



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO GEOMÉTRICO DEL LADO AIRE DE UN AEROPUERTO UBICADO
EN LOS BRASILES, MUNICIPIO DE MATEARE, DEPARTAMENTO DE
MANAGUA, 2021.”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Sahara de los Angeles Sandino Ruiz.

Br. Fernando Javier Salgado Márquez.

Tutor

Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero.

Managua, abril 2022

AGRADECIMIENTO.

Agradecemos primeramente a Dios; por darnos vida, salud, fortaleza y sabiduría para poder culminar nuestro trabajo investigativo, por ser quien nos guía en nuestro diario vivir.

A nuestros padres; quienes con amor, paciencia y esfuerzos nos han ayudado a cumplir hoy un sueño más, por sus consejos, por enseñarnos a nunca darnos por vencidos, por animarnos y motivarnos a seguir adelante a pesar de que la vida se torne difícil.

A nuestros hermanos; por estar presentes y apoyarnos en nuestras necesidades a lo largo de esta etapa de nuestras vidas. A nuestros familiares por sus oraciones y apoyo en momentos de necesidades y a todos nuestros amigos y futuros colegas que nos ayudaron de una manera desinteresada cuando acudimos a ellos.

A nuestro tutor; por habernos guiado en el proceso y elaboración de nuestro trabajo de titulación y nuestros docentes que, con su sabiduría, conocimientos, apoyo y enseñanzas nos motivaron a desarrollarnos como personas profesionales.

Br. Sahara de los Angeles Sandino Ruiz.

Br. Fernando Javier Salgado Márquez.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo, se abordan cuatro capítulos basados en una propuesta de diseño geométrico del lado aire de un aeropuerto ubicado en los Brasiles, municipio de Mateare, departamento de Managua, tomando como referencia los manuales de diseño de aeródromos, publicados por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se aborda de forma general el proyecto, donde se presentan aspectos como: Introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia de esta investigación y los objetivos que guiarán el desarrollo de la misma.

CAPITULO II. GEOMETRÍA DEL LADO AIRE DE UN AEROPUERTO

Aquí se definen todos los elementos que forman parte de la geometría del lado aire de un aeropuerto, esto según lo expuesto por las organizaciones internacionales que se encargan de establecer los criterios relativos al diseño de aeródromos, así como también se detallan los parámetros a tomarse en cuenta para el correcto dimensionamiento de estos elementos.

CAPITULO III. DISEÑO GEOMÉTRICO

En este capítulo se realiza el diseño geométrico del aeropuerto, tomando en cuenta la información recopilada en el capítulo anterior, donde se propone la longitud y ancho de pista y calles de rodaje, así como también, las dimensiones de la plataforma y la cantidad de puestos de estacionamiento que deberá tener.

Además, se propone un espesor de referencia para la estructura de pavimento y, se determinan cada uno de los espesores correspondientes, para cada una de las capas que lo conforman. Por último, se establecen las señalizaciones que se colocaran en la pista, calles de rodaje y plataformas.

CAPITULO IV. ELABORACIÓN DE PLANOS EN AUTOCAD CIVIL 3D

Aquí se describen los pasos a seguir, para la elaboración de los planos en base a los datos obtenidos en el diseño geométrico, utilizando el software AutoCAD Civil 3D para el desarrollo total de los mismos, donde se obtuvieron un total de 19 láminas, en las que se presentan planos de vista de planta, perfil longitudinal y sección típica de todos los elementos diseñados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este apartado se dan a conocer los resultados finales y las recomendaciones del estudio monográfico, basado en los tres objetivos planteados inicialmente.

LIMITACIONES

A continuación, se detallan los factores que dificultan el desarrollo de algunos aspectos de esta investigación:

- Restricción del acceso al lugar, para la realización del levantamiento topográfico; razón por la cual, se tomaron los datos de los mapas topográficos proporcionados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y posteriormente fueron procesados en el software AutoCAD Civil 3D.
- Limitado acceso a los datos de tráfico aéreo del país, por lo que la proyección de tráfico se realizó, en base a un promedio de 100 operaciones al día (despegue y/o aterrizaje); dicho dato fue extraído de la página oficial de Empresa Administradora de Aeropuertos Internacionales (EAAI).
- Nulo acceso a los datos de tipología de aeronaves comerciales que ingresan al país, necesarios para la selección de la aeronave crítica, la que se realizó, tomando en cuenta las flotas de aviones descritas en las páginas oficiales de las líneas aéreas que operan en el país; Según la página oficial de la EAAI, dentro las aerolíneas que operan en el país tenemos: American Airlines, United Airlines, Spirit Airlines, Copa Airlines, Avianca, Aeroméxico, entre otras.
- Restricción del acceso al lugar, para la realización del estudio de suelos, con el fin de determinar el valor de soporte (CBR) del suelo, necesario para el diseño de la estructura de pavimento, el cual se realizó tomando como referencia los datos del CBR correspondiente a un banco de préstamo (Banco La Tigra) de material ubicado en el municipio de Mateare. (Consorcio INGENNYA, 2015)

INDICE GENERAL

CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES

1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes	3
1.3	Justificación.....	5
1.4	Objetivos	6
1.4.1	Objetivo general.....	6
1.4.2	Objetivos específicos.....	6

CAPITULO II – GEOMETRÍA DEL LADO AIRE DE UN AEROPUERTO

2.1	Generalidades.....	7
2.1.1	Definición de aeropuerto.....	7
2.1.2	Clave de referencia de un aeródromo	8
2.1.3	Clasificación Funcional	9
2.1.4	Aeronave de Diseño	10
2.2	Características físicas de un aeródromo	13
2.2.1	Pistas de aterrizaje / despegue.....	13
2.2.2	Calles de rodaje.....	24
2.2.3	Plataforma	33
2.3	Ayudas visuales para la navegación	47
2.3.1	Indicadores y dispositivos de señalización	47
2.3.2	Señales.....	47
2.4	Estudios para la selección del lugar de emplazamiento.....	49
2.4.1	Determinación general de la superficie necesaria	50
2.4.2	Estudios preliminares de los posibles emplazamientos.....	50
2.4.3	Evaluación definitiva	52

CAPITULO III – DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1	Introducción.....	53
3.2	Selección de la aeronave critica.....	53
3.3	Datos del aeródromo.....	56
3.3.1	Lugar de emplazamiento.	56
3.3.2	Designación de la clave de referencia del aeródromo.	57
3.3.3	Orientación por vientos.....	58

3.3.4	Punto de referencia del aeródromo	61
3.3.5	Elevación de la pista.....	61
3.3.6	Temperatura de referencia	62
3.4	Diseño de la pista.....	63
3.4.1	Longitud básica de pista	63
3.4.2	Correcciones por elevación, temperatura y pendiente.....	65
3.4.3	Ancho de la pista	68
3.4.4	Pendientes de pista	68
3.4.5	Márgenes de pista	69
3.4.6	Franjas de pista	69
3.4.7	Área de seguridad de extremo de pista o Run End Safety Area (RESA) 70	
3.4.8	Zonas de parada o Stopway (SWY) y zona libre de obstáculos o Clearway (CWY)	70
3.4.9	Cálculo de las distancias declaradas.....	71
3.5	Diseño de calles de rodaje	72
3.5.1	Anchura de las calles de rodaje.....	72
3.5.2	Curvas de las calles de rodaje.....	73
3.5.3	Separaciones mínimas de calles de rodaje	74
3.5.4	Márgenes y franjas de las calles de rodaje.....	75
3.5.5	Pendientes de las calles de rodaje	75
3.6	Diseño de Plataformas	75
3.6.1	Requisitos relativos a distancias libres:	76
3.6.2	Capacidad de la plataforma:	77
3.6.3	Dimensiones de las plataformas.....	78
3.7	Diseño de pavimento.....	78
3.8	Ayudas visuales para la navegacion:	83
3.8.1	Indicadores y dispositivos de señalizacion.	83
3.8.2	Señales horizontales.	84
3.8.3	Luces.	88

CAPITULO IV – ELABORACIÓN DE PLANOS EN AUTOCAD CIVIL 3D

4.1	Introducción.....	90
4.2	Importación de puntos.....	91

4.3	Determinación de la superficie de la pista.....	93
4.4	Creación de curvas de nivel.	97
4.5	Trazado del alineamiento horizontal.....	102
4.6	Diseño del perfil longitudinal.....	107
4.7	Seccion Transversal típica.....	111
4.8	Creación de corredor.....	113
4.9	Creación de planos	115
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		120
ANEXOS		I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Clave de referencia de Aeródromos.	9
Tabla 2. Anchura de pistas.....	17
Tabla 3.Criterios relativos al diseño de una calle de rodaje.	29
Tabla 4. Separación mínima entre calles de rodaje y entre calles de rodaje y objetos (dimensiones en metros).....	30
Tabla 5.Separación mínima entre el eje de calle de rodaje / calle de rodaje en la plataforma y el eje de pista (dimensiones en metros).	31
Tabla 6.Comparación de diferentes configuraciones de aeronaves.	38
Tabla 7.Características de la aeronave de diseño.	53
Tabla 8.Velocidades y direcciones de viento en el aeródromo Los Brasiles.	58
Tabla 9.Temperaturas medias por mes en el aeródromo Los Brasiles.	62
Tabla 10.Temperatura media máxima del mes más caluroso del año 2015-2021 (abril).....	63
Tabla 11.Valores atmosféricos tipo.	66
Tabla 12.Datos para el diseño de longitud de pista.....	67
Tabla 13. Determinación de las distancias declaradas.	72
Tabla 14. Distancia libre mínima entre aeronaves.	76
Tabla 15. Resultados de capacidad de soporte de California de Banco La tигра. .	80
Tabla 16. Espesores de cálculo de las capas de pavimento (en cm).	82
Tabla 17. Señales verticales.	83
Tabla 18. Señales horizontales (parte 1).....	86
Tabla 19. Señales horizontales (parte 2).....	87
Tabla 20. Datos geométricos del lado aire del aeropuerto.	90
Tabla 21. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-1.....	II
Tabla 22. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-2.....	III
Tabla 23. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-3.....	IV
Tabla 24. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-4.....	V
Tabla 25. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-5.....	VI
Tabla 26. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-6.....	VII
Tabla 27. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 1)..	XV

Tabla 28. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 2).	XVI
Tabla 29. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 3).	XVII
Tabla 30. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 4).	XVIII
Tabla 31. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 5).	XIX
Tabla 32. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 1).....	XIX
Tabla 33. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 2).....	XX
Tabla 34. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 3).....	XXI
Tabla 35. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 4).....	XXII
Tabla 36. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 5).....	XXIII
Tabla 37. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 6).....	XXIV
Tabla 38. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje en plataforma (Parte 1).....	XXIV
Tabla 39. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje en plataforma (Parte 2).....	XXV
Tabla 40. Datos de curvas horizontales en calle de rodaje paralela.	XXV
Tabla 41. Datos de curvas horizontales en calle de rodaje de plataforma.	XXV

ÍNDICE DE FIGURAS

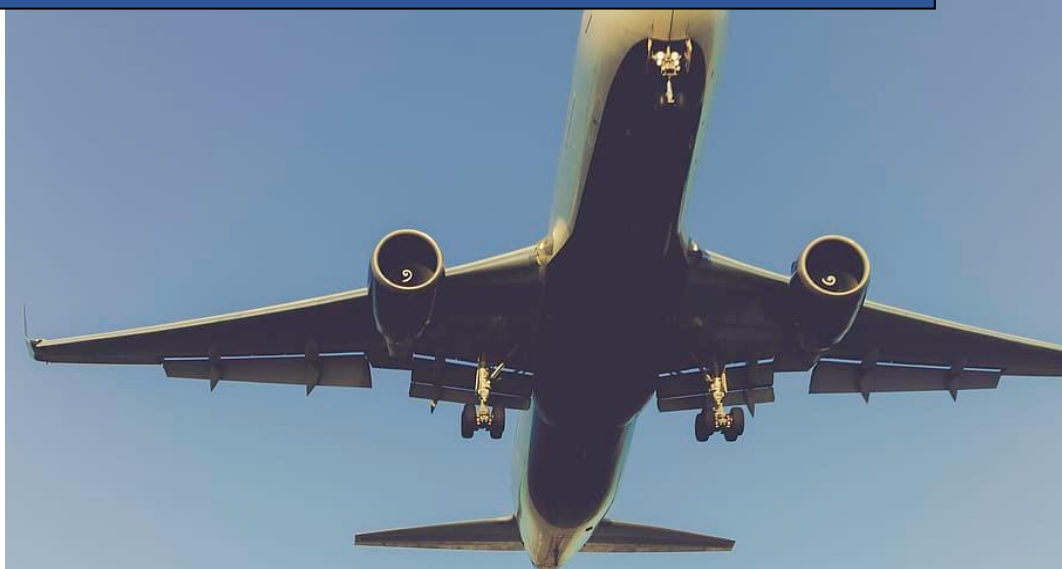
Figura 1.Macrolocalización del sitio de emplazamiento, ubicado en el municipio de Mateare, departamento de Managua.	2
Figura 2. Micro localización del sitio de emplazamiento, ubicado en Los Brasiles, municipio de Mateare.	2
Figura 3. Partes que componen un avión.	11
Figura 4. Características principales de una aeronave (Parte 1).....	12
Figura 5.Características principales de una aeronave (Parte 2).....	12
Figura 6.Radio de giro en una aeronave.	13
Figura 7.Tipos de pistas de aterrizaje/despegue.	15
Figura 8. Distancias declaradas.	20
Figura 9. Área de seguridad de extremo de pista para una pista en la que el número de clave es 3 ó 4.	21
Figura 10. Parte nivelada de la franja de una pista para aproximaciones de precisión cuyo número de clave sea 3 o 4.....	23
Figura 11.Intersección entre calles de rodaje.....	25
Figura 12.Etapas en la ampliación de un sistema de calles de rodaje.	28
Figura 13.Plataformas y sus calles de rodaje.	35
Figura 14.Configuraciones de estacionamiento.	37
Figura 15.Conceptos de terminal de pasajeros.	41
Figura 16. Dimensiones para determinar el tamaño del puesto de estacionamiento de aeronaves.....	43
Figura 17. Superficie necesaria para la entrada y salida del puesto de estacionamiento en la terminal.....	44
Figura 18.Marcas de pavimento en pista de aterrizaje.....	49
Figura 19.Dimenciones de la aeronave de diseño modelo AIRBUS A320-200 (Parte 1).	54
Figura 20.Dimenciones de la aeronave de diseño modelo AIRBUS A320-200 (Parte 2).	55
Figura 21.Rosa de vientos para el aeropuerto Los Brasiles.....	59

Figura 22. Perfil longitudinal de la estación 0+000.00 a la estación 0+300.00 de la pista, para la longitud del campo de referencia.	61
Figura 23. Take-off Weight Limitation – ISA Conditions (IAE V2500 Series Engine).	64
Figura 24. Landing Field Length – ISA Conditions (IAE V2500 Series Engine).....	65
Figura 25. Determinación de las distancias declaradas.	72
Figura 26. Giro - Pista a calle de rodaje (Cabina sobre línea central).	73
Figura 27. Giro - Calle de rodaje a calle de rodaje (Cabina sobre línea central). ..	74
Figura 28. Dimensiones de los puestos de estacionamiento.....	78
Figura 29. Espesor de referencia para pavimentos flexibles.	81
Figura 30. Estructura de pavimento flexible.	82
Figura 31. Herramienta para la creación de puntos.	91
Figura 32. Importación de puntos.	92
Figura 33. Visualización del grupo de puntos importados.	93
Figura 34. Creación de superficie.....	94
Figura 35. Definición del tipo de superficie y sus propiedades.....	95
Figura 36. Adición y Selección del grupo de puntos, a partir del cual se generará la superficie.	96
Figura 37. Superficie creada.	96
Figura 38. Selección de la superficie, para crear	97
Figura 39. Configuración del estilo de superficie.....	98
Figura 40. Pestaña Information, asignación de nombre y descripción del estilo de superficie.	99
Figura 41. Configuración de los intervalos de contornos de curvas de nivel.	100
Figura 42. Configuración de los componentes de los intervalos de contornos de curvas de nivel.	101
Figura 43. Curvas de nivel.....	101
Figura 44. Propiedades de superficie, apagado de superficie.....	102
Figura 45. Herramientas para la creación de alineamiento.	103
Figura 46. Configuraciones para la creación del alineamiento horizontal.	104
Figura 47. Configuraciones para la creación del alineamiento horizontal.	104

Figura 48. Herramientas de composición del Alineamiento Horizontal.	105
Figura 49. Etiquetas para la alineación.	106
Figura 50. Alineamiento horizontal terminado.	106
Figura 51. Creación del perfil longitudinal.	107
Figura 52. Creación del perfil a través de una superficie.....	108
Figura 53. Configuración del perfil longitudinal.....	109
Figura 54. Perfil longitudinal terminado de la estación 0+000.00 a la estación 0+380.89 de la pista.	110
Figura 55. Creación de ensamble.	111
Figura 56. Asignación del nombre, tipo	111
Figura 57. Herramientas de subensambles.....	112
Figura 58. Sección típica terminada.	113
Figura 59. Creación del corredor.....	114
Figura 60. Vista del corredor terminado.	115
Figura 61. Plano planta-perfil de la pista de aterrizaje.	116
Figura 62. Perfil longitudinal de la estación 0+000.00 a la estación 0+300.00 de la pista, para la longitud del campo de referencia.	VIII
Figura 63. Perfil longitudinal de la estación 0+300.00 a la estación 0+600.00 para la longitud del campo de referencia.....	VIII
Figura 64. Perfil longitudinal de la estación 0+600.00 a la estación 0+900.00 para la longitud del campo de referencia.	IX
Figura 65. Perfil longitudinal de la estación 0+900.00 a la estación 1+200.00 para la longitud del campo de referencia.	IX
Figura 66. Perfil longitudinal de la estación 1+200.00 a la estación 1+500.00 para la longitud del campo de referencia.	X
Figura 67. Perfil longitudinal de la estación 1+500.00 a la estación 1+800.00 para la longitud del campo de referencia.	X
Figura 68. Perfil longitudinal de la estación 1+800.00 a la estación 2+100.00 para la longitud del campo de referencia.	XI
Figura 69. Perfil longitudinal de la estación 2+100.00 a la estación 2+480.00 para la longitud del campo de referencia.	XI

Figura 70. Capacidad horaria y volumen de servicio anual para la planificación a largo plazo.....	XII
Figura 71. Diagrama típico de desarrollo por etapas.....	XIII
Figura 72. Dispositivos luminosos del aeródromo.	XIV

CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES



1.1 Introducción

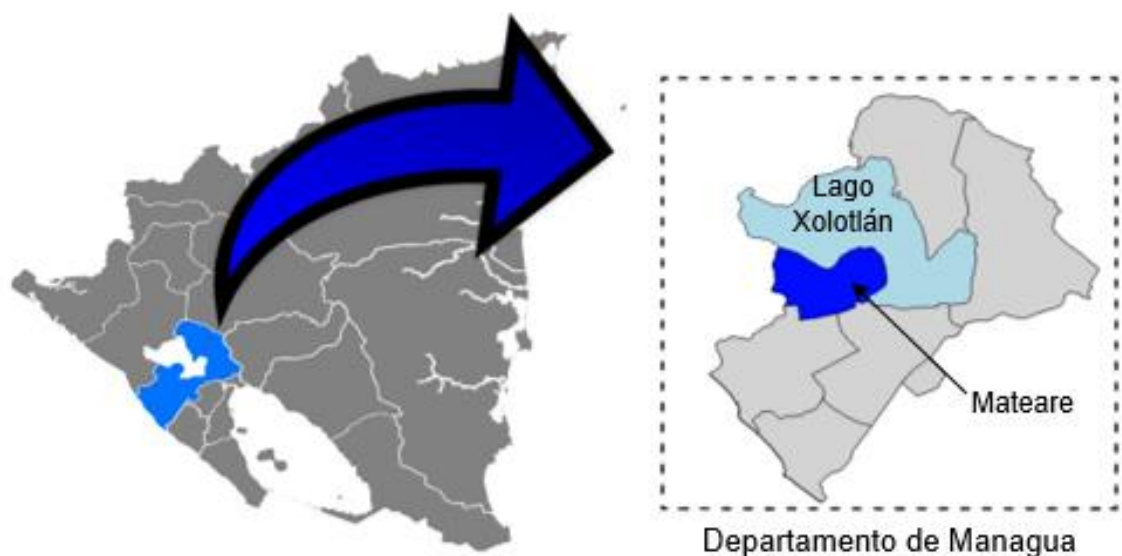
El transporte aéreo, desde que aparecieron los viajes comerciales, ha ido evolucionando, convirtiéndose en parte esencial de la vida económica y social de cualquier país. Los aeropuertos proveen transporte de pasajeros y carga, además facilitan las relaciones y comunicaciones regionales e internacionales.

La infraestructura aeroportuaria comprende el conjunto de instalaciones complejas necesarias para el desarrollo del transporte aéreo en las que se requieren los conocimientos de diversas ramas de la ingeniería como son la aeronáutica, que se encarga del conjunto de técnicas que permiten el control de las aeronaves; la ingeniería civil que es la encargada del diseño geométrico de las calles de rodaje, aeropistas, pavimentos, drenajes, etc.; la ingeniería ambiental encargada de vigilar las emisiones de gases, los niveles de ruido, impactos ambientales de la zona, etc.

Las pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas, son parte medular de la infraestructura de un aeropuerto, ya que es en estas donde las aeronaves se mueven dentro del mismo, por lo que se debe garantizar un diseño eficiente que pueda satisfacer los requisitos operacionales de la aeronave crítica para la que es proyectada, además de brindar seguridad a los usuarios.

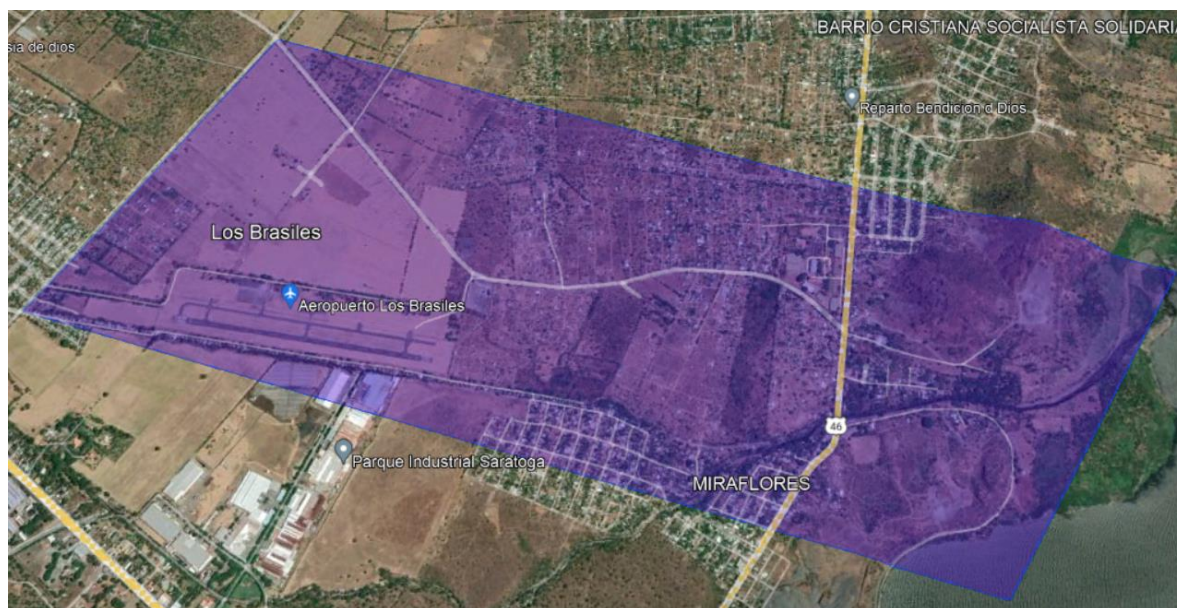
El presente trabajo consistirá en la elaboración de un diseño geométrico del lado aire de un aeropuerto, que cumpla con las normativas y regulaciones internacionales, necesarias para garantizar la seguridad, eficiencia y regularidad del transporte aéreo, y que además, sirva de guía a personas que, en el desempeño de sus funciones profesionales, puedan verse relacionadas con esta actividad; todo esto tomando en cuenta, las normas y manuales de diseño, mantenimiento y operación de aeródromos establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Para la realización de este diseño establecemos la ubicación del terreno en Los Brasiles, Mateare, departamento de Managua, con un área aproximada de 273,789 m².

Figura 1. Macrolocalización del sitio de emplazamiento, ubicado en el municipio de Mateare, departamento de Managua.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Micro localización del sitio de emplazamiento, ubicado en Los Brasiles, municipio de Mateare.



Fuente: <https://earth.google.com/web/search/Aeropuerto+Los+Brasiles,+Los+Brasiles/@12.18857468,86.354626,66.10927556a,600.8012476d,35y,0.00000001h,44.99727118t,0r/data=CpABGmYSYAolMHg4ZjcxNTBkZWE3NDlkNWExOjB4YmQzMjJINzFINGMwODNIZRlOEiI8mEoQCHsE0AxspZVwColQWVyb3B1ZXJ0byBMb3MgQnJhc2lsZXMsIExvcyBCcmFzaWxlxcgCIAEiJgokCTXqkZDwzTJAETLqkZDwzTLAGXKOlxxC3UhAIW6OlxxC3UjA>

1.2 Antecedentes

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que se encuentran en vigencia de forma general desde 1944, año que se constituye, como organismo encargado de la supervisión y homologación de los procesos que regulan la seguridad del transporte aéreo civil a nivel internacional entre los 193 países miembros que la integran.

Esta organización surge, por la necesidad de garantizar la mejora de las normas de seguridad del transporte aéreo, en este proceso constante de mejoras se encuentran las experiencias de muchos países, que ajustándose a las normas de la OACI y según sus directrices elaboraron manuales de políticas y procedimientos, para normar las funciones de sus departamentos de seguridad. Nicaragua firmó el acuerdo sobre transporte aéreo internacional el día 07 de diciembre de 1945, que entró en vigencia a partir del 28 de diciembre de 1945.

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), anteriormente adscrita al Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), fue la institución encargada de administrar las instalaciones de las terminales aéreas del país, la terminal internacional; así como las terminales nacionales y de cumplir con los parámetros de seguridad internacionales vigentes en la actualidad desde su creación en el año 1983 bajo la ley de la empresa administradora de aeropuertos internacionales (Ley 1292), hasta su disolución el año 2006 año en que es aprobada la ley general de aeronáutica civil (Ley 595), creando así el Instituto Nicaragüense de Aeronáutica Civil (INAC), que es un ente autónomo técnico y especializado que funge como la Autoridad de Aviación Civil (AAC). La cual le competen funciones de regulación, supervisión, control y aplicación de las normas que rigen los servicios de transporte aéreo.

La historia de la aviación civil nicaragüense, se remonta a 1922 cuando apareció en sus cielos el primer avión que llegó de sorpresa, provocando alegría y el asombro de la gente que salía a las calles para ver aquel curioso aparato de metal. A partir

de entonces, nuestro país ha recibido diversos tipos de aviones y la industria aérea se ha ido desarrollando paulatinamente.

Posteriormente, se procedió a crear las condiciones necesarias para la llegada de más y modernos aviones. El campo de aviación “Xolotlán” fue el primer campo de aterrizaje construido por ingenieros nicaragüenses e ingenieros norteamericanos y ubicado al oeste de la ciudad de Managua. Fue inaugurado poco antes del terremoto de 1931.

Para la década de los 40, cuando estalló la segunda guerra mundial, exactamente el 22 de enero de 1942, el gobierno de Nicaragua y la empresa Pan American Airways, Inc., suscribieron un contrato para la construcción del aeropuerto “Las Mercedes”. Posteriormente, en la década de los ochenta el aeropuerto se designó como aeropuerto internacional “Augusto C. Sandino”, nombre que se conserva en la actualidad.

Otro de los aeropuertos más importantes del país es el aeródromo “Monseñor Salvador Schaefer”, se encuentra ubicado en la región autónoma de la costa caribe sur, su actividad principal es para la aviación civil. A inicios del nuevo siglo, en año 2000 se inaugura este aeródromo de Bluefields, siendo uno de los aeropuertos nacionales activos junto al aeródromo “Rigoberto Cabezas” ubicado en la Costa atlántica en la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), el aeródromo de Corn Island, ubicado en el centro de la isla con el mismo nombre al este de la costa atlántica de Nicaragua, el aeródromo de la isla de Ometepe; el cual se encuentra ubicada en la paloma al sur de la ciudad de Moyogalpa y el aeródromo de san Juan de Nicaragua, ubicado en el municipio del mismo nombre.

El aeropuerto “Los Brasiles” (Pista Aérea Carlos Ulloa), está ubicado en Mateare, un municipio del Departamento de Managua, Nicaragua. A principios de la década de 1980, la pista de aterrizaje fue utilizada principalmente por aeronaves ligeras para fumigación aérea; posteriormente, fue renovada en 2010 por el INAC, para ser utilizado por el Instituto de Capacitación Técnica Aeronáutica (INTECA) como escuela de aviación.

1.3 Justificación

El transporte aéreo, es sin duda, uno de los más pujantes en las últimas décadas y en vista de la función vital que desempeñan las pistas de aterrizaje en un aeródromo como también, algunos elementos conexos de éstas, encargados de conferir seguridad y eficiencia al aterrizaje y despegue de las aeronaves. Es primordial, que, al proyectarse las instalaciones y servicios, se tengan en cuenta los parámetros y normas establecidos por la OACI, así como las características operacionales y físicas de las aeronaves que utilizarán la pista, con la finalidad de realizar un diseño que cumpla con todas estas consideraciones, siendo la seguridad el aspecto más importante a tomar en cuenta, al momento de realizar el dimensionamiento de las características físicas del lado aire del aeródromo.

El diseño y construcción de aeropuertos, incluyendo la geometría y estructura de pavimento de las pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento; son competencia de los ingenieros civiles. Sin embargo, los egresados de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, no poseen los conocimientos necesarios en esta área.

Este déficit de información, estimula la elaboración de la presente tesis, que a medida que se va desarrollando trata de explicar de la manera más didáctica posible todos los nuevos conceptos para el entendimiento de futuras generaciones de ingenieros civiles que desean incursionar en el tema, ya que actualmente son pocos los ingenieros especialistas en infraestructura aeroportuaria.

Además, esta investigación sirve como guía para el dimensionamiento de otros aeropuertos del país, pues actualmente estos no solo permiten el transporte aéreo, sino que también, se posicionan como el medio más rápido y seguro de unir a personas y brindar servicios; facilitando el transporte de materia prima, productos y mercancías entre empresas de cualquier parte de mundo, lo cual es también un factor clave, para el desarrollo de una nación. De allí, nace la necesidad de crear y mantener en operación las diferentes terminales aéreas del país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar geométricamente el lado aire de un aeropuerto ubicado en los Brasiles, municipio de Mateare, departamento de Managua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Definir cada uno de los elementos que componen la geometría del lado aire (Pista de aterrizaje) en un Aeropuerto, así como los factores que influyen en su dimensionamiento.
- Dimensionar el lado aire de un aeropuerto que permita la operación de una aeronave modelo Airbus A320, siguiendo los criterios expuestos en los manuales de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
- Elaborar planos de vista de planta, perfiles y secciones típicas de los elementos que conforman el lado aire del aeropuerto diseñado usando el programa AutoCAD Civil 3D 2021.

CAPITULO II – GEOMETRÍA DEL LADO AIRE DE UN AEROPUERTO



2.1 Generalidades

2.1.1 Definición de aeropuerto

Los aeropuertos, son la infraestructura básica necesaria para que se pueda desarrollar el transporte aéreo a través de la aviación. Básicamente está constituido por dos zonas que se distinguen por las funciones que le competen a cada una de ellas:

Lado Tierra (Land-side), se encarga de los pasajeros y la satisfacción de sus necesidades; incluye la terminal de pasajeros, las zonas de comercio, aduanas, parqueos, entre otras.

Lado Aire (Air-side) concentra su atención en las operaciones aeronáuticas cuyo principal elemento es la pista de aterrizaje (Runway) pero también forman parte de esta zona las calles de rodaje (Taxiways), plataformas, hangares, etc.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2016, pág. 1.2), en su Anexo 14. Diseño y Operaciones de Aeródromos, vol.1 define los siguientes términos:

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

Área de aterrizaje. Parte del área de movimiento destinada al aterrizaje o despegue de aeronaves.

Área de maniobra. Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, excluyendo las plataformas.

Área de movimiento. Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y las plataformas.

2.1.2 Clave de referencia de un aeródromo

El propósito de la clave de referencia, es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeródromos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeródromo.

Esta clave de referencia es un parámetro definido con el fin de facilitar el diseño de los elementos geométricos de un aeródromo para garantizar que las instalaciones sean aptas para las aeronaves que operaran en ella. Esta clave consta de un número y una letra que se determina en base a las características de la aeronave de diseño del aeropuerto, lo cual nos permite establecer qué tipos de aeronaves pueden utilizar estas instalaciones. El manual de diseño de aeródromos presenta una tabla que contiene una clasificación por número y letra de clave de aviones representativos. ([Ver anexo pág. II](#))

El número de clave para el elemento 1 se determina por medio de la tabla 1, columna 1, seleccionando el número de clave que corresponda al valor más elevado de las longitudes de campo de referencia de los aviones para los que se destine la pista, en el caso de que haya más de un avión de diseño. La longitud del campo de referencia de un avión se define como la longitud de campo mínima necesaria para el despegue con la masa máxima certificada de despegue al nivel del mar, en atmosfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero, como se indica en el correspondiente manual de vuelo del avión, prescrito por la autoridad que otorga el certificado, o los datos equivalentes que proporcione el fabricante del avión.

La letra de clave para el elemento 2 se determina por medio de la tabla 1, columna 3, seleccionando la letra de clave que corresponde a la envergadura mayor, o a la anchura exterior mayor entre ruedas del tren de aterrizaje principal, tomando de las dos la que del valor más crítico para la letra de clave de los aviones para los que se destine la instalación. (OACI, 2006)

Tabla 1. Clave de referencia de Aeródromos.

Elemento 1 de la clave		Elemento 2 de la clave		
Núm. De clave (1)	Longitud del campo de referencia del avión (2)	Letra de clave (3)	Envergadura (4)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal * (5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4.5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)
* Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.				

