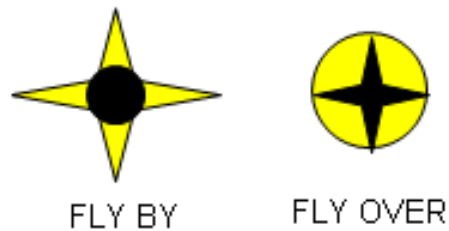


Figura 22.- Símbolos de los tipos de waypoint

Los fly over (punto de recorrido de sobrevuelo) la aeronave pasa sobre el fijo exactamente su símbolo se muestra en la figura 23.

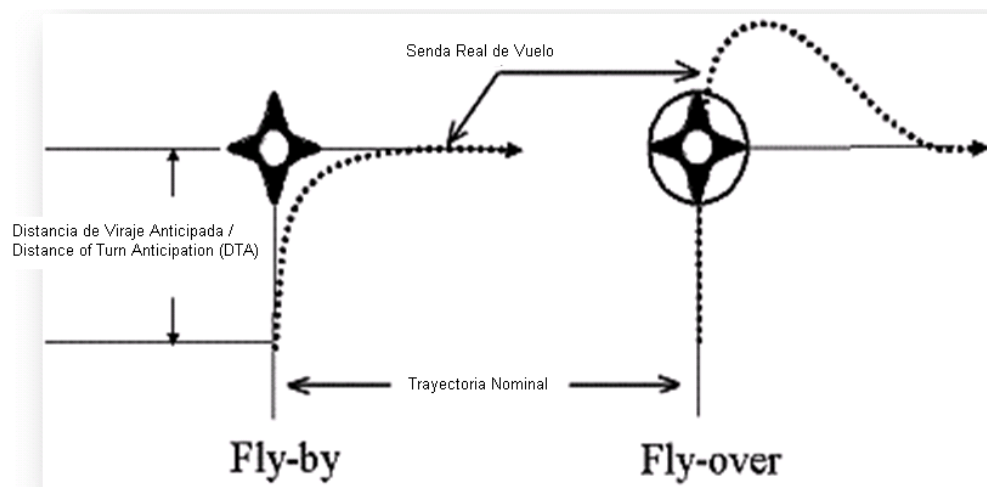


Figura 23.- Trayectoria de los tipos de waypoint



---

## **2.7 Longitud mínima de un tramo limitado por dos puntos de recorrido con viraje**

En el documento PANS-OPS 8168, Operación de aeronaves, volumen II, sección 2 “Criterios generales”, capítulo I “Longitud mínima de tramo limitado por dos waypoint con viraje”, página 560 menciona lo siguiente.

Para evitar que los waypoint con viraje estén situados tan cercanos entre si que los sistemas RNAV los pasan de largo, se deberá tener en cuenta una distancia mínima de separación entre waypoint de viraje sucesivos. Se consideran dos tipos de éstos:

- A) Fly by
- B) Fly over

Pueden darse cuatro situaciones para un tramo limitado por dos waypoint:

- A) Dos fly by;
- B) Un fly by, seguido de un fly over;
- C) Dos fly over; y
- D) Un punto fly over, seguido de un fly by.
- E) Además, también debe tenerse en cuenta el caso particular del tramo “DER-primer waypoint”.

## **2.8 Sistema mundial de coordenadas WGS-84**

WGS84 son las siglas de World Geodetic System 1984. Sistema de coordenadas mundiales, que data de 1984, que es la base para sistemas de posicionamiento global como el GPS.

El WGS84 usa como elipsoide de referencia, que es perfectamente intercambiable con el sistema de referencia europeo ETRS 89, fundamentando su única diferencia en varias décimas de milímetro para el caso de los semiejes menores (Véase figura 24).

---

Es un Sistema Terrenal Convencional (CTS) teniendo como origen y ejes lo siguiente:

- Origen: centro de la masa de la tierra
- Eje Z: dirección del Polo Terrenal Convencional (CTP) para movimiento polar
- Eje X: intersección del plano meridiano de referencia del WGS-84 con el plano Ecuador
- Eje Y: completa sistema de coordenadas ortogonales, geocéntricas y fijadas en Tierra medido 90 grados Este del eje x.

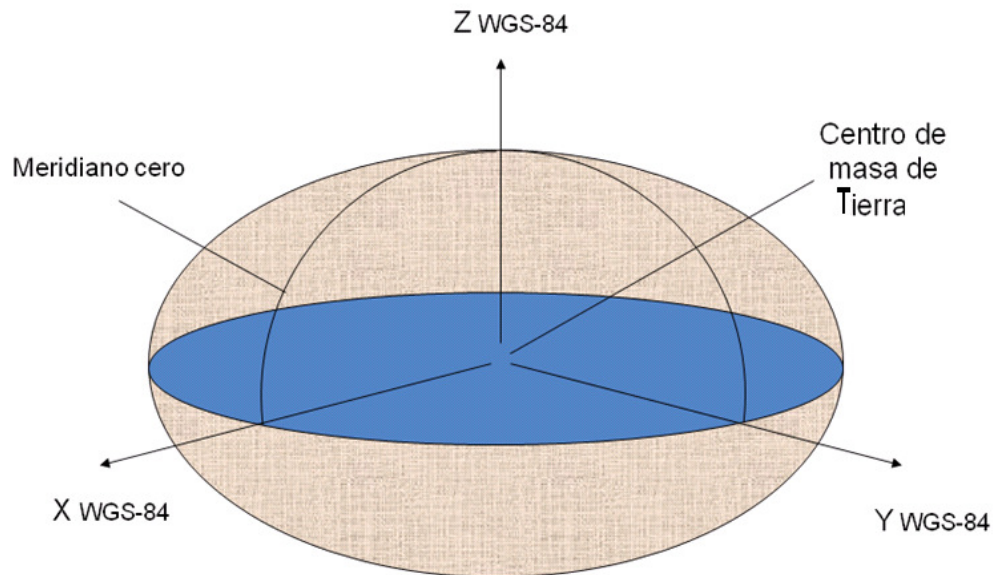


Figura 24.- Coordenadas WGS84. Fuente <http://www.todoexpertos.com/manejo-de-coordenadas-wgs-84>

## 2.9 Error Total del Sistema (TSE, Total System Error)

El error total del sistema es definido por cada especificación de navegación; considera a 3 conceptos (Véase figura 25) que son

- NSE (Error del Sistema de Navegación, Navigation System Error).  
Depende de los rendimientos del sistema por ejemplo.

---

GNSS=0.08MN

VOR DME Y DME DME es variable.

- PDE(Error de la Definición de Trayectoria, Path Definition Error). Corresponde al sistema de computación de tolerancias ST y compone un valor de 0.25 MN
- FTE (Error de Técnica de Vuelo, Fligth Technical Error). Es un valor fijo para especificaciones de navegación.

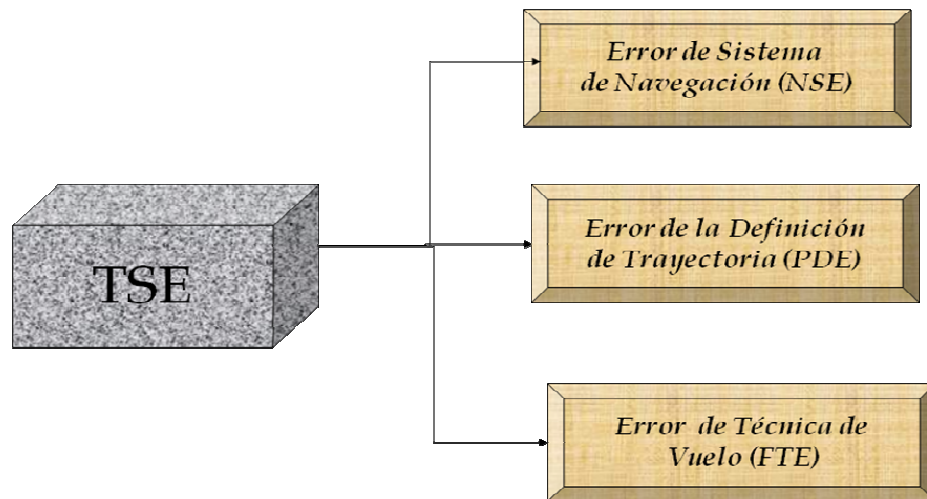


Figura 25.- Error Total del Sistema.

En una representación clara del TSE es mediante una distribución Gaussiana la cual nos puede afirmar que al menos 95% de el tiempo de vuelo desde A hasta B la aeronave debe de estar debajo de ésta área como se muestra en la figura 26.

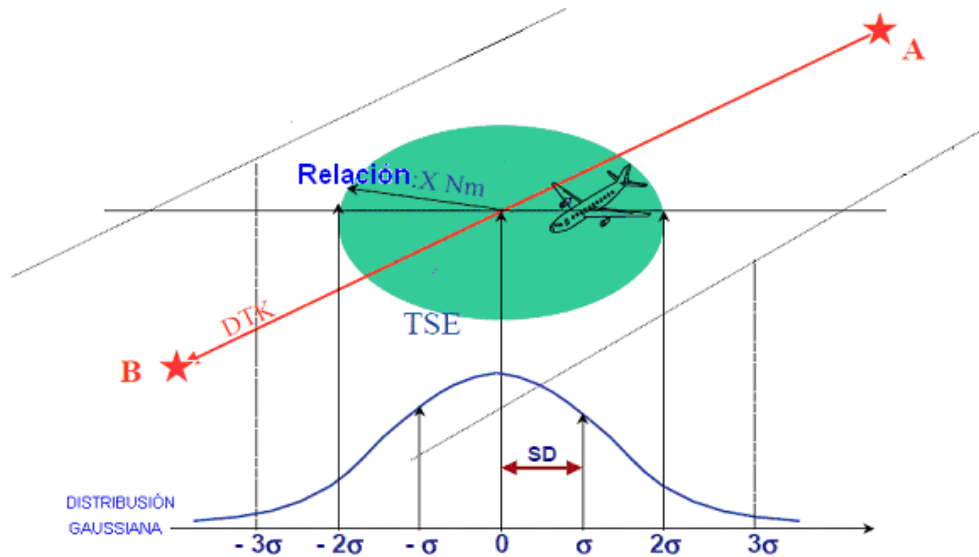


Figura 26.- Representación del TSE.

## 2.10 Error total del sistema lateral

Este error se presenta durante la trayectoria de vuelo debido a que tendremos la trayectoria deseada que es la ideal, la trayectoria de vuelo definida que es la que se desea seguir, la trayectoria estimada que es la que se calcula seguir y la trayectoria de vuelo verdadera que es la que el avión seguirá realmente debido a rendimientos del avión como se muestra en la figura 27 y siendo sus variables:

NSE: Error de Sistema de Navegación; que corresponde, desde la trayectoria de vuelo estimada hasta la trayectoria de vuelo verdadera.

PDE: Error de la Definición de Trayectoria; que corresponde de la trayectoria de vuelo deseada, hasta la trayectoria de vuelo definida.

FTE: Error de Técnica de Vuelo; que corresponde desde la trayectoria de vuelo definida hasta la trayectoria de vuelo estimada.

ATT: Tolerancia a lo largo de la trayectoria (Véase figura 28)



XTT: Tolerancia transversal de trayectoria igual al TSE Error total del sistema  
(Véase figura 28)

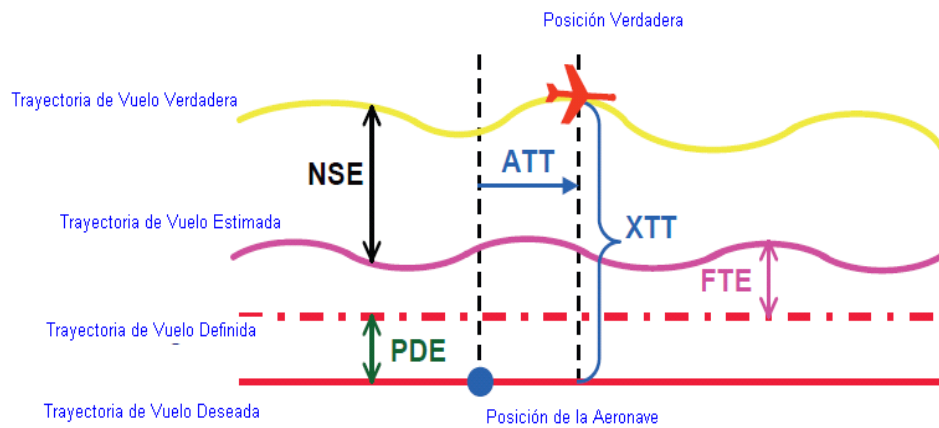


Figura 27.- Desviación lateral.



Figura 28.- ATT Y XTT.

---

## 2.11 OPMA (Sistema de aBordo de Monitoreo y alerta, On board Performance Monitoring and Alerting)

EL OPMA es un sistema que permite el monitoreo de todos los errores que afecten la capacidad de la aeronave para continuar con la ruta deseada, este detecta cualquier desvío lateral y así proveer una mayor seguridad a la aeronave como se muestra en la figura 29.

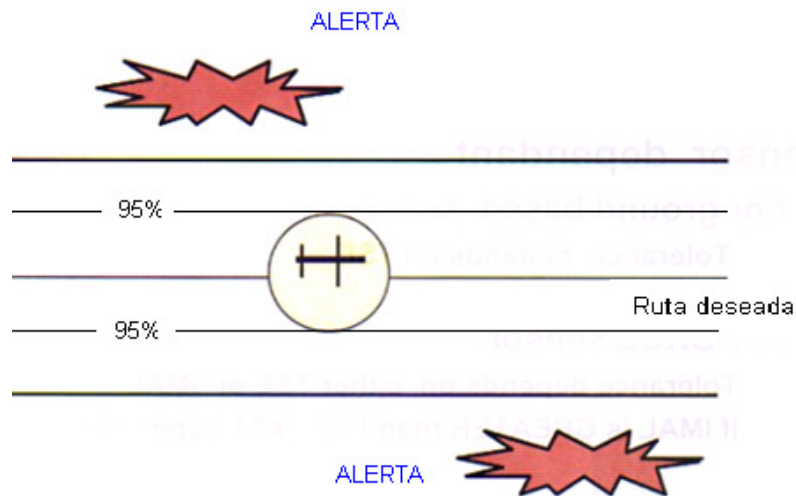


Figura 29.- OPMA.

Este sistema es utilizado únicamente en la especificación de navegación RNP que es lo que lo distingue de RNAV. Su desempeño dependerá de cada tipo de RNP.

## 2.12 Estado de Coahuila de Zaragoza

Coahuila de Zaragoza es uno de los 31 estados que junto con el Distrito Federal conforman las 32 entidades federativas de México, está localizado en la parte central del Norte de México con coordenadas  $29^{\circ} 53' - 24^{\circ} 32' N$  y  $99^{\circ} 51' - 103^{\circ} 68' W$  (Véase figura 30). Su extensión territorial es de 151,571 kilómetros cuadrados y representa el 7.7% del área total del país. Limita al Norte con los Estados Unidos de América, a través del Río Bravo; al Sur con Zacatecas; en un vértice del Sureste con San Luis Potosí; al Suroeste con Durango; al Este con

---

Nuevo León; y al Oeste con Chihuahua. Población Total: Según el Censo del INEGI 2005, Coahuila tiene 2'495,200 habitantes aproximadamente.

La altitud más alta del Estado es el Cerro de las Vigas (3.751 msnm).

Tiene el uso horario UTC -6.

Su temperatura de referencia es 24°.



Figura 30.- Ubicación del Estado de Coahuila en la República Mexicana. Fuente <http://www.sitesmexico.com>

La cordillera principal del Estado es la Sierra Madre Oriental, la cual lo cruza de Sur a Norte, produciendo un gran número de colinas, montañas y cañones. En el Estado existen alrededor de 24 sierras. En la Serranía de Arteaga, localizada en el Sureste del Estado, se encuentra la elevación máxima: el Cerro de las Vigas, el cual cuenta con 3,751 msnm. La altitud va decreciendo hacia el Norte hasta la Serranía del Burro, con menos de 2,000 msnm.

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| PIB estatal             | \$234,823 millones de pesos |
| Participación en el PIB | 3.37%                       |
| PIB per capita          | \$12,000 USD                |

El Estado de Coahuila tiene un producto interno bruto estatal de 234.823 millones de pesos, con una participación de 3.4% en el PIB nacional (2004). Su PIB per cápita ajustado asciende a 12 mil dólares (2006), con lo que se coloca en el cuarto lugar entre los Estados de México superado por Distrito Federal, Nuevo León y Campeche. Su Índice de Desarrollo Humano es 0.8281 (2004), ocupando el tercer lugar después del Distrito Federal y Nuevo León. Dentro de

---

su territorio se encuentran más del 95% de las reservas de carbón del país y el 30% de las reservas de gas.

A pesar de contar con un extenso territorio y poca población, Coahuila se ha logrado industrializar a partir de la segunda mitad del siglo XX. Actualmente alberga a grupos industriales de los más importantes a nivel nacional. El Estado cuenta con plantas productivas del Grupo Industrial Saltillo (GIS), Grupo Industrial Lala, Grupo Acerero del Norte (GAN), Grupo Industrial Monclova (GIMSA), Grupo México, Grupo Modelo Met-Mex Peñoles, Rassini, Trinity Industries, Alcoa, Embotelladoras Arca, entre otras. Cada uno de sus polos urbanos tienen al menos una industria pilar sobre la cual se sostiene la economía de la región.