Fuente: Anexo 14. Diseño y operaciones de aeródromos Parte 1. (OACI, 2016, pág. 1.13)

2.1.3 Clasificación Funcional

La clasificación funcional de los aeropuertos, es la agrupación de los aeródromos bajo conceptos que reflejan las funciones generales del mismo, en base al tipo de aeronave a las que pueden brindarles servicio.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI, 2001, pág. 72) en su plan nacional de transporte Vol. VI define nueve niveles de clasificación funcional descritas a continuación:

Nivel 1 - Un aeropuerto internacional, capaz de acomodar vuelos interoceánicos (todo tipo de aeronaves).

Nivel 2 - Un aeropuerto internacional, que puede recibir los vuelos continentales de enlace (aeronaves hasta de 75 toneladas).

Nivel 3 - Un aeropuerto internacional, que puede recibir vuelos intrarregionales (aeronaves hasta de 60 toneladas).

Nivel 4 - Un aeropuerto nacional, capaz de acomodar niveles significativos de actividad.

Nivel 5 - Un aeropuerto nacional, que puede recibir bajos niveles de actividad (aeronaves hasta de 18 toneladas).

Nivel 6 - Un aeropuerto nacional, que únicamente puede recibir tráfico local.

Nivel 7 - Un aeropuerto nacional, que únicamente puede recibir el tráfico social (aeronaves de hasta 11 toneladas).

Nivel 8 - Un hidropuerto nacional.

Nivel 9 - Una instalación que puede recibir operaciones de helicópteros.

2.1.4 Aeronave de Diseño

La aeronave de diseño, también conocida como avión crítico o de proyecto es el que sienta las bases para el diseño del área de movimiento de un aeródromo, que incluye pistas de aterrizaje, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento.

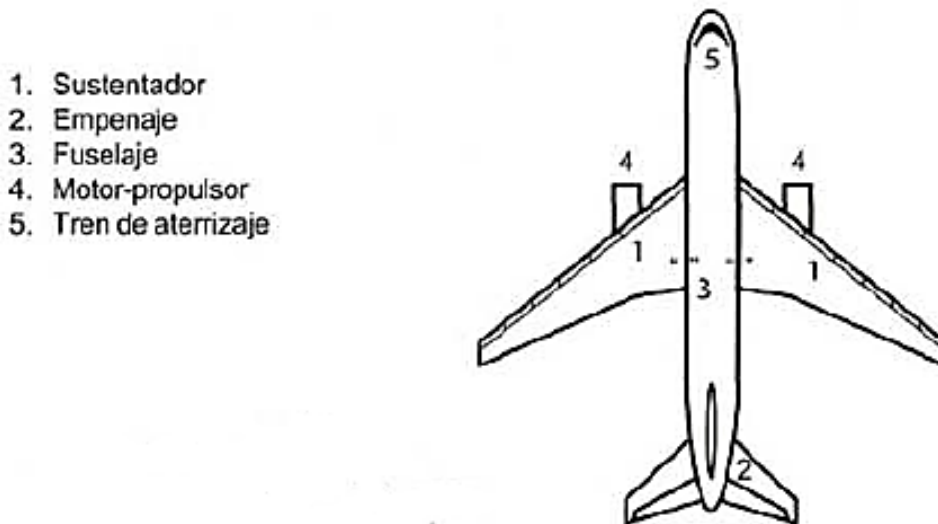
“Es el avión para el que se dimensiona la mayoría de los elementos que conforman la infraestructura del aeropuerto” (Galíndez López, s.f., pág. 75)

El avión crítico de diseño, se determina considerando cada tipo de aeronave, el peso máximo de despegue, la configuración del tren de aterrizaje y el número de despegues que realizará al final del horizonte de proyección en el aeropuerto. Es importante mencionar, que puede existir más de un avión crítico de diseño.

Las partes que componen un avión, se ilustran en la figura 3, y se definen de la siguiente manera:

- a. **Grupo sustentador.** Está formado por las alas, de las cuales se obtiene el 80% de la sustentación de la aeronave, este porcentaje puede aumentar con el auxilio de superficies hipersustentadoras llamadas aletas o flats.
- b. **Grupo empenaje.** Este grupo va empotrado en la cola o extremo posterior del fuselaje y está formado por un plano vertical y otro horizontal.
- c. **Grupo fuselaje.** Es el cuerpo estructural de la aeronave, que aloja a los pasajeros y/o carga y combustible, junto con los sistemas y equipos.
- d. **Grupo motor - propulsor.** Los motores, son los que proporcionan la potencia a las aeronaves para que adquirieran la velocidad requerida en los despegues, durante el vuelo y en los aterrizajes. Por el tipo de propulsor son de hélice, turbo reactores y turbo hélice.
- e. **Tren de aterrizaje.** Es la parte de la aeronave sobre la cual se descarga el peso del avión ya sea en tierra o en agua.

Figura 3. Partes que componen un avión.



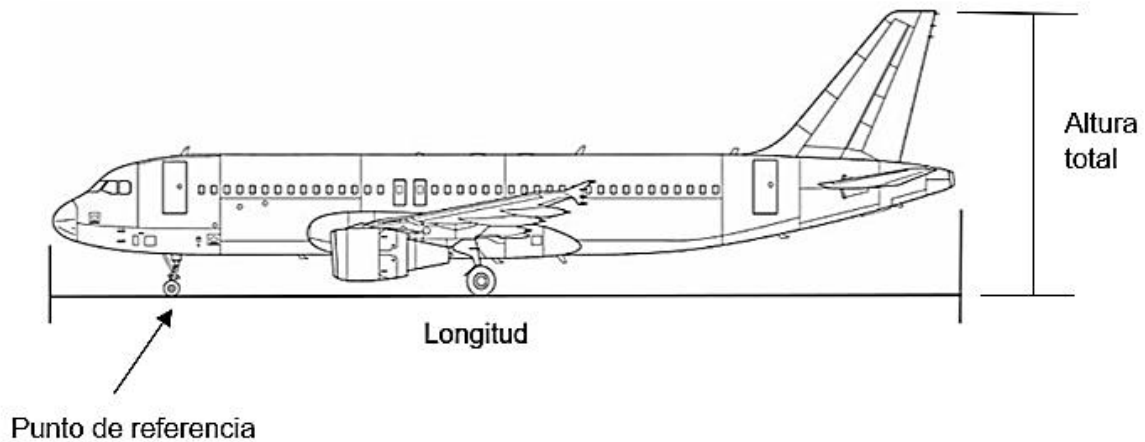
Fuente: Aeropuertos modernos (Galíndez López, s.f., pág. 29)

Las características principales de una aeronave son las siguientes, las cuales se ilustran en las figuras 4, 5 y 6:

- Longitud: Es la distancia que existe desde la punta de la proa hasta la cola o timón de dirección del avión.

- Altura total: Es la distancia que existe desde el pavimento al punto más alto del avión.
- Punto de referencia de la aeronave: Punto del eje longitudinal de la aeronave que sigue la línea de guía en tierra.

Figura 4. Características principales de una aeronave (Parte 1).



Fuente: Elaboración propia

- Envergadura: Es la distancia transversal que existe entre los puntos extremos de las alas.
- Ancho de vía del tren de aterrizaje principal: Distancia entre las ruedas exteriores principales de la aeronave, incluyendo la anchura de las ruedas.

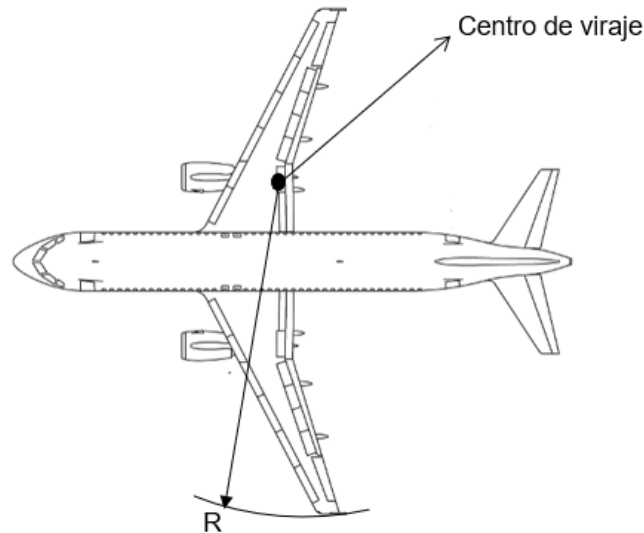
Figura 5. Características principales de una aeronave (Parte 2).



Fuente: Elaboración propia

- Radio de giro: Es la distancia que existe entre el centro de viraje de la aeronave y la punta del ala opuesta.
- Centro de viraje o giro: Centro de viraje de una aeronave en todo momento.

Figura 6. Radio de giro en una aeronave.



Fuente: Elaboración propia

2.2 Características físicas de un aeródromo

2.2.1 Pistas de aterrizaje / despegue

La pista de aterrizaje / despegue, también conocida como Runway, es la superficie rectangular del aeródromo, aeropuerto o campo de aviación, sobre la cual los aviones aterrizan y frenan o en la que los aviones aceleran hasta llegar a una velocidad que les permita poder despegar. Las dimensiones de esta se determinan siguiendo los criterios expuestos en el manual de diseño de aeródromos de la OACI, estas deben ser adecuadas para satisfacer los requisitos operacionales de la aeronave de diseño para la que se proyecta la pista.

Se definen tres tipos de pistas, de manera general tenemos:

- Pista única.
- Pistas cruzadas.
- Pistas paralelas.

La OACI en su Manual de diseño de aeródromos, parte 1 (OACI, 2006, pág. 1.2), establece los tipos de pista de la siguiente manera:

Pista de vuelo por instrumentos: Uno de los siguientes tipos de pista destinados a la operación de aeronaves que utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos:

- a. *Pista para aproximaciones que no sean de precisión.* Pista de vuelo por instrumentos servida por ayudas visuales y una ayuda no visual que proporciona por lo menos guía direccional adecuada para la aproximación directa.
- b. *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría I.* Pista de vuelo por instrumentos servida por Instrument Landing System (ILS) y/o Microwave Landing System (MLS) y por ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión no inferior a 60 m (200 ft) y con una visibilidad de no menos de 800 m o con un alcance visual en la pista no inferior a 550 m.
- c. *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría II.* Pista de vuelo por instrumentos servida por ILS y/o MLS y por ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión inferior a 60 m (200 ft) pero no inferior a 30 m (100 ft) y un alcance visual en la pista no inferior a 350 m.
- d. *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría III.* Pista de vuelo por instrumentos servida por ILS y/o MLS hasta la superficie de la pista y a lo largo de la misma; y

A — destinada a operaciones con una altura de decisión inferior a 30 m (100 ft), o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista no inferior a 200 m.

B — destinada a operaciones con una altura de decisión inferior a 15 m (50 ft), o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista inferior a 200 m, pero no inferior a 50 m.

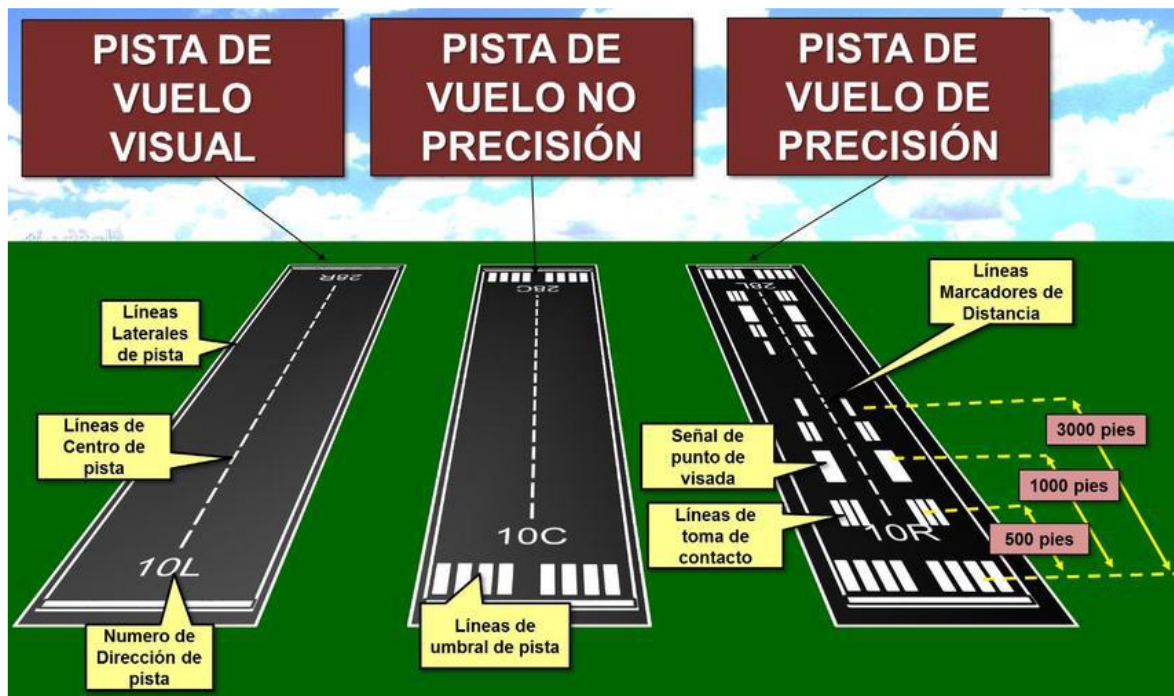
C — destinada a operaciones sin altura de decisión y sin restricciones de alcance visual en la pista.

Pista de vuelo visual: Pista destinada a las operaciones de aeronaves, que utilicen procedimientos de aproximación visual o un procedimiento de aproximación por

instrumentos a un punto más allá del cual pueda continuarse la aproximación en condiciones meteorológicas de vuelo visual.

A continuación, se presentan, los tipos de pistas mencionados anteriormente, con sus respectivas señalizaciones básicas:

Figura 7. Tipos de pistas de aterrizaje/despegue.



Fuente: El vuelo por instrumentos 2 (Perceval, 2016, pág. 444)

2.2.1.1 Capacidad de las pistas

La Federal Aviation Administration (FAA) define “capacidad”, g como el índice de rendimiento, o sea el número máximo de operaciones que puedan tener lugar en una hora.

Según el Manual de planificación de aeropuerto, parte 1 (OACI, 1987), la capacidad anual de un aeropuerto de una sola pista excederá de 195 000 movimientos, si cuenta con calles de rodaje adecuadas. Si el tráfico de un aeropuerto va creciendo rápidamente, es necesario considerar el aumento de la capacidad del mismo mediante la ampliación de la pista existente o la construcción de pistas adicionales.

2.2.1.2 Factores que influyen en la longitud de pista

Según el manual de diseño de aeródromos, capítulo 3, los factores que influyen en la longitud de pista que habrá de facilitarse son los siguientes:

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

2.2.1.3 Pendientes de la pista

La pendiente longitudinal se obtiene al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de esta. La cual no debe exceder al 1% para número de clave 3 o 4; y 2% para número de clave 1 o 2.

Las pendientes transversales facilitan la rápida evacuación del agua, esta no debe variar a lo largo de la pista a menos que haya una intersección con otra pista o calle de rodaje en la que debe proporcionarse una transición suave. Su valor ideal debería ser de 1.5% para letra de clave C, D, E o F; y 2% para letra de clave A o B, pero en todo caso, no debería exceder estos valores ni ser inferior al 1%, salvo en las intersecciones de pistas o de calles de rodaje en que se requieran pendientes más aplanadas.

2.2.1.4 Anchura de la pista

El ancho de las pistas depende de la clave de referencia del aeródromo. Para una anchura de pista determinada, los factores que afectan las operaciones de los aviones incluyen las características, las cualidades de manejo y el rendimiento demostrado por el avión.

Puede ser conveniente tener en cuenta otros factores de importancia operacional para tener un margen de seguridad para factores como el pavimento húmedo o contaminado de la pista, las condiciones de viento de costado, las aproximaciones oblicuas de aterrizaje, la posibilidad de control del avión durante un despegue interrumpido, y los procedimientos para casos de falla de los motores. La anchura de toda pista, no debería de ser menor que las dimensiones especificadas por la OACI en la tabla siguiente:

Tabla 2. Anchura de pistas.

Núm. De clave	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
1^a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2^a	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m
a. La anchura de toda la pista de aproximación de precisión no debería ser menor de 30 m, cuando el número de clave sea 1 o 2.						

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (2006, pág. 5.1)

2.2.1.5 Denominación de las pistas

Las pistas son nombradas por dos dígitos que están entre 01 y 36 denominado decagradados; los cuales representan el azimuth magnético en la dirección de las operaciones de aterrizaje o despegue según sea el caso.

Una pista puede ser normalmente utilizada en ambas direcciones, y es nombrada para cada dirección por separado. Si tenemos pistas paralelas cada una de ellas será identificada añadiendo L (left), C (center) y R (right) al número que identifica la dirección. Para aeropuertos muy grandes puede ocurrir el caso de que tengamos cuatro o más pistas paralelas, estas se identificarán cambiando 10° para evitar posibles confusiones.

2.2.1.1 Umbral

El umbral de una pista es el que determina el punto de comienzo de la parte de la pista que es utilizable para el despegue, es decir; está situado en el extremo de la pista, si no hay obstáculos que sobresalgan por encima de la superficie de aproximación. Sin embargo, en algunos casos, puede ser conveniente desplazarlo. Cuando sea necesario desplazar el umbral de una pista, ya sea de manera permanente o temporal, deberán tenerse en cuenta los diversos factores que pueden incidir sobre el emplazamiento del mismo.

2.2.1.2 Zonas de parada y Zona libre de obstáculos

La zona de parada o Stopway (SWY) está definida como:

“Área rectangular, definida en el terreno situado a continuación del recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para que puedan pararse las aeronaves en caso de que el despegue sea interrumpido” (OACI, 2016, pág. 1.9)

La zona de parada tendrá la misma anchura que la pista con la cual está asociada; y las pendientes y cambios de pendientes en las zonas de parada y la transición de una pista a una zona de parada, deberían cumplir con las especificaciones correspondientes a la pista con la cual está asociada.

Mientras que la zona libre de obstáculos o Clearway (CWY) se define así:

“Área rectangular definida en el terreno o en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada o preparada como área adecuada sobre la cual una aeronave puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada” (OACI, 2016, pág. 1.10)

El origen de la zona libre de obstáculos debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible, su longitud no debería exceder de la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible y su anchura debería extenderse lateralmente hasta una distancia mínima de 75 m a cada lado de la prolongación del eje de la pista.

El terreno de una zona libre de obstáculos no debería sobresalir de un plano inclinado con una pendiente ascendente del 1.25%, siendo el límite inferior de este plano una línea horizontal que este perpendicular al plano vertical que contenga el eje de la pista y pase por un punto situado en el eje de la pista, al final del recorrido de despegue disponible.

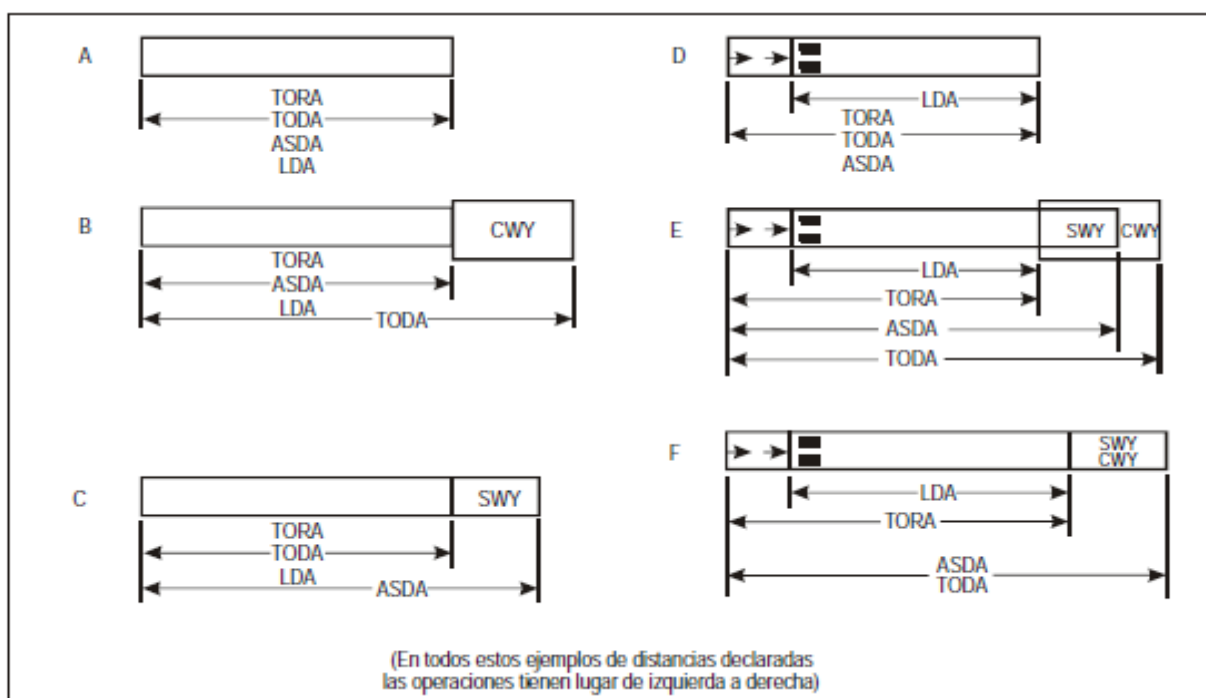
2.2.1.3 Distancias declaradas

La introducción de zonas de parada y de zonas libre de obstáculos, y la utilización de umbrales desplazados en las pistas, han creado la necesidad de disponer de información precisa con respecto a las diferentes distancias físicas disponibles y adecuadas para el aterrizaje, y el despegue de los aviones. Para este propósito, se emplea el término “distancias declaradas”, con las cuatro distancias siguientes asociadas con una pista determinada. (OACI, 2016)

- a. *Recorrido de Despegue Disponible o Takeoff Run Available (TORA)*. Es la distancia que está disponible para que la aeronave pueda despegar, manteniendo su tren de aterrizaje apoyado en el terreno.
- b. *Distancia de Despegue Disponible o Takeoff Distance Available (TODA)*. Es la distancia disponible para el despegue (TORA), más la longitud de la zona libre de obstáculos (Clearway), si la hubiera.
- c. *Distancia de aceleración-parada disponible o Accelerate-Stop Distance Available (ASDA)*. Es la distancia de despegue disponible (TORA) más la longitud de zona de parada (Stopway), si el aeropuerto esta provisto de ella.
- d. *Distancia de aterrizaje Disponible o Landing Distance Available (LDA)*. Es la zona de la pista que se ha declarado disponible y apropiada para el aterrizaje o recorrido en tierra de una aeronave.

A continuación, se presentan una serie de configuraciones básicas de pistas de aterrizaje/despegue, donde se ilustran las distancias declaradas, descritas anteriormente.

Figura 8. Distancias declaradas.



Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, pág. 3.4)

2.2.1.4 Área de seguridad de extremo de pista o Run End Safety Area (RESA)

Los informes del sistema de notificación de datos sobre accidentes/incidentes de la OACI, han indicado que las aeronaves que realizan aterrizajes y despegues demasiado cortos o largos sufren daños significativos. Para minimizar dicho daño, se estima necesario proveer una zona adicional que se extienda más allá de los extremos de la franja de la pista.

Estas zonas conocidas como áreas de seguridad de extremo de pista o Run End Safety Area (RESA), deben tener la capacidad suficiente para resistir aeronaves que realicen aterrizajes demasiado cortos o largos, que resulten de una combinación de factores operacionales adversos y deberán estar libres de equipos e instalaciones no frangibles. (OACI, 2006).

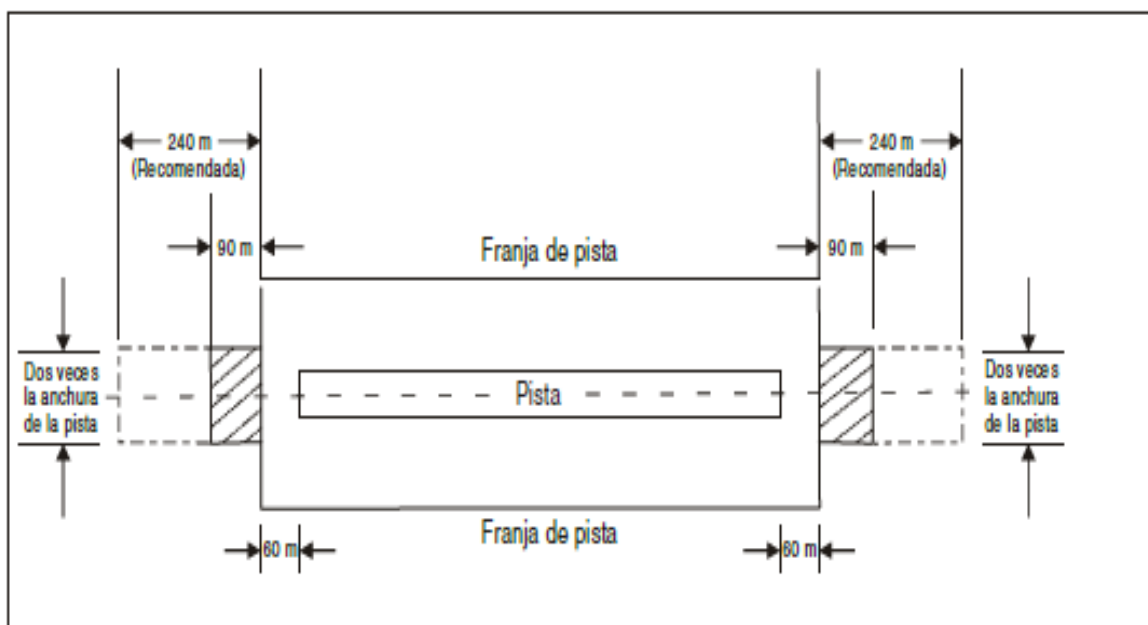
Debe proveerse un área de seguridad de extremo de pista; en cada extremo de una franja de pista cuando el número de clave sea 3 o 4 o cuando el número de clave sea 1 o 2, y la pista sea de aterrizaje por instrumentos o de vuelo visual.

El área de seguridad de extremo de pista, se extenderá desde el extremo de una franja de pista hasta por lo menos 90 m cuando el número de clave sea 3 o 4; y cuando el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de aterrizaje por instrumentos.

La OACI, recomienda que el área de seguridad de extremo de pista se extienda, en la medida de lo posible, desde el extremo de una franja de pista hasta una distancia de por lo menos 240 m para número de clave 3 o 4; y 120 m para número de clave 1 o 2, y la pista sea de vuelo por instrumentos o una longitud menor cuando se instale un sistema de parada y 30 m para número de clave 1 o 2, y la pista sea de vuelo visual.

La anchura de un área de seguridad de extremo de pista, debe ser por lo menos el doble de la anchura de la pista correspondiente. Cuando sea posible, esta anchura debería ser igual a la de la parte nivelada de la franja de pista correspondiente. Estas dimensiones se presentan en la figura siguiente, para el caso de pistas con clave 3 o 4.

Figura 9. Área de seguridad de extremo de pista para una pista en la que el número de clave es 3 ó 4.



Fuente: Anexo 14. Diseño y operaciones de aeródromos Parte 1. (OACI, 2016, pág. Adj.A15)

Las pendientes de un área de seguridad de extremo de pista, tanto longitudinales como transversales, no deberían sobrepasar una inclinación del 5%.

2.2.1.5 Márgenes de pista

Los márgenes de pista, aseguran la transición del pavimento a la franja de pista no pavimentada. Estos deberían prepararse o construirse de manera que se reduzca al mínimo el peligro que pueda correr un avión, o que se salga de la pista o de la zona de parada. Estos deben proveerse en toda pista cuya letra de clave sea D o F, y de anchura inferior a 60 m, también en pistas cuya letra de clave sea F.

Los márgenes deberían extenderse simétricamente a ambos lados de la pista. De forma, que la anchura total de esta y sus márgenes no sea inferior a 60 m para letra de clave D o E, y 75 m para letra de clave F. Las superficies de los márgenes adyacentes a la pista, deberían estar al mismo nivel que la de esta, y su pendiente transversal descendiente no debería exceder del 2.5%. (OACI, 2006)

2.2.1.6 Franjas de la pista

Según la OACI (2006), la franja de la pista, es aquella que se extiende lateralmente hasta una distancia específica; desde el eje de la pista longitudinalmente hasta antes del umbral, y más allá del extremo de la pista. Esta provee un área libre de objetos, que pudieran poner en peligro a las aeronaves; lo que protege a los que sobrevuelan, durante las operaciones de despegue o aterrizaje.

Toda franja debería extenderse, antes del umbral y más allá del extremo de pista o de la zona de parada, hasta una distancia de por lo menos 60 m para número de clave 2,3 o 4; 60 m para número de clave 1 y pista de vuelo por instrumentos; y 30 m para número de clave 1 y pista de vuelo visual.

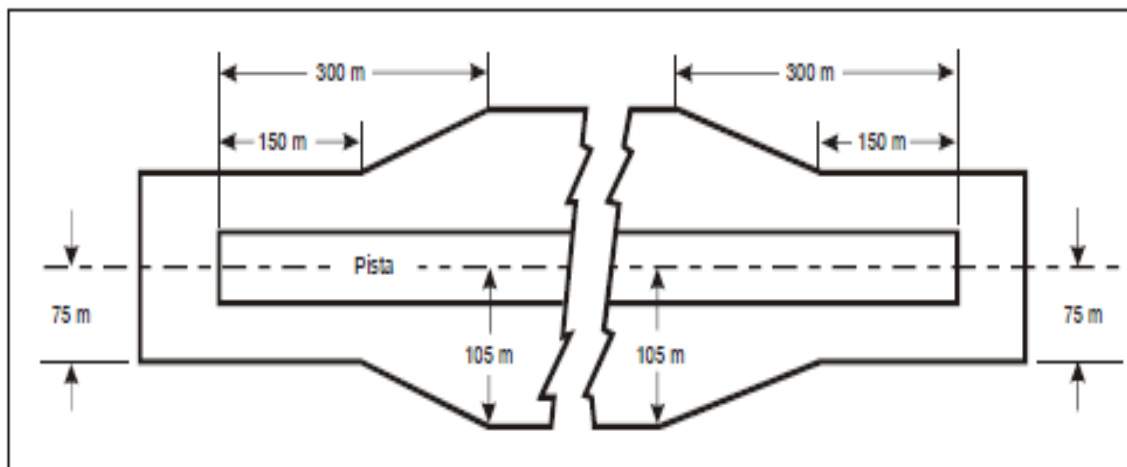
Siempre que sea posible, toda franja se extenderá lateralmente, a cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja, en una distancia de por lo menos 150 m para número de clave 3 o 4 y 75 m para número de clave 1 o 2, para pistas con aproximaciones de precisión y no precisión. En caso, de tener una pista de vuelo visual, la franja debería extenderse en una distancia de por lo menos 75 m

para número de clave 3 o 4; 40 m para número de clave 2; y 30 m para número de clave 1.

La franja incluye una porción nivelada que debe prepararse de forma tal, que no cause el desplome del tren de proa al salirse la aeronave de la pista, lo cual reduce el riesgo de daño a los aviones que se salgan de la pista. La parte de una franja que comprenda una pista de vuelo por instrumentos, debería proveer, hasta una distancia de por lo menos 75 m para número de clave 3 o 4; y 40 m para número de clave 1 o 2; del eje de pista y de su prolongación.

En el caso de las pistas para aproximaciones de precisión, sería conveniente adoptar una anchura mayor si el número de clave es 3 ó 4. En la Figura siguiente, se indican la forma y dimensiones de una franja más ancha que podría considerarse para dichas pistas.

Figura 10. Parte nivelada de la franja de una pista para aproximaciones de precisión cuyo número de clave sea 3 o 4.



Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (2006, pág. 5.11).

La parte de una franja de una pista de vuelo visual, debería proveer hasta una distancia de por lo menos 75 m para el número de clave 3 ó 4; 40 m para número de clave 2; y 30 m para número de clave 1. La superficie de la parte de la franja lindante con la pista, margen o zona de parada estará al mismo nivel que la superficie de la pista, margen o zona de parada.

La pendiente longitudinal, a lo largo de la porción de una franja que ha de nivelarse, no debería exceder de 1,5%, cuando el número de clave sea 4; 1,75%, cuando el número de clave sea 3; y 2%, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Las pendientes transversales en la parte de una franja que haya de nivelarse, deberían ser adecuadas para impedir la acumulación de agua en la superficie, pero no deberían exceder del 2,5%, cuando el número de clave sea 3 ó 4; y 3%, cuando el número de clave sea 1 ó 2; excepto que; para facilitar el drenaje, la pendiente de los primeros 3 m hacia afuera del borde la pista, margen o zona de parada debería ser negativa, medida en el sentido de alejamiento de la pista, pudiendo llegar hasta el 5%. Las pendientes transversales, en cualquier parte de una franja más allá de la parte que ha de nivelarse no deberían exceder de una pendiente ascendente o descendente del 5% medida en el sentido de alejamiento de la pista.

2.2.2 Calles de rodaje

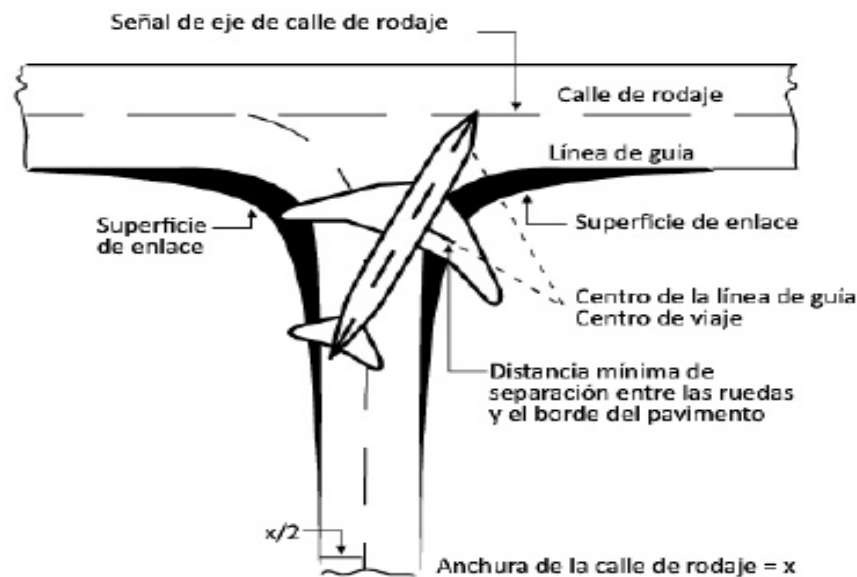
Las calles de rodaje o Taxiways, son las que conectan la pista de despegue/aterrizaje (Runway) con los hangares y zonas de aparcamiento. La OACI (2006, pág. 1.3), en su Anexo 14 Diseño y Operaciones de Aeródromos, vol.1 define las calles de rodaje como:

Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:

- a. *Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave.* La parte de una plataforma designada como calle de rodaje, y destinada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente.
- b. *Calle de rodaje en la plataforma.* La parte de un sistema de calles de rodaje, situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.
- c. *Calle de salida rápida.* Calle de rodaje, que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores, logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

En la siguiente figura se muestran los elementos principales presentes en una intersección entre calles de rodaje.

Figura 11. Intersección entre calles de rodaje.



Fuente: Aeropuertos (Galíndez López, s.f., pág. 118)

El sistema de calles de rodaje, debe permitir la atención de la demanda de llegadas y salidas de aeronaves para el sistema de pistas. Cuando la utilización de la pista es reducida, esto se logra con un mínimo de componentes del sistema de calles de rodaje. Sin embargo, a medida que aumenta el régimen de aceptación de las pistas, hay que ampliar suficientemente la capacidad del sistema de calles de rodaje con objeto de evitar que esto se convierta en un factor que limite la capacidad del aeródromo.

El manual de diseño de aeródromos parte 2, establece que, al planificar la configuración general del sistema de calles de rodaje, deberían tenerse presentes los siguientes principios:

- a. El trayecto descrito por las calles de rodaje, debería conectar los diversos elementos del aeródromo, utilizando las distancias más cortas; para reducir al mínimo el tiempo de rodaje y el coste;

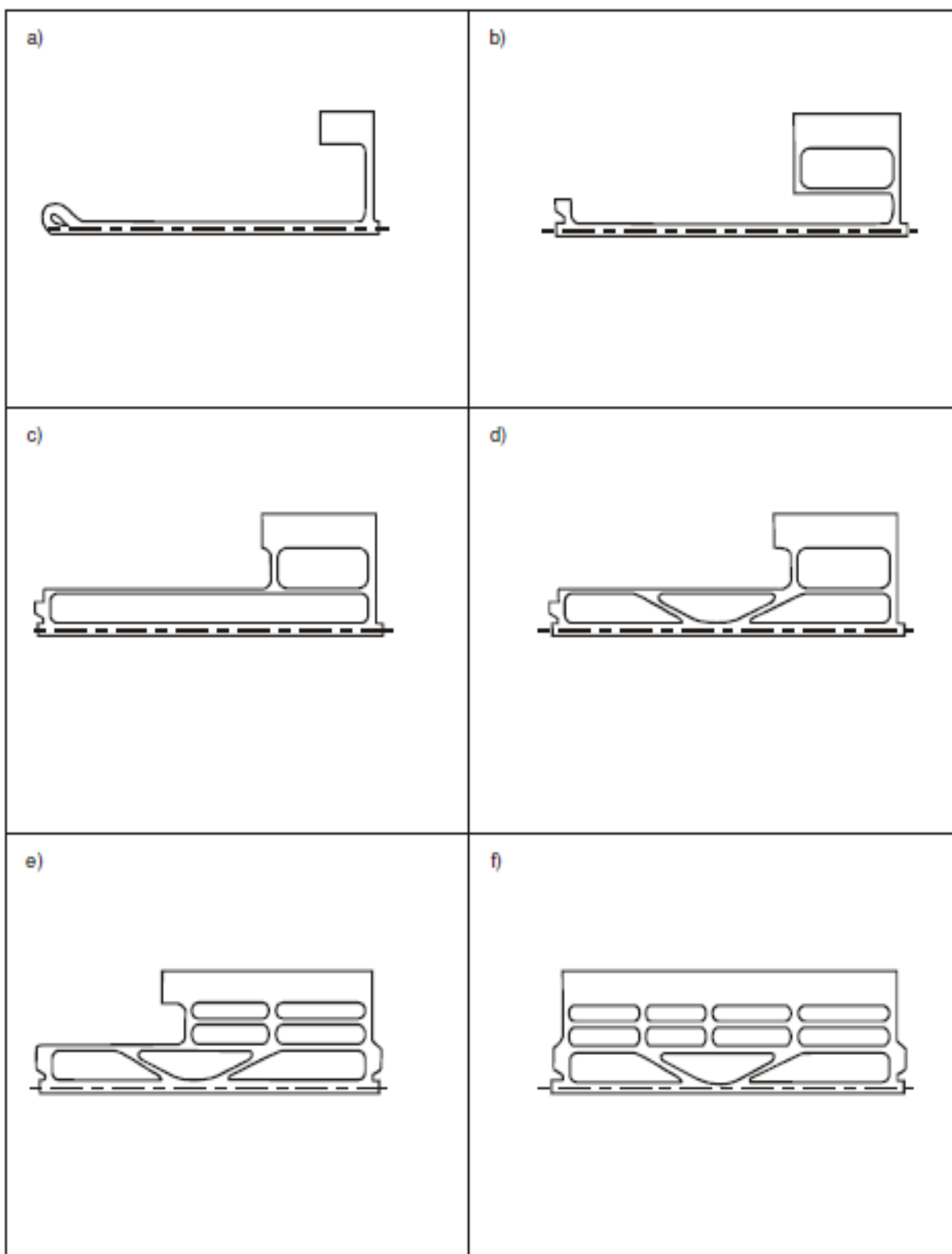
- b. El trayecto descrito por las calles de rodaje, debería ser lo más sencillo posible, con objeto de evitar confundir al piloto y la necesidad de tener que dar instrucciones complicadas;
- c. Siempre que sea posible, deberían utilizarse tramos rectos de pavimento. Cuando los cambios de dirección sean necesarios, se diseñarán curvas con radio adecuado, así como superficies de enlace o calles de rodaje más anchas, a fin de permitir el rodaje a la máxima velocidad que sea posible;
- d. Debería evitarse que las calles de rodaje crucen las pistas u otras calles de rodaje, siempre que sea posible, en interés de la seguridad y para reducir la posibilidad de que ocurran demoras importantes en el rodaje;
- e. Las calles de rodaje, deberían tener tantos tramos unidireccionales como sea posible, para reducir al mínimo los conflictos de tráfico de aeronaves y las demoras. Deberían analizarse los movimientos de aeronaves en los tramos de las calles de rodaje, respecto a cada configuración en la que se utilizará la pista o pistas;
- f. El sistema de calles de rodaje debería planificarse, de modo que se logre la máxima vida útil de cada componente, a fin de que en las futuras etapas de ampliación se incluyan elementos del sistema existente; y
- g. En el fondo, un sistema de calles de rodaje funcionará únicamente con la eficacia de su componente menos adecuado. Por lo tanto, en la etapa de planificación deberían localizarse y eliminarse los posibles atrasos.

El manual de diseño de aeródromos parte 2, menciona que para reducir al mínimo los costes de construcción, el diseño del sistema de calles de rodaje debería corresponder únicamente a las necesidades a corto plazo en cuanto a la capacidad de las pistas, posteriormente; pueden agregarse a este sistema componentes adicionales para satisfacer la demanda a medida que el tráfico del aeródromo aumente.

A continuación, se describen las etapas de ampliación del sistema de calles de rodaje, ilustradas en la figura 12:

- a. Un sistema mínimo de calles de rodaje de un aeródromo, con nivel reducido de utilización de las pistas; puede constar solamente de superficie de media vuelta o calles de media vuelta en ambos extremos de la pista, y una calle de rodaje corta desde la pista a la plataforma;
- b. El aumento del tráfico, que origine un grado de utilización de la pista de reducido a moderado, puede atenderse construyendo una calle de rodaje paralela parcial para conectar una o ambas calles de media vuelta (las calles de rodaje paralelas, ofrecen ventajas en cuanto a seguridad; así como mayor eficacia);
- c. A medida que aumente la utilización de la pista, debe proporcionarse una calle de rodaje paralela completa, agregando las partes que falten de la calle de rodaje paralela parcial;
- d. Las calles de rodaje de salida, además de las existentes en cada extremo de la pista, pueden construirse a medida que aumente la utilización de la pista hasta llegar al punto de saturación;
- e. Pueden agregarse apartaderos de espera y calles de desviación para incrementar la capacidad de la pista. Estas instalaciones rara vez representan un obstáculo para lograr la plena capacidad del aeródromo dentro de la propiedad existente del mismo, puesto que suelen disponerse del terreno necesario para su construcción; y
- f. Debería considerarse la posibilidad de construir una calle de rodaje paralela doble, situada al costado exterior de la primera calle de rodaje paralela, cuando sea conveniente; el movimiento en ambos sentidos a lo largo de la calle de rodaje. En esta segunda calle de rodaje, puede establecerse una red para el movimiento unidireccional de las aeronaves en cada sentido de utilización de la pista. La necesidad de un sistema de calles de rodaje paralelas dobles, aumenta en proporción al grado de ampliación a lo largo de la calle de rodaje.

Figura 12. Etapas en la ampliación de un sistema de calles de rodaje.



Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 1.5)

Los criterios para el diseño de las calles de rodaje, son menos estrictos que los relativos a las pistas, ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son mucho más lentas que en las pistas. En la tabla que se presenta a continuación, figuran los criterios principales para el diseño de las características físicas recomendadas para una calle de rodaje de acuerdo con las especificaciones del anexo 14, volumen 1. (OACI, 2016)

Tabla 3. Criterios relativos al diseño de una calle de rodaje.

Características físicas	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
Anchura mínima de:						
Pavimento de la calle de rodaje	7.5 m	10.5 m	18 m ^a	23 m ^c	23 m	25 m
			15 m ^b	18 m ^d		
Pavimento y margen de la calle de rodaje	-	-	25 m	38 m	44 m	60 m
Franja de la calle de rodaje	32.5 m	43 m	52 m	81 m	95 m	115 m
Parte nivelada de la franja de la calle de rodaje	22 m	25 m	25 m	38 m	44 m	60 m
Distancia libre mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje	1.5 m	2.25 m	4.5 m ^a	4.5 m	4.5 m	4.5 m
			3 m ^b			
Pendiente longitudinal máxima de la calle de rodaje:						
pavimento	3%	3%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
variación de la pendiente	1% por 25 m	1% por 25 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m
Pendiente transversal máxima de:						
pavimento de la calle de rodaje	2%	2%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje						
pendiente ascendente	3%	3%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
pendiente descendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
parte no nivelada de la franja						
pendiente ascendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
a. Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas de 18 m o más. b. Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas inferior a 18 m. c. Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total del tren de aterrizaje principal de 9m o más. d. Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total del tren de aterrizaje principal inferior a 9 m. e. Calle de rodaje que no sea calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves. Nota: la base de ruedas de una aeronave, es la distancia desde el tren de proa al centro geométrico del tren principal.						

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 1.2)

2.2.2.1 Anchura de las calles de rodaje

En la tabla 3 se muestran las anchuras mínimas de las calles de rodaje. Los valores se basan en la suma de la distancia libre entre las ruedas y el borde del pavimento, más la anchura total máxima de tren de aterrizaje principal de la aeronave para la letra de clave seccionada.

2.2.2.2 Separación mínima entre las calles de rodaje

Las separaciones relativas a las calles de rodaje y a las calles de rodaje en la plataforma, se basan en la envergadura de la aeronave y la desviación lateral máxima (distancia libre entre ruedas y el borde de la calle de rodaje especificada en la tabla 3). Las fórmulas y separaciones figuran en la tabla 4.

Tabla 4. Separación mínima entre calles de rodaje y entre calles de rodaje y objetos (dimensiones en metros).

SEPARACIÓN	LETRA DE CLAVE					
	A	B	C	D	E	F
Entre eje de calle de rodaje/calle de rodaje en plataforma y eje de calle de rodaje:						
envergadura (Y)	15.00	24.00	36.00	52.00	65.00	80.00
+ desviación lateral máxima (X)	1.50	2.25	3.00	4.50	4.50	4.50
+ incremento (Z)	7.25	7.25	5.00	10.00	10.50	13.00
Separación total (V)	23.75	33.50	44.00	66.50	80.00	97.50
Entre eje de calle de rodaje y objeto:						
1/2 envergadura (Y)	7.50	12.00	18.00	26.00	32.50	40.00
+ desviación lateral máxima (X)	1.50	2.25	3.00	4.50	4.50	4.50
+ incremento (Z)	7.25	7.25	5.00	10.00	10.50	13.00
Separación total (V)	16.25	21.50	26.00	40.50	47.50	57.50
Entre eje de calle de rodaje en plataforma y objeto:						
1/2 envergadura (Y)	7.50	12.00	18.00	26.00	32.50	40.00
+ desviación lateral máxima (X)	1.50	2.25	3.00	4.50	4.50	4.50
+ incremento (Z)	7.25	7.25	5.00	10.00	10.50	13.00
Separación total (V)	16.25	21.50	26.00	40.50	47.50	57.50
Entre eje de calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y objetos:						
1/2 envergadura (Y)	7.50	12.00	18.00	26.00	32.50	40.00
+ desviación lateral máxima (X)	1.50	1.50	2.00	2.50	2.50	3.00
+ incremento (Z)	3.00	3.00	4.50	7.50	7.50	7.50
Separación total (V)	12.00	16.50	24.50	36.00	42.50	50.50

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 1.11)

La separación entre una calle de rodaje y una pista está basada en el principio aceptado de que el extremo del ala de una aeronave centrada en una calle de rodaje paralela, no debería penetrar la correspondiente franja de la pista, en la tabla 5 figuran las fórmulas y las separaciones.

Tabla 5. Separación mínima entre el eje de calle de rodaje / calle de rodaje en la plataforma y el eje de pista (dimensiones en metros).

NÚMERO DE CLAVE	1		2		3				4			
LETRA DE CLAVE	A	B	A	B	A	B	C	D	C	D	E	F
1/2 envergadura (Y)	7.5	12	7.5	12	7.5	12	18	26	18	26	32.5	40
+ 1/2 anchura de franja (pistas que no sean para aproximaciones por instrumentos)	30	30	40	40	75	75	75	75	75	75	75	75
Total	37.5	42	47.5	52	82.5	87	93	101	93	101	107.5	115
ó												
1/2 envergadura (Y)	7.5	12	7.5	12	7.5	12	18	26	18	26	32.5	40
+ 1/2 anchura de franja (pistas para aproximaciones por instrumentos)	75	75	75	75	150	150	150	150	150	150	150	150
Total	82.5	87	82.5	87	157.5	162	168	176	168	176	182.5	190

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 1.13)

2.2.2.3 Curvas de las calles de rodaje

Los cambios de dirección de las calles de rodaje, no deberían ser numerosos ni pronunciados, en la medida de lo posible. Los radios de las curvas deberían ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de los aviones para los que dicha calle de rodaje este prevista.

El diseño de la curva debería ser tal; que cuando el puesto de pilotaje del avión permanezca sobre las señales de eje de calle de rodaje, la distancia libre entre las ruedas principales exteriores y el borde de la calle de rodaje o sea inferior a las especificadas en la tabla 3. Si la existencia de curvas es inevitable, los radios de las mismas deberían ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de las aeronaves a las que se destina dicha calle de rodaje. (OACI, 2005)

2.2.2.4 Márgenes y franjas de las calles de rodaje.

Los tramos rectilíneos de las calles de rodaje, que sirvan a pistas de letra de clave C, D, E o F deberían tener márgenes a ambos lados de la calle de rodaje; de modo que, la anchura total de la calle de rodaje y sus márgenes en las partes rectilíneas no se menor que las dimensiones especificadas en la tabla 3, de este documento.

Cabe señalar, que se consideran como apropiados los márgenes de 10.5 m de anchura para la letra de clave E a los dos lados de la calle de rodaje y de 17.5 m para la letra de clave F. Estos requisitos relativos a la anchura del margen de la calle de rodaje se basan en las aeronaves más críticas en servicio actualmente.

Todas las calles de rodaje, excepto las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves, deberán estar situadas dentro de una franja, las cuales se deben extender simétricamente a ambos lados del eje de la calle de rodaje y en toda la longitud de esta, hasta la distancia con respecto al eje especificada en la tabla 3.

La parte central de una franja de calle de rodaje, debería proporcionar una zona nivelada a una distancia del eje de la calle de rodaje con valores mínimos especificados en la tabla 3.

La superficie del margen a continuación de la calle de rodaje, debería estar nivelada con la superficie de la calle de rodaje; en tanto que, la superficie de la franja debería estar nivelada con el borde de la calle de rodaje o el margen. Si se proporciona para las letras C, D, E o F, la parte nivelada de la franja de la calle de rodaje no debería tener una pendiente transversal ascendente mayor del 2.5%; ni descender con una pendiente que exceda del 5%. Las pendientes para la letra de clave A o B son 3 y 5%, respectivamente. La pendiente ascendente, se mide con referencia a la pendiente transversal de la superficie de la calle de rodaje adyacente, y la pendiente descendente con referencia a la horizontal.

2.2.2.5 Pendientes de las calles de rodaje

La pendiente longitudinal de una calle de rodaje no debería exceder de 1.5% cuando la letra de clave sea C, D, E o F y 3% cuando la letra de clave sea A o B.

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente en una calle de rodaje, la transición de una pendiente a otra, debería efectuarse mediante una superficie cuya curvatura no exceda del 1% por cada 30 m (radio mínimo de curvatura de 3 000 m) cuando la letra de clave sea C, D, E o F y 1% por cada 25 m (radio mínimo de curvatura de 2 500 m) cuando la letra de clave sea A o B.

Las pendientes transversales de una calle de rodaje, deberían ser suficientes para impedir la acumulación de agua en la superficie, pero no deberían de exceder del 1.5% cuando la letra de clave sea C, D, E o F y 2% cuando la letra de clave sea A o B.

2.2.3 Plataforma

La rampa aeroportuaria o plataforma, es la parte de un aeropuerto destinada al estacionamiento de aeronaves, generalmente son pavimentadas y su uso es controlado por el servicio de gestión de plataforma.

“Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento” (OACI, 2016, pág. 1.8).

De acuerdo al uso y emplazamiento de los puestos de estacionamiento de aeronaves, las plataformas se dividen en:

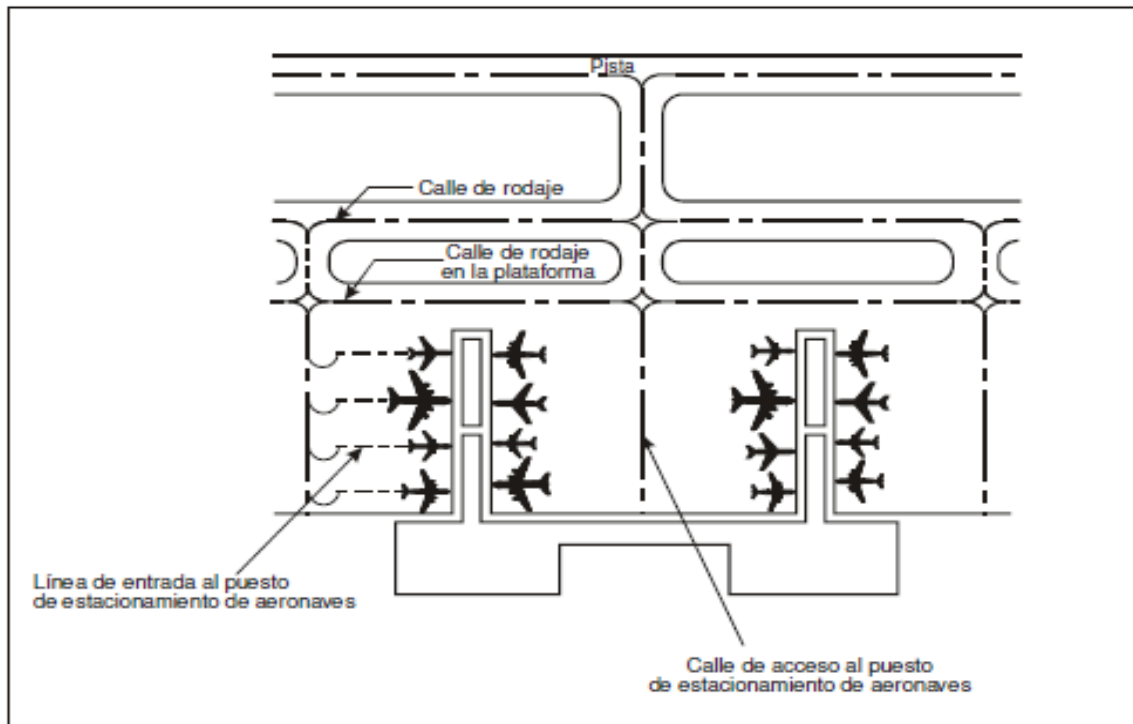
- a) *Plataforma de la terminal de pasajeros*: la plataforma de la terminal de pasajeros es un área designada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves, situada junto a las instalaciones de la terminal de pasajeros o fácilmente accesible. Además de facilitar el movimiento y pasajeros, esta plataforma se utiliza para el aprovisionamiento de combustible y mantenimiento de aeronaves, así como para el embarque y desembarque de carga, correo y equipaje. Cada uno de los lugares de estacionamiento de aeronaves e la plataforma de la terminal de pasajeros se denomina puesto de estacionamiento de aeronaves.

- b) *Plataforma de carga*: para las aeronaves que solo transportan carga y correo puede establecerse una plataforma de carga separada junto al edificio terminal de carga. Es conveniente la separación de las aeronaves de carga y pasajeros debido a los distintos tipos de instalaciones que cada una de ellas necesita en la plataforma y en la terminal.
- c) *Plataforma de estacionamiento*: en los aeropuertos puede necesitarse una plataforma de estacionamiento por separado, además de la plataforma de la terminal, donde las aeronaves pueden permanecer estacionadas durante largos períodos. Estas plataformas pueden utilizarse durante las paradas de la tripulación o mientras se efectúa el servicio y mantenimiento periódico menor de aeronaves que se encuentran temporalmente fuera de servicio. Aunque las plataformas de estacionamiento se encuentran separadas de las plataformas de la terminal, deberían emplazarse lo más cerca posible de estas, a fin de reducir a lo mínimo el tiempo de embarque/desembarque de pasajeros; así como por razones de seguridad.
- d) *Plataforma de servicio en hangares*: una plataforma de servicio, es un área descubierta adyacente a un hangar de reparaciones en el que puede efectuarse el mantenimiento de aeronaves; mientras que una plataforma de hangar es un área desde la cual la aeronave sale y entra de un hangar de aparcamiento.
- e) *Plataformas para la aviación general*: las aeronaves de aviación general utilizadas para vuelos de negocios o de carácter personal, necesitan varias categorías de plataformas para atender distintas actividades de la aviación general.
- f) *Plataforma temporal*: las aeronaves de la aviación general que efectúan vuelos de carácter transitorio (temporal) utilizan este tipo de plataformas como medio de estacionamiento temporal de aeronaves; así como para el acceso a las instalaciones de aprovisionamiento de combustible, servicio de las aeronaves y transporte terrestre.

También se incluye la plataforma de viraje que es una superficie dentro del aeródromo, adyacente a la pista con el objetivo de facilitar el viraje de 180° de los aviones.

En la figura 13 se ilustra una de las configuraciones de plataforma y sus respectivas calles de rodaje.

Figura 13. Plataformas y sus calles de rodaje.



Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 1.4)

Las plataformas están relacionadas con el complejo terminal, por la cual se las debe planificar en conexión con los edificios de la terminal, con el propósito de que representen una solución óptima. Según el manual de planificación de aeropuertos, parte 1. Planificación general (OACI, 1987), se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Proporcionar distancias de rodaje mínimas entre pistas y puestos de estacionamiento (ahorro de combustible, tiempo y mantenimiento);
- b. Prever la libertad de movimiento de las aeronaves con el propósito de evitar demoras innecesarias (puntualidad en los horarios);
- c. Reservar extensión suficiente para la ampliación futura y los cambios en las técnicas;

- d. Lograr un rendimiento, una seguridad operacional y una comodidad para los usuarios al nivel máximo en cada complejo de plataformas y en el aeropuerto como sistema total; y
- e. Minimizar los efectos adversos, tales como soplo de los motores, ruido contaminación del aire, etc., en la aproximación y en los aledaños.

La planificación de una plataforma dada depende de su objetivo y función. De tal manera que, los parámetros básicos que han de considerarse son los siguientes:

- a. Número de puestos de aeronave que se necesitan actualmente y para el futuro;
- b. Tipos de aeronaves, tanto actuales como futuros;
- c. Dimensiones de las aeronaves y capacidad de maniobra;
- d. Configuración de estacionamiento, inclusive forma de la terminal y del área circundante disponible para ampliación;
- e. Requisitos de espaciado entre una aeronave y otra y con respecto a los edificios u otros objetos fijos;
- f. Método de guía de la aeronave, al puesto de estacionamiento;
- g. Requisitos de servicios terrestres, (vehículos y sus relaciones con las instalaciones de los servicios fijos, etc.); y
- h. Calles de rodaje y rutas de servicio.

2.2.3.1 Embarque de pasajeros

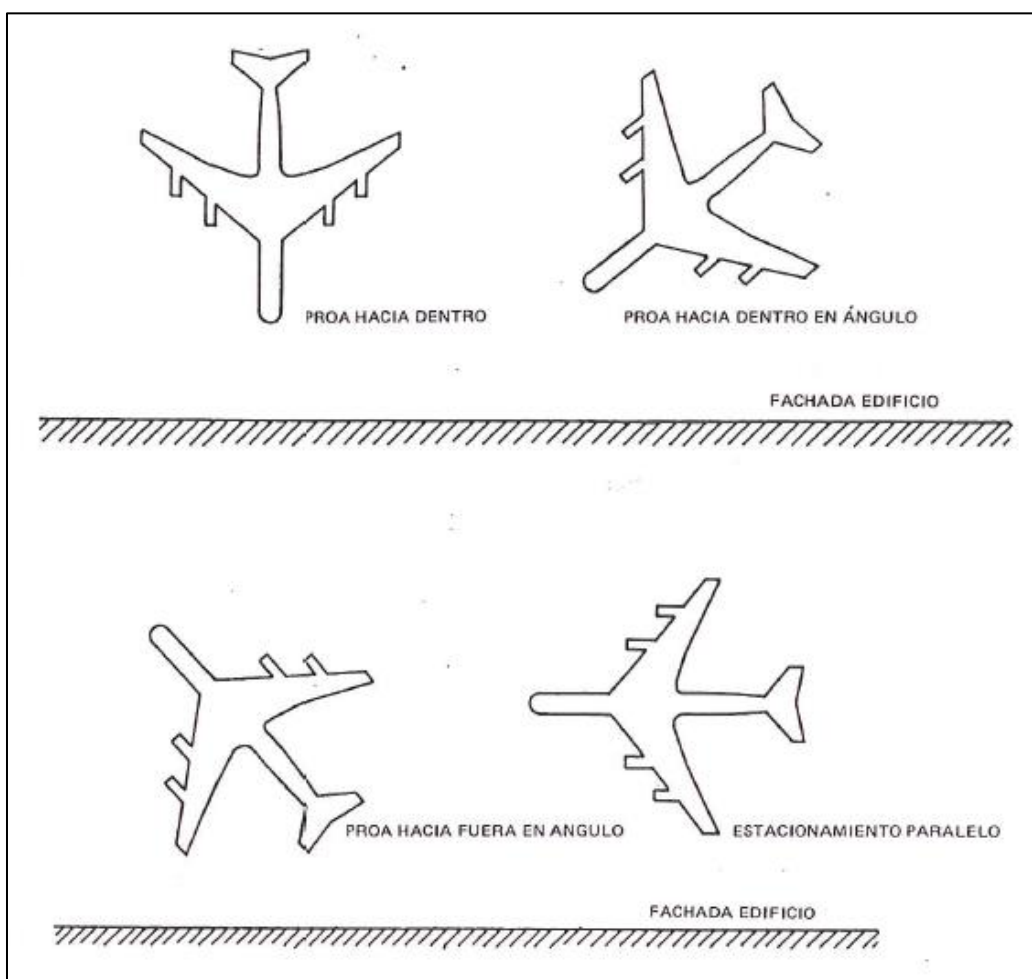
Al planificar el diseño de la plataforma, debería tenerse en cuenta el método que se adoptara para el embarque de pasajeros. La entrada directa al nivel de la aeronave se consigue mediante una pasarela que permite al pasajero entrar en la aeronave desde el edificio terminal si haber cambiado de nivel. Hay dos tipos de pasarelas, la estacionaria y la extensible. Además, de las pasarelas, existen otros métodos básicos para la subida o la bajada de los pasajeros, como la escalera móvil, los transbordadores y las aeronaves con escalerilla propia.

2.2.3.2 Configuración de estacionamiento de las aeronaves.

La configuración de estacionamiento de las aeronaves dependerá del método por el cual la aeronave entrara y dejará el puesto de estacionamiento, sea con su propia potencia (maniobra) o por tracción o empuje (con tractor).

Las diferentes configuraciones se presentan en la figura 14 y las ventajas y desventajas principales de cada configuración se indican en la tabla 6 presentadas a continuación:

Figura 14. Configuraciones de estacionamiento.



Fuente: Manual de planificación de aeropuertos, parte 1. Planificación general (OACI, 1987, pág. 1.62)

Tabla 6. Comparación de diferentes configuraciones de aeronaves.

	Proa hacia adentro (tracción y empuje con tractor)	Proa hacia adentro en ángulo (entrada y salida con la propia potencia)	Proa hacia afuera en ángulo (entrada y salida con la propia potencia)	En paralelo (entrada y salida con la propia potencia)
V e n t a j a s	Requiere una zona menor para una aeronave dada.	No es necesario el tractor.	No es necesario el tractor.	Facilidad de maniobra para entrada y salida de la aeronave.
	Los efectos del chorro de los reactores sobre el equipo, el personal y la terminal son mucho menores.			
	Reduce el tiempo de servicio de la aeronave, ya que el equipo terrestre puede emplazarse antes de la llegada de la aeronave; menores requisitos de movimiento de equipo en la salida de la aeronave.			No es necesario el tractor.
	Pasarela de embarque de pasajeros fácil de emplear.			
D e s v e n t a j a s	Es necesario el tractor para el empuje.	Requiere una zona de plataforma mayor que para la configuración con proa hacia adentro.	Requiere una zona de plataforma mayor que para la configuración con proa hacia adentro en ángulo.	Requiere una amplia zona de plataforma para una aeronave dada.
	La operación de empuje requiere tiempo y un operario hábil.	Chorro de los motores y ruido relativamente intenso en dirección a la terminal.	Chorro de gases y ruido de los motores en dirección a la terminal.	Limita la actividad de servicio de aeronaves en la plataforma vecina, cuando la aeronave entra y sale.

Fuente: Manual de planificación de aeropuertos, parte 1. Planificación general (OACI, 1987, pág. 1.63)

Como regla general, las configuraciones con proa hacia adentro son comunes en los aeropuertos de gran tráfico, cuando el coste del tractor se ve justificado por un uso más eficaz de una zona de plataforma limitada. Se emplean otras configuraciones de estacionamiento en los aeropuertos de poco tráfico, en los cuales es difícil compensar el coste de operación del tractor con los ahorros en el tamaño de la plataforma.

2.2.3.3 Numero requerido de puestos de estacionamiento

El número de puestos para las aeronaves en una plataforma terminal de pasajeros, depende de los movimientos de las aeronaves de pasajeros. Desglosado por tipo de aeronave, durante la hora de punta y el tiempo de ocupación de los puestos de embarque; así como, el número de puestos determina el tamaño de la plataforma, y con frecuencia también la configuración de la terminal, este aspecto resulta uno de los más importantes de la planificación. El número necesario de puestos de estacionamiento debe estimarse a corto, medio y largo plazo, preparando un plan de ampliación ordenado y oportuno.