En Saltillo y Ramos Arizpe se encuentra un cluster automotriz, integrado por plantas de Chrysler y General Motors, y decenas de empresas proveedoras. También se encuentra en esta ciudad el Grupo Industrial Saltillo, que incluye empresas como Vitromex, Cinsa, Cifunsa, que son fabricantes de artículos para la construcción y de autopartes.

La rentabilidad de la explotación de carbón depende de dos factores interrelacionados: las condiciones del mercado y los métodos de explotación.

Otras actividades económicas son la ganadería, el turismo cinegético, el cultivo de uvas, manzanas y nueces, la producción de refrescos, agua, cerveza y vino, y la extracción de barita y fluorita.

Las duras condiciones climáticas que imperan en la zona han hecho de los coahuilenses hombres perseverantes y trabajadores. Pero no por eso menos alegres o amantes del color que el resto de los mexicanos.

La elaboración de los coloridos sarapes de lana es un arte traído a Coahuila por los indígenas tlaxcaltecas. Las danzas campesinas que festejan la recolección de sus cosechas como el Jarabe Pateño y la Danza de la Lechugilla, o las adaptaciones de bailes europeos como la Contradanza, Polea, Redova y Chotis, alegran las reuniones coahuilenses.



La gastronomía nortea que predomina en los Estados de Coahuila, Chihuahua, Sonora y Nuevo León está compuesta por ricas tortillas de harina, carne asada, carne seca y cabrito al pastor. En Coahuila además, la producción vinícola de Parras viste las mesas con exquisitos vinos y licores de mesa 100% mexicanos. También, en Saltillo la elaboración de cajeta, ate de membrillo, conservas de frutas como guayaba, membrillo, durazno y chabacano, son una tradición generacional.

En la región de Ramos Arizpe se encuentra localizado el aeropuerto de Saltillo (Véase figura 31); está localizado en la Región Sureste del Estado con coordenadas 25° 32'00" y 100° 57 '00". Cuenta con una extensión territorial de 5,306.6 kilómetros cuadrados y una población de 56,708 habitantes, tiene una altitud de 1,380 (msnm).

Este municipio se caracteriza por un clima seco semicálido durante la mayor parte del año, y su temporada de lluvias comprende las estaciones de primavera, verano y otoño su temperatura promedio es de 22°.



Figura 31.- Ubicación del municipio de Ramos Arizpe. Coahuila. Fuente <http://www.sitesmexico.com>

---

El aeropuerto de Saltillo (código IATA: SLW, código OACI: MMIO), es un aeropuerto localizado en Ramos Arizpe, Coahuila, México. Maneja el tráfico aéreo de la zona metropolitana de Saltillo y Ramos Arizpe (Véase figura 32.)

El aeropuerto de Saltillo, ofrece, en su servicio nacional, dos vuelos diarios a la Ciudad de México, y en el servicio internacional, un vuelo diario a Houston, Texas, Estados Unidos.

Sumado a lo anterior, esta terminal aérea posee servicios de aduana para el despacho de mercancías, banco para pago de impuestos, servicio de carga, de migración, inspección fitozoosanitaria, cuerpo de rescate y extinción de incendios, renta de automóviles y transportación terrestre.

Existen así mismo líneas aéreas comerciales en el aeropuerto de Saltillo, tal y como se puede observar en la tabla 4 en la cual contiene las aerolíneas que llegan a este aeropuerto su procedencia, la frecuencia de estos vuelos además de la cantidad de pasajeros que reciben en cada uno de ello.

| <b>Líneas Comerciales</b> | <b>Vuelos</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Capacidad</b> |
|---------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Mexicana de Aviación      | México, D.F.  | lunes a domingo   | 104 pasajeros    |
| Continental Airlines      | Houston, Tx.  | lunes a domingo   | 46 pasajeros     |

Tabla 4.- Vuelos comerciales del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila. Fuente <http://coahuila.gob.mx>

En la tabla 5 podemos observar las líneas de carga y aviación ejecutiva que arriban al aeropuerto de Saltillo, localizado en Ramos Arizpe.

---

---

| Empresa            | Capacidad    | Recorrido            |
|--------------------|--------------|----------------------|
| Empresa Bax Global | 20 toneladas | Ohio – Saltillo      |
| DHL                | 20 toneladas | Cleveland - Saltillo |

Tabla 5.-Vuelos de Carga del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila. Fuente <http://coahuila.gob.mx>

Este aeropuerto recibe pocos vuelos al día, debido a su proximidad con el Aeropuerto Internacional Mariano Escobedo y con el Aeropuerto Internacional del Norte de Monterrey.

Para el 2007, Saltillo recibió a 104,000 pasajeros, mientras que para 2008 recibió a 101,600 pasajeros, según datos publicados por la Dirección General de Aeronáutica Civil.

La categoría de aeropuerto internacional le fue otorgada en 1987, cuando la pista principal fue expandida para recibir hasta aviones Boeing 757, y la nueva terminal fue abierta con 4 salas de abordar, una moderna área de mostradores, aduana, migración, áreas de reclamo de equipaje y una cafetería.

El nombre del aeropuerto fue por el “Plan de Guadalupe”, firmado en la hacienda de Guadalupe, en Ramos Arizpe que repudiaba el gobierno golpista de Victoriano Huerta

El 6 de julio de 2008, el vuelo 199 de USA Jet Airlines, con un avión DC-9-15, se accidentó a las 2:15 am en su aproximación al aeropuerto. El vuelo salió de Hamilton, Ontario y realizó escala en Shreveport, Luisiana. El impacto mató al piloto e hirió al copiloto, sufriendo quemaduras severas.

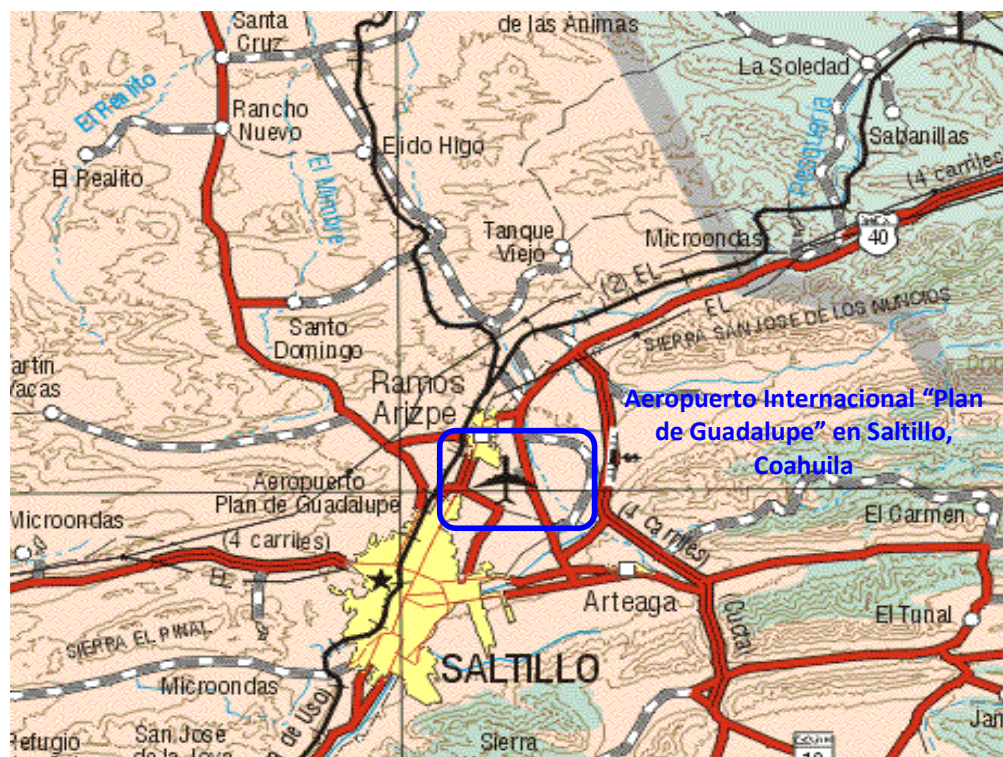


Figura 32.- Ubicación del Aeropuerto Internacional "Plan de Guadalupe" en Saltillo, Coahuila. Fuente INEGI

# CAPÍTULO III



# MARCO TEÓRICO



---

## CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

Dentro de este capítulo se proporcionan los aspectos teóricos que son necesarios para el desarrollo y aplicación de lo explicado en el marco conceptual. Existen algunos aspectos que son utilizados para el diseño de los procedimientos de ambos criterios, los que son específicos para cada uno son mencionados en el apartado correspondiente.

### 3.1 Criterios generales

Para la obtención de distancias y rumbos en un procedimiento de navegación, se utiliza el método del círculo máximo, el cual toma en cuenta la curvatura de la Tierra y utiliza las coordenadas geográficas en el sistema WGS-84, sus fórmulas son:

$$d = \text{ArcCos}[\text{Sen}\Phi_i \text{Sen}\Phi_f + \text{Cos}\Phi_i \text{Cos}\Phi_f \text{Cos}\Delta\lambda] \dots\dots\dots(1)$$

$$R_i = \text{ArcSen}\left[\frac{\text{Sen}\Delta\lambda \text{Cos}\Phi_f}{\text{Sen}(d)}\right] \dots\dots\dots(2)$$

Dónde:

$$\Phi_i = \text{Latitud}_{\_}\text{Origen}$$

$$\Phi_f = \text{Latitud}_{\_}\text{Destino}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i = \text{Diferencia}_{\_}\text{de}_{\_}\text{Longitudes}$$

$$\lambda_i = \text{Latitud}_{\_}\text{Origen}$$

$$\lambda_f = \text{Latitud}_{\_}\text{destino}$$

El valor de la distancia ( $d$ ) obtenido al aplicar la fórmula (1) se multiplica por 60 para obtener el resultado en Millas Náuticas (MN).

---

Para la obtención del gradiente de descenso la altitud de la aeronave es igual a la distancia recorrida por el gradiente aplicado más la elevación o altitud inicial de la aeronave (Véase figura 33).

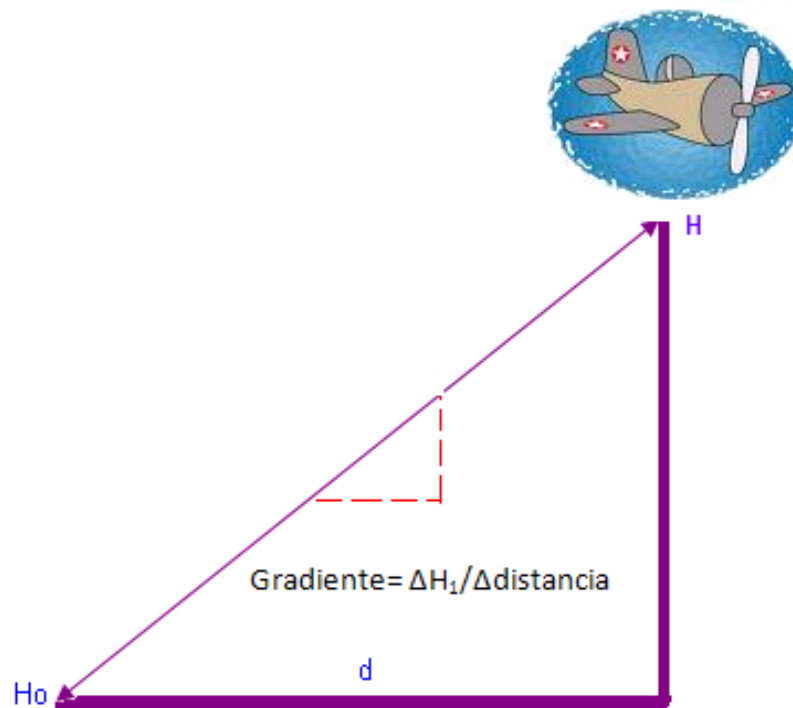


Figura 33.-Gradiente de descenso.

$$H_1 = (d) (Gr) + H_o \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

d=distancia recorrida

Gr= Gradiente

H<sub>o</sub>= Elevación o altitud inicial

H<sub>1</sub>= Altitud de la aeronave

---

### 3.2 Criterios OACI

Para una mejor comprensión de la investigación que se lleva a cabo se toma información contenida en el manual de Procedimientos para Servicios de Navegación Aérea – Operación de Aeronaves (Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations , PANS-OPS) de la OACI volumen I y II “Manual de Navegación Basada en Rendimientos” el cual contiene la relación entre aplicaciones RNAV y RNP así como las ventajas y limitaciones que éstas producen en su implementación dentro un espacio aéreo definido.

El volumen I de este manual se deriva en dos partes A y B así como las generalidades de éste. En la parte A se localiza todo lo que conlleva a la explicación y descripción del concepto PBN.

En la parte B se encuentra una guía para la implementación de los sistemas mencionados en la parte A de este mismo volumen.

Para utilidad en este proyecto de investigación se toman datos y conceptos de la parte A del volumen I ya que es la sección que describe y explica de manera detallada todos los parámetros necesarios para comprender el concepto PBN así como sus requerimientos.

En la página A-1-1 primer párrafo del volumen I del “Manual de Navegación Basada en Rendimientos” se menciona que el concepto PBN especifica los sistemas RNAV de requerimientos de performance en términos de precisión, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad necesarias para los propósitos de operación en un espacio aéreo designado, por la cual esta parte ayuda directamente a identificar cuales son los requerimientos para el sistema de navegación PBN, éstos son mencionados y explicados en el capítulo II llamado “Marco Conceptual” de este proyecto de investigación.

En el “Manual de Navegación Basada en Rendimientos” de la OACI en la página A-1-2 del volumen I , menciona un concepto muy importante el cual es espacio aéreo, en éste se define que el espacio aéreo se conforma de cuatro componentes los cuales son:

- 
- Comunicaciones (COM)
  - Navegación (NAV)
  - Vigilancia radar (SUR)
  - Gestión de tránsito aéreo (ATM)

Este proyecto se localiza dentro de la sección de navegación (NAV), por lo cual los conceptos son desarrollados y analizados de igual forma en el capítulo II o “Marco Conceptual” del presente proyecto de investigación.

En el “Manual de Navegación Basada en Rendimientos” de la OACI en su volumen II trata acerca de los implementos de los métodos de navegación RNAV y RNP para lo cual está también dividido en dos partes A y B.

En la parte A de dicho manual trata de Generalidades donde se encuentran conceptos necesarios para poder entender la diferencia entre los métodos de navegación RNAV y RNP lo que lleva a definir cual es el método a utilizar para este proyecto de investigación, todo esto se explica y se desarrolla en el Marco Conceptual o capítulo II de este documento.

En el volumen II del “Manual de Navegación Basada en Rendimientos” de la OACI en la parte A página A-2-1 en el tema 2.1 se menciona un elemento muy importante el cual es vital para este proyecto de investigación ya que permite diferenciar entre la especificación de navegación a utilizar, es decir, utilizar RNAV ó RNP. Se trata del On-board Performance Monitoring and Alerting (OPMA) el cual, como dice su nombre es un sistema de monitoreo y alerta que permite monitorear todos los errores que afecten la capacidad de la aeronave para continuar con la ruta deseada. Ésto abre el camino a la explicación más clara de la especificación de navegación a utilizar para el proyecto que se lleva a cabo, todos estos conceptos se localizan detalladamente en el capítulo anterior “Marco Conceptual”.

Tomando como referencia otro de los documentos utilizados para el desarrollo de la investigación se encuentra el Manual de Operación de Aeronaves volumen II de la OACI que habla acerca de la construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos, en el cual en su capítulo 7 página III-1-7-1 de la sección I, se localiza el procedimiento y las fórmulas para el trazo de las áreas de protección para la especificación de navegación RNP, de este capítulo

tomamos los valores RNP para los procedimientos de aproximación inicial, intermedia y final. Así mismo en la página III-1-7-3 podemos localizar la tabla de los valores intermedios RNP a utilizar para el trazo de los procedimientos de aproximación ya mencionados, a continuación se presentan los datos y fórmulas relevantes para el desarrollo de la propuesta del procedimiento de aproximación mediante criterios OACI, su aplicación será presentada en el Capítulo correspondiente a el diseño conceptual de éste trabajo.

*“Las tolerancias perpendicular y paralela a la derrota (XTT Y ATT) son iguales al valor RNP. En el caso de aproximación inicial, intermedia y final, se utiliza un valor RNP 0.3”*

Para la obtención de la semianchura del área RNP se determina mediante la fórmula:

$$1.5 (XTT)+BV..... (4)$$

Dónde:

BV =Valor Intermedio.

El valor intermedio es una evaluación del peor caso de desviación generado por el sistema RNP. Para el segmento inicial e intermedio el BV es igual a 0.5 MN y para el segmento final es de 0.2 MN (Véase tabla 6).

| TRAMO                                                                                                                                                                                                                | VALOR INTERMEDIO (BV) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Salida                                                                                                                                                                                                               | 0.56 Km (0.30 MN)     |
| En ruta <sup>1</sup> y llegada <sup>2</sup>                                                                                                                                                                          | 1.85 Km (1.0MN)       |
| Llegada <sup>3</sup> / Aproximación inicial/Aproximación intermedia                                                                                                                                                  | 0.93Km (0.50MN)       |
| Final                                                                                                                                                                                                                | 0.37Km (0.20MN)       |
| Aproximación frustrada                                                                                                                                                                                               | 0.56 Km (0.30MN)]     |
| Espera <sup>4</sup>                                                                                                                                                                                                  |                       |
| 1. Para todos los tipos de RNP iguales a RNP 1 o mayores.<br>2. Llegada hasta 46 km (25 NM) antes del IAF.<br>3. Llegada a menos de 46 km (25 NM) del IAF.<br>4. Las áreas de espera utilizan principios diferentes. |                       |

Tabla 6.- Valores intermedios de RNP. Fuente documento 8168 de OACI



En este mismo Manual de Operación de Aeronaves de la OACI volumen II en el capítulo I de la segunda sección, la cual habla sobre criterios generales, se encuentra en la página III-2-1-4 del tema 1.4 los criterios y tablas para determinar la distancia mínima de estabilización.

En el caso de éste trabajo se toman las consideraciones de distancia mínima de estabilización para fly over debido a que son los que se han elegido para éste procedimiento, por tanto se usa la tabla III-2-1-6 del PANS-OPS que especifica un ángulo de inclinación lateral de 25°, la razón de tomar éste ángulo es que en la sección 1.2.4.1 que trata de la selección de ángulos de inclinación lateral, especifica que para fases de aproximación, el ángulo es de 25°( Véase tabla 7):

| Cambio de<br>rumbo**<br>(grados) | Velocidad verdadera (km/h) |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  | < 0 =                      | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | 360  | 380  | 400  | 440  | 480  | 520  | 560  | 600  | 640  |
| 50                               |                            | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,2 | 4,5 | 5,1 | 5,6  | 6,2  | 6,8  | 8,1  | 9,6  | 11,1 | 12,8 | 14,5 | 16,4 |
| 55                               |                            | 3,4 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 5,4 | 6,0  | 6,6  | 7,3  | 8,7  | 10,2 | 11,9 | 13,7 | 15,6 | 17,6 |
| 60                               |                            | 3,7 | 4,0 | 4,4 | 4,7 | 5,1 | 5,8 | 6,4  | 7,1  | 7,8  | 9,3  | 10,9 | 12,7 | 14,6 | 16,6 | 18,8 |
| 65                               |                            | 3,9 | 4,3 | 4,6 | 5,0 | 5,5 | 6,1 | 6,8  | 7,5  | 8,2  | 9,8  | 11,6 | 13,5 | 15,5 | 17,7 | 20,0 |
| 70                               |                            | 4,1 | 4,5 | 4,9 | 5,3 | 5,7 | 6,4 | 7,2  | 7,9  | 8,7  | 10,4 | 12,3 | 14,3 | 16,4 | 18,8 | 21,2 |
| 75                               |                            | 4,3 | 4,7 | 5,1 | 5,5 | 6,0 | 6,8 | 7,5  | 8,3  | 9,2  | 11,0 | 12,9 | 15,1 | 17,3 | 19,8 | 22,4 |
| 80                               |                            | 4,5 | 5,0 | 5,4 | 5,8 | 6,3 | 7,1 | 7,9  | 8,7  | 9,6  | 11,5 | 13,6 | 15,8 | 18,2 | 20,8 | 23,5 |
| 85                               |                            | 4,7 | 5,2 | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 7,4 | 8,2  | 9,1  | 10,1 | 12,0 | 14,2 | 16,6 | 19,1 | 21,8 | 24,7 |
| 90                               |                            | 4,9 | 5,4 | 5,9 | 6,3 | 6,9 | 7,7 | 8,6  | 9,5  | 10,5 | 12,5 | 14,8 | 17,3 | 19,9 | 22,7 | 25,7 |
| 95                               |                            | 5,1 | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 7,1 | 8,0 | 8,9  | 9,9  | 10,9 | 13,0 | 15,4 | 17,9 | 20,7 | 23,6 | 26,8 |
| 100                              |                            | 5,3 | 5,8 | 6,3 | 6,8 | 7,4 | 8,3 | 9,2  | 10,2 | 11,2 | 13,5 | 15,9 | 18,6 | 21,4 | 24,5 | 27,7 |
| 105                              |                            | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,6 | 8,5 | 9,5  | 10,5 | 11,6 | 13,9 | 16,4 | 19,2 | 22,1 | 25,2 | 28,6 |
| 110                              |                            | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 7,2 | 7,8 | 8,7 | 9,7  | 10,8 | 11,9 | 14,3 | 16,9 | 19,7 | 22,7 | 26,0 | 29,4 |
| 115                              |                            | 5,8 | 6,3 | 6,8 | 7,3 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,1 | 12,2 | 14,6 | 17,3 | 20,2 | 23,3 | 26,6 | 30,1 |
| 120                              |                            | 5,9 | 6,4 | 6,9 | 7,5 | 8,1 | 9,1 | 10,2 | 11,3 | 12,4 | 14,9 | 17,7 | 20,6 | 23,8 | 27,2 | 30,8 |

\* 25° o 3°/s

\*\* Utilícese el valor de 50° para cambios de rumbo inferiores a 50°.

Tabla 7.- Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral\*). Fuente documento 8168 de OACI

Para las velocidades necesarias se toma en cuenta la tabla 8 que se obtienen de la tabla 1-4-1-1 del PANS-OPS.

| Categoría de aeronaves | $V_{at}$ | Gama de velocidades para aproximación inicial | Gama de velocidades para aproximación final | Velocidades máximas para maniobras visuales (en circuito) | Velocidades máximas para aproximación frustrada |           |
|------------------------|----------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|
|                        |          |                                               |                                             |                                                           | Intermedia                                      | Final     |
| A                      | <169     | 165/280 (205*)                                | 130/185                                     | 185                                                       | 185                                             | 205       |
| B                      | 169/223  | 220/335 (260*)                                | 155/240                                     | 250                                                       | 240                                             | 280       |
| C                      | 224/260  | 295/445                                       | 215/295                                     | 335                                                       | 295                                             | 445       |
| D                      | 261/306  | 345/465                                       | 240/345                                     | 380                                                       | 345                                             | 490       |
| E                      | 307/390  | 345/467                                       | 285/425                                     | 445                                                       | 425                                             | 510       |
| H                      | N/A      | 130/220**                                     | 110/165***                                  | N/A                                                       | 165                                             | 165       |
| Cat H (PinS)***        | N/A      | 130/220                                       | 110/165                                     | N/A                                                       | 130 ó 165                                       | 130 ó 165 |

Tabla 8.- Velocidades (IAS) para el calculo de procedimientos en kilómetros por hora (km/h). Fuente documento 8168 de OACI

A las velocidades obtenidas es necesario aún, aplicar el factor de conversión para transformarlas de Velocidades Indicadas (IAS) a Velocidades Verdaderas (TAS), mediante el empleo de la siguiente fórmula.

$$TAS = IAS \left\{ \frac{171233[(288 \pm VAR) - 0.00198H]^{0.5}}{(288 - 0.00198H)^{2.628}} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

VAR = Diferencia de temperatura en relación con las de la ISA en °C

H = Altitud en pies.

---

El siguiente factor a considerar durante el desarrollo del procedimiento es lo relativo a los gradientes de descenso, del documento PANS-OPS se especifica en la Parte I sección 4 (Véase tabla 9) que los gradientes de descenso son:

| Segmento   | Gradiente % | Gradiente (ft/MN) |
|------------|-------------|-------------------|
| Inicial    | 5.2         | 316               |
| Intermedio | 5.2         | 316               |
| Final      | 4 - 8       | 243 - 486         |

Tabla 9.-Gradientes de descenso. Fuente documento 8168 de OACI

Por otro lado también se utiliza el manual RNP de la OACI el cual lleva por título Manual de Diseño de Procedimientos del cual se obtiene en el capítulo 2, como el nombre del manual lo dice, diseño de procedimientos de aproximación RNP, para ser más específicos se utilizan datos y requerimientos contenidos en este manual desde la pagina 16 hasta la pagina 18 donde nos menciona parte de las especificaciones necesarias para su uso.

### 3.3 Protección de virajes y evaluación de obstáculos

En el documento de OACI 8168 PANS OPS vol. II en la sección II capítulo II pág. 584 explica los tipos de virajes existentes para cada caso sea RNAV o RNP; el cual dice lo siguiente:

#### **Velocidad**

Las velocidades máxima y mínima definidas para la fase de vuelo pertinente serán las consideradas en todas las construcciones de virajes RNAV.

#### **Métodos de construcción de virajes**

Dependiendo del tipo de viraje, del ángulo de viraje y del tramo del vuelo, se emplearán diferentes métodos de protección de virajes.

- 
- *Viraje en un punto de viraje (TP).* Un viraje en un punto de viraje puede definirse sea por un fly by o fly over. Para cada tipo way point, se emplearán dos métodos diferentes de construcción de viraje, dependiendo del ángulo de viraje y del tramo del vuelo:

a) El método de espiral de viento/círculos limitadores se empleará para:

1. virajes de más de 30° en un IAF o IF,
2. virajes de más de 10° en el FAF,
3. virajes dentro de un tramo de aproximación frustrada o de salida.

NOTA: El método de círculos limitadores es un método simplificado que puede emplearse como alternativa a las espirales de viento.

b) El método de arco de círculo se empleará para:

1. virajes menores o iguales a 30° en un IAF o un IF, o
2. menores o iguales a 10° en el FAF

- *Viraje a una altitud/altura dada (viraje TA/H).* Para el viraje TA/H, se empleará el método de espiral de viento/círculos limitadores.

- *Viraje de radio constante al punto de referencia (RF).* Los virajes RF se aplican únicamente a los procedimientos RNP y se construyen con un método diferente del que se aplica para los virajes con fly by, de los fly over, o TA/H.

### **3.4 Método de viraje de radio constante al punto de referencia (RF)**

Éste tipo de viraje es el aplicable para el procedimiento debido a que es un procedimiento RNP.

Un viraje de radio constante al punto de referencia es una trayectoria circular de radio constante (Véase figura 33) determinada por:

- 
- a) punto tangencial al fin del viraje;
  - b) centro del viraje;
  - c) radio del viraje;
  - d) valor RNP; y
  - e) valor intermedio (BV).

El valor del radio del viraje se determina de la siguiente manera:

- a) para la fase en ruta del vuelo:
  - 1. Radio de un viraje en ruta controlado (Radio Fijo) para RNP 1 es igual a:
    - i. 28 km (15 NM) en y por debajo del FL 190; y
    - ii. 41, 7 km (22,5 NM) en y por encima del FL 200;
- b) Para las fases de llegada, aproximación y salida del vuelo:
  - 2. El radio de un viraje de radio constante al punto de referencia (viraje RF/ Viraje de radio constante al punto de referencia) es igual a:

$$r = (V+V_w)^2 / 127094 \cdot \tan \Theta \quad r \text{ en km; } V \text{ y } V_w \text{ en km/h} \dots\dots\dots(6)$$

$$r = (V+V_w)^2 / 68626 \cdot \tan \Theta \quad r \text{ en NM; } V \text{ y } V_w \text{ en kt} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

V es la velocidad aerodinámica verdadera máxima de la aeronave

V<sub>w</sub> es la velocidad máxima del viento

Θ = es el ángulo de inclinación lateral máximo para la fase de vuelo (que se supone es igual al ángulo de inclinación lateral medio alcanzado, más 5°).

Protección del límite exterior del viraje

*Área primaria.* El borde exterior del área primaria lo determina el segmento de un círculo:

- a) con centro en el punto O (centro del viraje);
- b) que tiene un radio



---

$$r + [ATT + (BV/2)]/\cos 45^\circ \dots\dots\dots (8)$$

- c) y, que está delimitado por los bordes de los tramos en línea recta adyacentes (puntos J y M en la figura 34).

*Área secundaria.* El borde exterior del área secundaria lo determina un segmento de un círculo desplazado a una distancia de  $ATT + V/2 \dots\dots\dots (9)$  desde el borde exterior del área primaria y paralelo al mismo.

### **Protección del límite interior del viraje**

*Área primaria.* El borde interior del área primaria lo determina el segmento de un círculo:

- a) con centro en el punto I a una distancia de

$$[ATT + (BV/2)/\cos 45^\circ] \dots\dots\dots (10)$$

Desde el centro del viraje (punto O);

- b) que tiene un radio  $r$ ; y  
c) que está delimitado por los bordes de los tramos en línea recta adyacentes (puntos P y R en la figura 34).

*Área secundaria.* El borde interior del área secundaria lo determina un segmento de un círculo desplazado a una distancia de  $ATT + BV/2$  desde el borde interior del área primaria y paralelo al mismo

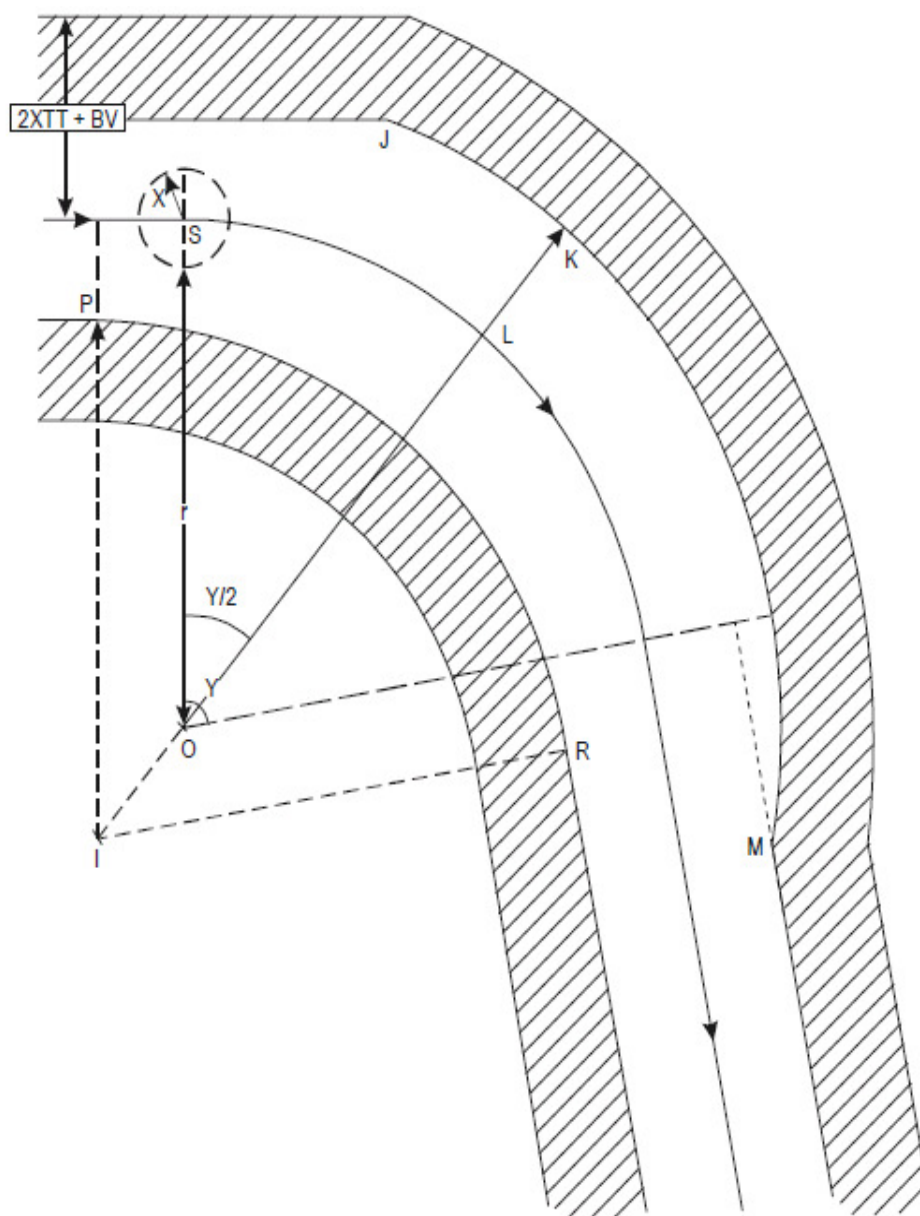


Figura 34.- Viraje de radio fijo. Fuente documento 8168 de OACI

### Velocidad del viento

En el documento de OACI 8168 PANS OPS vol. II capítulo I sección 4 apartado 3 del apéndice A del capítulo 3 pág. 158 explica la velocidad del viento, el cual dice lo siguiente.

---

Se utilizará un viento omnidireccional. La velocidad del viento (w) en km/h (kt) se determina mediante la fórmula:

$$w = (12 h + 87) \text{ km/h, donde } h \text{ está expresada en miles de metros} \dots\dots\dots (11)$$

$$w = (2 h + 47) \text{ kt, donde } h \text{ está expresada en miles de pies.} \dots\dots\dots (12)$$

No obstante, para la parte en línea recta del tramo a estima, se tendrá en cuenta un viento omnidireccional de 56 km/h (30 kt), lo que supone que el piloto conoce la velocidad del viento en el aeródromo y ha valorado el viento como no mayor que 56 km/h (30 kt) en el tramo anterior, cuya longitud estará especificada en las cartas de aproximación.

### 3.5 Criterios FAA

El volumen de Procedimientos Terminales por Instrumentos (Terminal Instrument Procedures, TERPS) contiene los criterios de la Administración Federal de Aviación (Federal Aviation Administration, FAA) de Estados Unidos para la construcción de los segmentos de aproximación inicial, intermedia y final.

A continuación se mencionan los criterios y términos aplicables para construcción del segmento final para un procedimiento de aproximación por instrumentos con un guía positiva de pendiente de planeo. La aplicación de estos criterios de aproximación, están basados en los segmentos de aproximación por instrumentos en los Sistemas de Aumentación de Extensión de Área (Wide Area Augmentation System, WAAS), los Sistemas de Aumentación de Área Local (Local Augmentation Area System, LAAS), la Navegación Vertical Barométrica (Barometric Vertical Navigation, baro-VNAV) que proporciona una navegación vertical estabilizada, todo esto debido a que son radioayudas con las capacidades de mínimos de aterrizaje necesarios para aproximaciones RNP.