2.2.3.4 Relaciones plataforma/terminal.

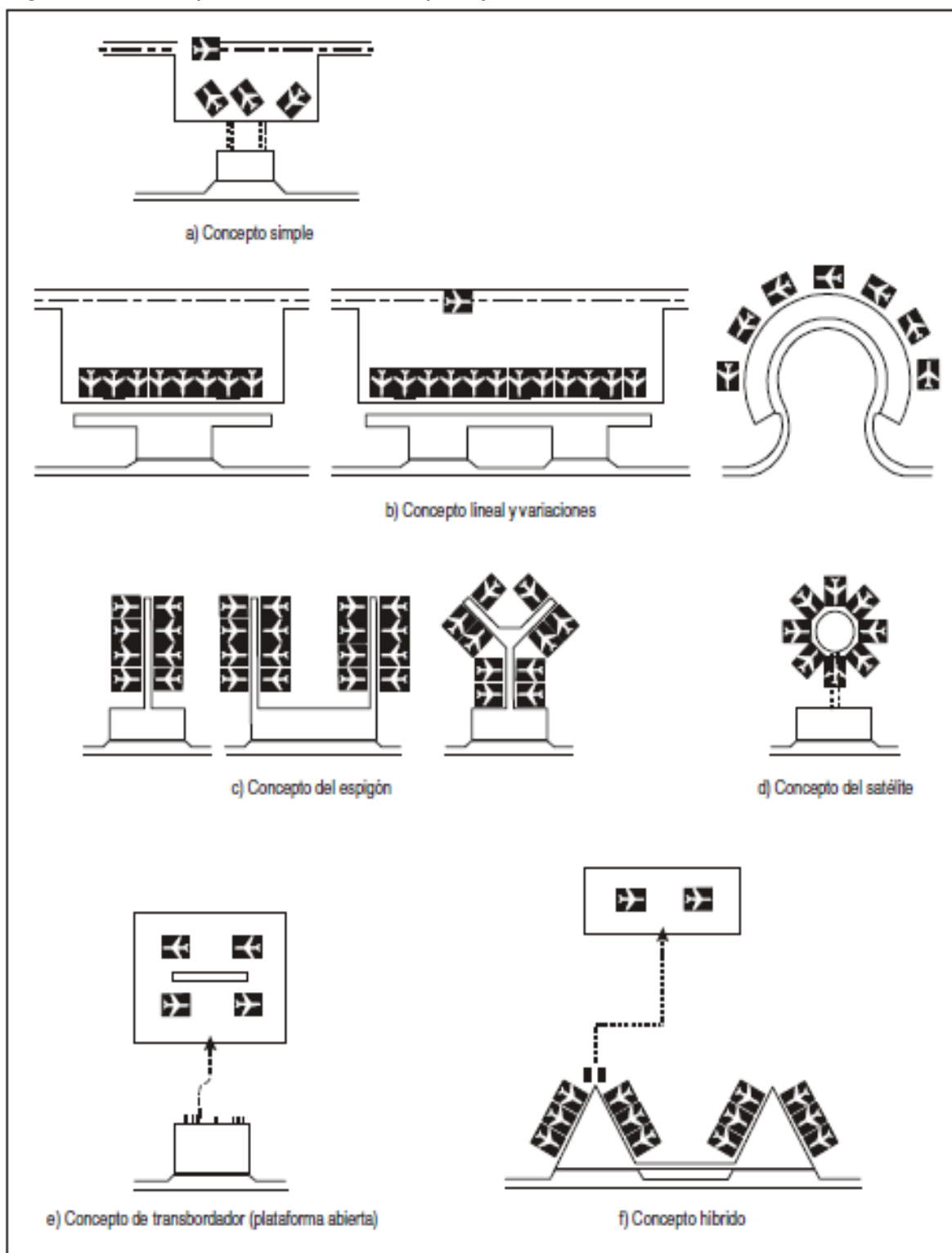
El ordenamiento de la plataforma está relacionado directamente con el concepto de la terminal para pasajeros, el manual de planificación de aeropuertos parte 1, establece los siguientes conceptos, que se ilustran en la figura 15 (OACI, 1987):

- a. Concepto simple. Se ha de aplicar en los aeropuertos de bajo volumen de tráfico. Las aeronaves se estacionan normalmente en ángulo, con la proa hacia adentro o hacia afuera, entrando y saliendo por sus propios medios. La plataforma puede ampliarse gradualmente, de acuerdo con la demanda, sin causar muchos inconvenientes en las operaciones del aeropuerto.
- b. Concepto lineal. Puede considerarse que este concepto es una de las etapas avanzadas de un concepto simple. La aeronave puede estacionarse en configuración angular o paralela. Con todo, la configuración de la proa hacia adentro/empuje con distancia mínima entre borde de plataforma y terminal, resulta más común dentro de este concepto, para una utilización más eficaz del espacio de la plataforma, y para el movimiento de la aeronave y de los pasajeros.
- c. Concepto del espigón. Existen algunas variedades de este concepto según la forma del espigón. Las aeronaves pueden estacionarse en los puestos de embarque a ambos lados del espigón, sea en ángulo, en paralelo o perpendiculares (proa hacia adentro). En caso de haber un solo espigón, la mayoría de las ventajas del concepto lineal se aplicarían a las actividades en

aparte aeronáutica, salvo las posibilidades de expansión gradual limitada. En caso de haber dos o más espigones, debe tenerse cuidado de dejar espacio suficiente entre los mismos.

- d. Concepto de satélite. Este consiste en una unidad satelitaria rodeada por puestos de embarque de aeronaves, separados de la terminal. El acceso de los pasajeros a una unidad satélite a partir de la terminal se realiza normalmente por vía subterránea o mediante un corredor elevado, con el propósito de aprovechar el mejor espacio de la plataforma, aunque también podría realizarse en la superficie. Según la forma de la unidad satélite, las aeronaves se estacionan en forma radial, paralela o siguiendo otras configuraciones alrededor del satélite. Cuando las aeronaves se estacionan en sentido radial, lo que es frecuente, la operación de empuje es fácil, aunque requiere mayor espacio en la plataforma.
- e. Concepto del transportador. Puede considerarse que este concepto se refiere a una plataforma abierta o remota. Como el emplazamiento ideal de las plataformas para las aeronaves es en la proximidad de las pistas y lejos de las demás estructuras, este procedimiento depararía ventajas para las aeronaves, por ejemplo, menor distancia total de rodaje, maniobras sencillas, gran flexibilidad y posibilidad de expansión de las plataformas, etc. Sin embargo, como requiere el transporte de pasajeros, equipajes y cargas a distancias relativamente mayores (empleando salones rodantes, autobuses y carros) a partir de la terminal, puede crear problemas de congestión del tránsito en la parte aeronáutica.
- f. Concepto híbrido. Aquí se combinan algunos de los conceptos anteriormente mencionados, esto es bastante común y se hace con el objeto de resolver el problema del tráfico de punta. Los puestos de aeronaves emplazados a cierta distancia de la terminal, se designan frecuentemente como plataformas o puestos remotos.

Figura 15. Conceptos de terminal de pasajeros.



Fuente: Manual de planificación de aeropuertos, parte 1. Planificación general (OACI, 1987, pág. 1.67)

2.2.3.5 Plataforma de estacionamiento.

Si las aeronaves tuvieran que permanecer en tierra por un período prolongado, por ejemplo, de seis a ocho horas, o quedar en el aeropuerto durante la noche, puede justificarse una plataforma de estacionamiento. Si estos casos no fueran numerosos o no crearan conflictos con los períodos de hora de punta del aeropuerto, puede ser posible que esas aeronaves permanezcan en la terminal. Con todo, a medida que aumenta el número de las aeronaves, resulta más económico retirarlas de la plataforma de la terminal de pasajeros, por lo cual algunos aeropuertos pueden requerir que haya una plataforma de estacionamiento separada. El número de puestos necesarios en una plataforma de estacionamiento debe estimarse sobre la base de la flota aérea futura y de los criterios operacionales del aeropuerto. La plataforma de estacionamiento debe emplazarse tan cerca de la terminal de pasajeros como sea posible.

Es frecuente, que se requiera el mayor número de puestos de embarque únicamente para períodos cortos durante el día, en tales casos una solución económica puede ser la introducción de elementos de transporte combinados con puestos de estacionamiento fuera de la terminal. Como estos puestos con frecuencia están emplazados en una zona distante de los edificios de la terminal de pasajeros, se los designa frecuentemente como plataformas de estacionamiento remotas.

2.2.3.6 Dimensiones de las plataformas

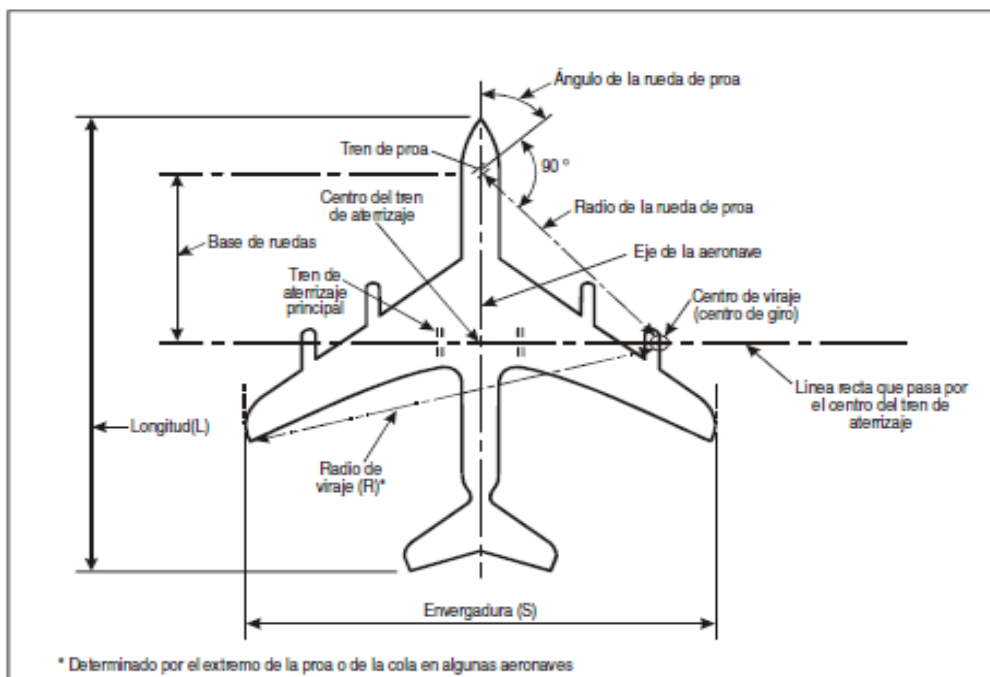
El espacio necesario para un diseño determinado de plataforma depende de los siguientes factores:

- a. La dimensión y las características relativas a las maniobras de la aeronave que utilice la plataforma;
- b. El volumen de tráfico que utilice la plataforma;
- c. Requisitos en cuanto a distancias libres;
- d. Modalidad de entrada y salida del puesto de estacionamiento de aeronaves;
- e. Trazado básico de terminal u otra utilización del aeropuerto;

- f. Requisitos con respecto a las actividades de las aeronaves en tierra; y
- g. Calles de rodaje y vías de servicio

Antes de diseñar detalladamente una plataforma, convendría conocer la dimensión y maniobrabilidad de la combinación de aeronaves que se prevé habrá de utilizarla. En la figura 16, se indican las dimensiones necesarias para evaluar el tamaño de un puesto de estacionamiento de aeronaves; posteriormente en la figura 17 se indica el área necesaria para la entrada y salida de aeronaves de un puesto de estacionamiento en la terminal.

Figura 16. Dimensiones para determinar el tamaño del puesto de estacionamiento de aeronaves.

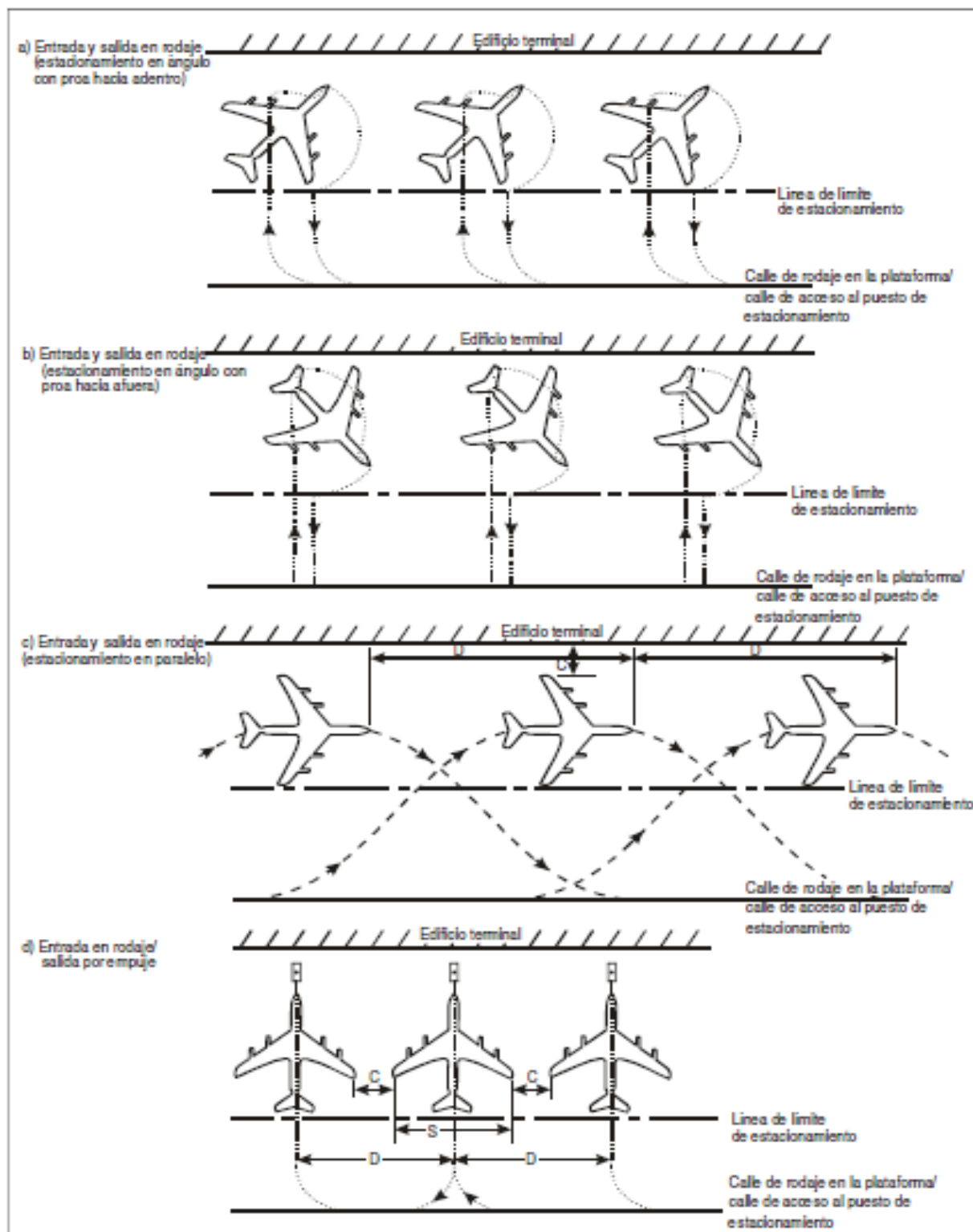


Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 3.8)

Un puesto de estacionamiento de aeronaves, debería proporcionar las siguientes distancias libres mínimas entre las aeronaves, así como entre estas y los edificios adyacentes u otros objetos fijos.

- 3 m para letra de clave A y B;
- 4.5 m para letra de clave C; y
- 7.5 m para letra de clave D, E y F.

Figura 17. Superficie necesaria para la entrada y salida del puesto de estacionamiento en la terminal.



Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera (OACI, 2005, pág. 3.12)

2.2.3.7 Pendientes de las plataformas.

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

Según el anexo 14 de la OACI Vol. 1, la pendiente máxima en un puesto de estacionamiento de aeronaves, no debería exceder del 1%.

2.2.3.8 Plataforma de la terminal de carga.

En los aeropuertos, en los cuales el volumen de carga aérea es relativamente pequeño y se transporta principalmente en aeronaves de pasajeros, no es preciso construir una plataforma en la terminal destinada exclusivamente para las aeronaves de carga; en este caso, lo mejor es emplazar el edificio de la terminal de carga cerca de la plataforma de la terminal de pasajeros, con el propósito de reducir al mínimo la distancia de transporte; teniendo siempre presente la ampliación futura de las dos zonas.

En los últimos años se transporta más mercancía por aire, por lo cual en muchos aeropuertos operan aeronaves exclusivamente de carga. El planificador debe examinarla necesidad de que haya una plataforma de carga, sobre la base de las previsiones de cargas aéreas. Las aeronaves exclusivamente de carga se estacionan normalmente en paralelo o con la proa hacia adentro, aunque las configuraciones de estacionamiento dependen principalmente del volumen previsto, del tipo de sistema de manipulación de cargas que se han de emplear.

2.2.3.9 Plataforma de la terminal de mantenimiento.

El mantenimiento de las aeronaves es una importante actividad previa al vuelo para que las operaciones sean seguras y puntuales. Con frecuencia se lo divide del modo siguiente:

- a. Mantenimiento en línea;
- b. Mantenimiento de célula;

- c. Mantenimiento de planta motriz; y
- d. Mantenimiento de componentes.

El tipo e intervalo de mantenimiento, se predeterminan normalmente para cada tipo de aeronave. El mantenimiento en línea puede ejecutarse en una plataforma para pasajeros, y las líneas aéreas pueden programar las aeronaves de manera que otros tipos de mantenimiento se realicen en la base. En consecuencia, no es preciso que todos los aeropuertos dispongan de una gran zona terminal ni de una plataforma de mantenimiento.

Para el caso de un aeropuerto que sirva como base de una línea aérea, una terminal de mantenimiento necesitara probablemente hangar, taller, depósito y plataforma. Como la magnitud de la zona de mantenimiento depende del parque de aeronaves, y de los criterios de mantenimiento de la línea aérea, el planificador debe consultar a las líneas aéreas usuarias en cada etapa de la planificación. Aparte de la plataforma de mantenimiento, puede ser necesario prever una zona para pruebas de motores, con instalaciones para reducir el chorro de escape y el ruido.

Como el mantenimiento puede realizarse durante la noche, es preferible emplazar la zona terminal de mantenimiento cerca de una plataforma de estacionamiento, adyacente a la plataforma de la terminal de pasajeros. Sin embargo, es preciso prever las reservas para ampliación futura, tanto para la terminal de pasajeros como de mantenimiento, inclusive sus plataformas. Por lo general se recomienda, que las plataformas de la terminal de mantenimiento se encuentren en una zona bastante remota con respecto a la plataforma de pasajeros.

2.2.3.10 Plataforma para la aviación general.

Cuando el propósito un aeropuerto consista asimismo en atender a las aeronaves de la aviación general, puede ser necesario disponer de una terminal general que comprenda una plataforma separada y otras instalaciones afines. Sin embargo, tanto la terminal de la aviación general, como su plataforma deben emplazarse de modo que reduzcan al mínimo el conflicto con las operaciones de las aeronaves regulares.

2.3 Ayudas visuales para la navegación

2.3.1 Indicadores y dispositivos de señalización

Según el Anexo 14 Diseño y Operaciones de Aeródromos, vol.1, capítulo 5, de la OACI, se establecen los siguientes indicadores y dispositivos de señalización:

- Indicadores de dirección del viento: un aeródromo debe estar equipado con uno o más indicadores de la dirección del viento, instalado de manera que sea visibles desde las aeronaves en vuelo, o desde el área de movimiento.
- Indicador de la dirección de aterrizaje: El indicador de la dirección de aterrizaje, debe ser en forma de "T", cuando se provea de este indicador deberá emplazarse en un lugar destacado del aeródromo.
- Lámparas de señales: en la torre de control, de cada aeródromo controlado, se dispondrá de una lámpara de señales, la cual debe producir señales de colores rojo, verde y blanco.
- Paneles de señalización y área de señales: El área de señales será una superficie cuadrada llana, horizontal y debería estar situada de modo que sea visible desde todos los ángulos de azimut, sin embargo, no es obligatorio suministrarlas.

2.3.2 Señales

Según el Anexo 14 Diseño y Operaciones de Aeródromos, vol.1, capítulo 5, de la OACI, las principales señales de pistas y elementos conexos son:

- Señal designadora de la pista: una señal designadora de pista, se emplazará en el umbral de toda pista pavimentada y esta consistirá de un número de dos cifras que establece la orientación de la pista.
- Señal de eje de la pista: Toda pista pavimentada dispondrá de una señal de eje de pista, la cual consiste en una línea de trazos uniformemente espaciados; similares a las de carreteras.

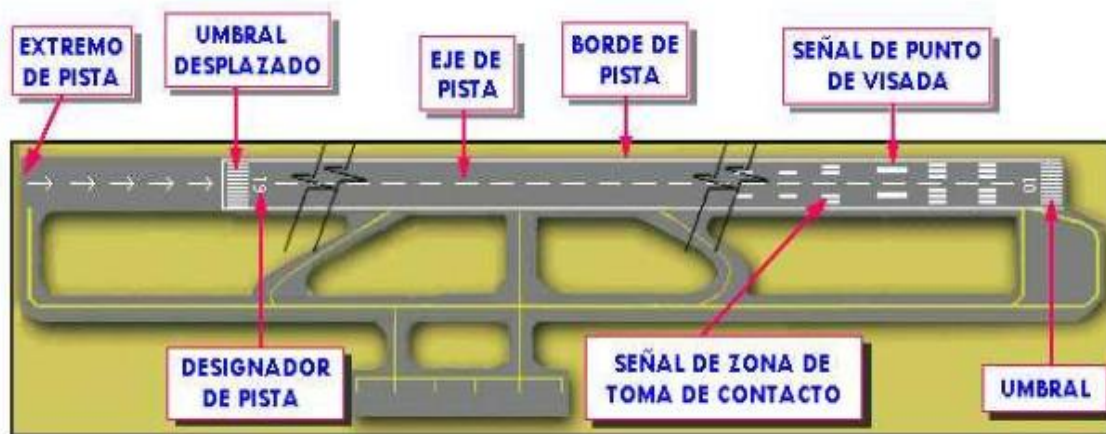
- Señal de umbral: consiste en una configuración de fajas longitudinales de dimensiones uniformes, dispuestas simétricamente con respecto al eje de la pista, las cuales se colocan a 6 m del umbral.
- Señal de punto de visada: consiste en dos fajas bien visibles, colocadas en cada extremo de aproximación de las pistas pavimentadas de vuelo, por instrumentos.
- Señal de zona de toma de contacto: Consiste en pares de señales rectangulares, dispuestas simétricamente con respecto al eje de una pista pavimentada para aproximación de precisión cuyo número de clave sea 2, 3 o 4.
- Señal de faja lateral de pista: consiste en dos fajas dispuestas una a cada lado, a lo largo del borde de la pista.
- Señal de eje de calle de rodaje: línea de trazo continuo, ubicada en el eje de la calle de rodaje, instalaciones de deshielo/antihielo y plataformas pavimentadas, tanto en el tramo recto, como en las curvas.
- Señal de plataforma de viraje en la pista: Cuando se proporcione una plataforma de viraje en la pista, se suministrará una señal que sirva de guía continua; de modo que permita a una aeronave completar un viraje de 180° y alinearse con el eje de la pista.
- Señal de punto de espera de la pista: se instala en todo punto de espera de la pista, (intersección de la calle de rodaje con la pista, intersección pista/pista, etc.).
- Señal de punto de espera intermedio: se instala en todo punto de espera intermedio y consiste en una línea de trazos simples.
- Señal de punto de verificación VOR¹ (Very High Frequency Omnidirectional Range): Cuando se establezca un punto de verificación del VOR, se indicará una señal y un letrero de punto de verificación del VOR, y se centrará sobre el lugar en que deba estacionarse una aeronave para recibir la señal VOR correcta.

¹ El VOR o Rango omnidireccional de muy alta frecuencia, es una radio ayuda muy importante en la aviación.

- Señales de puesto de estacionamiento de aeronaves: estas señales se proporcionan en los lugares de estacionamiento designados en una plataforma pavimentada y en una instalación de deshielo/antihielo.
- Líneas de seguridad en las plataformas: estas se emplazan de modo que definan la zona destinada al uso, por parte de los vehículos terrestres y otros equipos de servicio de las aeronaves, etc., a efectos de proporcionar una separación segura con respecto a la aeronave.
- Señal de punto de espera en la vía de vehículos: se colocan en todos los puntos de entrada de la vía de vehículos a la pista.
- Señal con instrucciones obligatorias: estas se colocan cuando no es posible instalar un letrero con instrucciones obligatorias

Algunas de las señales y marcas de pavimento en pistas se presentan en la siguiente figura:

Figura 18. Marcas de pavimento en pista de aterrizaje.



Fuente: Características del aeropuerto (AENA, s.f. , pág. 181)

2.4 Estudios para la selección del lugar de emplazamiento

La construcción de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno ya existente, exige grandes inversiones, para evitar que el diseño quede obsoleto de manera prematura es importante que su vida útil sea lo más prolongada, para ello debe contarse con terreno suficiente para llevar a cabo ampliaciones futuras al mismo ritmo que aumenta la demanda de tráfico aéreo.

La selección del lugar y emplazamiento, depende de la finalidad a la que se destinó el aeropuerto, para esto deben considerarse las previsiones de la demanda futura, y el volumen y tipo de tráfico que haya que atender, detalles que deben obtenerse de los pronósticos operacionales y económicos. A continuación, es necesario determinar el tipo de aeropuerto y los sistemas operacionales, para efectuar los pronósticos del tráfico de pasajeros y mercancías. A base de esta información, el verdadero método de selección del emplazamiento se divide en varias etapas principales, que comienzan con la determinación de la forma y dimensiones del área necesaria para el aeropuerto, el emplazamiento de las zonas que ofrecen posibilidades de ampliación, y el examen evaluación de dichos emplazamientos.

2.4.1 Determinación general de la superficie necesaria

Antes de evaluar los posibles lugares de emplazamiento, es necesario determinar, en líneas generales, la extensión de terreno que probablemente se necesitara. Para ello se considera el espacio necesario para la ampliación de las pistas que, por lo general, constituyen la mayor parte del terreno exigido por un aeropuerto. Con este fin, deben examinarse los siguientes factores:

- Longitud de las pistas;
- Orientación de las pistas;
- Número de pistas;
- La combinación de los tres factores antes mencionados, para trazar a grandes rasgos la configuración de la misma, a efectos de calcular aproximadamente el orden de magnitud del terreno necesario.

2.4.2 Estudios preliminares de los posibles emplazamientos

Una vez hecha la evaluación general del terreno necesario, a base de un trazado provisional, que pueda satisfacer las exigencias del plan general del aeropuerto, se inicia la recopilación de antecedentes.

La OACI en su Manual de planificación de aeropuertos Parte1 (OACI, 1987, pág. 40), establece una serie de factores acerca de los cuales debe recopilarse información y someterse a evaluación, los cuales se mencionan a continuación.

- a) Actividad aeronáutica: consultar a los explotadores de aeronaves, confirmados y posibles, y a las asociaciones de pilotos.
- b) Desarrollo de la zona circúndate: establecer contacto con las autoridades y entidades de planificación, a fin de obtener planos de la utilización, presente y futura, de los terrenos.
- c) Condiciones atmosféricas: obtener datos acerca de la presencia de niebla, calima, humo, etc., que puedan reducir la visibilidad y, en consecuencia, la capacidad del aeropuerto.
- d) Accesibilidad al transporte de superficie: observar el emplazamiento de las carreteras, vías férreas y rutas de transporte público.
- e) Disponibilidad de terrenos para ampliar un aeropuerto existente, o construir uno nuevo: es necesario disponer de terreno adecuado para futuras ampliaciones.
- f) Topografía: observar los factores importantes que repercutan en el precio de la construcción, tales como la necesidad de excavar o rellenar, condiciones de drenaje y deficiencias del terreno.
- g) Medio ambiente: observar el emplazamiento de las zonas naturales reservadas a la flora y fauna y las destinadas a refugios migratorios, así como también las sensibles al ruido. Deben efectuarse estudios del impacto, que tendrá la construcción y funcionamiento de un aeropuerto o la ampliación de uno existente.
- h) Existencia de otros aeropuertos: Observar el emplazamiento de los aeropuertos y de las rutas existentes, con sus respectivos espacios aéreos.
- i) Disponibilidad de servicios de utilidad pública: Observar las redes principales de distribución de energía eléctrica y de conducción de agua, alcantarillado y gas, servicios telefónicos, abastecimiento de combustibles, etc.

2.4.3 Evaluación definitiva

En esta fase, cuando se están considerando varios emplazamientos posibles, la cuestión relativa al coste desempeña un papel importante en la elección definitiva. Es necesario realizar, dos tipos distintos de análisis de la relación Coste/Ventajas, Unos de carácter operacional y otro de carácter social. La evaluación definitiva exige que la determinación se base en la comparación de la eficacia en materia operacional, social y de coste:

2.4.3.1 Operacional

- Terrenos disponibles,
- Espacio aéreo disponible;
- Efecto de toda restricción de la eficacia operacional;
- Capacidad potencial.

2.4.3.2 Social

- Proximidad a los centros de demanda;
- Suficiencia de vías de acceso;
- Posibles problemas causados por el ruido;
- Utilización actual del terreno y necesidad de imponer medidas reguladoras.

2.4.3.3 Coste

- Análisis de la relación Coste/Ventajas.

CAPITULO III – DISEÑO GEOMÉTRICO



3.1 Introducción

El diseño geométrico de aeródromos, es la relación entre cada uno de sus elementos físicos, y las características de performance de los aviones, mediante el uso de cálculos exactos, siguiendo los métodos estipulados por la OACI. Antes de realizar el diseño, se debe seleccionar la aeronave crítica, y determinar algunos datos generales del aeródromo; como lo es la clave de referencia, elevación y temperatura del mismo, así como la orientación de la pista.

3.2 Selección de la aeronave crítica

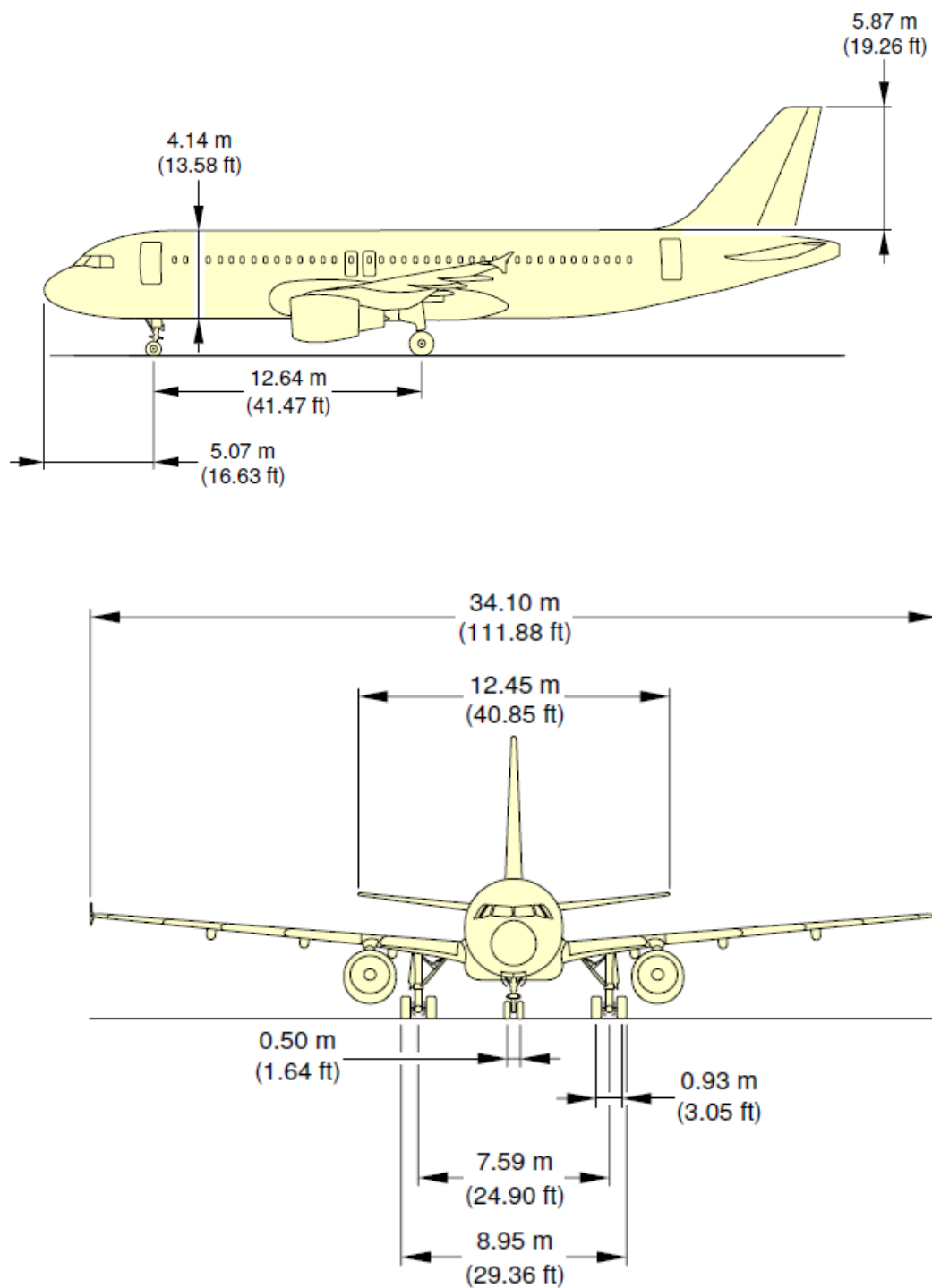
Para determinar la aeronave crítica se analizaron las flotas de las aerolíneas que realizan viajes hacia Nicaragua y se descartaron todas aquellas cuya capacidad fuera mayor a 200 pasajeros ya que según los anuarios estadísticos del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, el promedio de pasajeros por vuelo no excede este valor. Los modelos Airbus A320-200 y Boeing 737-800 cumplen con esta característica, tienen presencia entre las aerolíneas que operan en Nicaragua y ambos se encuentran entre los aviones comerciales más utilizados alrededor del mundo, no obstante; de estos dos destaca el Airbus A320-200, por ser el más solicitado. Es por dicha razón, que se utilizará este modelo como la aeronave crítica de diseño; Sus características principales se presentan a continuación:

Tabla 7. Características de la aeronave de diseño.

Datos de la aeronave crítica de diseño	
Envergadura	34.10 mts
Longitud	37.57 mts
Anchura del tren de aterrizaje principal	8.95 mts
Longitud del campo de referencia (LCR)	2480 mts
Maximum Ramp Weight (MRW) / Peso máximo en rampa	78 400 kg
Maximum Take-Off Weight (MTOW) / Peso Máximo al despegue	78 000 kg
Maximum Landing Weight (MLW) / Peso máximo de aterrizaje	66 000 kg

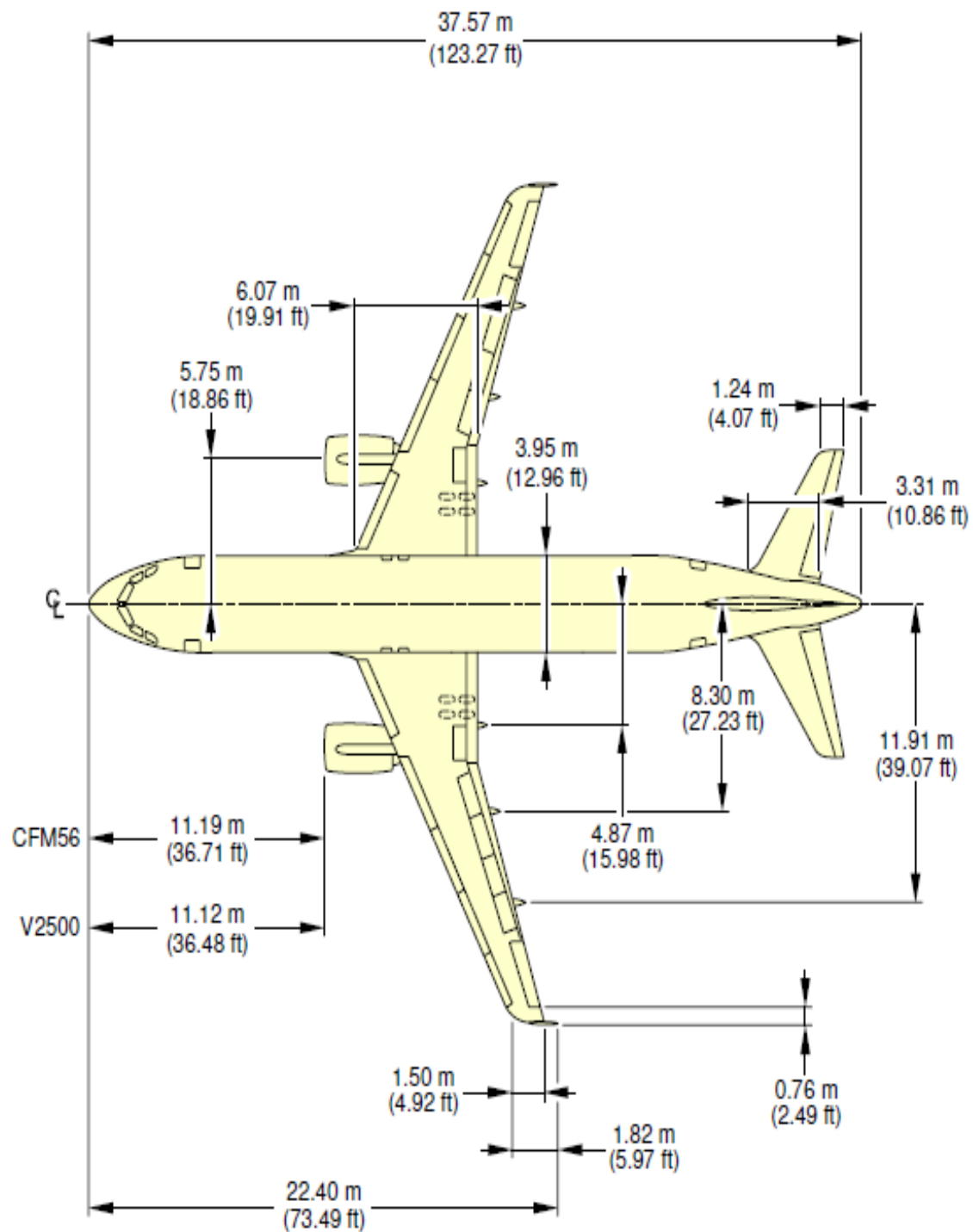
Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, págs. 35-43) .

Figura 19. Dimensiones de la aeronave de diseño modelo AIRBUS A320-200 (Parte 1).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 40)

Figura 20. Dimensiones de la aeronave de diseño modelo AIRBUS A320-200 (Parte 2).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 41)

3.3 Datos del aeródromo

3.3.1 Lugar de emplazamiento.

El aeropuerto Los Brasiles, con coordenadas 12°11'26" N, 86°21'14" W, se ubica al sur del municipio de Mateare, aproximadamente a 2 kilómetros al oeste de la costa del lago de Managua y a unos 21 kilómetros del centro de la ciudad; El terreno posee una extensión aproximada de 273,789 m².

3.3.1.1 Accesibilidad del terreno.

El acceso al terreno es a través de un camino de adoquinado que va desde el kilómetro 15.5 de la carretera nueva a león a 1.2 kilómetros en dirección este sobre la calle principal de Los Brasiles. Por lo que se puede llegar al proyecto fácilmente en vehículo particular, taxi o cualquier otro medio de transporte público.

Existen rutas de transporte interurbano que circulan por el sector, algunas de estas son: Ruta Managua - Chinandega, Managua - León, Managua - La Paz Centro, Managua – Nagarote, Managua – Mateare.

3.3.1.2 Desarrollo de la zona circundante.

El sector más desarrollado, en la comarca los Brasiles, del municipio de Mateare es la industria en sus diversas ramas; existen diversas empresas que destinan su producción al mercado nacional y a las exportaciones, entre las que predominan los parques industriales como Saratoga, Alpha textil, Handsome, entre otras.

Otros sectores como la agricultura y ganadería, también tienen presencia dentro de este sector, pero con menor intensidad, ya que ejercen esta actividad no como un medio de enriquecimiento, sino de sobre vivencia, sostenibilidad y autoconsumo.

3.3.1.3 Disponibilidad de servicios públicos.

La comarca Los Brasiles, del municipio de Mateare, departamento de Managua, cuenta con los siguientes servicios públicos:

- **Energía eléctrica:** El municipio de mateare cuenta con el servicio público de energía domiciliar, así como también sistema de alumbrado público, cuya

administración está a cargo de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

- Agua potable: El sistema de agua potable es controlado por la Empresa de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) con sede en Mateare, la que atiende los sectores de Mateare, Los Brasiles y la Comarca Alfonso González. La comarca Los Brasiles cuenta con 2 pozos de ENACAL, cuya potabilidad es del 96%.
- Alcantarillado Sanitario: La comarca Los Brasiles, no cuenta con sistema de alcantarillado sanitario para la evacuación de aguas negras. El medio comúnmente usado por la población son los sumidero y pozos sépticos.
- Telecomunicaciones: Cuenta con los servicios de telefonía fija y celular, brindados por empresas como CLARO y TIGO, además aún se cuenta con los servicios de correo.

3.3.2 Designación de la clave de referencia del aeródromo.

La clave de referencia del aeródromo, tiene como propósito proporcionar un método sencillo, para relacionar entre sí las especificaciones concernientes a las características de los aeródromos a fin de suministrar las instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en él.

Esta clave consiste en un número y una letra. El número está relacionado con la longitud del campo de referencia del avión crítico, que en nuestro caso es de 2480 metros y; la letra con la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal que es 8.95 metros, también se toma en cuenta la envergadura del avión que es de 34.10 m.

Según estas dimensiones y tomando en cuenta la tabla 1, determinamos la clave de referencia del aeródromo:

- Elemento 1 → 4 para longitud del campo de referencia del avión de 1800 metros en adelante.
- Elemento 2 → C para envergaduras desde 24 hasta 36 metros y anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal desde 6 hasta 9 metros.

Por tanto, la clave de referencia del aeródromo, según la OACI será 4C.

3.3.3 Orientación por vientos

La pista debe estar orientada hacia la dirección de vientos predominantes, ya que las aeronaves no maniobran con seguridad, si tiene en su ruta de descenso o de despegue grandes componentes de viento cruzado.

Para poder determinar la mejor orientación de la pista, se tomaron en cuenta los datos de la estación meteorología más cercana, al lugar de emplazamiento, que, en este caso, es la estación 69027 de Managua; en el periodo de 2015-2021.

En la tabla 8, se observan los porcentajes de ocurrencia para cada una de las 16 direcciones básicas en 7 grupos de velocidades, según la escala de Beaufort².

Tabla 8. Velocidades y direcciones de viento en el aeródromo Los Brasiles.

Dirección del viento	Porcentaje de Ocurrencia							Total
	< 1 kt	1 - 3 kt	4 - 6 kt	7 - 10 kt	11 - 16 kt	17 - 20 kt	> 20 kt	
N	0.05	0.96	0.18	0	0	0	0	1.19
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0
NE	0	0.05	0.27	0.23	0.05	0	0	0.59
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	4.74	23.36	33.58	8.35	0.05	0	70.07
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	3.79	14.01	4.61	0.05	0	0	22.45
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	1.14	0.78	0	0	0	0	1.92
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0.05	0	0	0	0	0	0.05
WSW	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0.64	1.64	0.18	0	0	0	2.46
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0
NW	0	0.82	0.46	0	0	0	0	1.28
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0
Nota: según la escala de Beaufort los vientos menores a 1kt (1 nudo o milla náutica por hora) se consideran vientos en calma.								

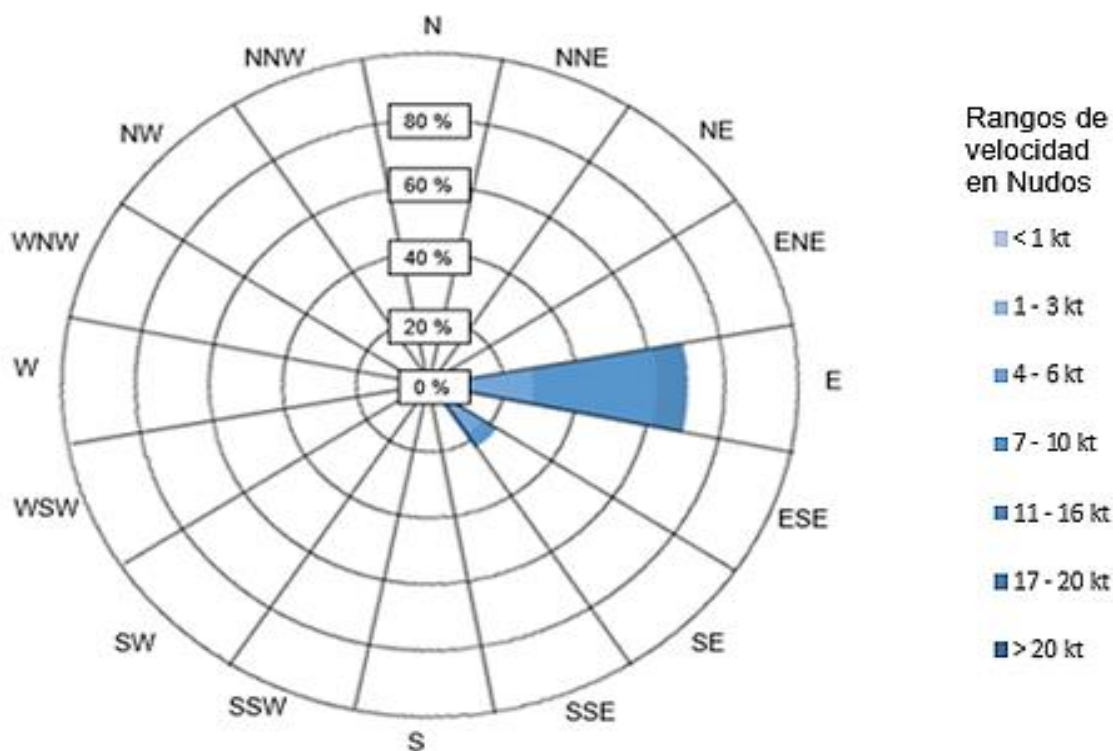
Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por INETER.

² La escala de Beaufort mide la intensidad del viento asándose principalmente en la fuerza del viento, el estado del mar y la forma y altura de las olas.

Con los datos agrupados en la tabla anterior, se elaboró una rosa de vientos (Figura 27), aquí se puede observar que, los vientos no exceden los 20 kt, esta velocidad es tomada como la máxima permisible según el manual de diseño de aeródromos parte 1 (OACI, 2006) , donde se indica que esta velocidad es crítica para aeronaves con longitud de campo de referencia mayores a los 1500 metros, como es el caso de la aeronave de diseño modelo Airbus A320.

En la figura 21, podemos observar que los vientos predominantes son aquellos que vienen del este. Por tanto, la pista tendrá una orientación de 90 grados (con denominación 09), que corresponde a esa dirección y una orientación de 270 grados (con denominación 27), para la dirección opuesta, ya que las operaciones pueden realizarse en ambas direcciones.

Figura 21. Rosa de vientos para el aeropuerto Los Brasiles.



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por INETER.

Esta orientación es con respecto al norte geográfico, sin embargo, las operaciones aeronáuticas se realizan tomando como referencia el norte magnético, por lo que se debe hacer la siguiente corrección:

La declinación magnética de la zona para el año 2015 es de 1°03' W con una variación anual de 0°14' W (INAC), por lo tanto, para el año 2021 la declinación magnética es de 2°27' W.

Si la diferencia entre el norte magnético y el norte geográfico es de 2°27' hacia el oeste, significa que a cualquier orientación que se tenga, tomando como referencia el norte geográfico se le deberá sumar esta variación, para obtener la orientación magnética: $90^\circ + 2^\circ 27' = 92^\circ 27'$, este dato se debe redondear a la decena más próxima. Además, debemos tomar en cuenta que el norte magnético se está desplazando rápidamente, por lo tanto, la orientación final de la pista será de 100° (Con denominación 10) y 280° (con denominación 28) para la dirección opuesta.

La OACI recomienda que la orientación de la pista cumpla con un coeficiente de utilización no menor al 95% para los aviones, a los cuales el aeródromo está proyectado a servir.

Este coeficiente se calcula con la siguiente formula:

$$CU = \frac{(n - n_c)}{n} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n es el número de datos analizados.

n_c es el número de datos críticos.

Estos datos críticos, son todas aquellas magnitudes de las componentes transversales de los vientos que exceden los 20 kt y que su dirección sea distinta a la orientación inicial (orientación con respecto al norte geográfico) de la pista, por lo que podemos decir que en este caso no existen datos críticos, lo que quiere decir que el coeficiente de utilización de la pista será del 100% para la aeronave crítica.

3.3.4 Punto de referencia del aeródromo

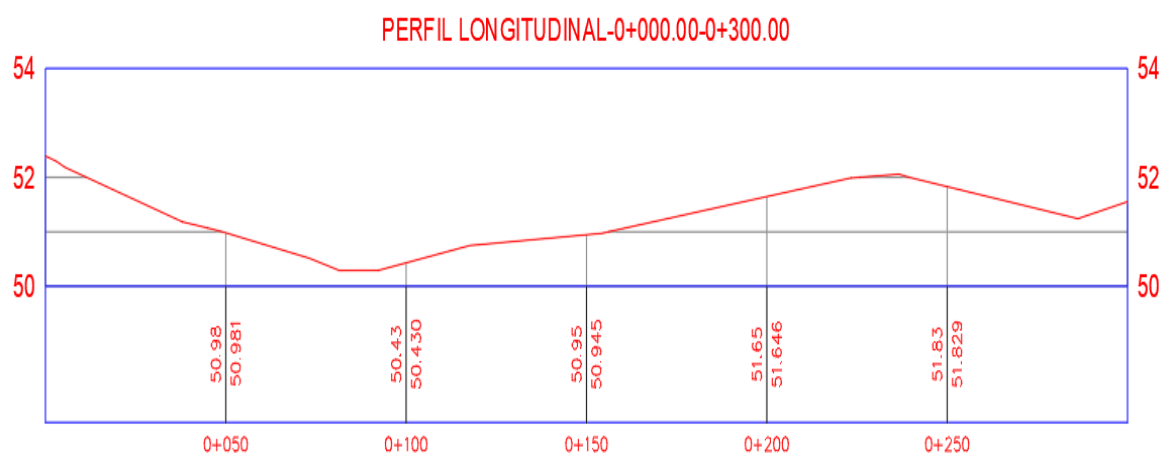
Para cada aeródromo se debe establecer un punto de referencia, el anexo 14 parte 1 sección 2.2.2, menciona que, “El punto de referencia del aeródromo estará situado cerca del centro geométrico inicial o planeado del aeródromo, y permanecerá normalmente donde se haya determinado en primer lugar.” (OACI, 2016)

En este caso, mantendremos el punto de referencia actual del aeródromo, que corresponde a 12°11'26" N, 86°21'14" W.

3.3.5 Elevación de la pista

La elevación de la pista se tomará como el promedio entre la elevación máxima y mínima, correspondientes al eje de la pista para la longitud de campo de referencia; Estos datos topográficos, se obtuvieron del plano proporcionado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Figura 22. Perfil longitudinal de la estación 0+000.00 a la estación 0+300.00 de la pista, para la longitud del campo de referencia.



Fuente: AutoCAD Civil 3D según datos proporcionados por INETER.

En base a los datos observados en el perfil ([Ver Anexo pág. VIII](#)), podemos determinar la elevación máxima y mínima las cuales corresponden a 54 metros y 50 metros respectivamente, por tanto, la elevación de la pista será la siguiente:

$$Elev = \frac{Elev.max + Elev.min}{2}$$

Ec. 2

$$Elev = \frac{54 \text{ metros} + 50 \text{ metros}}{2} = 52 \text{ metros}$$

3.3.6 Temperatura de referencia

El anexo 14 parte 1 en la sección 2.4.2, recomienda que la temperatura de referencia del aeródromo se calcule como la media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondientes al mes más caluroso del año (siendo este aquel que tiene la temperatura media mensual más alta), este dato debe ser el promedio de observaciones efectuadas durante varios años. (OACI, 2016)

Teniendo datos de temperaturas del año 2015 hasta el 2021 procedemos a extraer la temperatura media mensual de estos años, las que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Temperaturas medias por mes en el aeródromo Los Brasiles.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2015	27.2	27.7	28.4	30	29.2	28.4	28	28.8	28.4	28	27.7	28.4
2016	27.7	28.2	29.6	30.5	30	27.4	27.7	28.3	27.5	27.1	27	26.7
2017	26.6	27.5	28.4	30	28.4	27.3	27	27.4	27.3	26.8	26.9	26.2
2018	26.7	26.6	28.3	29.1	28	27.2	27.8	27.4	27.6	26.2	27.4	26.4
2019	27.1	27.8	28.6	29.8	28.4	28.4	27.7	28.2	27.7	26.7	27.3	27.2
2020	27.2	28	28.4	30.2	29.7	27.5	27.5	27.4	27.6	26.8	26.3	26.2
2021	26.5	27.2	27.7	29.2	29.1	28.3	27.6	27.4	27	28	26.5	26.8
Nota: los valores marcados corresponden a la media mensual mas alta del año.												

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por INETER.

Podemos observar, que en todos los años el mes más caluroso siempre es abril, por tanto, debemos extraer la media mensual de las temperaturas máximas diarias de este mes correspondiente a todos los años en cuestión, lo que se resume en la siguiente tabla:

Tabla 10. Temperatura media máxima del mes más caluroso del año 2015-2021 (abril).

Años	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Prom.
Temperatura Media Maxima	37.5	36.5	36.2	35.5	36.2	36.6	35.5	36.3

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por INETER.

Por lo tanto, la temperatura de referencia del aeródromo será de: **36.3 °C**

3.4 Diseño de la pista

3.4.1 Longitud básica de pista

Según el anexo 14 parte 1 sección 3.1.7, la longitud verdadera de toda pista principal, debería ser adecuada para satisfacer los requisitos operacionales de los aviones a los que se proyecte la pista y no debería ser menor que la longitud más larga determinada por la aplicación de las correcciones correspondientes a las condiciones locales y a las características de performance de los aviones que tengan que utilizarla.

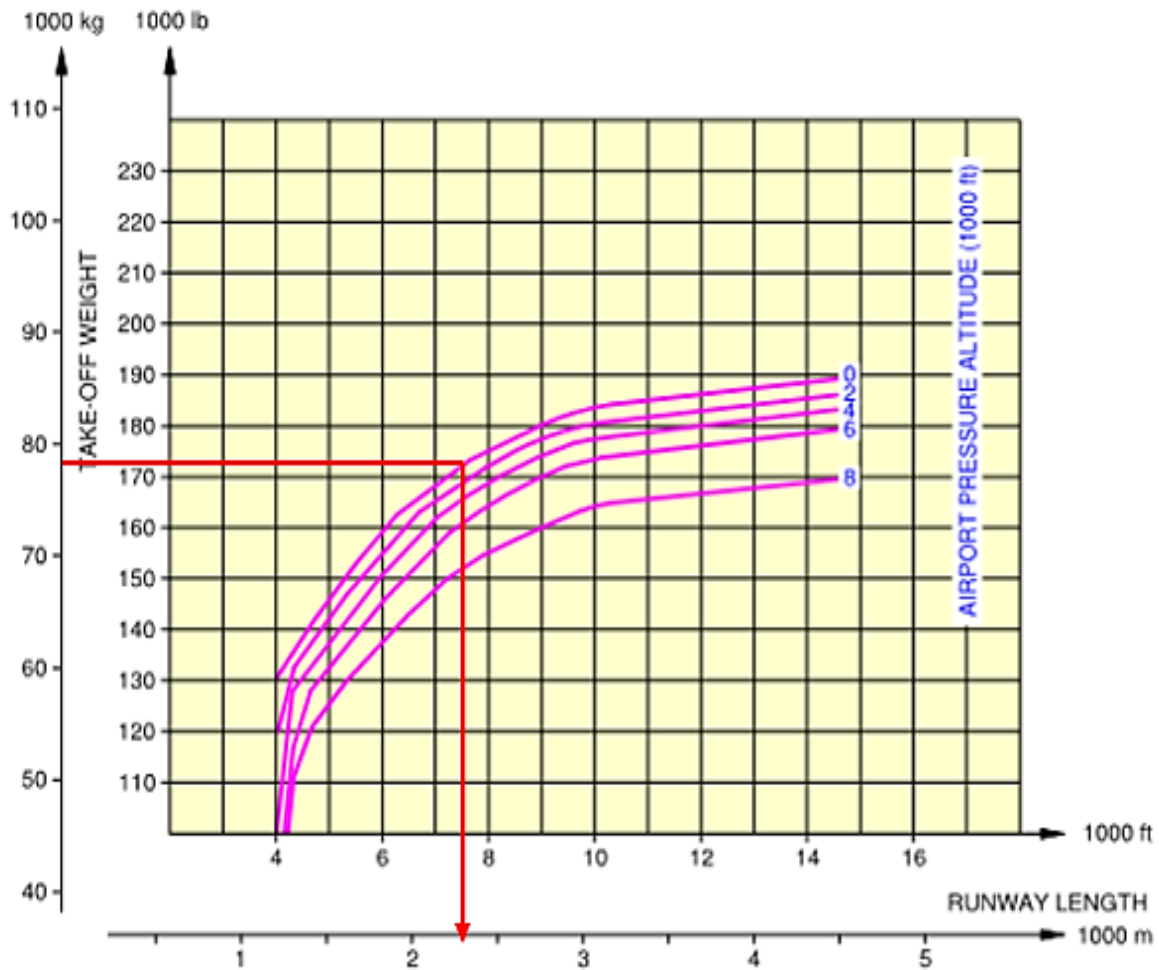
Es importante mencionar que, al determinar la longitud de la pista, es necesario considerar tanto los requisitos de despegue como de aterrizaje, así como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista.

Teniendo como base el documento **Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning**, se establece la longitud requerida para que una aeronave modelo Airbus A320-200 (Asumiendo que posee motores IAE V2500 Series Engine) pueda operar de forma segura.

Para determinar la longitud necesaria para el despegue utilizamos la figura 23, que presenta las limitaciones de peso de despegue para condiciones ISA³ (International Standard Atmosphere), partiendo de un MTOW (Maximun Take-off Weight) de 78000 kg hasta interceptar la curva de 0 metros sobre el nivel del mar y leemos la longitud de pista que corresponde a estas condiciones la cual es de 2300 metros.

³ La atmosfera ISA tiene como base el nivel medio del mar y asume una temperatura de 15°C.

Figura 23. Take-off Weight Limitation – ISA Conditions (IAE V2500 Series Engine).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 156)

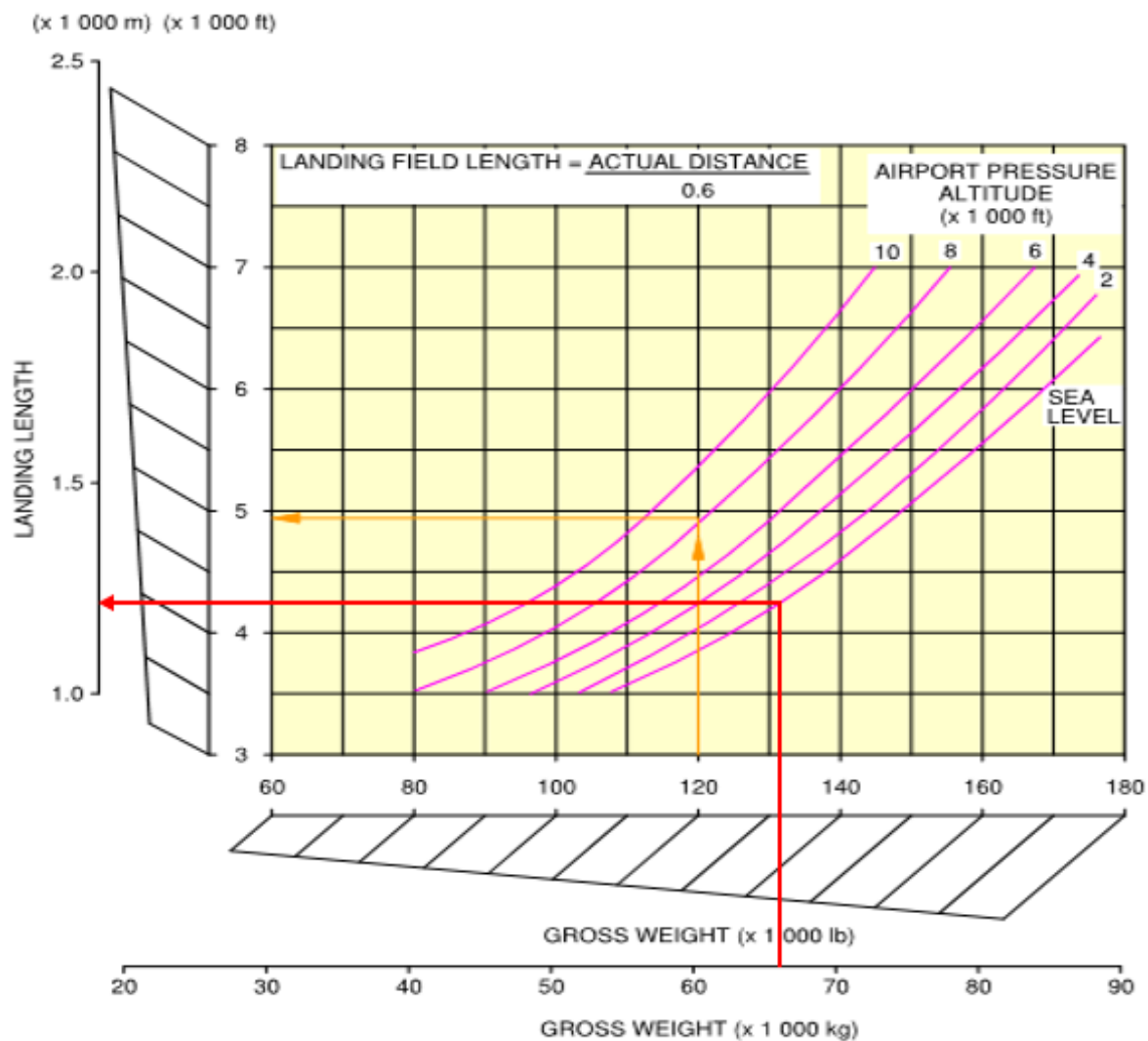
Posteriormente, utilizando la figura 24, determinamos la longitud necesaria para el aterrizaje en condiciones ISA, en base al peso bruto del avión, es este caso corresponde al Maximun Landing Weight (MLW) que es de 66000 kg, partiendo de este punto interceptamos la curva correspondiente al nivel del mar y leemos la longitud de aterrizaje la cual es de 1200 metros, valor que según la gráfica se debe dividir entre 0.6 y así obtener la longitud del campo de aterrizaje para estas condiciones atmosféricas.

$$\text{Longitud del campo de aterrizaje} = \frac{\text{Distancia de aterrizaje}}{0.6}$$

Ec. 3

$$\text{Longitud del campo de aterrizaje} = \frac{1200 \text{ metros}}{0.6} = 2000 \text{ metros}$$

Figura 24. Landing Field Length – ISA Conditions (IAE V2500 Series Engine).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 167)

3.4.2 Correcciones por elevación, temperatura y pendiente.

Antes de realizar las correcciones debemos determinar la temperatura estándar del aeródromo, (o temperatura de la atmosfera tipo) a partir de los valores presentados en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores atmosféricos tipo.

Altitud (m)	Temperatura (° C)	Presión (Kg/m³)
0	15.00	1.23
500	11.75	1.17
1000	8.50	1.11
1500	5.25	1.06
2000	2.00	1.01
2500	-1.25	0.96
3000	-4.50	0.91
3500	-7.75	0.86
4000	-10.98	0.82
4500	-14.23	0.78
5000	-17.47	0.74
5500	-20.72	0.70
6000	-23.96	0.66

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (2006, pág. 3.5).

- Para una altitud de 0 metros la temperatura estándar es de 15° C
- Para una altitud de 500 metros la temperatura estándar es de 11.75° C

Con estos valores interpolamos para una altitud de 52 metros:

$$t_{\text{estandar}} = t_0 + \frac{\text{elev.pista} - \text{elev.0}}{\text{elev.1} - \text{elev.0}} (t_1 - t_0) \quad \text{Ec.4}$$

$$t_{\text{estandar}} = 15^\circ + \frac{52-0}{500-0} (11.75^\circ - 15^\circ) = 14.66^\circ \text{C}$$

Con los datos presentados a continuación, se procede a realizar las correcciones por elevación, temperatura y pendiente; para las longitudes de aterrizaje y despegue, determinadas anteriormente.

Tabla 12. Datos para el diseño de longitud de pista.

Datos preliminares de la pista	
Longitud de despegue requerida (ISA Conditions)	2300 mts
Longitud de aterrizaje requerida (ISA Conditions)	2000 mts
Elevación del aeródromo (Pista)	52 mts
Temperatura de referencia	36.3° C
Temperatura a 52 metros en la atmosfera tipo	14.66° C
Pendiente de la pista	0 %

Fuente: Elaboración propia.

El manual de diseño de aeródromos parte 1, en la sección 3.5.2, establece que “La longitud básica seleccionada para la pista, debería aumentarse a razón del 7% por cada 300 m de elevación.” (OACI, 2006), esto se hace tanto para la longitud de despegue como para la longitud de aterrizaje.

Longitud de pista para el despegue = 2300 metros

Longitud de pista para el despegue corregida por elevacion

$$= \left[2300 * 0.07 * \frac{52}{300} \right] + 2300 = 2328 \text{ metros} \quad \text{Ec.5}$$

Longitud de pista para el aterrizaje = 2000 metros

Longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevacion

$$= \left[2000 * 0.07 * \frac{56}{300} \right] + 2000 = 2025 \text{ metros} \quad \text{Ec.6}$$

Del mismo modo, la longitud obtenida deberá corregirse según lo estipulado en la sección 2.5.3, que indica que esta debe aumentar a razón del 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la “temperatura de la atmosfera tipo” correspondiente a la elevación del aeródromo, esta corrección se realiza únicamente para la longitud de despegue, ya que la temperatura influye únicamente en el despegue.

$$\text{Longitud de pista para el despegue corregida por elevacion y temperatura} \\ = [2328 * (36.3 - 14.66) * 0.01] + 2328 = \mathbf{2832 \text{ metros}} \quad \mathbf{Ec.7}$$

Según el manual de diseño de aeródromos parte 1, en la sección 3.5.4, menciona que “cuando la longitud básica determinada por los requisitos del despegue sea 900 m o más, dicha longitud debería a su vez aumentarse a razón de un 10% por cada 1% de pendiente de pista determinada”. En nuestro caso, la pendiente de la pista será de 0%, por tanto, no se aplicarán correcciones por pendiente.

De esta forma, se determina que la aeronave crítica, necesita una longitud de 2832 metros para despegar de forma segura, mientras que para aterrizar solo necesita 2025 metros, en un sitio con elevación de 52 metros sobre el nivel medio del mar, temperatura de referencia de 36.3° centígrados y pendiente del 0%. Por tanto, se hace evidente que, para este caso, la longitud crítica es la de despegue.

Así se concluye que, la longitud de pista requerida para que una aeronave de tipo Airbus A320-200 equipada con motores IAE V2500 Series Engine pueda operar en el aeropuerto diseñado es de 2832 metros.

3.4.3 Ancho de la pista

Para determinar el ancho de pista requerida utilizamos la tabla 2 de este documento, donde figuran las anchuras mínimas de pista consideradas necesarias, para garantizar la seguridad operacional de una aeronave según la clave de referencia del aeródromo, aquí se establece que el ancho mínimo requerido para una pista con clave 4C es de 45 metros.

3.4.4 Pendientes de pista

Según el manual de diseño de aeródromos parte 1, inciso 5.1.4, la pendiente longitudinal de la pista no debería exceder del 1%, cuando el número de clave sea 3 o 4. Este criterio ya se cumple, puesto que la pendiente de la pista es nula. Posteriormente, el inciso 5.1.12 establece que la pendiente transversal óptima debería ser de 1.5 % cuando la letra de clave sea C, D, E o F, pero, en todo caso no debería exceder este valor, ni ser inferior al 1%.

3.4.5 Márgenes de pista

Al tener en cuenta el inciso 5.2.2 del Manual de diseño de aeródromos parte 1, podemos concluir que, en un aeródromo con letra de clave C no es necesario proveer márgenes.

3.4.6 Franjas de pista

La longitud de la franja de pista se determinará de acuerdo al inciso 5.3.2 del manual de diseño de aeródromos parte 1, donde se establece que “toda franja debería extenderse antes del umbral y más allá del extremo de pista o de la zona de parada, hasta una distancia de por lo menos 60 m cuando el número de clave sea 2, 3 o 4”.

La anchura de franja se determina en base al inciso 5.3.3, que menciona que “siempre que sea posible, toda franja que comprenda una pista para aproximaciones de precisión se extenderá lateralmente en una distancia, de por lo menos 150 m cuando el número de clave sea 3 o 4”; sin embargo, también estamos ante una pista de vuelo visual, por lo que debemos verificar que cumpla con el criterio expuesto en el inciso 5.3.5 relativo a este tipo de pistas, donde menciona que “ toda franja que comprenda una pista de vuelo visual debería exceder a cada lado del eje de pista y su prolongación a lo largo de la franja, en una distancia de por lo menos 75 m cuando el número de clave sea 3 o 4”, por tanto al tomar una anchura de 150 m cumplimos con ambos criterios.

La porción nivelada de la franja de pista, según el manual de diseño de aeródromos parte 1, en el inciso 5.3.10 establece que, para una pista de vuelo por instrumentos y pista de vuelo visual, esta debe tener una distancia de por lo menos 75 m para número de clave 3 o 4, que se extiende lateralmente a cada lado, desde el eje de la pista. En el caso de las pistas para aproximaciones de precisión, el inciso 5.3.11 establece que es conveniente una anchura mayor para clave 3 o 4, esta se extiende hasta una distancia de 105 m que se reduce hasta 75 m en ambos extremos, a lo largo de una distancia de 150 m del extremo de la pista.

El inciso 5.3.15 establece una pendiente longitudinal máxima de 1.5% para número de clave 4, posteriormente el inciso 5.3.18 establece una pendiente transversal de 2.5% para número de clave 3 o 4.