**Definiciones.-** A continuación se presentan términos necesarios para la construcción del procedimiento mediante criterios FAA:

Línea Base de la Superficie de Aproximación. (ASBL)

---

Es una línea horizontal tangente a la superficie de la tierra al punto del Umbral de Pista (RunWay Threshold, RWT), alineada con el curso de aproximación final (Véase figura 35).

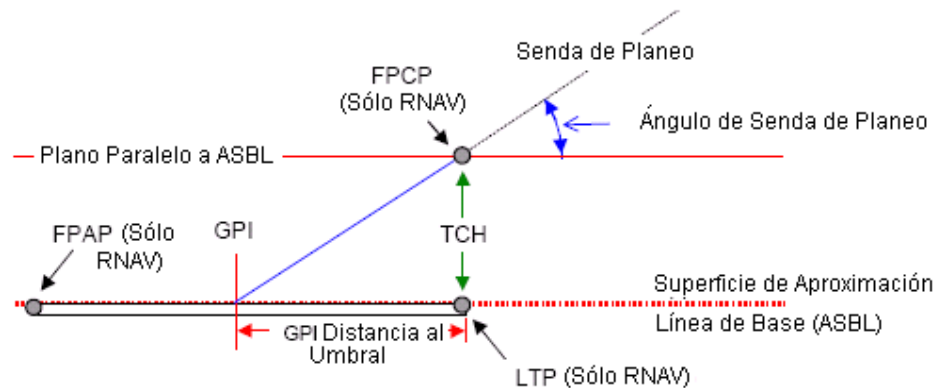


Figura 35.- Términos de Precisión. Fuente TERPS. Doc. 3260

### *Altitud Barométrica*

Altura sobre el nivel medio del mar (MSL) ortométrica a la superficie geoidal, basada en la presión atmosférica medida por un barómetro aneroide. Éste es el método más común de determinación de la altitud de aeronaves.

### *Navegación Vertical Barométrica (Baro VNAV)*

Guía vertical positiva con relación a una senda de planeo calculada en base a la diferencia entre dos alturas determinadas por puntos o fijos.

### *Altitud de Decisión ( Decision Altitude ,DA)*

Es la altura específica con referencia al nivel medio del mar en una aproximación con guía vertical en la que una aproximación frustrada debe iniciarse si la referencia visual requerida para continuar con la aproximación no ha sido establecida.

---

### *Fin de la Pista de Salida (Departure End of Runway, DER)*

Es el final de la pista que es opuesta al umbral de aterrizaje. A veces es al que se refiere como la parada final de la pista.

### *Punto Ficticio del Umbral (FTP)*

El equivalente del punto del umbral de aterrizaje (Landing Threshold Point, LTP), cuando el curso de aproximación final es compensado a partir de la línea central de pista. Es la intersección del curso final y una línea perpendicular a ésta que pasa a través del LTP, la elevación del FTP es la misma que la de la LTP como se puede observar en la figura 36.

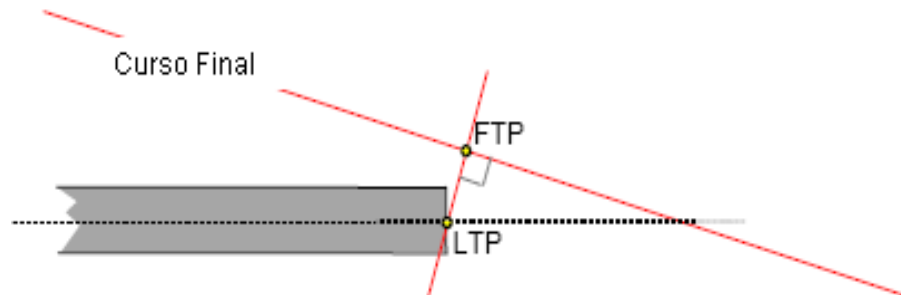


Figura 36.-Punto ficticio del umbral. Fuente TERPS. Doc. 3260

### *Punto de Alineación de trayectoria de Vuelo (Flight Path Alignment Point, FPAP)*

Es un punto tridimensional definido en coordenadas (Latitud y longitud) WGS 84, elevación respecto al Nivel Medio del Mar (Medium Sea Level, MSL), como se muestra en la figura 37; El FPAP es usado conjuntamente con el LTP y el centro geométrico del elipsoide WGS-84 para definir el plano vertical del curso de aproximación final. El curso de aproximación puede ser compensado hasta 3° al lado izquierdo o derecho del FPAP establecido a lo largo de la línea central con arco centrado en LTP.



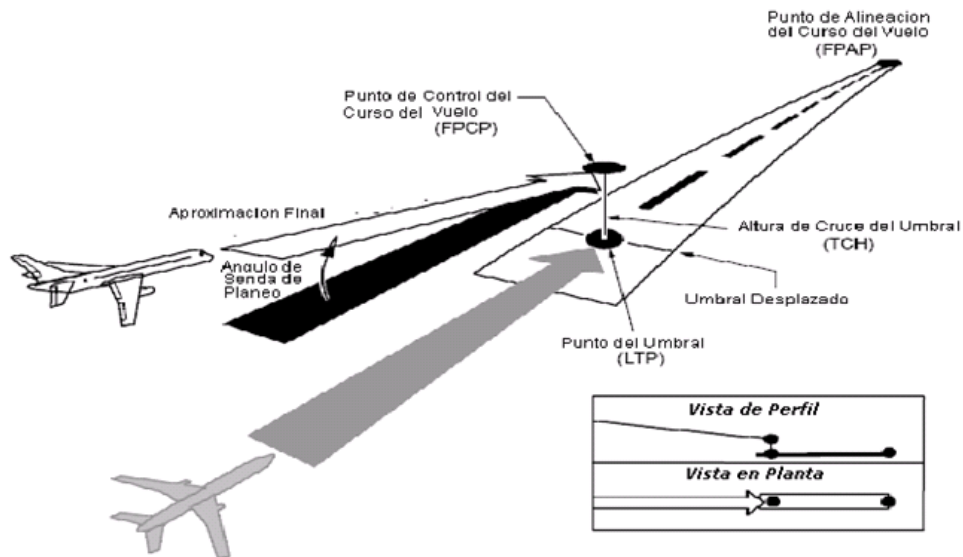


Figura 37.- Puntos de trayectoria de aproximación de precisión.  
Fuente TERPS. Doc. 3260

#### *Punto de Control de Trayectoria de Vuelo (Flight Path Control Point, FPCP)*

Es un punto imaginario arriba de el LTP desde el cual la senda de planeo emana matemáticamente. Se encuentra en un plano vertical que contiene el LTP y el FPAP. El FPCP tiene las mismas coordenadas geográficas que el LTP. La elevación del FPCP es la suma de la elevación LTP y el valor del TCH. (Véase la figura 36).

#### *Altura Geoidal (Geoid Height, GH)*

Son alturas ortométricas a la superficie del nivel medio del mar, relativas al elipsoide WGS-84. Es un valor positivo cuando el geoide se encuentra por encima del elipsoide WGS-84 y negativo cuando esté debajo del mismo. El valor es usado para convertir una elevación MSL a una altura elipsoidal o geodésica.

---

### *Ángulo de la Senda de Planeo (Glide Path Angle, GPA)*

El desplazamiento angular de la senda de planeo desde un plano horizontal que pasa a través del LTP/FTP. Éste ángulo es publicado en las cartas de aproximación. (Por Ej. 3.00 °, 3.20 °, etc.).

### *Punto de Intercepción en Tierra (Ground Point of Intercept, GPI)*

Es un punto en el plano vertical que contiene la pendiente de planeo donde la trayectoria vertical intercepta el ASBL. El GPI se expresa como una distancia desde el RWT. (Véase la figura 38)

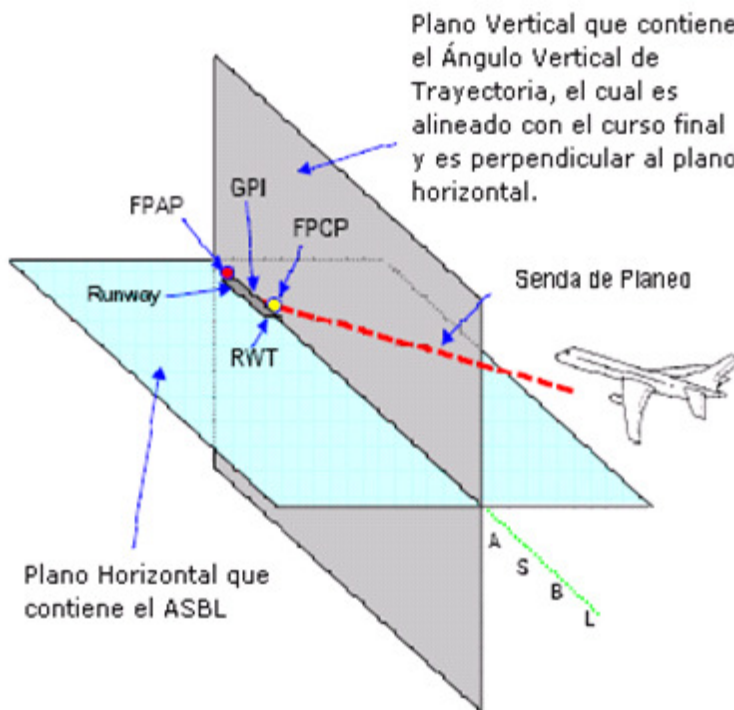


Figura 38.- Ruta de curso 3D. Fuente TERPS. Doc. 3260

### *Altura por encima del elipsoide (HAE, Height Above Ellipsoid).*

Es la altura expresada en pies sobre el elipsoide en WGS-84. Este valor difiere de una altura expresada en pies sobre el geoide (MSL fundamentalmente) debido a que las superficies de referencia (WGS-84 y el Elipsoide del Geoide) no coinciden. Para convertir una altura MSL en una altura HAE, algebraicamente se

---

le agrega el valor de altura del geoide al valor de la MSL. Las elevaciones HAE no se utilizan en la construcción de procedimientos por instrumentos, pero están documentados en suspensión en el aire para incluirse en las bases de datos del receptor.

**EJEMPLO:**

Dado: Koun pista RWY 35 ID

Latitud 35 14 31,65 N

Longitud 97 28 22,84 W

Elevación 1177,00 MSL

Altura Geoide (GH) -87,29 Pies (-26,606 m)

$HAE = MSL + GH$

$HAE = 1177 + (-87,29)$

$HAE = 1.089,71$

*Altura Sobre la Zona de Toque (HAT, Height Above Touchdown)*

El HAT es la altura de la DA por encima de la elevación de la zona de toque (TDZE, Touch Down Zone Elevation).

*Aproximación – Interna Zona Libre de Obstáculos (OFZ, Obstacle Free Zone)*

El espacio aéreo situado sobre una superficie centrada en la ampliación de la pista central. Ésto se aplica a las pistas con una aproximación con sistema de iluminación.

*Transición Interna de OFZ*

El espacio aéreo está localizado sobre las superficies situadas en los bordes externos de la pista OFZ y la aproximación interna OFZ. Ésto aplica a las pistas con una visibilidad de aproximación bajo en mínimos de  $\frac{3}{4}$  de milla estatuta.

*Punto de aterrizaje del Umbral (LTP, Landing Threshold Point)*

El LTP es un punto 3D en la intersección de la pista central y la pista del umbral. Se define por coordenadas WGS-84/NAD-83 latitud, longitud, elevación MSL, y la altura del geoide. (Véase figura 34) Se utiliza en conjunción con el FPAP y el

---

centro geométrico del elipsoide en coordenadas WGS-84 para definir el plano vertical del curso RNAV de aproximación final. LTP se aplica a la elevación de FTP cuando la aproximación final del curso está fuera de la pista central.

*Navegación Lateral (LNAV, Lateral Navigation) (sólo RNAV)*

La navegación acimutal sin la guía vertical positiva. Éste tipo de navegación es asociada con los procedimientos de aproximación de no precisión.

*Área Libre de Objetos (OFA)*

Es un área sobre el terreno centrada a una pista, rodaje o línea central de rodaje con el objeto de mejorar la seguridad de operación de las aeronaves por tener una zona libre de objetos, a excepción de los objetos que necesitan ser ubicados en el OFA para la navegación aérea o propósitos de maniobra en tierra de las aeronaves.

*Superficie Libre de Obstáculos (Obstacle Clearance Surface, OCS)*

Es una evaluación de obstáculos de una superficie inclinada asociada con la senda de planeo. La separación entre esta superficie y el ángulo de senda de planeo a cualquier distancia desde el GPI define el mínimo requerido de limpieza de obstrucción en ese punto.

*Guía de Orientación Positiva Vertical/Horizontal*

Senda de planeo o guía de curso basada en instrumentación, indicando magnitud y dirección de desviación desde la senda de planeo prescrita, o curso sobre el cual el libramiento de obstrucciones está basado.

*Aproximación de Precisión (Precision Approach, PA)*

Una aproximación basada en un sistema de navegación que proporciona un curso positivo y una guía de orientación de trayectoria vertical conformada por ILS ó un sistema estándar de performance MLS contenido en el anexo 10 de OACI "Telecomunicaciones Aeronáuticas". Para conseguir los mas bajos mínimos, la infraestructura terrestre debe cumplir con los requerimientos contenidos en el documento TERPS volumen 3, AC 150/5300-13.

---

*Aproximación Final de Precisión Fijo (PFAF). Aplicable a todos los procedimientos de aproximación de la PA.*

Un punto 2D situado en el curso de aproximación final a una distancia de LTP / FTP donde el GPA intercepta la altitud del segmento intermedio (altitud de la senda de planeo a interceptar). El PFAF marca el extremo exterior de la PA del segmento final.

*Seudo Punto de Intercepción Terrestre (PGPI).*

Localización ficticia a través del GDI cuando el curso de aproximación esta fuera. La elevación del PGPI es la misma que la del ASBL (Véase figura 39)

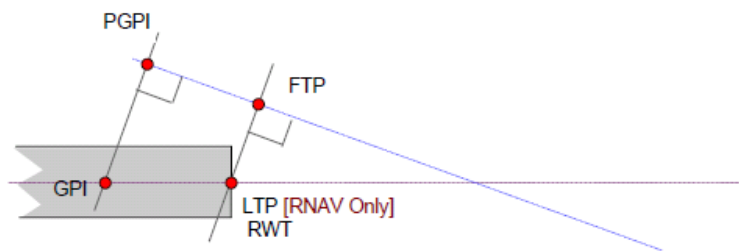


Figura 39.- Localización del PGPI Y AFTP. Fuente TERPS. Doc. 3260

*Altura del Radio altímetro (RA)*

Una indicación de la distancia vertical entre un punto situado en la senda de planeo nominal del DA y el terreno directamente debajo de este punto.

*Navegación de Rendimiento Requerido (RNP)*

Una declaración de Navegación de Rendimiento Requerido de precisión necesaria para la operación dentro de un espacio aéreo definido. Tenga en cuenta que existen necesidades adicionales, como son tolerancia, y se aplica a un tipo particular, de RNP.



---

### *Umbral de Pista (RWT, RunWay Threshold)*

La marca del RWT es el comienzo de la parte utilizable de la pista para el aterrizaje (Véase figura 40). Se extiende al largo y ancho de la pista. Las coordenadas geográficas del RWT identifican el punto central de la pista que cruza el umbral RWT.



Figura 40.- Umbral. Fuente TERPS. Doc. 3260

### *Punto de Referencia Tridimensional (Waypoint)*

Es un punto de referencia definido en coordenadas de latitud y longitud WGS-84, Elevación MSL y GH.

### *Elevación de la zona de Toque (Touch Down Zone Elevation, TDZE)*

Es la elevación más alta en los primeros 3,000 pies de la superficie de aterrizaje.

### *Punto de recorrido (Waypoint)*

Es un punto de referencia definido en coordenadas de latitud y longitud WGS-84 solamente.

### *Sistema de Aumentación de Extensión de Área (Wide Area Augmentation System)*

Es un método de navegación basado en el GPS. Estaciones de corrección terrestres transmiten correcciones de posición que mejoran precisión del sistema y añade características VNAV.

---

### 3.6 Áreas de protección

En el volumen III el apartado 2.4 del documento TERPS (Véase tabla 10) se definen las áreas de protección lateral que es lo equivalente a la semianchura que maneja OACI:

| Valores RNP            |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Segmento               | Protección lateral (MN) |
| En ruta                | 2.0                     |
| Inicial                | 1.0                     |
| Intermedio             | 0.5                     |
| Final                  | 0.3                     |
| LNAV                   | 0.3                     |
| Aproximación Frustrada | 1.0                     |

Tabla 10.- Áreas de protección lateral FAA. Fuente TERPS. Doc. 3260

En el volumen I capítulo II del documento TERPS se mencionan los gradientes dependiendo del segmento analizado (Véase tabla 11).

En la sección 232 dice que el gradiente óptimo de descenso es de 250 ft / MN y el gradiente máximo permitido es de 500ft/MN en el segmento inicial.

Mientras que en la sección 242 menciona que en el segmento intermedio el gradiente de descenso óptimo es de 150ft/MN, pero el máximo permisible es de 318ft/MN.

Finalmente en la sección 252 afirma que para el segmento final el gradiente optimo es de 318 ft /MN y el máximo es de 400ft/MN.