3.4.7 Área de seguridad de extremo de pista o Run End Safety Area (RESA)

Según el inciso 5.4.2 del manual de diseño de aeródromos parte 1, en un aeródromo con número de clave 4, debe proveerse un área de seguridad de extremo de pista en cada extremo de la franja de pista, de por lo menos 90 m de longitud según el inciso 5.4.3, sin embargo, si es posible esta debería extenderse por lo menos 240 m, según lo indica el inciso 5.4.4.

Tomando en cuenta lo indicado en el inciso 5.4.6, que establece que, la anchura de la RESA debe ser por lo menos el doble de la anchura de la pista correspondiente, esta será de 90 m. Según los incisos 5.4.10 y 5.4.12 la pendiente máxima, tanto longitudinal como transversal es de 5%.

3.4.8 Zonas de parada o Stopway (SWY) y zona libre de obstáculos o Clearway (CWY)

Según el anexo 14 de la OACI, en su inciso 3.6 y 3.7 relativos a las zonas libres de obstáculos y zonas de parada respectivamente, menciona que estas no son obligatorias. En el manual de diseño de aeródromos parte 1 de la OACI, inciso 3.3.2 se establece lo siguiente:

“La decisión de proporcionar una zona de parada, o una zona libre de obstáculos, como otra solución al problema de prolongar la longitud de la pista dependerá de las características físicas de la zona situada más allá del extremo de la pista y de los requisitos de performance de los aviones que utilicen la pista.” (OACI, 2006)

Por tanto, para esta pista, no se proporcionarán zonas de parada, ni zona libre de obstáculos, ya que la longitud de la pista es más que suficiente para que el avión crítico modelo AIRBUS A320-200, realice operaciones tanto de aterrizaje; como despegue.

3.4.9 Cálculo de las distancias declaradas

Pista 10

TORA (Take Off Run Available) o recorrido de despegue disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros para la carrera de despegue.

TODA (Takeoff Distance Available) o distancia de despegue disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros de pista, sin zona libre de obstáculos (Clearway).

ASDA (Accelerate-Stop Distance Available) o distancia de aceleración-parada disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros, sin zona de parada (Stopway).

LDA (Landing Distance Available) o distancia de aterrizaje disponible: Para una operación de aterrizaje utilizando la pista 10, se cuenta con 2832 metros de pista.

Pista 28

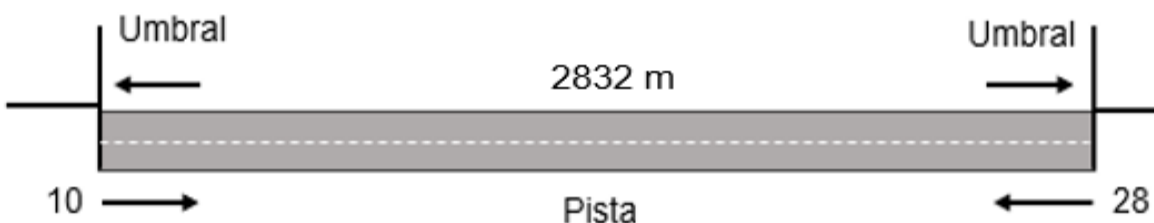
TORA (Take Off Run Available) o recorrido de despegue disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros para la carrera de despegue.

TODA (Takeoff Distance Available) o distancia de despegue disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros de pista, sin zona libre de obstáculos (Clearway).

ASDA (Accelerate-Stop Distance Available) o distancia de aceleración-parada disponible: Para una operación de despegue realizada desde la pista 10, se cuenta con 2832 metros, sin zona de parada (Stopway).

LDA (Landing Distance Available) o distancia de aterrizaje disponible: Para una operación de aterrizaje utilizando la pista 10, se cuenta con 2832 metros de pista.

Figura 25. Determinación de las distancias declaradas.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13. Determinación de las distancias declaradas.

PISTA	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
10	2832	2832	2832	2832
28	2832	2832	2832	2832

Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Diseño de calles de rodaje

Este aeródromo está pensado para funcionar como un aeropuerto internacional, por ello, tomamos como referencia la demanda del aeropuerto internacional Augusto C. Sandino que, según la EAAI, maneja un promedio de 100 operaciones diarias, o bien 36 500 operaciones anuales. Por tanto, según el criterio 6.3.5 b) del manual de planificación de aeropuertos parte 2 de la OACI ([Ver Anexo pág. XIII](#)), para una demanda anual de 30 000 a 60 000 movimientos, se recomienda la construcción de una calle de rodaje paralela a la pista con dos accesos hacia la plataforma, la cual tendrá la forma tipo c, mostrada en la figura 12 de este documento.

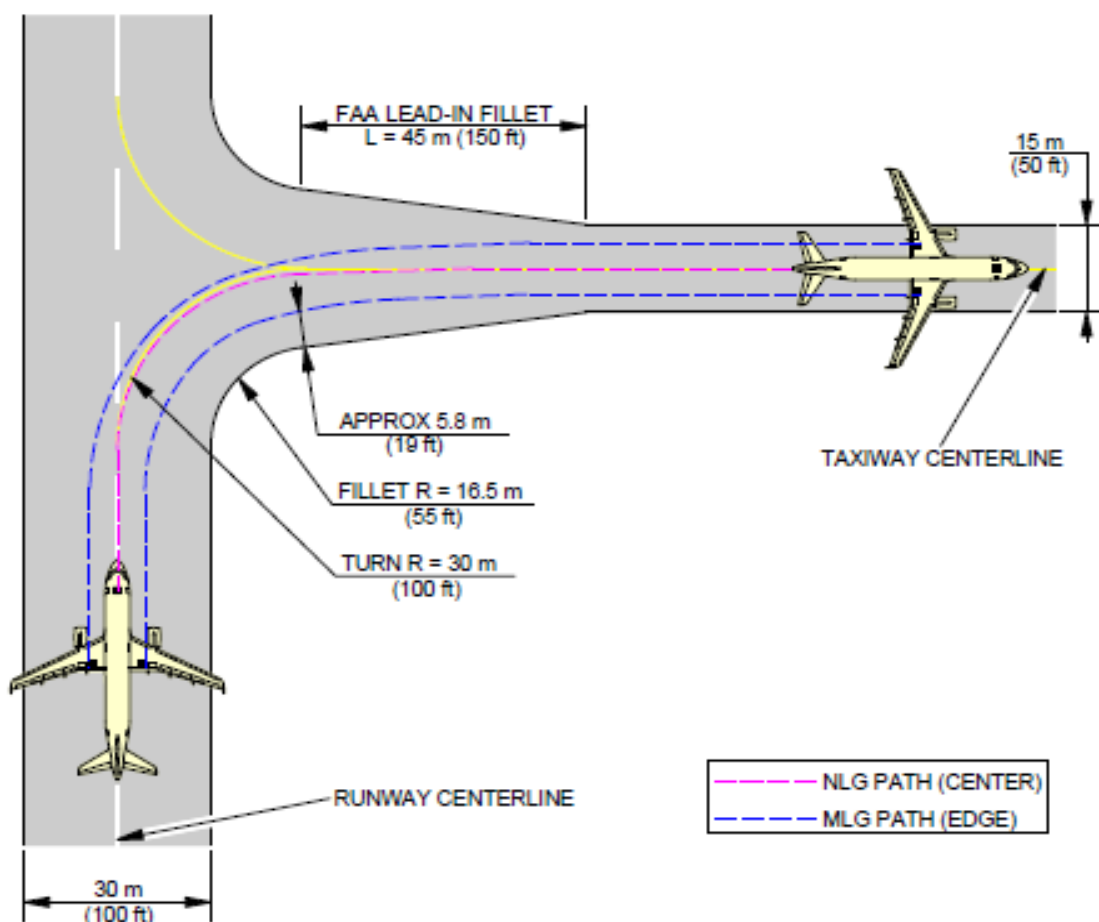
3.5.1 Anchura de las calles de rodaje

Según la tabla 3 de este documento, la anchura mínima de una calle de rodaje para un aeródromo con letra de clave C y un avión crítico con una base de ruedas de 12.64 m (donde la base de ruedas es la distancia entre el tren de proa, y el tren de aterrizaje principal), debería ser de 15 m.

3.5.2 Curvas de las calles de rodaje

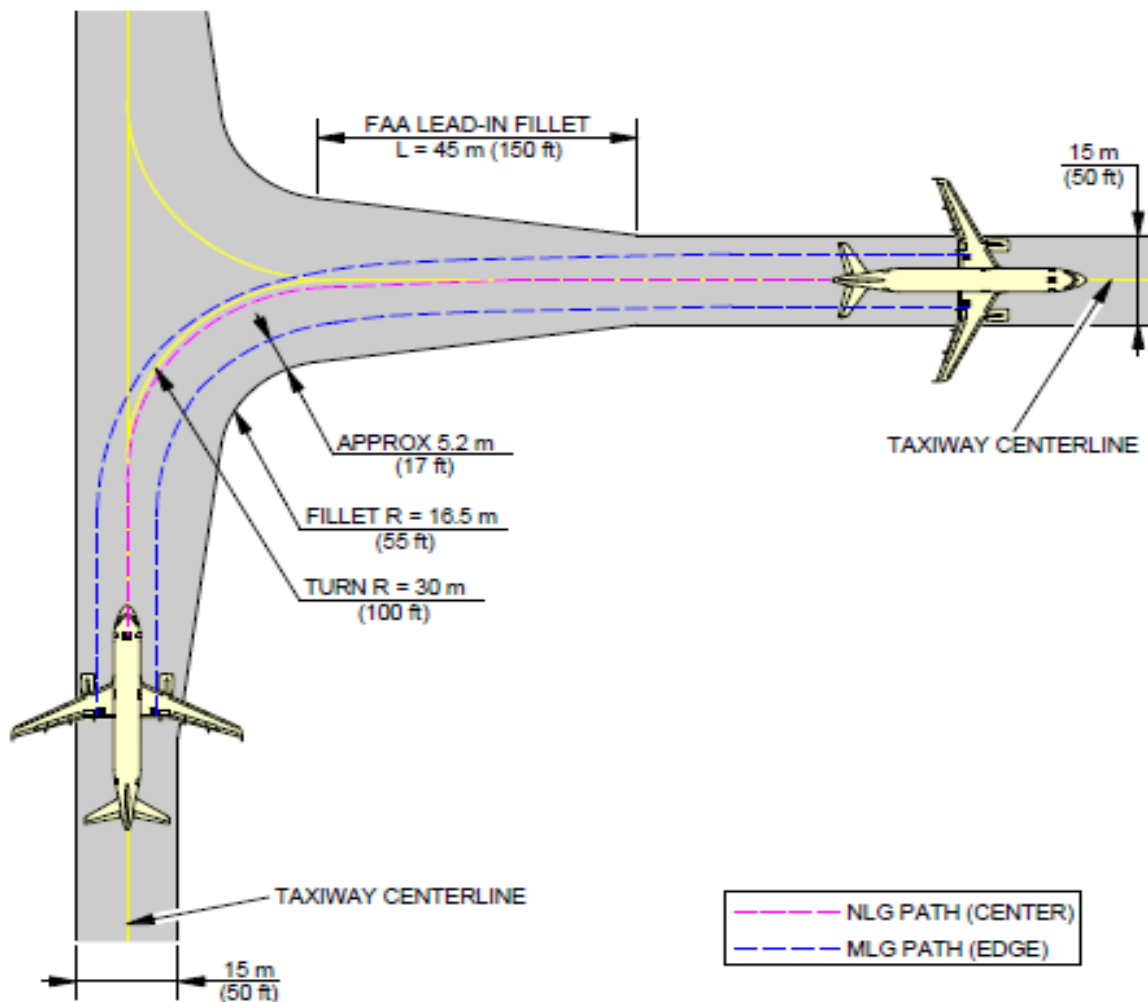
Tomando en cuenta nuestro sistema de calles de rodaje, podemos establecer que, todos los virajes que realice la aeronave, hasta llegar a las plataformas, serán de 90°. Estas curvas se diseñarán siguiendo lo estipulado en el manual del fabricante del avión crítico, que en este caso es el Aircraft characteristics airport and maintenance planning A320, en el cual se presentan las características de los giros de 90°, tanto de pista a calle de rodaje, como de calle de rodaje a calle de rodaje, definidas en los gráficos que se presentan a continuación:

Figura 26. Giro - Pista a calle de rodaje (Cabina sobre línea central).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 187)

Figura 27. Giro - Calle de rodaje a calle de rodaje (Cabina sobre línea central).



Fuente: Aircraft characteristics airport and maintenance planning (AIRBUS S.A.S., 2005, pág. 198)

3.5.3 Separaciones mínimas de calles de rodaje

Según la tabla 4 de este documento, la separación mínima entre calles de rodaje (eje de calle de rodaje/calle de rodaje en plataforma y eje de calle de rodaje) para un aeropuerto con letra de clave C, será de 44 metros, por lo que, se decidió establecer una separación de 88 m entre eje y eje.

La separación mínima entre una calle de rodaje y una pista se establece, en base a la tabla 5, en la cual se menciona que, para una pista de vuelo por instrumentos, con clave 4C, tendrá una separación mínima de 168 metros entre el eje de calle de rodaje y el eje de la pista.

3.5.4 Márgenes y franjas de las calles de rodaje

La OACI, en su anexo 14 diseño y operaciones de aeródromos, inciso 3.10.1 recomienda márgenes a ambos lados de las calles de rodaje para aeródromos con letra de clave C. según la tabla 3 de este documento la anchura total de pavimento y márgenes de calles de rodaje debe ser de un mínimo de 25 metros; sabiendo que la anchura de nuestra calle de rodaje será de 15 metros, podemos observar que los 10 metros restantes corresponden a los márgenes que se extenderán 5 metros a cada lado de los extremos de las calles de rodaje.

Los márgenes deben estar nivelados con la superficie de la calle de rodaje, utilizando la misma pendiente. La parte nivelada de la franja de la calle de rodaje debe tener una pendiente transversal descendente de 2%.

Tomando en cuenta lo presentado en la tabla 3, se establece que la anchura mínima de una franja de calle de rodaje es de 52 metros para un aeródromo con letra de clave C y la parte nivelada de esta debe tener una anchura de 25 metros.

3.5.5 Pendientes de las calles de rodaje

según la tabla 3 de este documento, extraída del manual de diseño de aeródromos parte 2, la pendiente longitudinal de la calle de rodaje no debe ser mayor que 1.5%; parámetro que se cumple, ya que la pendiente final será de 0%. En el caso de las pendientes transversales de la calle de rodaje serán de 1.5% que es valor máximo admisible, para un aeródromo con letra de clave C.

3.6 Diseño de Plataformas

La plataforma de estacionamientos, es el área destinada a las maniobras y estacionamiento de las aeronaves. Esta zona conecta la terminal con el lado aire e incluye los parkings o estacionamientos y las calles de rodaje para acceder a estos.

Los factores a considerar en el diseño de las plataformas son:

- a. Tamaño de la aeronave: se diseñará en base a la aeronave crítica, sin embargo, las plataformas también podrán atender a aeronaves con clave de

envergadura tipo A, B y C, siendo “C” el de la aeronave crítica. Se tomará en cuenta para el diseño su longitud y envergadura.

- b. Tipo de maniobras utilizadas por la aeronave para la entrada y salida del puesto de estacionamiento. Hay tres tipos básicos de maniobras, entrada - salida con su propia potencia, entrada con su propia potencia - salida con tractor y entrada - salida con tractor; debido a que la primera requiere puestos de estacionamiento demasiado amplios, se decidió dimensionar los estacionamientos asumiendo que la maniobra de entrada será realizada por el piloto y la salida utilizando un tractor.
- c. Característica de diseño de los estacionamientos: hay varios tipos de diseño de estacionamiento, el que se usará es el de proa hacia dentro, donde la aeronave se posiciona con la nariz encarado hacia la terminal, y se conecta con el edificio mediante un puente. Esta forma de estacionamiento, es la que requiere menor cantidad de espacio.

Se diseñarán dos tipos de plataformas, las plataformas de terminal de pasajeros y las plataformas de estacionamiento; ambas serán de concepto lineal, seguidas una de la otra, donde los aviones se posicionarán con la nariz encarado hacia la terminal y se conectara con el edificio mediante un puente.

3.6.1 Requisitos relativos a distancias libres:

Un puesto de estacionamiento de aeronaves debería proporcionar las siguientes distancias libres mínimas entre las aeronaves. En la tabla presentada a continuación se mostrará las distancias libres para cada clave.

Tabla 14. Distancia libre mínima entre aeronaves.

Lista de clave	Distancia libre (m)
A	3
B	3
C	4.5
D	7.5
E	7.5
F	7.5

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera.

3.6.2 Capacidad de la plataforma:

Según la Empresa Administradora de Aeropuertos Internacionales (EAAI), las operaciones diarias de vuelos en Nicaragua, Incluyendo vuelos nacionales, comprenden un total de 100, con un tiempo de ocupación aproximado de cada vuelo de 2 horas.

Para determinar la capacidad plataformas de terminal de pasajeros, se utilizó el modelo analítico sin restricciones, (los aviones pueden estacionarse en todos los stands) definido por R. Horonjeff “Planning and Design of Airports” (2010). El cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$C = N/T \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

N = Número total de puestos

T = Media ponderada del tiempo de ocupación del conjunto de las distintas clases de aeronaves que operan en el aeropuerto.

Entonces, si tenemos 100 operaciones diarias y cada aeronave realiza 2 operaciones (aterrizaje y despegue), podemos decir, que en promedio se reciben 50 aeronaves diarias, en un aeropuerto que funciona las 24 horas, por tanto, la capacidad de plataforma será: $50/24 = 2.08 \approx 3$ aeronaves / hora.

Sustituyendo este valor en la ecuación 5, y despejando N, podemos encontrar el número de puestos de estacionamiento mínimo requerido en la plataforma.

$$C = \frac{N}{T} \rightarrow N = C * T = (3)(2) = 6$$

Por lo tanto, se necesita un mínimo de 6 puestos de estacionamiento, sin embargo; debido a que la demanda aumentará con el paso del tiempo, y a su vez se requerirá de una mayor capacidad de pista, se propone aumentar el mínimo de puestos de estacionamiento, en un 50% para un total de 9 puestos de estacionamiento en plataformas, dentro de los cuales se atenderán aeronaves de pasajeros, carga y, en caso de ser necesario se utilizarán como puestos de parqueo para aviones que lo requieran.

Con un diseño eficiente, materiales de calidad, buenas prácticas de construcción y mantenimiento adecuado, cualquier tipo de pavimento puede proporcionar la vida útil deseada para este; en el caso de los pavimentos aeroportuarios, la vida operacional normalmente ronda los 20 años.

Para este diseño, se decidió utilizar pavimento flexible (Asfalto), debido a su bajo coste, en relación con el pavimento rígido (Concreto); además de su contribución a la reducción del nivel de contaminación por ruido, mejor dispersión del agua en la superficie, resistencia al derrape y fácil mantenimiento, lo que reduce a la alteración del tráfico aéreo.

El diseño se debe realizar en base al peso bruto de la aeronave crítica; se considera que el 95% del peso bruto es soportado por el tren de aterrizaje principal, mientras que el 5% restante es soportado por el tren de nariz, sin embargo, estos porcentajes varían en función de la configuración de pesos de la aeronave de diseño; la OACI recomienda utilizar el peso máximo en rampa para realizar el cálculo del espesor de pavimento, ya que este es el peso máximo que puede tener la aeronave, lo cual nos brindara cierta holgura en el cálculo.

Otro de los factores que influyen en el diseño de la estructura de pavimento es la configuración del tren de aterrizaje de la aeronave, debido a que el peso de esta se distribuye según esa configuración.

El diseño de la estructura de pavimento, consistirá en un firme compuesto por un pavimento flexible de mezcla asfáltica en caliente, base, sub base y mejoramiento de subrasante, si las condiciones del terreno lo ameritan.

Para realizar el diseño de pavimento, tomamos como referencia, un estudio de suelos realizado por el consorcio INGENNYA (en asociación con el MTI) al banco de material “La Tigra”, ubicado en el municipio de mateare, departamento de Managua, a 10 kilómetros del aeropuerto Los Brasiles, con coordenadas UTM WGS 84 E, 560650 y N 1352300.

Tabla 15. Resultados de capacidad de soporte de California de Banco La tigre.

Relación de soporte de california (CBR), Ensayo AASHTO 193				
Sondeo	N° de muestras	CBR al 95%	Tipo de suelo	0.85*(CBR)
S-1	1	11	A-1-a	9.35
	1	9	A-1-a	7.38
S-2	1	8	A-1-b	6.56
S-3	1	4	A-1-b	3.4

Fuente: Elaboración propia, según estudio de factibilidad INGENNYA

Por lo general, los suelos de subrasante son bastante variables, es por ello que la administración federal de aviación (en inglés, Federal Administration Aviation, FAA), establece que el valor de CBR de diseño, no debería ser menor que el 85% de todos los valores de CBR de subrasante, lo que corresponde a un valor de desviación estándar por debajo de la media de diseño. Por tanto, según la tabla anterior, podemos establecer un valor de CBR de diseño de 10%.

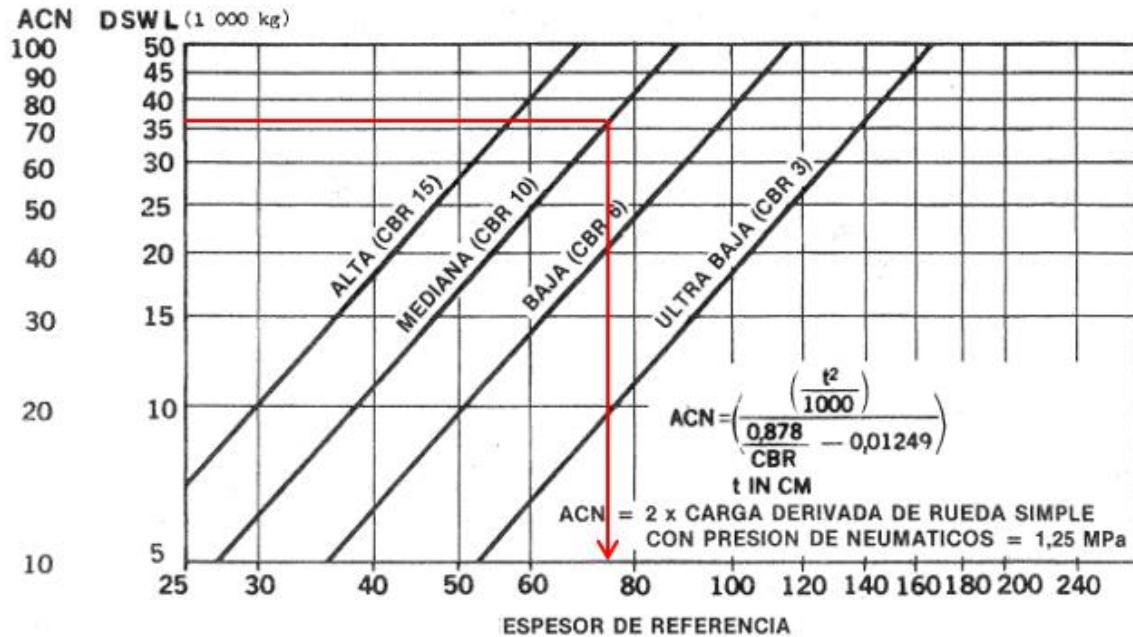
Se realiza el diseño, para un tren de aterrizaje con ruedas dobles, teniendo en cuenta que el MRW (peso máximo en rampa) de la aeronave es de 78 400 kg, del cual el 92.9% es distribuido uniformemente en ambas ruedas del tren de aterrizaje principal, esto según el manual del fabricante del avión de diseño, Airbus S.A.S.

Para determinar el espesor de referencia del pavimento, necesitamos calcular la carga de rueda simple del tren de aterrizaje principal (DSWL), sabiendo que el tren de aterrizaje principal (ruedas dobles) soporta el 92.9% del MRW, entonces tenemos:

$$DSWD = \frac{92.9\%}{2} (78\,400\,kg) = 36\,416.8\,kg \quad \text{Ec.9}$$

Con este valor y tomando en cuenta el CBR de 10% procedemos a leer, el espesor de referencia correspondiente, en el siguiente gráfico:

Figura 29. Espesor de referencia para pavimentos flexibles.



Fuente: Manual de diseño de aeródromos Parte 3. Pavimentos (OACI, 1983, pág. 22)

Por tanto, el espesor de referencia, según el gráfico, deberá ser de 75 cm. Este valor debe ser comparado con el obtenido en la siguiente ecuación de los cuales se escogerá el valor mayor.

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C1 \cdot CBR} - \frac{DSWL}{C2 \cdot Ps}} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

t = espesor de referencia en cm

DSWL = carga de rueda simple del tren de aterrizaje principal

Ps = 1.25 Mpa

C1 = 0.5695

C2 = 32.035

$$t = \sqrt{\frac{36\,416.8}{0.5695 \cdot 10} - \frac{36\,416.8}{32.035 \cdot 1.25}} = 74.06 \text{ cm}$$

Entonces, el valor a utilizar, para el espesor de pavimento flexible, será de 75 cm.

El espesor de las capas que componen el pavimento, dependerá de las presiones de los neumáticos, y se determinan utilizando la tabla siguiente:

Tabla 16. Espesores de cálculo de las capas de pavimento (en cm).

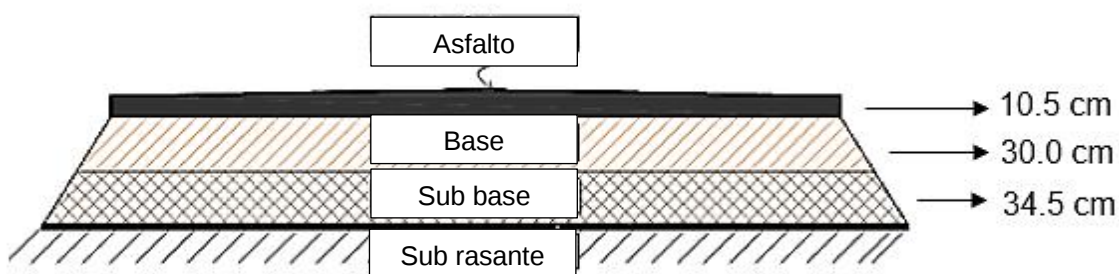
Capa del pavimento	Presión del neumático de cálculo (Mpa)			
	Inferior a 0.4	De 0.4 a 0.7	De 0.7 a 1.0	Mayor de 1.0
Hormigón asfáltico	5.0	6.5	9.0	10.5
Firme de grava machaca o piedra machacada	15	23	23	30
Capa de cimentación granular seleccionada	Es la medida de lo necesario para otorgar el espesor total requerido del pavimento.			

Fuente: Manual de diseño de aeródromos Parte 3. Pavimentos (OACI, 1983, pág. 79)

Asumiendo la misma presión de neumáticos que establece la ecuación 10, que es de 1.25 Mpa, determinamos los espesores de pavimento por capas, los cuales serían:

- Carpeta asfáltica = 10.5 cm
- Base = 30 cm
- Sub base = espesor de pavimento – carpeta asfáltica – base
= 75 cm – 10.5 cm – 30 cm = 34.5 cm

Figura 30. Estructura de pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia.

3.8 Ayudas visuales para la navegacion:

3.8.1 Indicadores y dispositivos de señalizacion.

3.8.1.1 Indicadores de la direccion de viento.

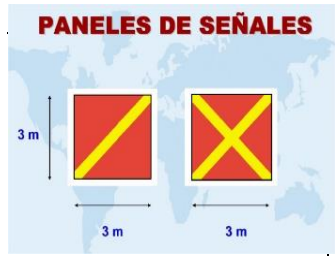
El indicador de la dirección del viento tendrá una forma de cono truncado y está hecho de tela, la longitud del cono será de 3.6 m, y su diámetro, en la base mayor, de 0,9 m. Su función será señalar la dirección del viento en la superficie.

Los colores de diseño del cono truncado serán blanco y anaranjado, ya que son colores que claramente pueden verse a distancias grandes, y estará emplazado en una banda circular de 15 m de diámetro y 1.2 m de ancho.

3.8.1.2 Paneles de señalización y área de señales.

Este panel se construirá con unas planchas de hierro galvanizado de 3 m x 3m, en la cual se pintará una cruz de color amarillo y el resto del área en rojo.

Tabla 17. Señales verticales.

Señales verticales	Longitud	Ancho	Descripción	Imagen
Indicador de la dirección de viento	3.6	0.9	Es un cono truncado hecho de tela que sirve para determinar la dirección del viento	
Panel de señalización y área de señales	3	3	Estos paneles sirven para indicar al avión que está en altura que no puede aterrizar en la pista.	

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2 Señales horizontales.

3.8.2.1 Señal designadora de pista

La señal designadora de la pista, se emplazará en el umbral de pista y este está constituido por un número de dos cifras, los cuales determinan la orientación que la pista tendrá, la denominación de estos números son 10 y 28 para la dirección opuesta.

La señal designadora de la pista, se emplazará en el umbral de pista y este está constituido por un número de dos cifras, los cuales determinan la orientación que la pista tendrá, la denominación de estos números son 10 y 28 para la dirección opuesta.

3.8.2.2 Señal de eje de pista.

La pista tendrá señales de eje de pista con trazos uniformemente espaciados, la longitud de cada señal será de 50 m, su ancho será de 0.45 m y el espacio entre cada señal será de 20 m.

3.8.2.3 Señal de umbral.

Las señales del umbral que tendrá la pista, consistirán en una configuración de fajas longitudinales de dimensiones uniformes de 30 m, 1.80 m de ancho con una separación entre ellas de 1.80 m, el número de fajas es un total de 12 según la tabla, ya que tiene un ancho de 45 m.

3.8.2.4 Señal de punto de visada.

La pista tendrá dos señales de punto de visada en cada extremo de aproximación de la pista, en base a la dimensión de la pista a diseñar la distancia que tendrá del umbral de la pista al comienzo de la señal es de 400 m, con una longitud de cada faja de 45 m, ancho de 10 m y un espacio lateral entre los lados internos de las fajas de 18 m.

3.8.2.5 Señal de zona de toma de contacto

La pista se le diseñarán 6 pares de señales de zona de toma de contacto según tabla, tendrán una longitud de 22.5 m, 1.8 m de ancho, con un espaciado de 1.5 m entre fajas adyacentes, el primer par se ubicará a 150 m de donde inicia la pista o umbral, el siguiente par se ubicará a una distancia de 150 m del primer par de señal, el tercer par se ubicará a una distancia de 300 m del segundo par, y los últimos pares se ubicarán a una distancia de 150 m.

3.8.2.6 Señal de faja lateral de pista.

Se dispondrá de dos señales, de fajas laterales dispuestas una a cada lado a lo largo del borde de la pista, de manera que el borde exterior de cada faja coincidirá con el del borde de la pista, el ancho de estas fajas laterales será de 0.90 m.

3.8.2.7 Señal de eje de calle de rodaje.

Se dispondrá una señal de eje de calle de rodaje la cual estará situada sobre el eje, tendrá un ancho de 0.15 m y será un trazo continuo.

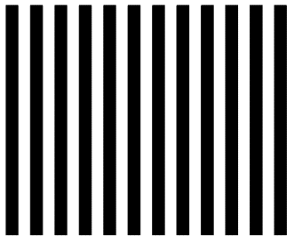
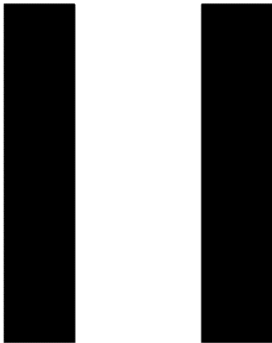
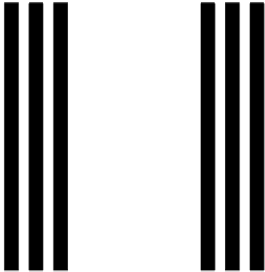
3.8.2.8 Señal de punto de espera de la pista.

Se dispondrá de una señal de punto de espera en la intersección de la calle de rodaje, su diseño será de 4 líneas a lo horizontal de la calle de rodaje, 2 líneas serán continuas y las otras 2 no continuas, con espacios entre cada línea de 0.15 cm.

3.8.2.9 Señales de puesto de estacionamiento de aeronaves.

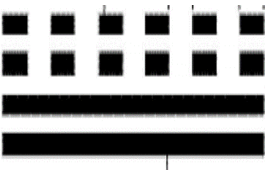
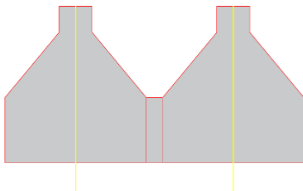
Las señales de puesto de estacionamiento, estarán constituidas por una línea de eje, que servirá para que el avión pueda ubicarse al centro de la plataforma, esta será una línea continua amarilla con un ancho de 0.15 m.

Tabla 18. Señales horizontales (parte 1).

Señales horizontales	Longitud	Ancho	Descripción	Imagen
Señal designadora de pista	9	6	son los números que determinan la orientación de la pista.	
Señal de eje de pista	30	0.5	Línea discontinua situada en toda la pista.	
Señal de umbral	30	1.8	Conjunto de líneas uniformes y paralelas, que marcan el comienzo de la pista utilizable para el aterrizaje.	
Señal de punto de visada	45	10	Es el punto en donde si el piloto no inicia la recogida impactara con la pista, esta señal va en pares de dos líneas gruesas y con una longitud considerable.	
Señal de toma de contacto	22.5	1.8	Es la señal de la pista situada después del umbral y está destinada a que los aviones que aterrizan hagan el primer contacto con la pista.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Señales horizontales (parte 2).

Señales horizontales	Longitud	Ancho	Descripción	Imagen
Señal de faja lateral	2836	0.9	Se dispondrá de dos señales de fajas laterales dispuestas una a cada lado a lo largo del borde de la pista.	
Señal de eje de calle de rodaje	trazo continuo	0.15	Esta línea continua permite al piloto el rodaje seguro por el área de movimiento.	
Señal de punto de espera de la pista	15	0.15	Esta señal sirve o ejerce para que los aviones antes de ingresar a la calle de rodaje o a la pista se detengan en caso de que otro avión haga uso de ellas.	
Señales de puesto de estacionamiento de aeronaves	42.29	0.15	Esta línea sirve de guía para que los pilotos puedan estacionar correctamente los aviones en las plataformas.	

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 Luces.