---

---

| GRADIENTES DE DESCENSO |                  |                             |
|------------------------|------------------|-----------------------------|
| Segmento               | Gradiente óptimo | Gradiente máximo permisible |
| INICIAL                | 250 ft / MN      | 500ft/MN                    |
| INTERMEDIO             | 150ft/MN         | 318ft/MN                    |
| FINAL                  | 318 ft /MN       | 400ft/MN                    |

Tabla 11.- Gradientes de descenso FAA. Fuente TERPS. Doc. 3260

En el manual TERPS capitulo II describe el obstáculo limitante y los valores del Libramiento de Obstáculo Requerido / Required Obstacle Clearance (ROC) aplicables para cada segmento como se muestra en la tabla 12

| ROC        |         |
|------------|---------|
| INICIAL    | 1000 ft |
| INTERMEDIO | 500 ft  |
| FINAL      | 350 ft  |

Tabla 12.-ROC. Fuente TERPS. Doc. 3260

## **CAPÍTULO IV**



## **METODOLOGÍA UTILIZADA**

---

## CAPITULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA

Después de hacer una evaluación de algunas metodologías para el análisis de factibilidad técnica de Procedimientos de Navegación Basada en Rendimiento (PBN) para ser implementados en la cabecera 35 del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila, se concluye que se utiliza nuestra propia metodología que incluye aspectos que se adaptan a las necesidades de este proyecto.

Dicha metodología consta de seis etapas las cuales cada una de ellas contiene y cumple con los pasos a realizar.

A continuación se muestran en la figura 41 las seis etapas que conforman la metodología con una serie de preguntas las cuales guían a la interpretación de éstas.

Posteriormente se presenta la explicación detallada de cada una de las etapas que contiene la metodología de investigación a utilizar en el proyecto.

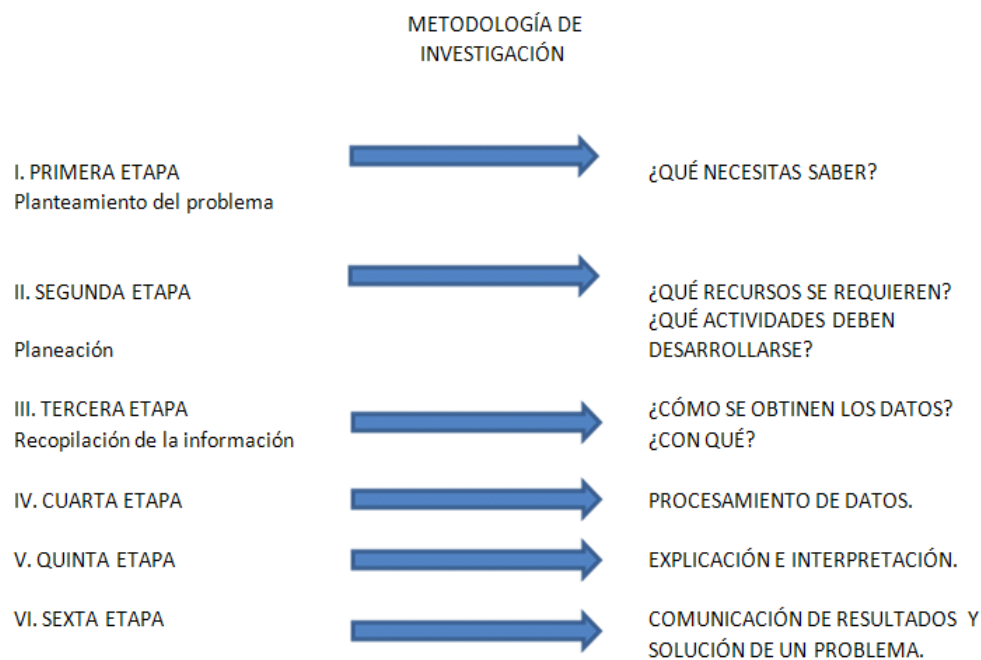


Figura 41.-Metodología de investigación

---

## 4.1 Descripción de pasos de la metodología utilizada

### I.- PRIMERA ETAPA: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta etapa se define la problemática a resolver, sus características y el método de solución, para esto se necesita conocer los datos técnicos del aeropuerto de Saltillo, además de conocer características socioeconómicas y culturales de esta entidad para poder hacer bien una evaluación y a su vez tratar de definir cuáles serán los beneficios y/o desventajas que se producen como una consecuencia de la aplicación de este sistema de navegación como se muestra en el capítulo 1 Planteamiento del problema.

### II.- SEGUNDA ETAPA: PLANEACIÓN

En esta etapa se realiza la planeación del análisis y aplicación de ambos criterios, también saber cómo solucionar el problema y la organización para su realización. Para esto se desarrollo un diagrama de Gantt, en el cual se explica que realizará cada uno de los integrantes del equipo y las fechas en las cuales se tiene planeado concluirlos (ver figura en el apéndice pág. 97).

### III.- TERCERA ETAPA: RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y MATERIAL

En esta fase se recopila toda la información necesaria para la investigación que tuviera que ver con el tema. Para esto se utilizan distintos manuales como son el PANS-OPS y PBN de la OACI y TERPS de FAA, así como la PIA de México de igual manera el material que utilizamos tales como cartas topográficas escala 1:50000, juego de geometría de precisión y demás papelería, esto se observa en el capítulo II “Marco conceptual”.

### IV.- CUARTA ETAPA: PROCESAMIENTO DE DATOS

De toda la información recopilada se selecciono la información necesaria y concisa para la investigación esto se puede observar en el capítulo III “Marco teórico”, así como la interpretación de los datos obtenidos, es decir, se tomara la información más importante o primaria para poder realizar una extracción lo más completa posible y así desarrollar el proyecto de manera más sencilla.



---

#### V.-QUINTA ETAPA: EXPLICACIÓN E INTERPRETACIÓN

En esta etapa se realizan los cálculos y trazos del procedimiento. Todo esto en base a los datos recopilados con anterioridad de los manuales y/o documentos correspondientes para su realización; esta etapa se encuentra en el capítulo V “Diseño conceptual”.

#### VI.- SEXTA ETAPA: COMUNICACIÓN DE RESULTADOS Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Esta etapa final es la conclusión de nuestro proyecto. Aquí se define cuál es el procedimiento más factible para la aplicación de PBN ya sea por procedimientos OACI, FAA o una combinación de ambos procedimientos, o ya sea el caso contrario será que definitivamente ninguno de los dos procedimientos es factible para su aplicación.

# CAPÍTULO V



# DISEÑO CONCEPTUAL

## CAPÍTULO V DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez establecidos los criterios a considerar durante el diseño del procedimiento de aproximación se realiza la aplicación de éstos para cumplir con el objetivo de esta investigación y poder realizar la comparación final de ambos procedimientos y así determinar cual es el que mejor se adapta al aeropuerto de Saltillo .

Como primer paso es necesario localizar en las cartas topográficas la ubicación del VOR, coordenadas de los umbrales (Véase figura 43) y el radial que mejor se adapte al procedimiento de aproximación tomando en cuenta los obstáculos orográficos que se pueden observar a simple vista sobre éstas cartas. En éste caso se selecciona el radial 190° con dirección a Concepción del Oro (CDR) (Véase figura 42) y que corresponde a la aerovía UJ11W/V39, tomando en cuenta que el radial 190° expresa un rumbo magnético y que en un procedimiento se utilizan rumbos verdaderos, es necesario obtener el rumbo verdadero que existe entre el VOR SLW (Saltillo) y el VOR CDR (Concepción del Oro), para ello se emplean las fórmulas del círculo máximo (fórmulas (1) y (2)) que utiliza las coordenadas de ambas estaciones VOR. (Véase tabla 13)

| COORDENADAS DE ESTACIONES VOR           | APLICACIÓN DE FÓRMULAS                                                                                                                                      | RESULTADOS     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| SLW                                     | $d = ArcCos \left[ \frac{Sen25^{\circ}32'46.01'' Sen24^{\circ}09'35'' + Cos25^{\circ}32'46.01'' Cos24^{\circ}09'35'' Cos(-0^{\circ}33'27.68'')}{1} \right]$ | 1.47585374     |
| 25° 32' 46.01'' N<br>100° 55' 47.32'' W | Distancia en MN = 1.47585374 (60)                                                                                                                           | 88.551291 MN   |
| CDR                                     | $R_i = ArcSen \left[ \frac{Sen - 0^{\circ}33'27.68'' Cos24^{\circ}09'35''}{Sen(1.47585374)} \right]$                                                        | 199°56'08.68'' |
| 24° 09' 35'' N<br>101° 29' 15'' W       |                                                                                                                                                             |                |

Tabla 13.-Obtención de rumbo verdadero empleando la fórmula del círculo máximo.  
Fuente AIP - MEX.

Finalmente como resultado se obtiene que el rumbo verdadero de Saltillo a Concepción del Oro es de  $199^{\circ} 56' 08.68''$  y al trazar una línea con éste ángulo es marcada la aerovía sobre la carta pues es a ésta sobre la cual la aeronave deberá de estar incorporada para poder realizar la aproximación al aeropuerto de Saltillo

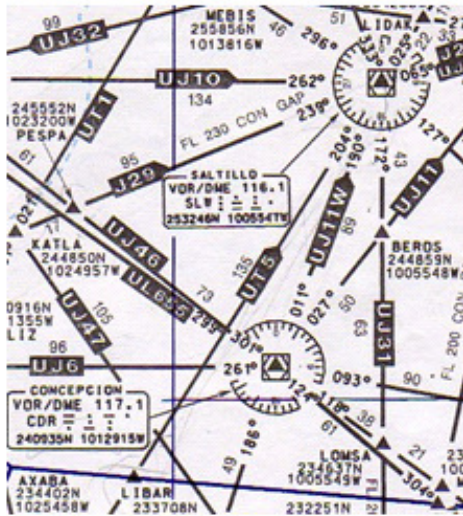


Figura 42.-Radiales.  
Fuente AIP-MEX

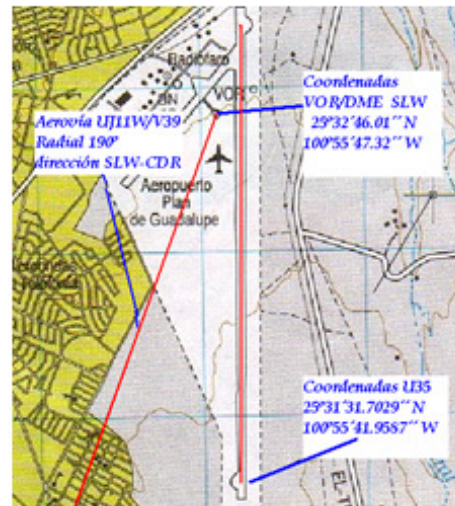


Figura 43.-Ubicación de VOR y umbral.  
Fuente AIP-MEX

Lo siguiente a realizar es una evaluación de obstáculos en la trayectoria tentativa de aproximación, señalando los más altos y las curvas de nivel más cercanas a la posible trayectoria que se desarrollará posteriormente.

Es necesario que se establezcan las áreas de protección que se emplearán durante el procedimiento de aterrizaje, para ello se emplean los criterios mencionados en el marco teórico.

Para los criterios OACI tomando en cuenta la fórmula (4), los valores de la tabla 14 de valores intermedios y que para los segmentos inicial, intermedio y final el valor del RNP es 0.3 por lo tanto:

---

| SEMIANCHURA |                |            |
|-------------|----------------|------------|
| SEGMENTO    | CALCULO        | VALOR (MN) |
| INICIAL     | $1.5(0.3)+0.5$ | 0.95       |
| INTERMEDIO  | $1.5(0.3)+0.5$ | 0.95       |
| FINAL       | $1.5(0.3)+0.2$ | 0.65       |

Tabla 14.-Semianchura para áreas RNP

Mientras tanto para los procedimientos FAA se establecen áreas de protección lateral de forma directa en la tabla 10 de esta investigación.

En la tabla 15 se muestra una tabla comparativa de las anchuras totales de cada procedimiento.

| ANCHURA TOTAL DE SEGMENTOS DE APROXIMACIÓN |           |          |
|--------------------------------------------|-----------|----------|
| SEGMENTO                                   | OACI (MN) | FAA (MN) |
| INICIAL                                    | 1.9       | 2        |
| INTERMEDIO                                 | 1.9       | 1        |
| FINAL                                      | 1.3       | 0.6      |

Tabla 15.-Comparacion de semianchura para áreas RNP de OACI y FAA

El desarrollo del procedimiento se lleva en forma inversa a la trayectoria de aterrizaje, es decir se inicia desde el umbral de aterrizaje de pista, en éste caso el umbral 35 que se toma de referencia como el punto de toque de la aeronave al aterrizar. Y es en éste umbral en el que se coloca el primer fly over al que se designa como WP1 como se muestra en la figura 44

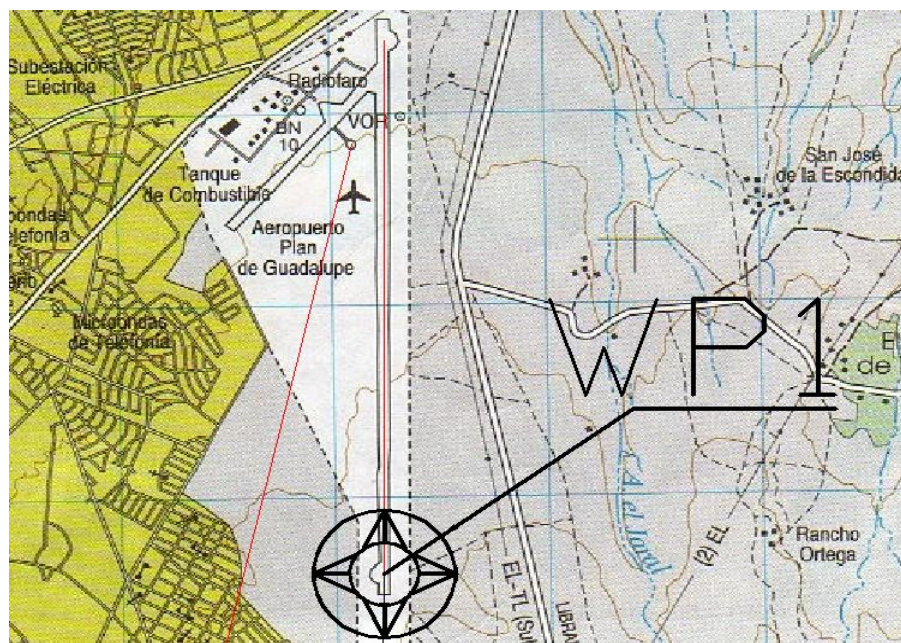


Figura 44.- WP1

Vale la pena mencionar que para efectos de este proyecto en cuanto a los criterios FAA, los valores de LTP y FPCP son iguales puesto que no se aplica compensación alguna de umbral recorrido y por tanto el TCH tiene un valor de cero.

A partir de este punto es que los procedimientos OACI y FAA serán explicados de forma separada, para al final mostrar una tabla comparativa entre los resultados de ambos diseños.

## 5.1 Diseño OACI

Sobre el umbral 35 se extiende una línea con dirección de pista y se aplica la semianchura de segmento final calculada (0.65 MN) a cada lado hasta 7.5 MN debido a que a ésta distancia no se presentan problemas por obstáculos y es una distancia prudente para que la aeronave realice un viraje proveniente de la aerovía UJ11W/V39 para alinearse con la pista; es en éste punto en dónde se localiza el segundo fly over que será designado como WP2 como se muestra en la figura 45.



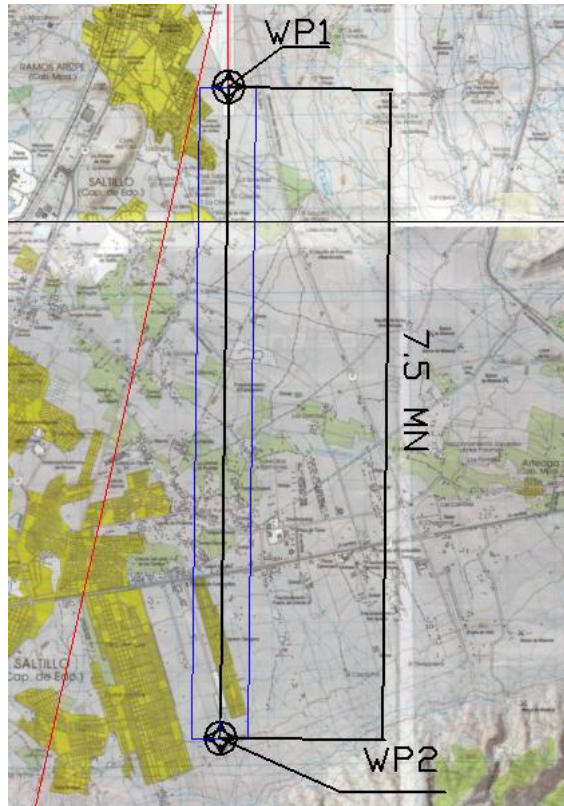


Figura 45.- WP2

Hasta el waypoint 2 utilizando la fórmula 3 y el gradiente correspondiente al segmento final de la tabla 9 se obtiene la altura que debe tener la aeronave al llegar a dicho punto.

$$h_{WP2} = 4778 \text{ ft} + \left[ (7.5 \text{ MN}) \left( \frac{316 \text{ ft}}{\text{MN}} \right) \right] = 7148 \text{ ft}$$

Tomado en cuenta que el libramiento mínimo de obstáculos (Minimum Obstacle Clearance, MOC) es de 500 ft por encima de las elevaciones dentro de las áreas de protección, se realiza un análisis de obstáculos el cual arroja por resultado que no se afecta el descenso en ninguna parte de la senda de planeo que va del punto de sobrevuelo 2 al 1 (Véase figura 46)

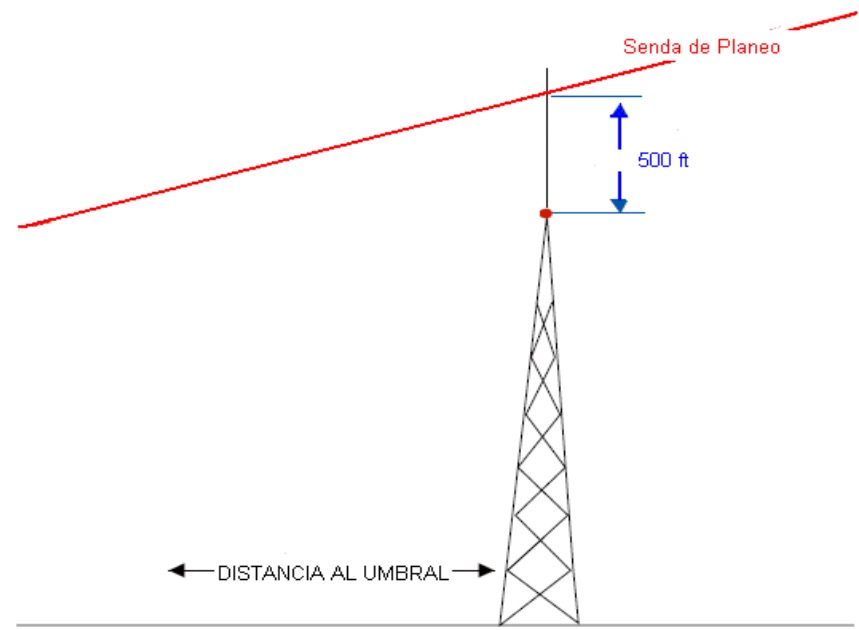


Figura 46.- MOC

Lo siguiente es establecer un viraje proveniente de la aerovía UJ11W/V39 con la mayor abertura permisible por obstáculos dicha abertura en éste caso es de  $55^\circ$ .

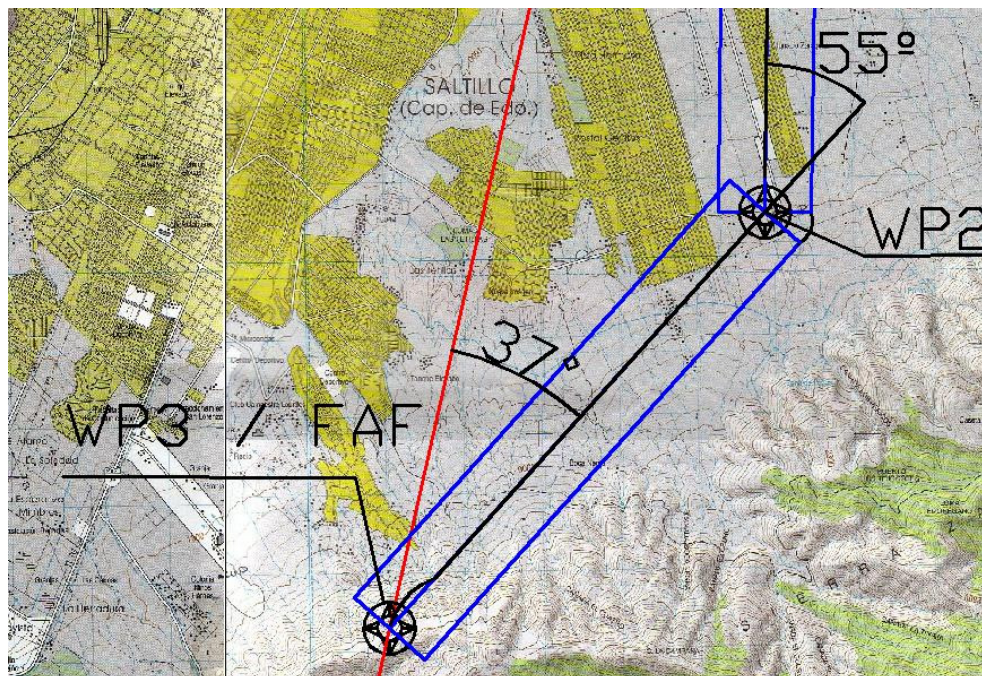


Figura 47.- WP3

---

Como se puede observar en la figura 47, el punto en que el viraje intercepta la aerovía marca el punto de sobrevuelo WP3 que a su vez determina el punto FAF y que marca también desde la aerovía UJ11W/V39 un viraje de 37°.

En éste punto es necesario establecer las distancias mínimas de estabilización en los virajes que se realizan para saber si la distancia disponible entre los puntos de sobrevuelo 1-2 (7.5 MN) y 3-2 (4.5 MN) es suficiente para poder realizar los virajes.

Por lo tanto, tomando en cuenta la tabla 8 y que la aeronave crítica del aeropuerto de Saltillo es el B-757 que corresponde a la categoría C con una velocidad indicada de 250 Km/hr en configuración de aproximación final, por lo que al aplicar la fórmula 5 de conversión de velocidad indicada a verdadera sustituyendo valores:

$$ISA = 15 - \left[ \left( \frac{4778}{1000} \right)^2 \right] = 5.444$$

Empleando la temperatura de referencia de aeródromo (24 °C) se determina que la variación es:

$$VAR = 24^{\circ}\text{C} - 5.444^{\circ}\text{C} = 18.556$$

Por lo que al aplicar la fórmula 5:

$$TAS = 250 \frac{Km}{hr} \left\{ \frac{171233[(288 + 18.556) - (0.00198)7148]^{0.5}}{[288 - 0.00198(7148)]^{2.628}} \right\} = 287.5726185 Km / hr$$

Una vez obtenida la velocidad verdadera se utiliza la tabla 7 para determinar la distancia mínima de estabilización un punto importante es que no se debe efectuar interpolación de valores, sino que se toman los valores mayores siguientes a los que se tienen como datos así, en la tabla se utiliza el valor de viraje de 50° y una velocidad de 300 Km / hr, lo que nos da una distancia mínima de estabilización de 4.2 MN lo que queda dentro de las 7.5 MN que tenemos de viraje y cumple éste requisito.

---

Para el viraje del fly over 3 al 2 es necesario calcular la altura en el punto 3 por lo que sustituyendo valores en la fórmula 3:

$$h_{WP3} = 7148 \text{ ft} + \left[ (4.5 \text{ MN}) \left( \frac{316 \text{ ft}}{\text{MN}} \right) \right] = 8570 \text{ ft}$$

.En éste segmento se realiza nuevamente una evaluación de obstáculos en la que como resultado se tiene que el obstáculo controlador mide 7130 ft a 4.04 MN de WP2 pero es librado sin dificultad puesto que sobre su ubicación la aeronave tiene una altitud de 8,425 ft.

Volviendo al tema de la distancia mínima de estabilización, para éste segmento es necesario recalcular la velocidad verdadera debido a que la altura es distinta por lo que sustituyendo valores en la fórmula 5:

$$TAS = 250 \frac{\text{Km}}{\text{hr}} \left\{ \frac{171233[(288 + 18.556) - (0.00198)(8570)]^{0.5}}{[288 - 0.00198(8570)]^{2.628}} \right\} = 274.5753069 \text{ Km / hr}$$

Puesto que el viraje en el fly over 3 es de 37 °, se utiliza el valor de 50° y la velocidad de 280 Km/hr sobre la tabla 7 con lo que obtenemos que la distancia mínima de estabilización es de 3.8 MN, lo que queda dentro de 4.5 que se tienen y por tanto cumple con el requisito.

Como ya se mencionó, el fly over 3 es el punto de ubicación de el FAF de éste procedimiento y a partir de éste punto es que a 3MN sobre la aerovía UJ11W/V39 es colocado el fly over que corresponde al segmento intermedio (IF) al que se designa como WP 4.

Para calcular la altitud a la que la aeronave atraviesa el IF se obtiene lo siguiente sustituyendo valores en la fórmula 3:

$$h_{WP4} = 8570 \text{ ft} + \left[ (3 \text{ MN}) \left( \frac{316 \text{ ft}}{\text{MN}} \right) \right] = 9518 \text{ ft}$$



De la misma forma, el fly over inicial (IAF) es colocado a 3 MN del IF sobre esta ruta y designado como WP5, cabe mencionar que después de la evaluación de obstáculos se determina que las elevaciones que quedan bajo el área de protección Intermedia y final son menores que en los segmentos anteriores por lo que su consideración es prescindible.

Finalmente para calcular la altitud que se tiene en el IAF se obtiene lo siguiente sustituyendo valores en la fórmula 3:

$$h_{WP5} = 9518 \text{ ft} + \left[ (3MN) \left( \frac{243 \text{ ft}}{MN} \right) \right] = 10247 \text{ ft}$$

Finalmente sólo falta aplicar las protecciones de viraje en los segmentos que lo requieren; así para el segmento de viraje en el WP2 como se muestra en la figura 48.

Para calcular la velocidad del viento utilizando la fórmula (11) :

$$V_w = 12(2.1787104 \text{ Km}) + 87 = 113.1445248 \text{ Km / hr}$$

Y por tanto empleando la fórmula (6):

$$r = \frac{2(435 \text{ Km / hr} + 113.1445248 \text{ Km / hr})}{127094(\tan(25 + 5)^\circ)} = 0.14940 \text{ Km}$$

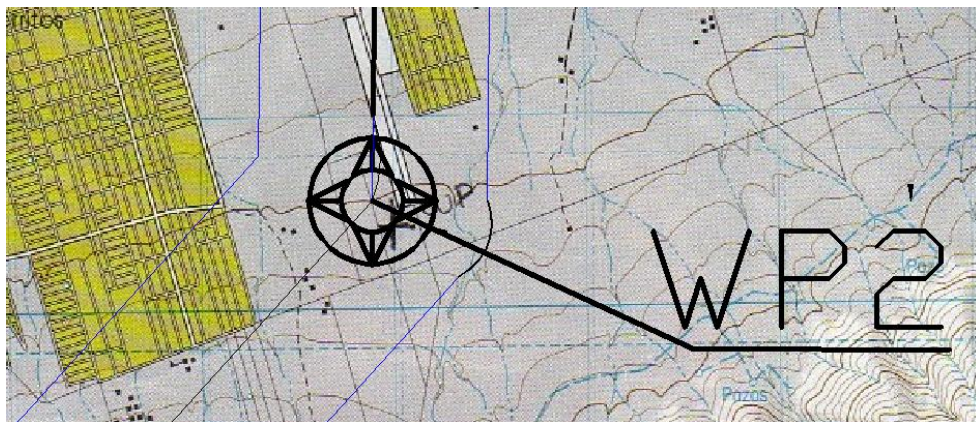


Figura 48.-Segmento de viraje en WP2





El procedimiento final bajo criterios OACI queda definido como se muestra en la figura 50.

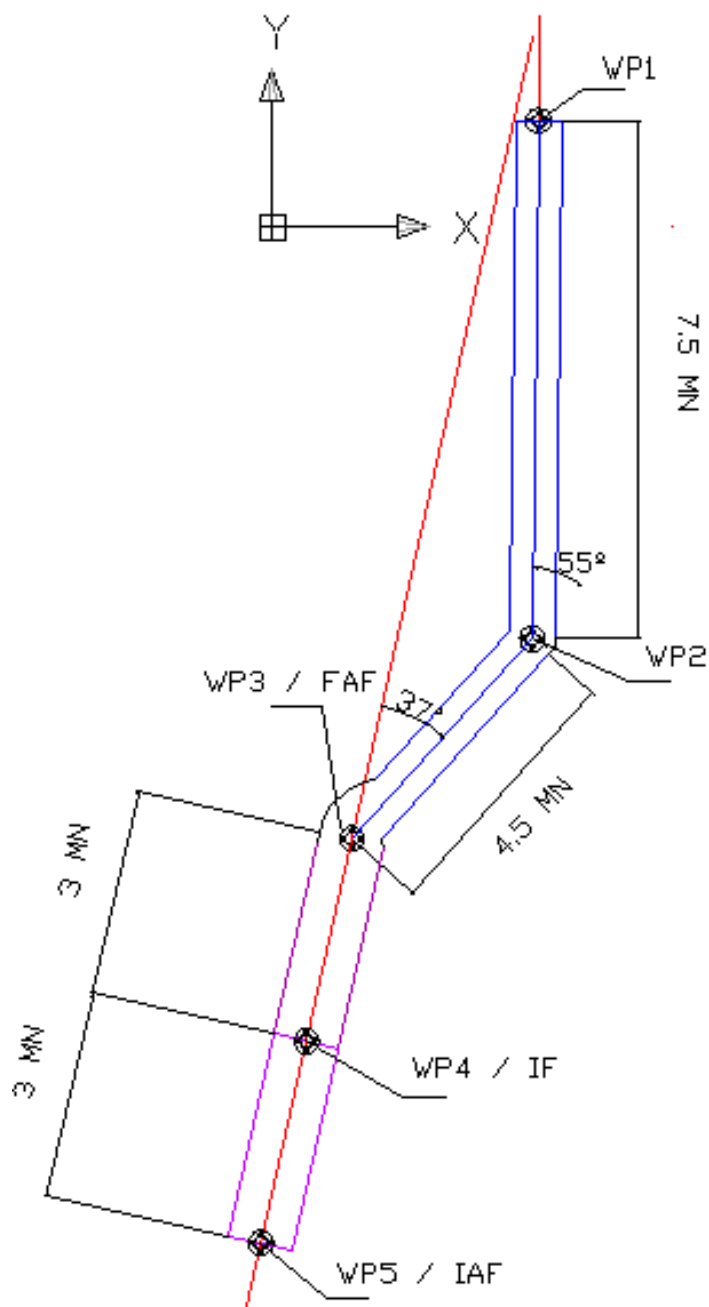


Figura 50.-Procedimiento PBN en el aeropuerto internacional "Plan de Guadalupe" en Saltillo, Coahuila por criterios OACI

---

## 5.2 Diseño FAA

Las áreas de protección por parte de FAA son menores respecto a OACI, por lo que el acomodo de los puntos de sobrevuelo (waipoints- fly over) a lo largo de la trayectoria varía. La descripción de éste procedimiento se explica a continuación:

Se aplica la semianchura de segmento final proporcionada en la tabla 10 que establece 0.3 MN a cada lado; sobre el umbral 35 se extiende una línea con dirección de pista hasta 6 MN debido a que a ésta distancia no se presentan problemas por obstáculos y es una distancia prudente para que la aeronave realice un viraje proveniente de la aerovía UJ11W/V39 para alinearse con la pista; es en éste punto en dónde se localiza el segundo fly over que será designado como WP2 y marca el punto de segmento final (FAF) en el que se marca el semiancho correspondiente al segmento intermedio (0.5 MN a cada lado tomando en cuenta la tabla 10). Lo siguiente es unir los extremos de ambas marcas de semianchuras para establecer el área de protección de segmento final. De ésta manera el segmento inicial queda como se muestra en la figura 51.

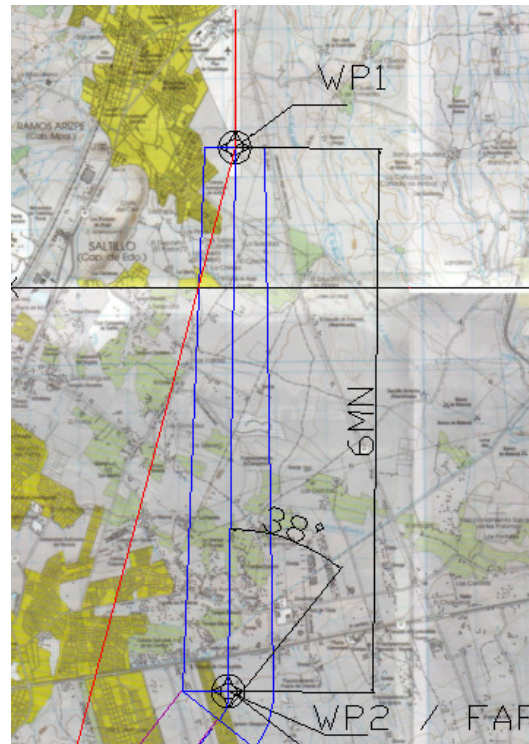


Figura 51.-Segmento inicial

---

Para realizar la evaluación de obstáculos es necesario obtener la altura alcanzada hasta el fly over WP2. Utilizando la fórmula (3) y el gradiente correspondiente al segmento final de la tabla 11 se obtiene dicha altura como se muestra a continuación.

$$h_{WP2} = 4778 \text{ ft} + \left[ (6MN) \left( \frac{400 \text{ ft}}{MN} \right) \right] = 7178 \text{ ft}$$

Tomado en cuenta que el libramiento requerido de obstáculos (Required minimum Obstacle Clearance, ROC) es de 350 ft por encima de las elevaciones dentro de el área de protección final, se obtiene por resultado que no se afecta el descenso en ninguna parte de la senda de planeo que va del punto de sobrevuelo 2 al 1.

Lo siguiente es establecer un viraje proveniente de la aerovía UJ11W/V39 con la mayor abertura permisible por obstáculos; dicha abertura en éste caso es de 38°.