3.8.3.1 Luces de borde de pista.

Se instalarán luces de borde de pista para su uso nocturno. Deberían instalarse luces de borde de pista a un alcance visual en la pista de 800 m. Las luces de borde de pista, se emplazarán a todo lo largo de ésta, en dos filas paralelas y equidistantes del eje de la pista, en los bordes del área destinada a servir de pista, o al exterior de dicha área a una distancia de 3 m, estas luces serán fijas y de color blanco variable

3.8.3.2 Luces de umbral de pista y de barra de ala.

Cuando un umbral esté en el extremo de una pista, las luces de umbral estarán emplazadas en una fila perpendicular al eje de la pista, tan cerca del extremo de la pista como sea posible y en ningún caso a 3 m al exterior del mismo.

Las luces de umbral de pista y de barra de ala serán luces fijas unidireccionales, de color verde, visibles en la dirección de la aproximación a la pista.

3.8.3.3 Luces de extremo de pista.

Las luces de extremo de pista, se emplazarán en una línea perpendicular al eje de la pista, tan cerca del extremo como sea posible y en ningún caso a más de 3 m al exterior del mismo. Las luces de extremo de pista, serán luces fijas unidireccionales de color rojo, visibles en la dirección de la pista, y su intensidad y abertura de haz serán las adecuadas para las condiciones de visibilidad y de luz ambiente en las que se prevea que ha de utilizarse.

3.8.3.4 Luces de eje de pista

Las luces de eje de pista, se emplazarán a lo largo del eje de la pista, pero, cuando ello no sea factible, podrán desplazarse uniformemente al mismo lado del eje de la pista a una distancia máxima de 60 cm. Las luces se emplazarán desde el umbral hasta el extremo, con un espaciado longitudinal aproximado de 15 m.

Las luces de eje de pista serán luces fijas de color blanco variable desde el umbral hasta el punto situado a 900 m del extremo de pista; luces alternadas de colores

rojo y blanco variable desde 900 m hasta 300 m del extremo de pista, y de color rojo desde 300 m hasta el extremo de pista.

3.8.3.5 Luces de eje de calle de rodaje.

Se instalarán luces de eje de calle de rodaje en las calles de salida de pista, calles de rodaje y plataformas destinadas a ser utilizadas en condiciones de alcance visual en la pista, de manera que, proporcionen una guía continua entre el eje de la pista y los puestos de estacionamiento de aeronaves. No será necesario proporcionar dichas luces cuando haya reducida densidad de tránsito, y las luces de borde y las señales de eje de calle de rodaje proporcionen guía suficiente.

Las luces de eje de una calle de rodaje que no sea calle de salida, y de una pista que forme parte de una ruta normalizada para el rodaje, serán fijas de color verde y las dimensiones de los haces, serán tales, que sólo sean visibles desde aviones que estén en la calle de rodaje o en la proximidad de la misma.

Las luces de eje de calle de rodaje instaladas en calles de salida, que no sean de salida rápida, deberían comenzar en el punto en que las señales del eje de calle de rodaje inician la parte curva, separándose del eje de la pista, y deberían seguir la señalización en curva del eje de la calle de rodaje; por lo menos hasta el punto en que las señales se salen de la pista. La primera luz debería estar a 60 cm, por lo menos, de cualquier fila de luces de eje de pista.

3.8.3.6 Luces de borde de calle de rodaje

Se instalarán luces de borde de calle de rodaje en los bordes de una plataforma de viraje en la pista, apartaderos de espera, plataformas, etc., que hayan de usarse de noche, y en las calles de rodaje, que no dispongan de luces de eje de calles de rodaje y que estén destinadas a usarse de noche.

En las partes rectilíneas de una calle de rodaje, y en una pista que forme parte de una ruta normalizada para el rodaje, las luces de borde de las calles de rodaje deberían disponerse con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 60 m. En las curvas, las luces deberían estar espaciadas a intervalos inferiores a 60 m a fin de que, proporcionen una clara indicación de la curva.

CAPITULO IV – ELABORACIÓN DE PLANOS EN AUTOCAD CIVIL 3D



4.1 Introducción

Los planos del diseño geométrico del lado aire de un aeropuerto, fueron desarrollados en su totalidad en el software AutoCAD Civil 3D, mostrando así todo el proceso de elaboración del mismo. En el juego de planos constructivos se incluyen detalle de la sección típica, perfil longitudinal con su rasante, vista de toda la pista, calle de rodaje y plataforma, esto dividido en 19 planos, los cuales fueron dibujados a escala 1:1000.

En la tabla presentada a continuación, podemos observar todos los datos necesarios, determinados en base a los manuales de la OACI, para la elaboración de los planos de un aeropuerto diseñado, que se presentaran posteriormente.

Tabla 20. Datos geométricos del lado aire del aeropuerto.

Parámetros Geométricos		
Descripción	U/M	Valor
Longitud de la pista	Mts	2832
Ancho de la pista	Mts	45
Pendiente longitudinal de pista	%	0
Pendiente transversal de pista	%	1
Elevación de la pista	Msnm	56
Longitud de la calle de rodaje (Paralela)	Mts	2832
Ancho de la calle de rodaje	Mts	15
Radio de giro de la calle de rodaje	Mts	30
Distancia entre el eje de pista y el eje de la calle de rodaje	Mts	168
Pendiente longitudinal de la calle de rodaje	%	0
Pendiente transversal de la calle de rodaje	%	1.5
Longitud de la plataforma	Mts	392.40
Ancho de la plataforma	Mts	110.60
Número de puestos de estacionamiento	C/u	9
Distancia libre entre aeronaves	Mts	4.5

Fuente: Elaboración propia.

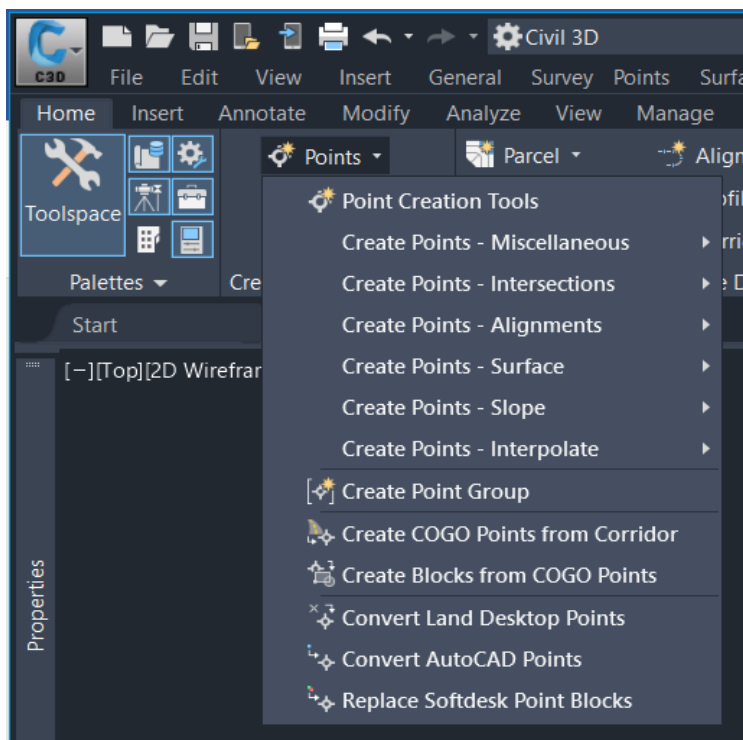
4.2 Importación de puntos

El modo más eficaz y rápido de colocar puntos en un dibujo, es a través de la importación de puntos, ya que se extraen desde un dispositivo de levantamiento, como la estación total o de algunos softwares como lo es Google Earth, global mapper, etc. Para luego volcarlos directamente al Software Civil 3D a través de archivos de texto (TXT).

Antes de importar los puntos, es necesario revisar el formato del archivo de puntos (que es el que contiene toda la información topográfica de los puntos obtenidos), además, se debe observar si los componentes están separados por coma o por espacio; los componentes utilizados normalmente para la creación e inserción de puntos son: P (Punto), N (Norte), E (Este), Z (Elevación).

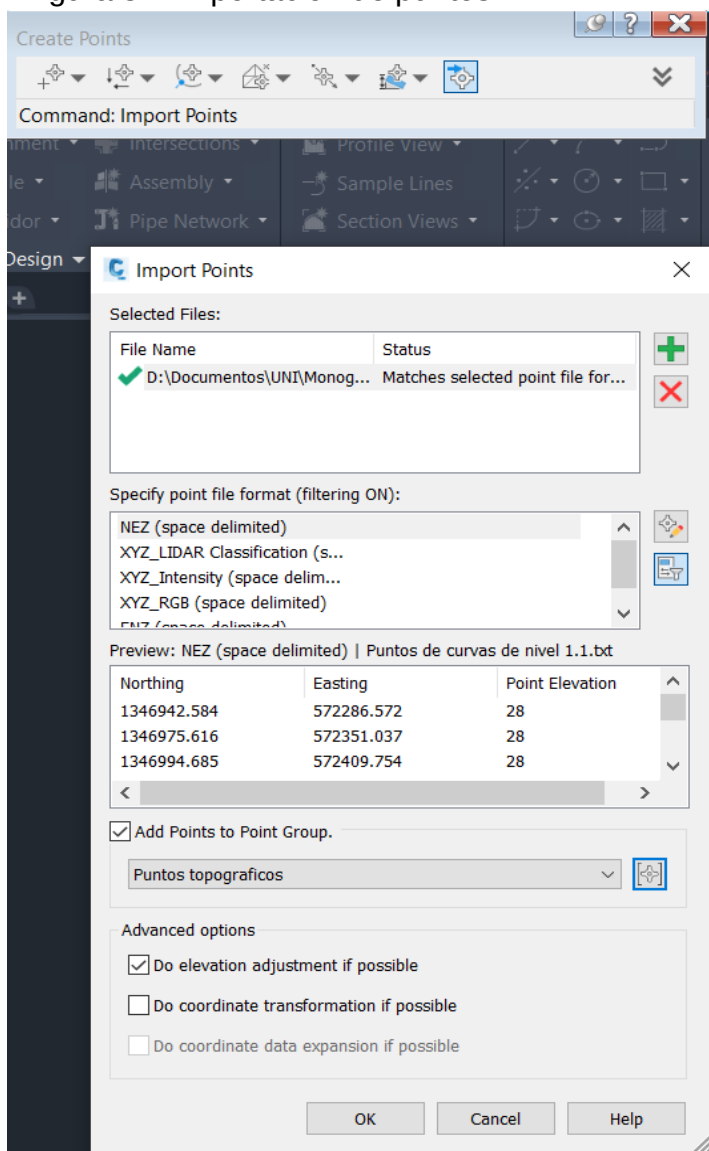
Para proceder a importar los puntos, ubicarse en pestaña Home y extender “Points” y seleccionar “Point Creation Tools” (Herramientas de creación de puntos).

Figura 31. Herramienta para la creación de puntos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Importación de puntos.



Fuente: elaboración propia.

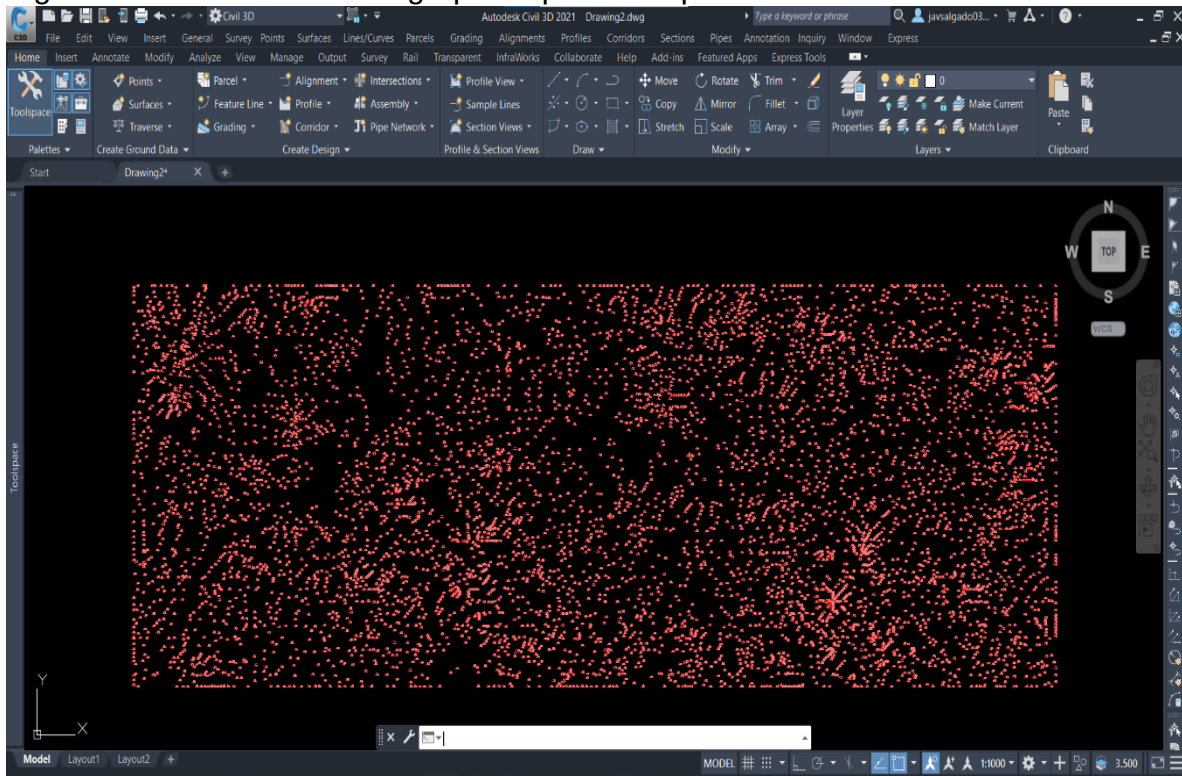
En la ventana que se despliega “Create Points”, seleccionar la opción “Import Points” (el que se encuentra encerrado en el cuadro azul). A continuación, se procederá a crear un grupo de puntos a partir de los puntos importados, para ello activar la opción “Add Points to Point Group” y hacer clic izquierdo en (Ver figura 32).

Luego en la ventana que se despliega “Point File Formats-Create Group”, se procede a nombrar el grupo de puntos, en este caso será “Puntos topográficos”, Luego clic izquierdo en Ok y Ok.

Para visualizar en el modelo, los puntos importados teclear el comando “ZE” (Zoom Extend) y presionar Enter, una vez realizado esto, se procederá a configurar el grupo de punto anteriormente creado “Puntos topográficos”, esta configuración se realiza cuando se dificulta la identificación de los puntos.

Para ello se editará los estilos visuales de estos, adecuando el tamaño y tipo de letra, además de los colores de las entidades (puntos, cotas, descripción) y el tipo de símbolo que tendrán los puntos.

Figura 33. Visualización del grupo de puntos importados.



Fuente: elaboración propia.

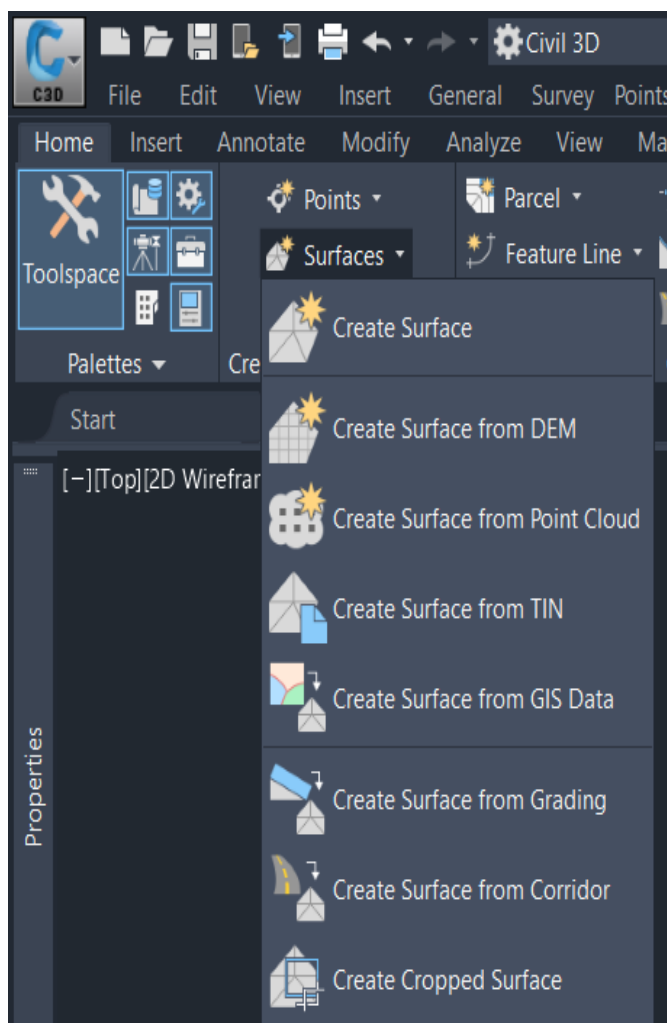
4.3 Determinación de la superficie de la pista

Una superficie representa la geometría tridimensional de un área de terreno o en el caso de superficies de volumen para conocer la diferencia o la combinación entre dos áreas de superficie. Las superficies están compuestas por triángulos o rejillas que se crean cuando Civil 3D conecta los puntos que constituyen los datos de la superficie.

La edición de las superficies va de la mano de la correcta visualización de la misma por medio de estilos de superficies (Esto es a selección del dibujante). Los estilos de una superficie permiten visualizarla de diferentes maneras, ya sea la superficie del terreno con las curvas de nivel, de forma triangular (Superficie TIN), a través de un mapa de elevaciones o de pendientes o solo el borde de la misma.

A continuación, se procederá a crear una superficie, así como definir el estilo de la misma, con el fin de lograr un correcto modelado del terreno.

Figura 34. Creacion de superficie



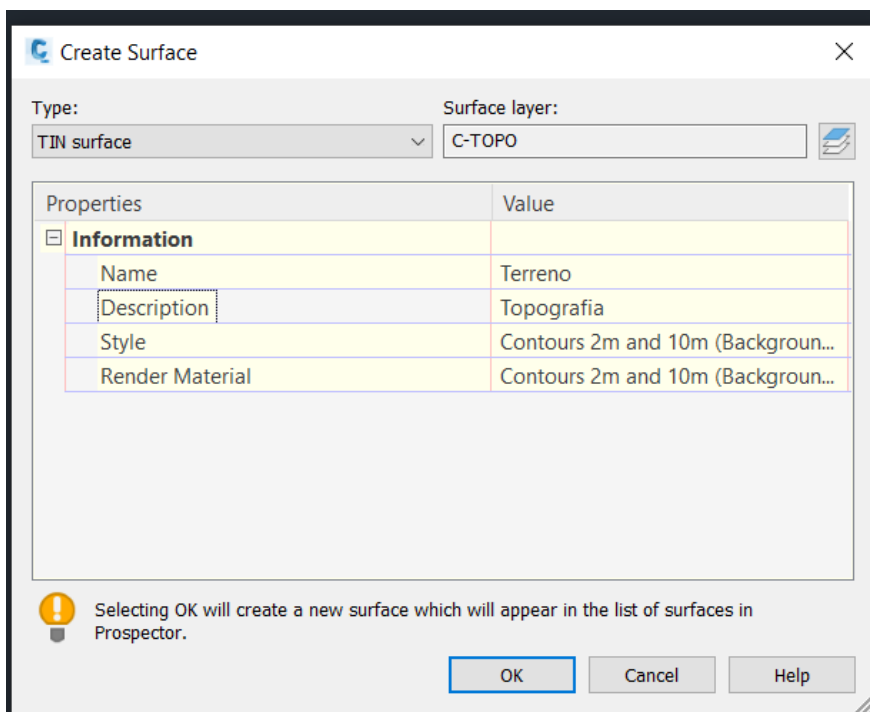
Posteriormente, se creará la superficie, se le asignará un nombre y se le asociará un grupo de punto. Para ello, ubicarse en Home, seleccionar “Surfaces”, hacer clic derecho y seleccionar “Create Surface” (Crear superficie)..

En el cuadro que se despliega “Create Surface” (ver figura 35), en la opción Type seleccionar el tipo de superficie, en este caso será “TIN Surface”, en “Surface layer” seleccionar “C-TOPO” (es la capa donde se encontrará la superficie, ésta capa es la que trae por defecto la plantilla que se seleccionó al abrir al programa).

Fuente: elaboración propia

Seguidamente en el nivel Information: En Name se nombra a la superficie, en este caso se le asignará el nombre “Terreno”, en Description teclear “Topografía”, en Style, se define el estilo de la superficie, para ello, hacer clic izquierdo en la celda que está en la intersección de la fila “Style” y columna “Value” y hacer clic izquierdo en, luego en el cuadro que se despliega “Select Surface Style” seleccionar “Contours and Triangle” (Contornos y triángulos) y clic izquierdo en Ok.

Figura 35. Definición del tipo de superficie y sus propiedades.



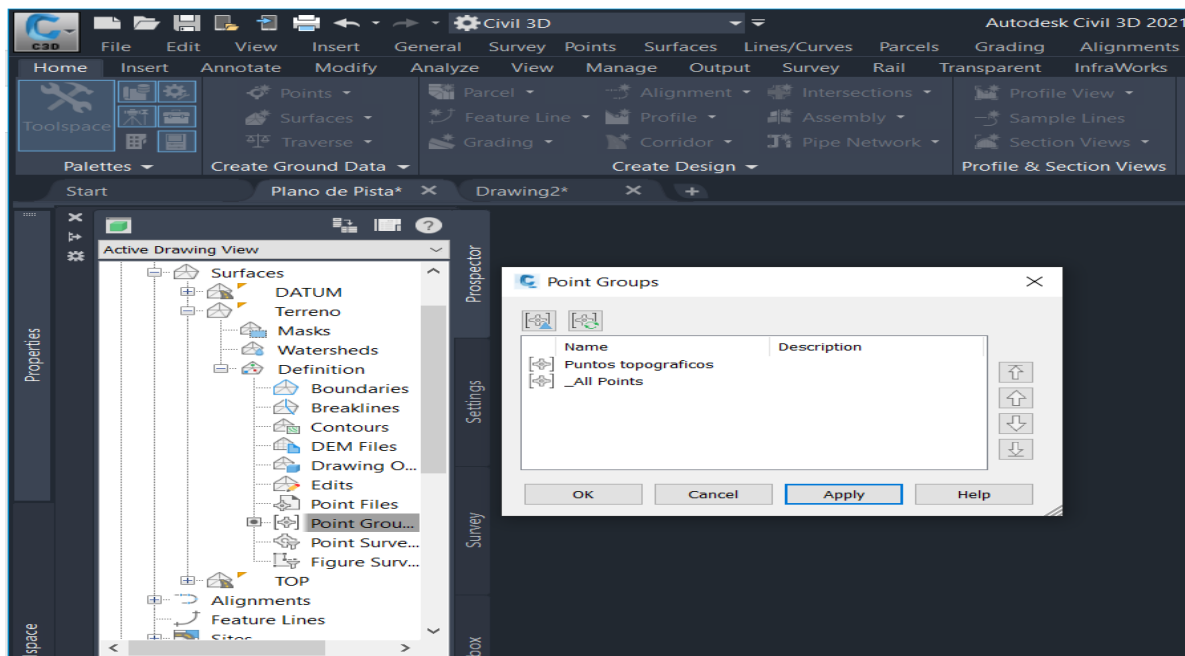
Fuente: elaboración propia.

Cuando se crea una superficie, no se puede visualizar aún, debido a que no se ha definido los datos que la modelarán. En la definición de datos de superficie, los puntos o las curvas de nivel, son a menudo una pieza principal de la información de superficie original y se completan con líneas de rotura y contornos.

Como se mencionó anteriormente, se asignará un grupo de puntos a la superficie, para ello, ubicarse en pestaña Prospector de Toolspace, extender la superficie creada, luego extender “Definition” y seleccionar “Point Groups”, hacer clic derecho y seleccionar “Add” (Para añadir un grupo de punto a la superficie).

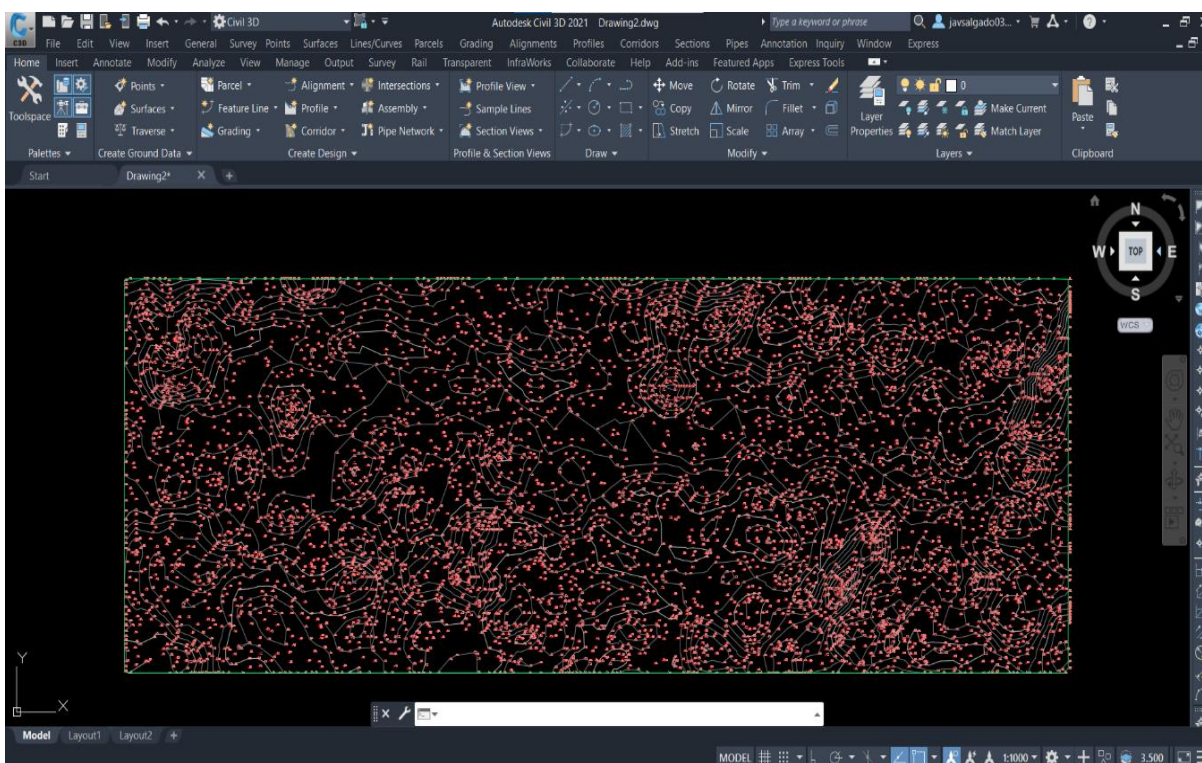
En el cuadro desplegable “Point Groups” seleccionar el grupo de puntos a partir del cual se va a generar la superficie, en este caso será “Puntos topográficos”. Y clic izquierdo en Apply y Ok, la superficie creada aparecerá automáticamente en el modelo. (Ver figura 36 y 37).

Figura 36. Adición y Selección del grupo de puntos, a partir del cual se generará la superficie.



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Superficie creada.

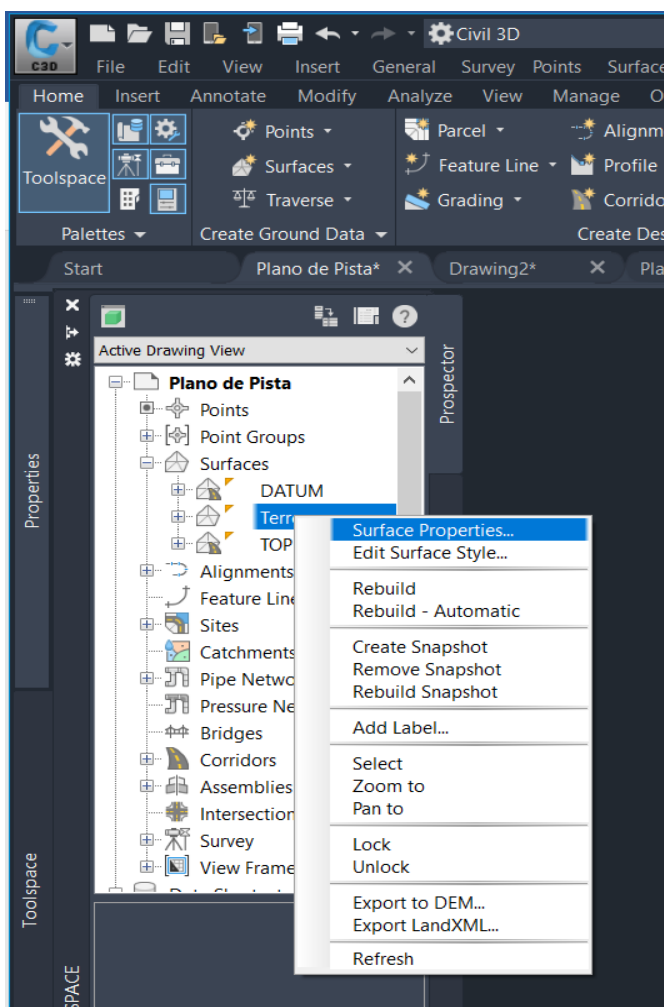


Fuente: elaboración propia.

Una vez que se crea la superficie, es posible editarla y añadirle datos. Las ediciones de propiedades de superficie; como intercambio de aristas, la supresión de líneas TIN, adición de puntos, etc. Se realizan con la finalidad de obtener un modelo digital lo más aproximado a la realidad. Las categorías de edición de datos de superficie incluyen lo siguiente: Contornos, líneas de rotura, curvas de nivel, archivos DEM, objetos de dibujo, archivos de puntos, grupos de puntos.

4.4 Creación de curvas de nivel.

Figura 38. Selección de la superficie, para crear curvas de nivel.



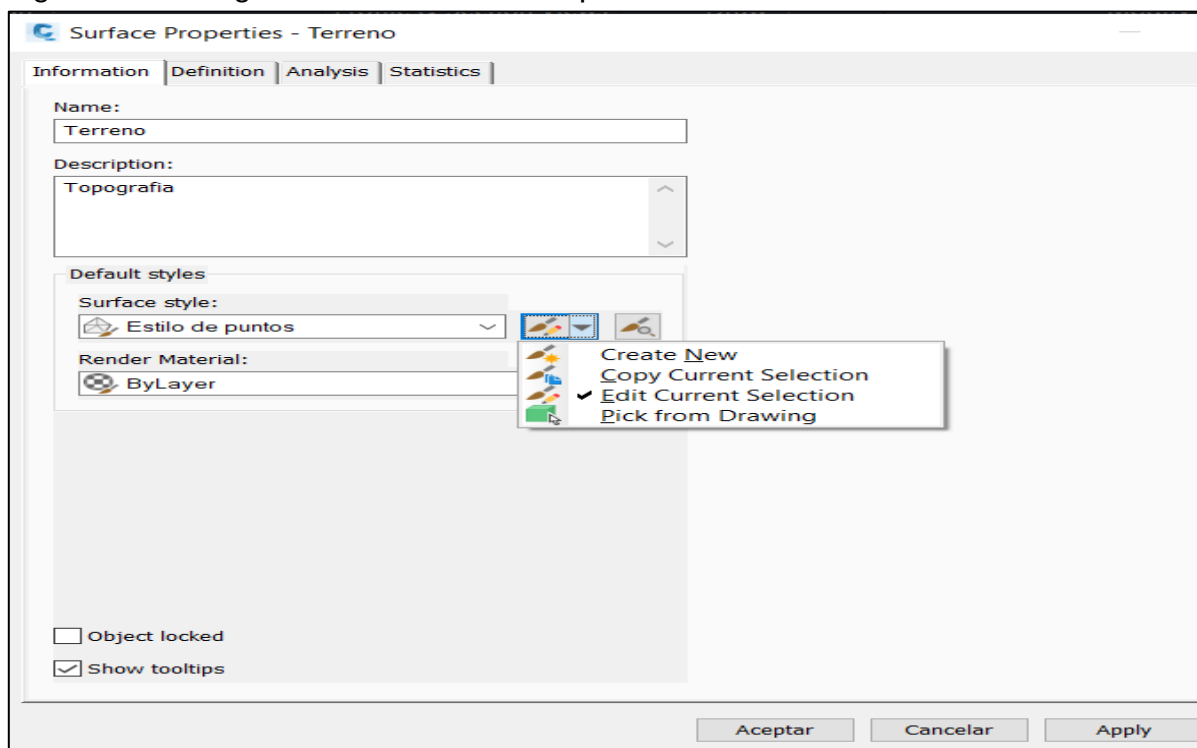
Las curvas de nivel son líneas que unen puntos de la misma altitud de un terreno. Para la creación de curvas de nivel en el software Civil 3D, se debe disponer de una base de datos de puntos propios de la superficie objeto de estudio, esto con el fin de reflejar la forma tridimensional de la superficie terrestre en un mapa bidimensional. A través del etiquetado de curvas de nivel es posible ampliar o encuadrar los datos de curvas de nivel y presentar u ocultar su descripción y resumen. Las curvas de nivel se obtienen por interpolación sobre los lados de los triángulos.

Fuente: elaboración propia.

Para crear curvas de nivel, ubicarse en pestaña Prospector de Toolspace y seleccionar la superficie creada “Terreno”, hacer clic derecho y seleccionar “Surface Properties” (Propiedades de superficie).

En el cuadro que se despliega “Surface Properties”, en pestaña Information, en la opción “Surface Style” aparece por defecto el estilo de superficie que se seleccionó anteriormente, cuando se creó la superficie, en este caso, se configurará dicho estilo “Contours”, para ello hacer clic izquierdo en el desplegable y seleccionar “Copy Current Selection” (esta opción permite sacar una copia al estilo de la superficie).

Figura 39. Configuración del estilo de superficie.



Fuente: elaboración propia.

En el cuadro que se despliega “Surface Style”, en pestaña Information, en la opción Name, se deberá asignar un nombre y una descripción al estilo de la superficie (la descripción es opcional), en este caso se nombrará como “Estilo de puntos”.

Figura 40. Pestaña Information, asignación de nombre y descripción del estilo de superficie.