Como se puede observar en la figura 52, el punto en que el viraje intercepta la aerovía marca el fly over WP3 a 5 MN del WP2 y marca también desde la aerovía UJ11W/V39 un viraje de 23°

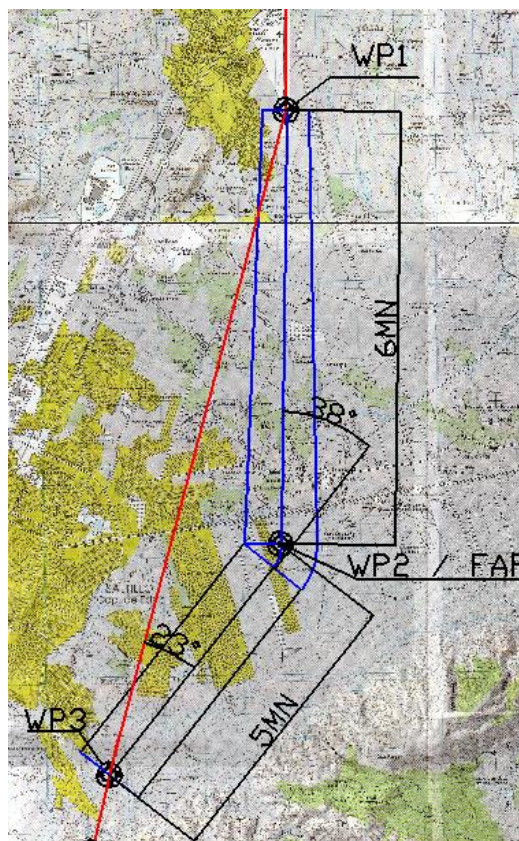


Figura 52.-WP1-WP2

FAA no establece distancias mínimas de estabilización, sólo indica la distancia mínima entre puntos de sobrevuelo en viraje, que para segmentos inicial, intermedio y final son de 4 MN.

Para la evaluación de obstáculos del fly over 3 al 2 es necesario calcular la altura en el punto 3 por lo que sustituyendo valores en la fórmula 3:

$$h_{WP3} = 7178 \text{ ft} + \left[ (5MN) \left( \frac{318 \text{ ft}}{MN} \right) \right] = 8768 \text{ ft}$$

La trayectoria que sigue la aeronave pasa por encima de la ciudad, es decir lejana a las elevaciones que presenta la orografía circundante además de que al realizar el análisis de obstáculos se obtiene que no afectan la senda de vuelo.

A partir del punto de sobrevuelo 3 se coloca el siguiente a media Milla Náutica de éste sobre la aerovía UJ11W/V39 y se designa como WP4 el cual indica el inicio del segmento intermedio (IF) como se muestra en la figura 53.

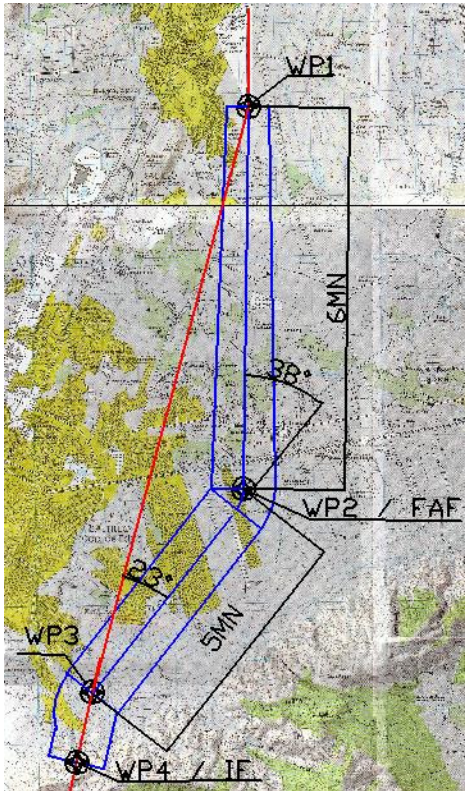


Figura 53.-Segmento intermedio

Para calcular la altitud a la que la aeronave atraviesa el IF se tiene que con la fórmula 3:

$$h_{WP4} = 8768 \text{ ft} + \left[ (0.5 \text{ MN}) \left( \frac{318 \text{ ft}}{\text{MN}} \right) \right] = 8927 \text{ ft}$$



De la misma forma, el fly over inicial (IAF) es colocado a 4 MN del IF sobre la aerovía UJ11W/V39 y designado como WP5 (Véase figura 54), se aplica la semianchura de área de 1MN a cada lado, cabe mencionar que después de la evaluación de obstáculos se determina que las elevaciones que quedan bajo el área de protección Intermedia y final son menores que en los segmentos anteriores por lo que su consideración es prescindible.

Finalmente para calcular la altitud que se tiene en el IAF se obtiene lo siguiente utilizando la fórmula 3:

$$h_{WP5} = 8927 \text{ ft} + \left[ (4 \text{ MN}) \left( \frac{300 \text{ ft}}{\text{MN}} \right) \right] = 10127 \text{ ft}$$

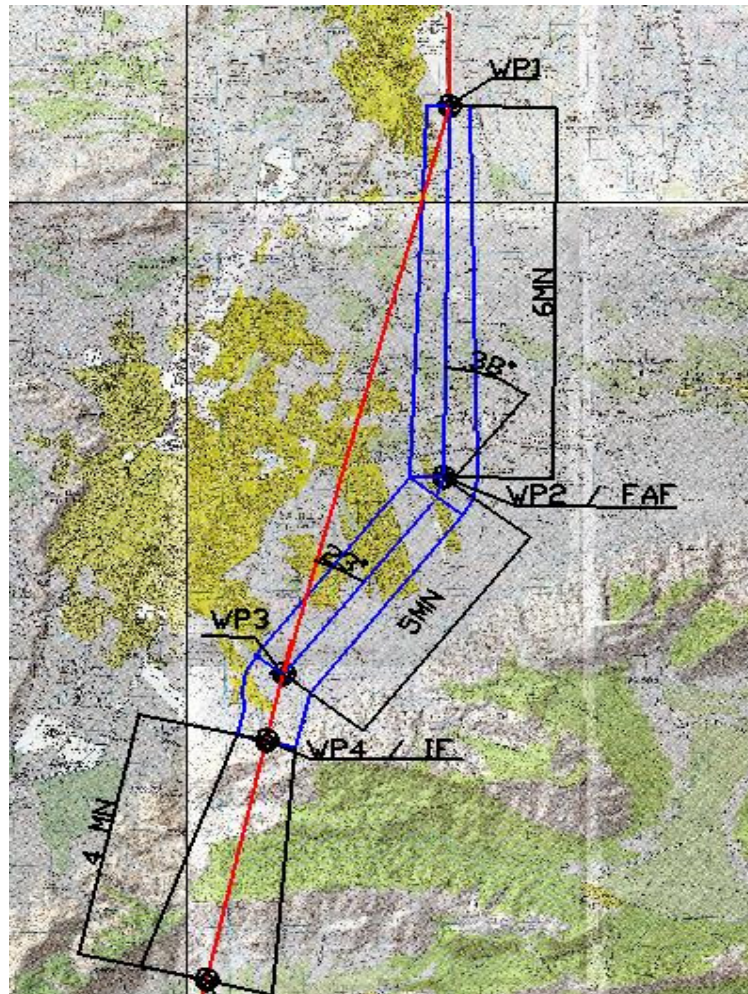


Figura 54.-WP5



---

Finalmente sólo falta aplicar las protecciones de viraje en los segmentos que lo requieren; así para el segmento de viraje en el WP2

Se utiliza una protección de viraje en la que la intersección de áreas marca el centro de círculos que se hacen coincidir con su similar quedando como se muestra en la figura 55.

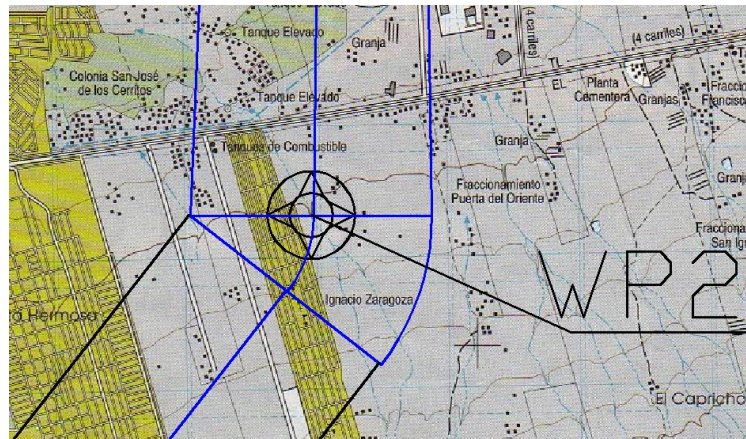


Figura 55.-Viraje WP2

Para el segmento de viraje en el WP3 se sigue con el mismo procedimiento: el cual queda como se observa en la figura 56:

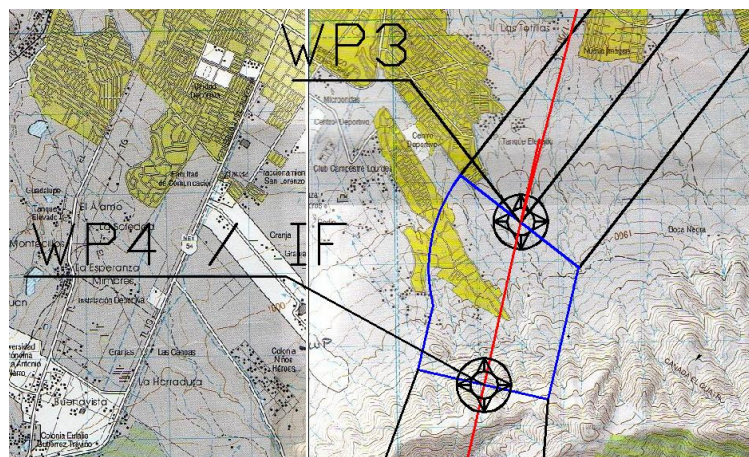


Figura 56.-Viraje WP3

El diseño final del procedimiento mediante criterios TERPS queda definido como se muestra en la figura 57.

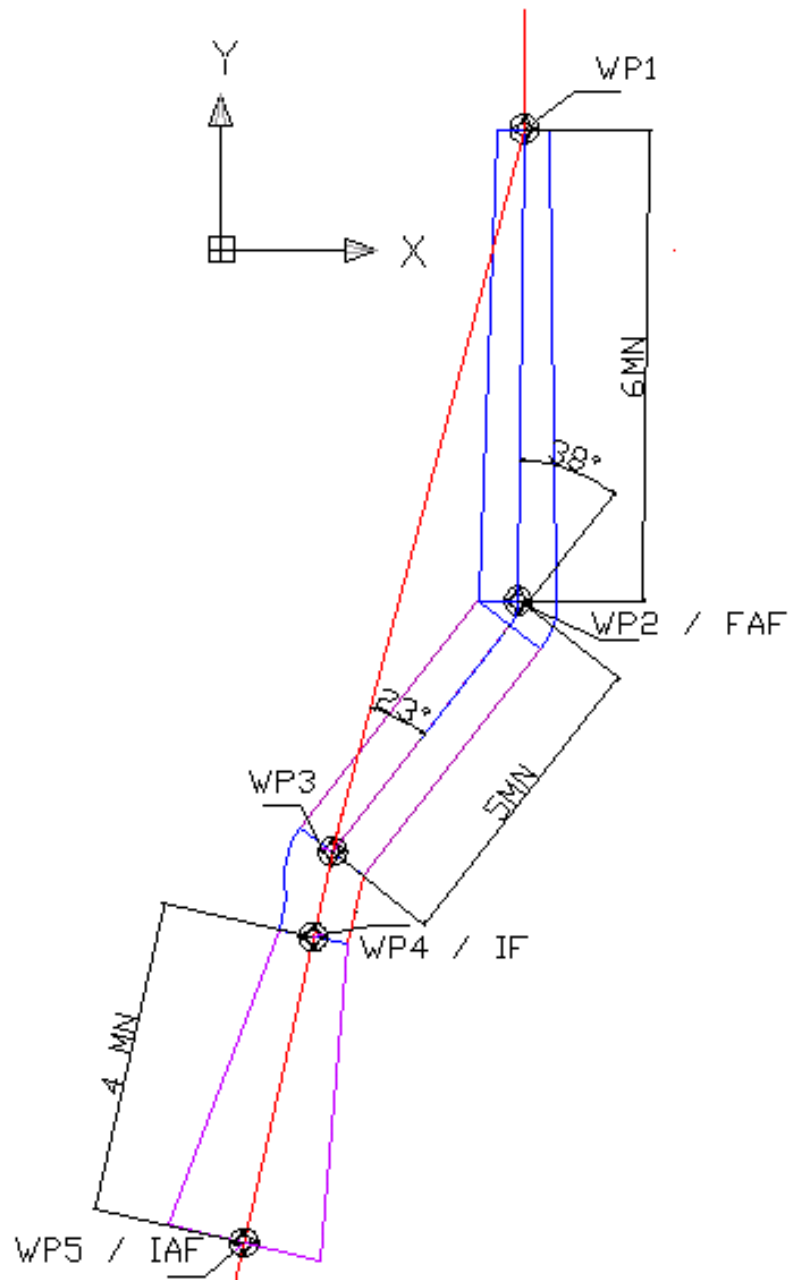


Figura 57.- Procedimiento PBN en el aeropuerto internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo, Coahuila por criterios TERPS.

### 5.3 Diseño final

Con la comparación de los diseños de los procedimientos anteriores y sus especificaciones se decide utilizar los criterios OACI quedando el diseño final como se muestra en la figura 58.

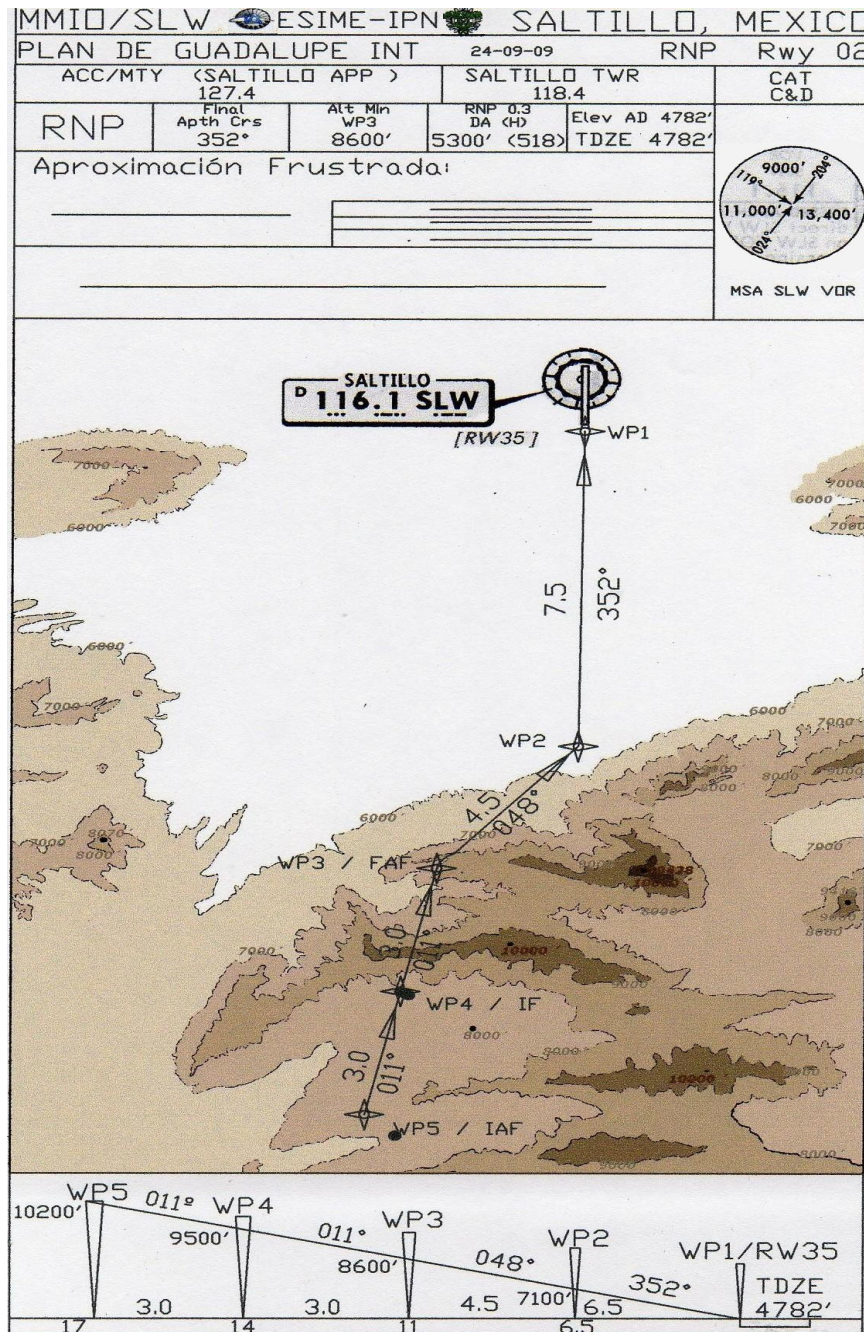


Figura 58.- Procedimiento PBN final en el aeropuerto internacional "Plan de Guadalupe" en Saltillo, Coahuila.





**CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

La conclusión de este trabajo es que, el método de Navegación Basado en Rendimientos (PBN) en su fase de aproximación presenta mayor factibilidad bajo criterios OACI para la cabecera número 35 del Aeropuerto Internacional “Plan de Guadalupe” en Saltillo Coahuila debido a que este método toma en cuenta el nivel de seguridad al considerar factores como protección en virajes, distancias mínimas de estabilización, áreas de protección más amplias, el libramiento de obstáculos sobre la senda de vuelo no presenta problemas y como punto adicional, el procedimiento sobrevuela la periferia de la ciudad de Saltillo; mientras que en el caso del procedimiento resultante de aplicar criterios FAA a pesar de que utiliza áreas de protección más estrechas, no considera los factores antes mencionados, además de que emplea gradientes de descenso mayores y para efectos de operación es más conveniente utilizar el gradiente de descenso más bajo posible .

Todo esto es debido a las ventajas que presenta la navegación basada en performance al aumentar el nivel de precisión durante la trayectoria de vuelo y al poder realizar las aproximaciones de descenso continuo.

Es necesario resaltar que en la elaboración de éste procedimiento fueron tomados en cuenta los gradientes de descenso máximos permisibles de OACI, lo que no hace inseguro el procedimiento pero lo hace estricto de seguir, también el hecho de que para poder realizar aproximaciones bajo este procedimiento se necesita que los pilotos cuenten con la capacitación correspondiente y las aeronaves con el equipo de vuelo, bases de datos y certificación necesaria para realizar aproximaciones RNP.

Es por todo esto que se ha cumplido con el objetivo de desarrollar ambos procedimientos y establecer el de mayor factibilidad como propuesta para abatir el problema de no disponer de procedimientos de aproximación por instrumentos en la pista 35 del aeropuerto de Saltillo.





# **BIBLIOGRAFÍA**

---

## BIBLIOGRAFÍA

- FUENTES DE REFERENCIA.

*Administración Federal de Aviación (2005), "USA Standard for Required Navigation Performance", (Doc. 8260.52), 67 págs. Estados Unidos*

*Administración Federal de Aviación (2007), Manual TERPS Vol. I, (Doc. 8260.3B), 453 págs. Estados Unidos*

Airbus Abbreviations Dictionary (AAD)

Organización de Aviación Civil Internacional (2006), *Manual de Operación de aeronaves Vol. I, (Doc. 8168) Quinta edición*, 775 págs. Montreal: OACI.

Organización de Aviación Civil Internacional (2006), *Manual de Operación de aeronaves Vol. II, (Doc. 8168) Quinta edición*, 775 págs. Montreal: OACI.

Organización de Aviación Civil Internacional (2007), *Manual de Navegación Basada en Performance (PANS-OPS) Vol. I Quinta Revisión*, 249 págs. Montreal: OACI.

- PAGINAS WEB CONSULTADAS

Federal Aviation Administration: [http:// www.faa.gov](http://www.faa.gov)

Gobierno del estado de Coahuila: <http://coahuila.gob.mx>

General: <http://datosaaereos.Flysharing.com/aeropuertos / México /Plan de Guadalupe intl.>

<http://www.todoexpertos.com/ manejo-de-coordenadas-wgs-84>

International Civil Aviation Organization: <http://www.icao.int>

Wikipedia:<http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto/Internacional/Plande/Guadalupe>



# **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Altitud de Decisión ( Decision Altitude ,DA):** Es la altura específica con referencia al nivel medio del mar en una aproximación con guía vertical
- **Altitud Barométrica:** Altura sobre el nivel medio del mar ortométrica a la superficie geoidal.
- **Altura del Radio altímetro (RA):** Indicación de la distancia vertical entre un punto situado en la senda de planeo nominal del DA y el terreno directamente debajo de este punto.
- **Altura Geoidal (Geoid Height, GH):** Es un valor positivo cuando el geoide se encuentra por encima del elipsoide WGS-84 y negativo cuando esté debajo del mismo
- **Altura por encima del elipsoide (HAE, Height Above Ellipsoid):** Es la altura expresada en pies sobre el elipsoide en WGS-84
- **Altura Sobre la Zona de Toque (HAT, Height Above Touchdown):** El HAT es la altura de la DA por encima de la elevación de la zona de toque.
- **Ángulo de la Senda de Planeo (Glide Path Angle, GPA):** Éste ángulo es publicado en las cartas de aproximación
- **APLICACIÓN DE NAVEGACIÓN:** Uso operacional que se le dará al sistema de navegación
- **Aproximación – Interna Zona Libre de Obstáculos (OFZ, Obstacle Free Zone):** El espacio aéreo situado sobre una superficie centrada en la ampliación de la pista central.
- **Aproximación de Precisión (Precision Approach, PA):** Una aproximación basada en un sistema de navegación que proporciona un curso positivo y una guía de orientación de trayectoria vertical.
- **Aproximación Final de Precisión Fijo (PFAF).** Aplicable a todos los procedimientos de aproximación de la PA.: Un punto 2D situado en el curso de aproximación final
- **Área Libre de Objetos (OFA):** Es un área sobre el terreno centrada a una pista.
- **ESPECIFICACIÓN DE NAVEGACIÓN:** Requerimientos del sistema de navegación.

- 
- **Fin de la Pista de Salida (Departure End of Runway, DER):** Es el final de la pista que es opuesta al umbral de aterrizaje.
  - **FLY BY (punto de recorrido de paso):** Tipo de waypoint donde la aeronave no pasa sobre el fijo.
  - **FLY OVER (punto de recorrido de sobrevuelo):** Tipo de waypoint donde la aeronave pasa sobre el fijo exactamente
  - **Guía de Orientación Positiva Vertical/Horizontal:** Senda de planeo o guía de curso basada en instrumentación.
  - **INFRAESTRUCTURA DE NAVEGACIÓN:** Componentes que hacen posible los requisitos para operar un sistema de navegación
  - **Línea Base de la Superficie de Aproximación. (ASBL):** Es una línea horizontal tangente a la superficie de la tierra al punto del Umbral de Pista alineada con el curso de aproximación final.
  - **Navegación Lateral (LNAV, Lateral Navigation) (sólo RNAV):** La navegación acimutal sin la guía vertical positiva.
  - **Navegación Vertical Barométrica (Baro VNAV):** Guía vertical positiva con relación a una senda de planeo calculada en base a la diferencia entre dos alturas determinadas por puntos o fijos.
  - **Punto de Alineación de trayectoria de Vuelo (Flight Path Alignment Point, FPAP):** es usado conjuntamente con el LTP y el centro geométrico del elipsoide WGS-84 para definir el plano vertical del curso de aproximación final.
  - **Punto de aterrizaje del Umbral (LTP, Landing Threshold Point):** El LTP es un punto 3D en la intersección de la pista central y la pista del umbral.
  - **Punto de Control de Trayectoria de Vuelo (Flight Path Control Point, FPCP):** Es un punto imaginario arriba de el LTP
  - **Punto de Intercepción en Tierra (Ground Point of Intercept, GPI):** Es un punto en el plano vertical que contiene la pendiente de planeo donde la trayectoria vertical intercepta el ASBL.
  - **Punto de Referencia Tridimensional (Waypoint):** Es un punto de referencia definido en coordenadas de latitud y longitud.
  - **Punto Ficticio del Umbral (FTP):** Es la intersección del curso final y una línea perpendicular a ésta que pasa a través del LTP



- 
- **Seudo Punto de Intercepción Terrestre (PGPI):** Localización ficticia a través del GDI
  - **Sistema de Posicionamiento Global (GPS).** Un sistema de satélites que proporcionan posición en tercera dimensión e información de velocidad. Posición y velocidad, éstos están basados en la medición del tiempo de transito de las señales de radiofrecuencias (RF) de los satélites.
  - **Superficie Libre de Obstáculos (Obstacle Clearance Surface, OCS):** Es una evaluación de obstáculos de una superficie inclinada asociada con la senda de planeo.
  - **Transición Interna de OFZ:** El espacio aéreo está localizado sobre las superficies situadas en los bordes externos de la pista OFZ y la aproximación interna OFZ.
  - **Umbral de Pista (RWT, RunWay Threshold):** La marca del RWT es el comienzo de la parte utilizable de la pista para el aterrizaje.
  - **Viraje de radio constante al punto de referencia (RF):** Este tipo de viraje es aplicado a procedimientos RNP
  - **WAYPOINT (punto de recorrido):** Se emplean para trazar rutas mediante agregación secuencial de puntos.
  - **WGS-84:** Sistema de coordenadas mundiales.
  - **WP:** Es una predeterminada posición geográfica usada para la definición de ruta y efectos de presentación de informes que es definida por latitud/longitud. Para sistemas VOR/DME, es definido por el radial/distancia de la posición de la facilidad de referencia.



# **ABREVIATURAS Y SIGLAS**

---

## ABREVIATURAS Y SIGLAS

|   |           |                                                                                 |
|---|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| - | ABAS      | Sistema de Aumentación Basado en la Aeronave.                                   |
| - | ASBL      | Línea Base de la Superficie de Aproximación                                     |
| - | ATC       | Control de Tráfico Aéreo                                                        |
| - | ATM       | Gestión de tránsito aéreo                                                       |
| - | ATT       | Tolerancia a lo largo de la trayectoria                                         |
| - | Baro VNAV | Barometric Vertical Navigation, baro / Navegación Vertical Barométrica          |
| - | BV        | Valor Intermedio                                                                |
| - | COM       | Comunicaciones                                                                  |
| - | CTP       | Polo Terrenal Convencional                                                      |
| - | CTS       | Sistema Terrenal Convencional                                                   |
| - | DA        | Decision Altitude / Altitud de Decisión.                                        |
| - | DER       | Departure End of Runway / Fin de la pista de salida                             |
| - | DGAC      | Dirección General de Aeronáutica Civil.                                         |
| - | FAA       | Federal Aviation Administration / Administración Federal de Aviación.           |
| - | FPAP      | Flight Path Alignment Point / Punto de Alineación de trayectoria de Vuelo       |
| - | FPCP      | Flight Path Control Point / Punto de Control de Trayectoria de Vuelo.           |
| - | FTE       | Flight Technical Error / Error de Técnica de Vuelo                              |
| - | FTP       | Punto Ficticio del Umbral / Puntos ficticios del Umbral.                        |
| - | GBAS      | Sistema de Aumentación Basado en Tierra.                                        |
| - | GEO       | Órbita Terrestre Geoestacionaria.                                               |
| - | GH        | Geoid Height / Altura del Geoide.                                               |
| - | GLONASS   | Sistema Orbital de Navegación por Satélite.                                     |
| - | GNSS      | Global Navigation Satellite System / Sistema Global de Navegación por Satélite. |
| - | GPA       | Glide Path Angle / Ángulo de la Senda de Planeo                                 |
| - | GPI       | Ground Point of Intercept / Punto de Intercepción en Tierra.                    |
| - | GPS       | Global Positioning System / Sistema de Posicionamiento Global.                  |

---

|   |          |                                                                                                                                           |
|---|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - | HAE      | Height Above Ellipsoid / Altura por encima del elipsoide                                                                                  |
| - | HAT      | Height Above Touchdown / Altura Sobre la Zona de Toque                                                                                    |
| - | IAS      | Velocidades Indicadas                                                                                                                     |
| - | LAAS     | Local Augmentation Area System / Sistemas de Aumentación de Área Local                                                                    |
| - | LNAV     | Lateral Navigation / Navegación Lateral                                                                                                   |
| - | LTP      | Landing Threshold Point / Punto de Aterrizaje del Umbral.                                                                                 |
| - | MN       | Milla Náutica.                                                                                                                            |
| - | MOC      | Minimum Obstacle Clearance / Libramiento Mínimo de Obstáculos.                                                                            |
| - | NAV      | Navegación                                                                                                                                |
| - | NSE      | Navigation System Error / Error del Sistema de Navegación                                                                                 |
| - | OACI     | International Civil Aviation Organization / Organización de Aviación Civil Internacional.                                                 |
| - | OCS      | Obstacle Clearance Surface / Superficie Libre de Obstáculos                                                                               |
| - | OFA      | Área Libre de Obstáculo                                                                                                                   |
| - | OFZ      | Obstacle Free Zone / Zona Libre de Obstáculos.                                                                                            |
| - | OPMA     | On board performance monitoring and alerting / Sistema de a bordo de Monitoreo y Alerta .                                                 |
| - | PA       | Precision Approach / Aproximación de Precisión                                                                                            |
| - | PANS-OPS | Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations / Procedimientos para Servicios de Navegación Aérea – Operación de Aeronaves |
| - | PBN      | Performance Based Navigation / Navegación Basada en Rendimientos.                                                                         |
| - | PDE      | Path Definition Error / Error de la Definición de Trayectoria                                                                             |
| - | PFAF     | Aproximación Final de Precisión Fijo.                                                                                                     |
| - | PGPI     | Seudo Punto de Intercepción Terrestre.                                                                                                    |
| - | RA       | Altura del Radio altímetro                                                                                                                |
| - | RNAV     | Area Navigation / Navegación de Área.                                                                                                     |
| - | RNP      | Required Navigation Performance / Navegación de Rendimiento Requerido                                                                     |
| - | ROC      | Required minimum Obstacle Clearance / Rango de libramiento de obstáculo                                                                   |

---

- 
- |         |                                                                                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|
| - RWT   | RunWay Threshold / Umbral de Pista.                                             |
| - RWT   | RunWay Threshold / Umbral de Pista                                              |
| - SBAS  | Sistema de Aumentación Basado en Satélites                                      |
| - SUR   | Vigilancia radar                                                                |
| - TAS   | Velocidades Verdaderas                                                          |
| - TDZE  | Elevación de la zona de Toque / Touch Down Zone<br>Elevation                    |
| - TERPS | Terminal Instrument Procedures / Procedimientos<br>Terminales por Instrumentos  |
| - TSE   | Total System Error/Error Total del Sistema                                      |
| - VHF   | Alta Frecuencia.                                                                |
| - WAAS  | Wide Area Augmentation System / Sistemas de<br>Aumentación de Extensión de Área |
| - XTT   | Tolerancia transversal de trayectoria                                           |

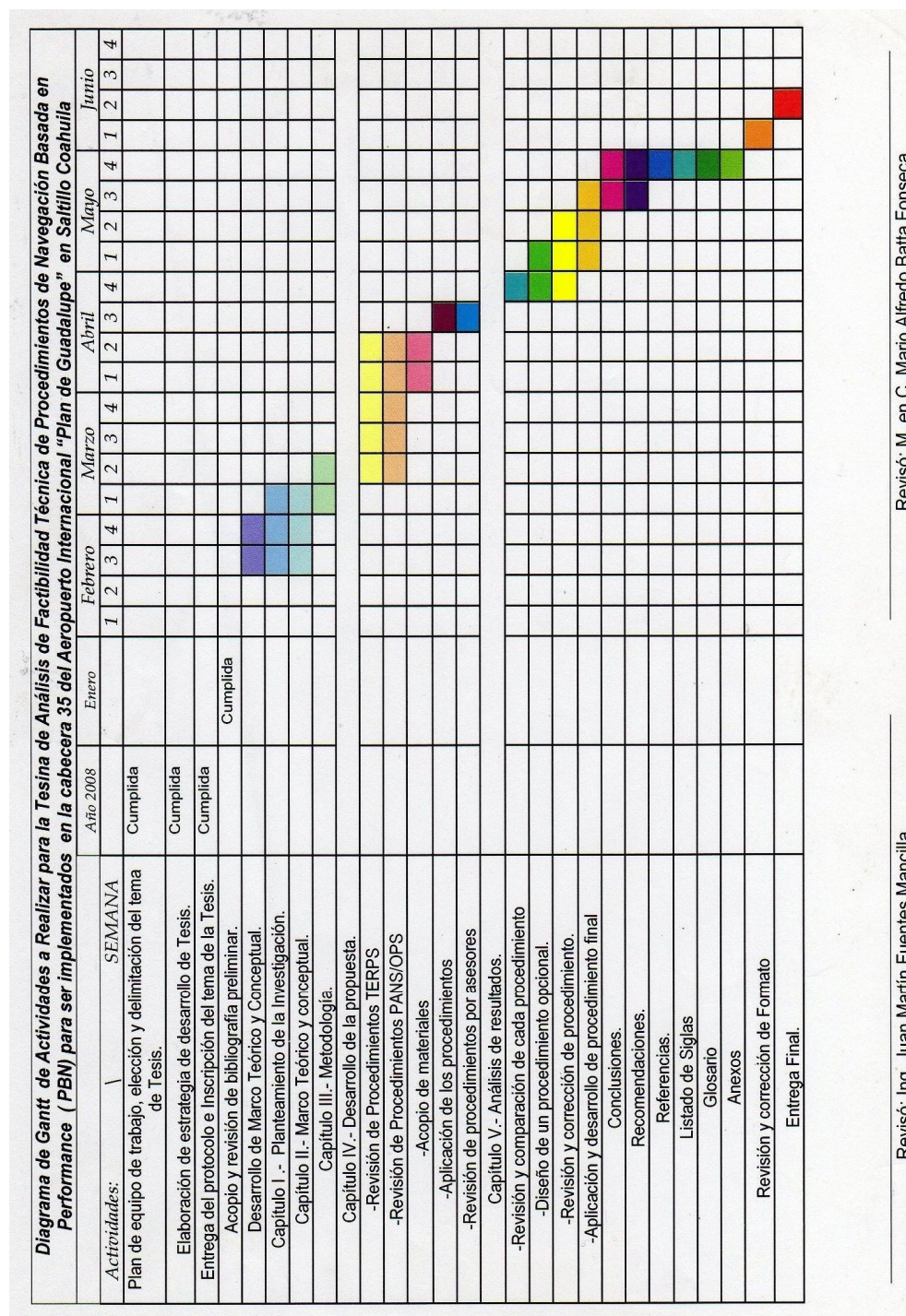




# APÉNDICE

# APÉNDICE

## DIAGRAMA DE GANTT



Revisó: Ing. Juan Martín Fuentes Mancilla

Revisó: M. en C. Mario Alfredo Batta Fonseca