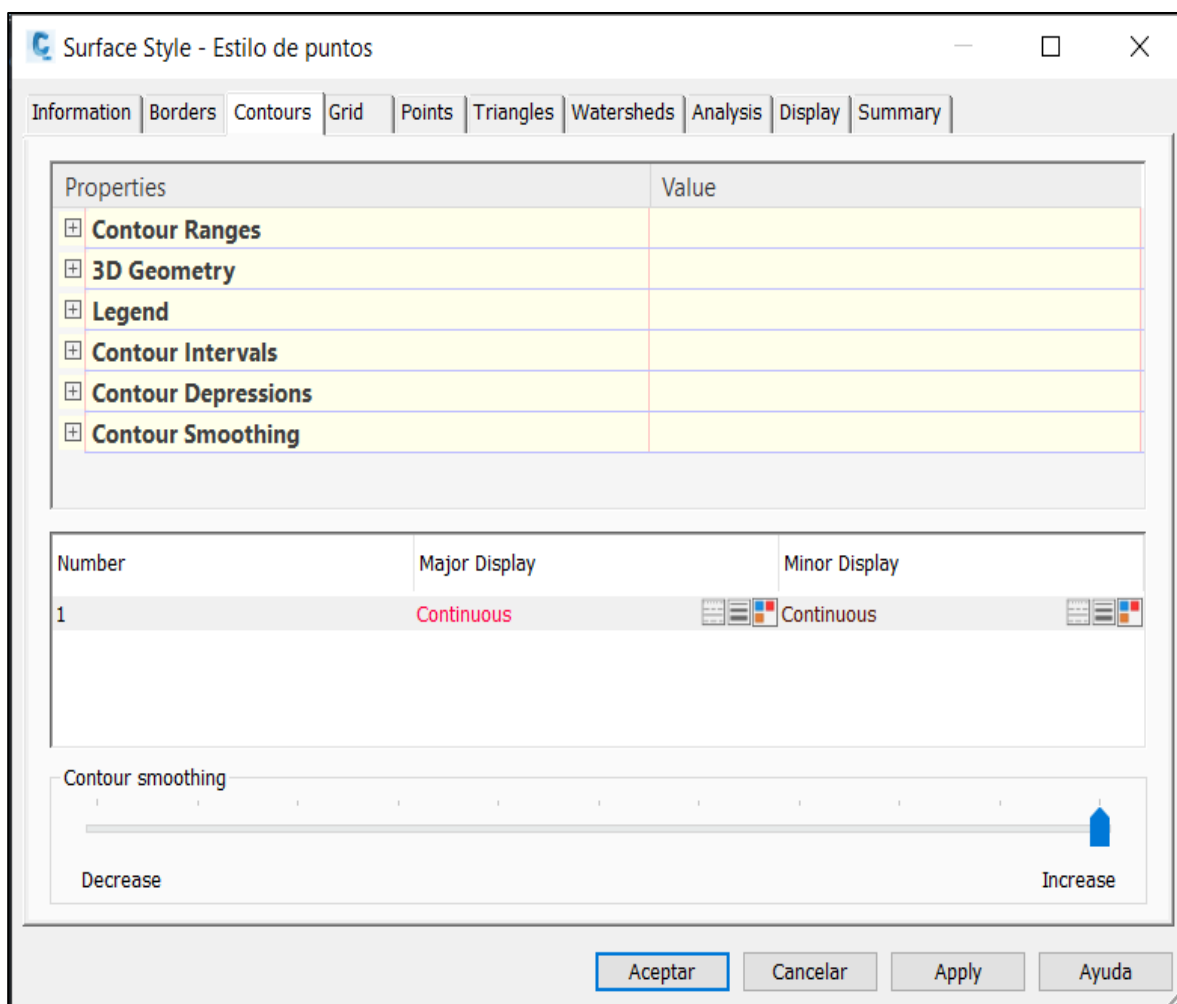
Surface Style - Estilo de puntos									
Information	Borders	Contours	Grid	Points	Triangles	Watersheds	Analysis	Display	Summary
Name:		Created by:	Date created:						
Estilo de puntos		Fernando	21/2/2022 18:31:14						
Description:		Last modified by:		Date modified:					
		Fernando		21/2/2022 22:49:29					

Fuente: elaboración propia.

Para la creación de curvas de nivel, es necesario definir el intervalo deseado para las curvas secundarias (Minor Contour) y el intervalo a considerar para las curvas maestras (Major Contour), también se debe lograr que las curvas de nivel tengan un grado de suavidad moderado, logrando que no se corra el riesgo que estas se superpongan.

Para definir los intervalos mencionados anteriormente, en la pestaña Contours del cuadro "Surface Style", extender "Contours Intervals" (Intervalos de contornos) y en la opción "Base Elevation" (Elevación base) teclear "0.00m", en "Minor Interval" (Intervalo menor) teclear "2.00m" y en "Major Interval" (Intervalo mayor) teclear "10.00m". Luego extender "Contours Smothing" (Grado de suavidad de las curvas) y en la opción "Smooth Contours" seleccionar "True" (para que se active la barra de suavizado de curvas), esta barra aparece en la parte inferior del cuadro "Surface Style" y presenta la graduación a cada 10, en este caso se cambiará a 90. El resto de configuraciones se dejan por defecto.

Figura 41. Configuración de los intervalos de contornos de curvas de nivel.

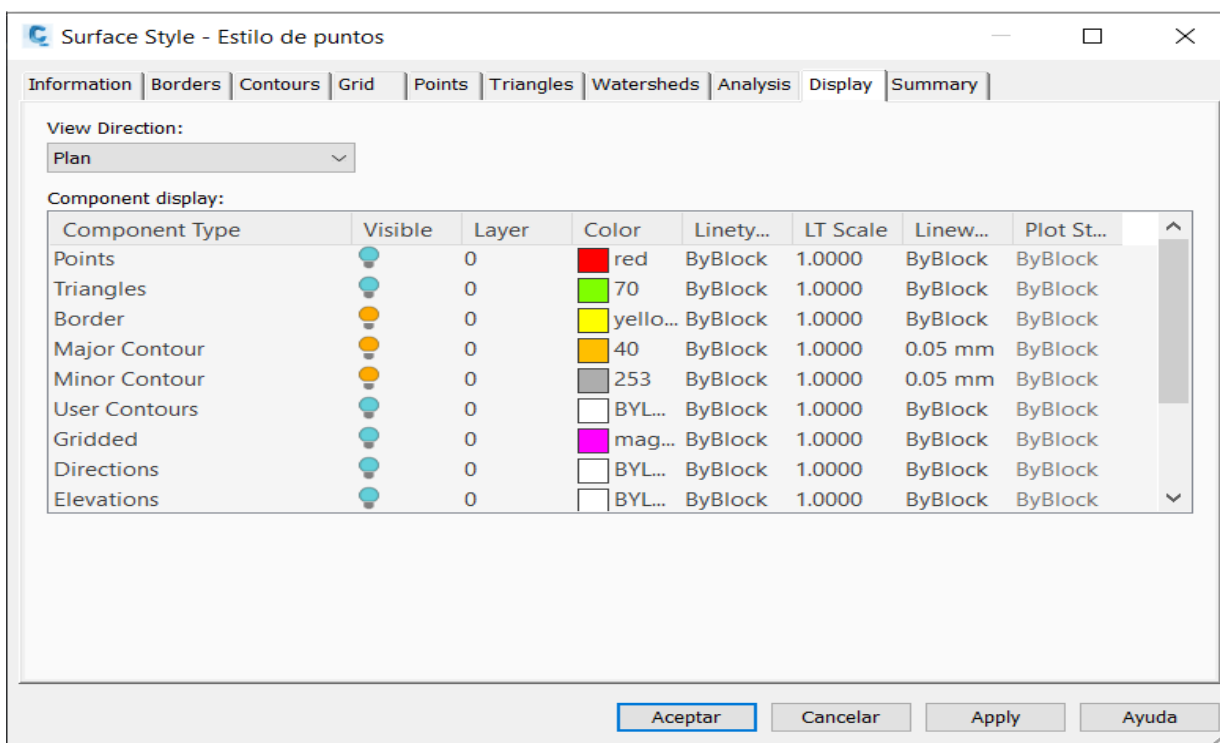


Fuente: elaboración propia.

Una vez que se definió los intervalos de curvas de nivel, así como el grado de suavidad, a continuación, se procederá a asignar los colores de calidad de línea a los componentes de las curvas maestras (CM) y secundarias (CS).

Para ello, en pestaña Display, al componente "Major Contours" seleccionar el "color 40" (para que se vean más resaltadas las curvas maestras) y a "Minor Contours" seleccionar "color 253".

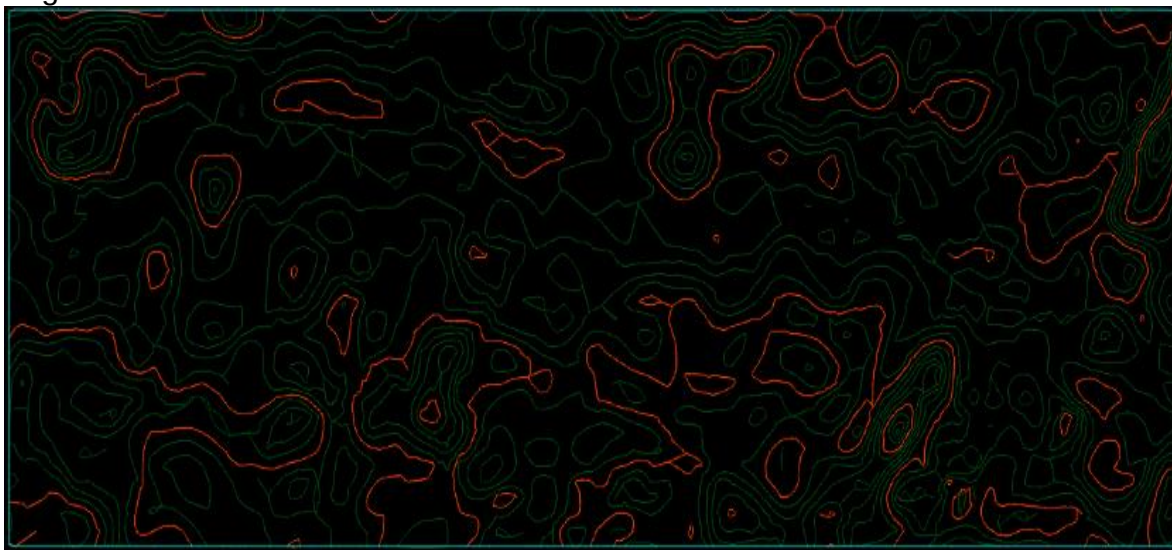
Figura 42. Configuración de los componentes de los intervalos de contornos de curvas de nivel.



Fuente: elaboración propia.

Luego click izquierdo en Apply, Ok y nuevamente Apply y Ok. De esta manera, se crean las curvas de nivel. (Ver figura 43).

Figura 43. Curvas de nivel.



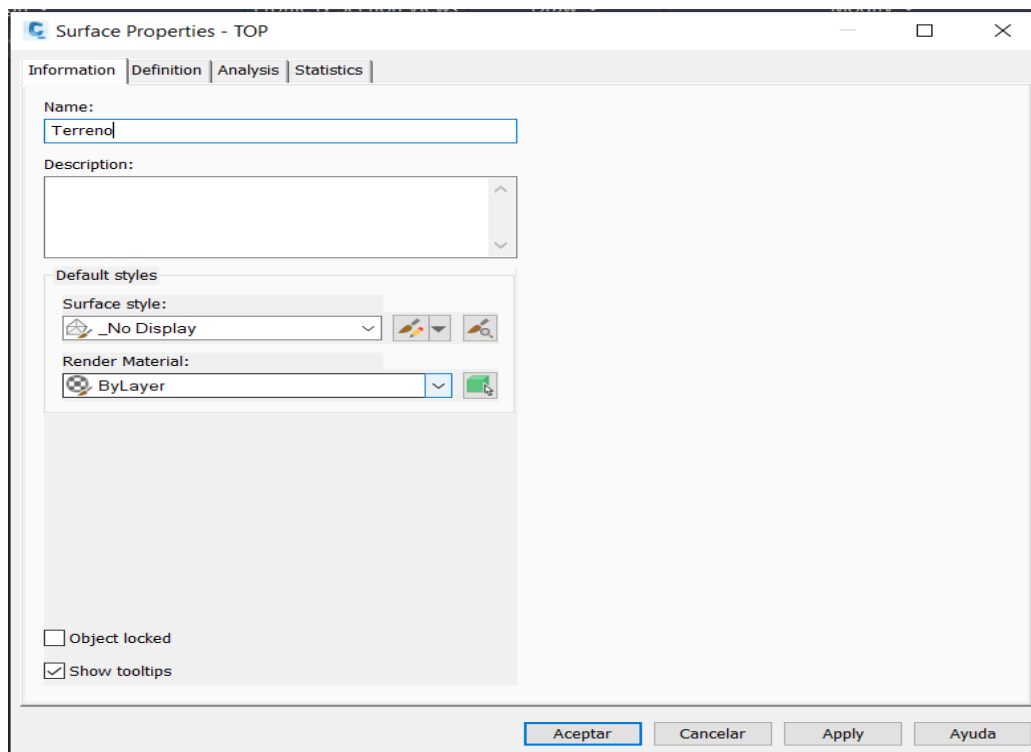
Fuente: elaboración propia.

4.5 Trazado del alineamiento horizontal

En Civil 3D, el alineamiento horizontal se puede constituir por alineamientos rectos, curvas circulares simples, y curvas circulares con espirales, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares y viceversa o también; entre dos curvas circulares de radio diferente.

Previo a realizar el trazado del alineamiento horizontal, será necesario apagar la superficie creada, así también, la marca de las coordenadas geodésicas, esto para lograr una mejor visualización del trazado que se realizará, para ello, se selecciona la superficie, luego hacer click derecho y seleccionar “Surface Properties” y en el cuadro que se despliega “Surface Properties”, en la opción “Surface style” seleccionar “No Display” (ver figura 44). Luego click izquierdo en Apply y Ok.

Figura 44. Propiedades de superficie, apagado de superficie.

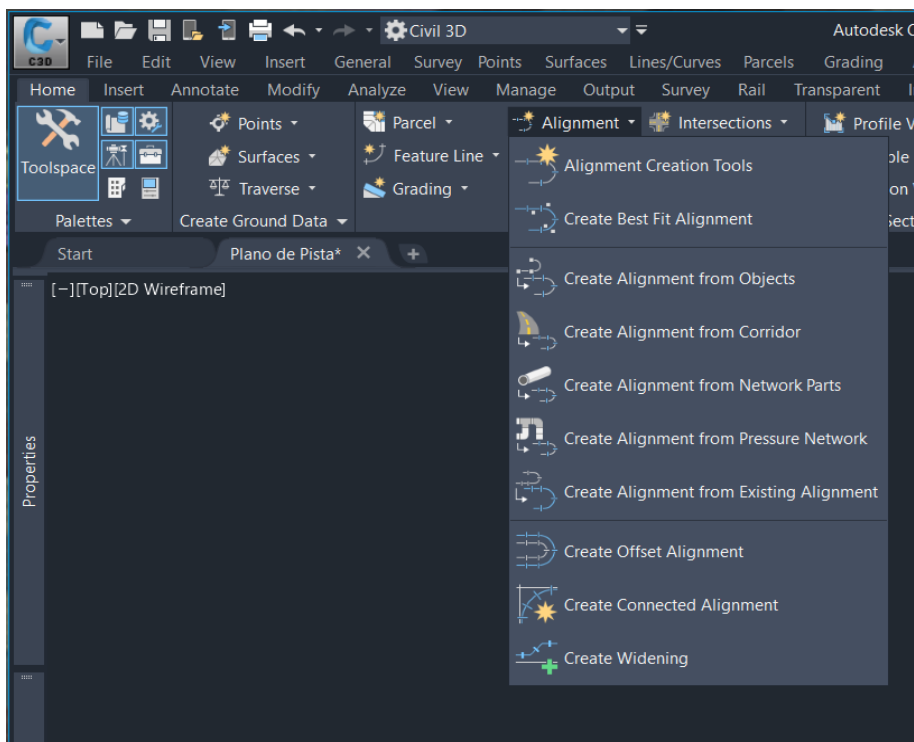


Fuente: elaboración propia.

A continuación, se procederá a crear el alineamiento; se nombrará y se definirá la estación a partir del cual iniciará, para luego proceder a trazar las tangentes del alineamiento horizontal.

Para realizar lo antes mencionado, ubicarse el menú Home, seleccionar “Alignment” y seleccionar “Alignment Creation Tools” (Herramientas para la creación de alineamiento).

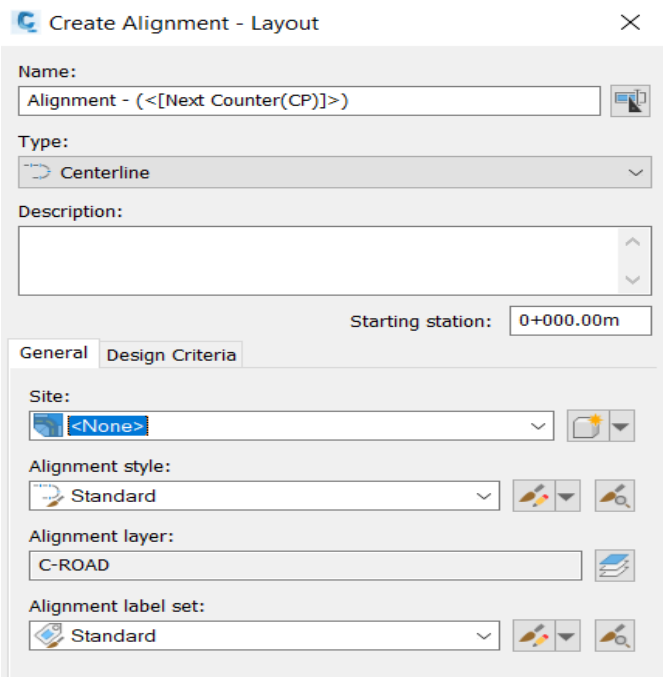
Figura 45. Herramientas para la creación de alineamiento.



Fuente: elaboración propia.

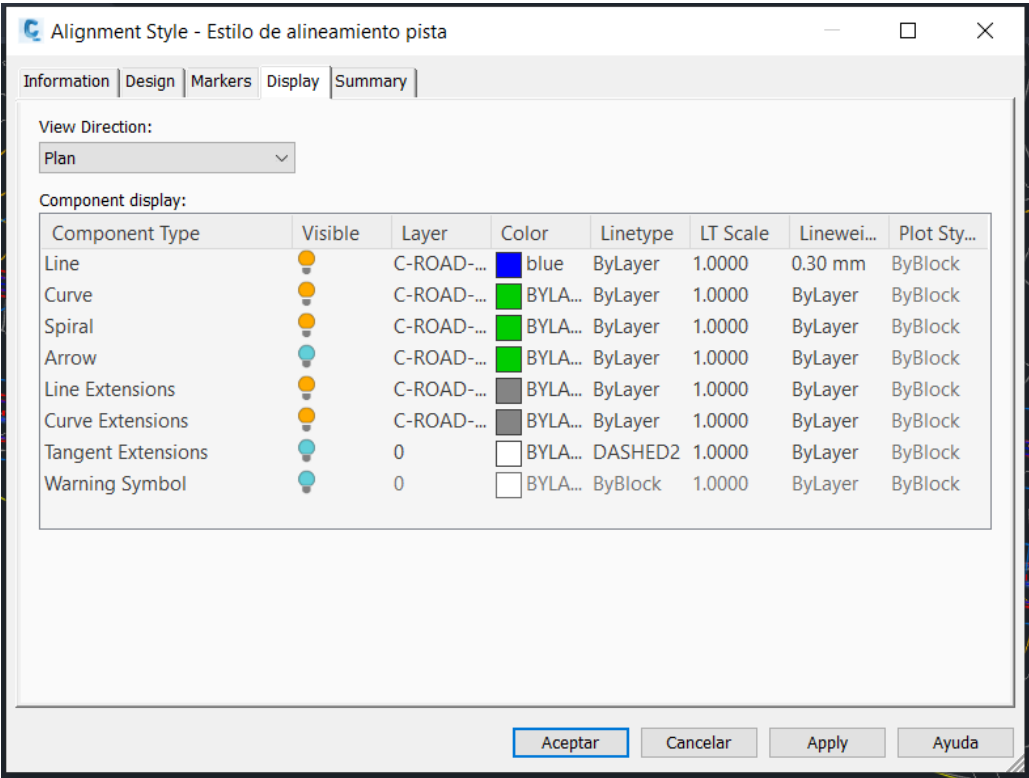
En el cuadro que se despliega “Create Alignment-Layout”: En Name nombrar al alineamiento como “Estilo de alineamiento de pista”, en Type seleccionar “Centerline” (ya que el alineamiento se creará sobre la línea central), en Description teclear “Eje principal de la pista” (es opcional), en Starting Station teclear la estación donde inicia el alineamiento, en este caso “0+000.00m”. Luego en Alignment styles (Estilo del alineamiento), seleccionar “Proposed” (Propuesto) y hacer click izquierdo en el desplegable y seleccionar “Edit Current Selection” (para editar el estilo seleccionado). Luego en la ventana desplegable “Alignment Style”, seleccionar la pestaña “Display” y a los componentes que forman un alineamiento (Line, Curve y Spiral), asignar el color Blue. Ver estas configuraciones realizadas en la figura 45 y 46. Luego click izquierdo en Apply y Ok.

Figura 46. Configuraciones para la creación del alineamiento horizontal.



Fuente: elaboración propia.

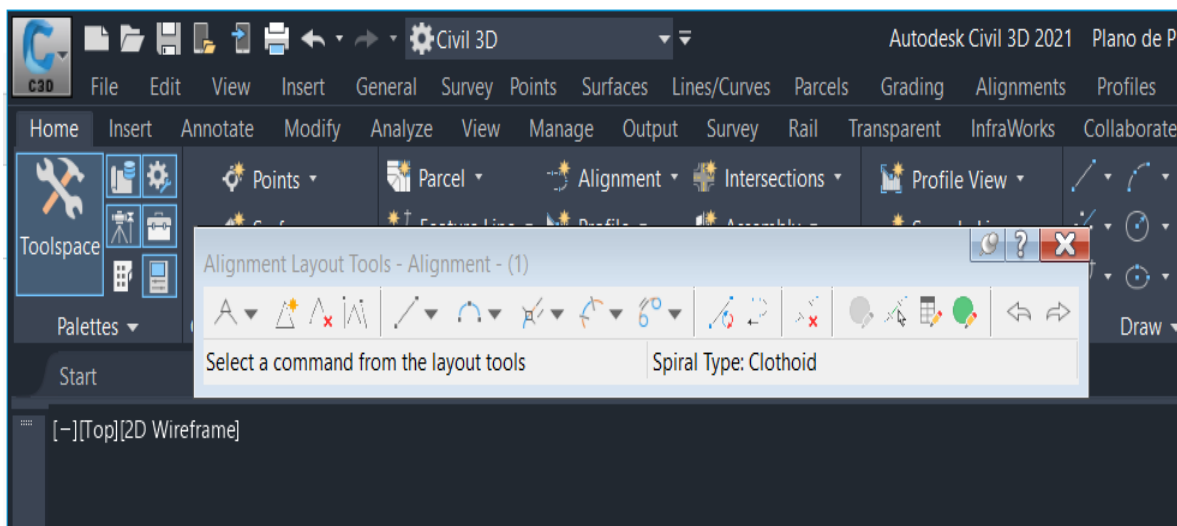
Figura 47. Configuraciones para la creación del alineamiento horizontal.



Fuente: elaboración propia.

En la ventana que se despliega “Alignment Layout Tools”, se presentan las diferentes opciones que permiten crear el trazado horizontal. Se procederá a trazar las tangentes del alineamiento horizontal sobre la superficie, para ello, hacer click izquierdo en y seleccionar “Tangent-Tangent (no curves)”, es decir crear tangente sin curvas.

Figura 48. Herramientas de composición del Alineamiento Horizontal.

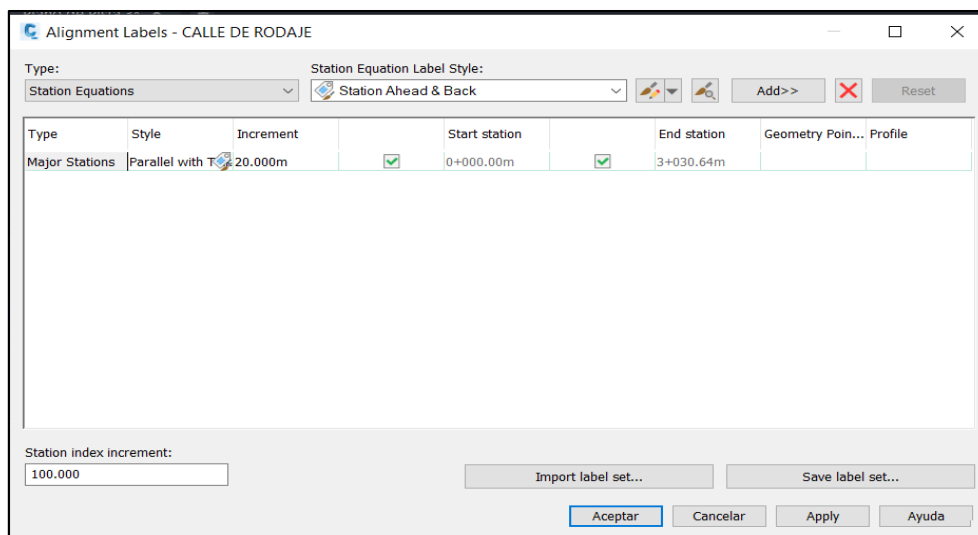


Fuente: elaboración propia.

Luego se procede a etiquetar el alineamiento horizontal. A través, del etiquetado del alineamiento horizontal, es posible ampliar o encuadrar los datos que presenta dicho alineamiento, esto para visualizarlos de manera general, también es posible presentar u ocultar su descripción o resumen. La colección de etiqueta de alineación, que incluye las carpetas para los distintos tipos y conjuntos de etiquetas de alineación, se utiliza para modificar la configuración por defecto en el nivel de dibujo y crear estilos nuevos.

A continuación, se creará el estilo de etiqueta correspondiente a: Estaciones mayores y menores, puntos geométricos, y postes kilométricos. Todos estos estilos de etiqueta se realizarán en el cuadro desplegable “Alignment Labels”.

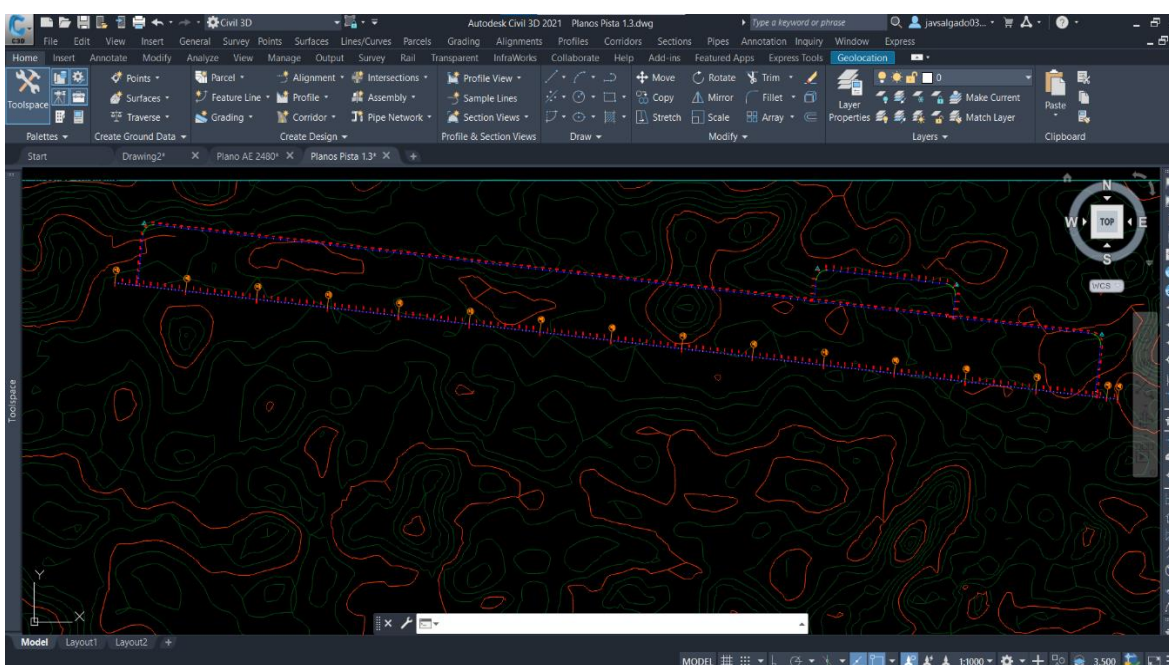
Figura 49. Etiquetas para la alineación.



Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizado el etiquetado el alineamiento se definió el punto de Inicio (0+000.00) y el punto final (2+2832), tanto de la pista como de la calle de rodaje con sus respectivos etiquetados, estos representan los ejes de ambas pistas. Los elementos que integran el alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

Figura 50. Alineamiento horizontal terminado.



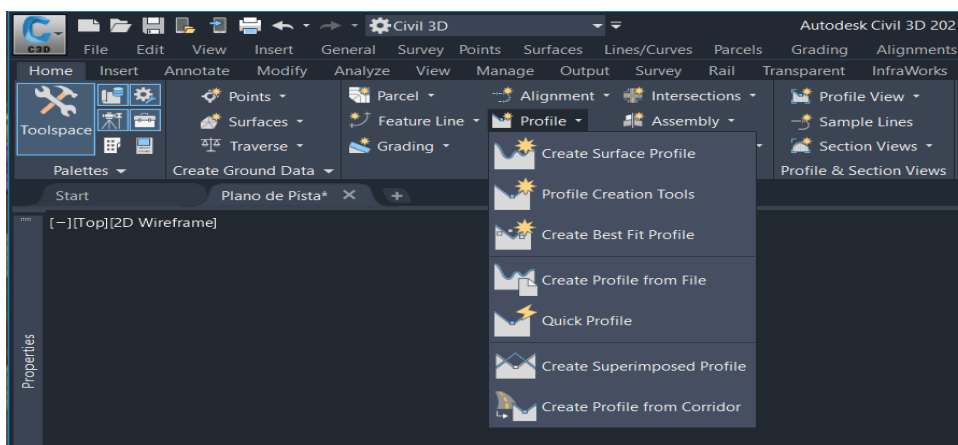
Fuente: elaboración propia.

4.6 Diseño del perfil longitudinal

El alineamiento vertical está formado por dos elementos principales: El perfil del terreno y la rasante, constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos. Un perfil del terreno existente se extrae de una superficie y muestra los cambios en elevación a lo largo de una alineación horizontal y la rasante es un objeto diseñado que muestra la pendiente y las elevaciones propuestas que se van a construir. Un trazado en perfil, es dependiente del alineamiento horizontal. Si se edita el alineamiento horizontal después de crear perfiles de superficie, estos perfiles cambiarán automáticamente para reflejar las ediciones, esto sucede cuando son perfiles dinámicos.

A continuación, se realizará el trazado del perfil longitudinal a partir de una superficie y un alineamiento, para ello, se selecciona el alineamiento, y en la sección “Home” seleccionar “Profile” y luego “Surface Profile” (Perfil de superficie).

Figura 51. Creación del perfil longitudinal.

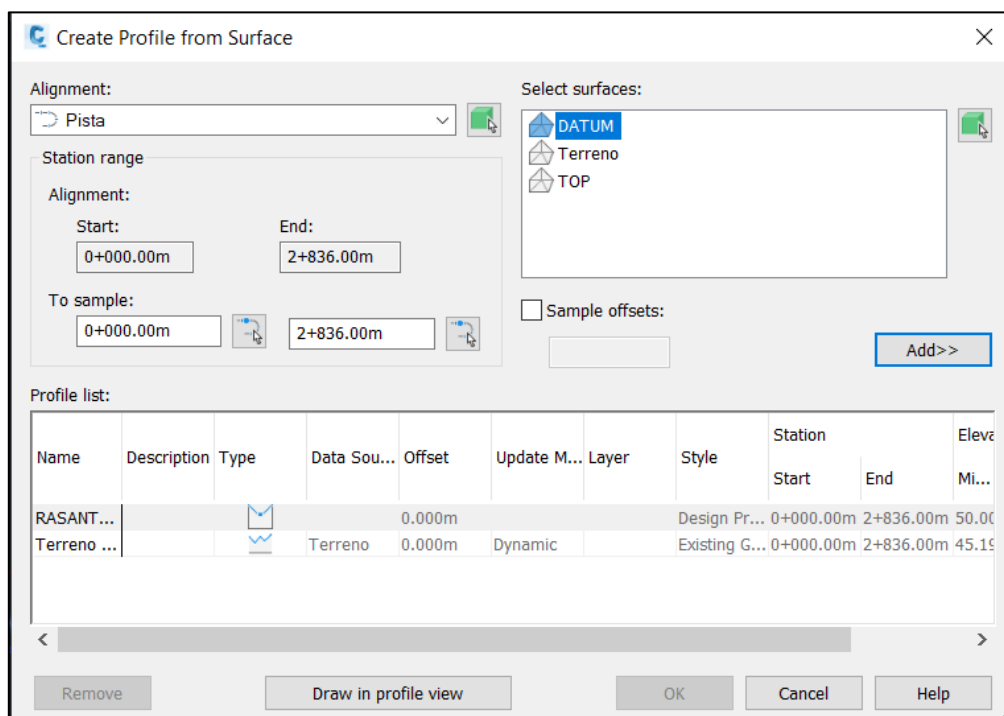


Fuente: elaboracion propia.

En el cuadro que se despliega “Create Profile from Surface”, se selecciona el alineamiento creado, el rango de estación al cual se creará el perfil, luego se elige la superficie de la cual se quiere obtener el perfil. Para ello: En “Alignment” seleccionar el alineamiento “Pista”, en “Station Range”, en Alignment teclear en “Start” 0+000 y en “End” teclear 2832, es decir el Alineamiento completo, en “Select Surface” seleccionar la superficie creada, luego click izquierdo en “Add” (Para agregar las configuraciones base del perfil).

Seguidamente hacer click izquierdo en la columna “Style” y seleccionar “Existing Ground Profile” (Perfil existente del terreno), luego click izquierdo en para editar la vista del perfil.

Figura 52. Creación del perfil a través de una superficie.



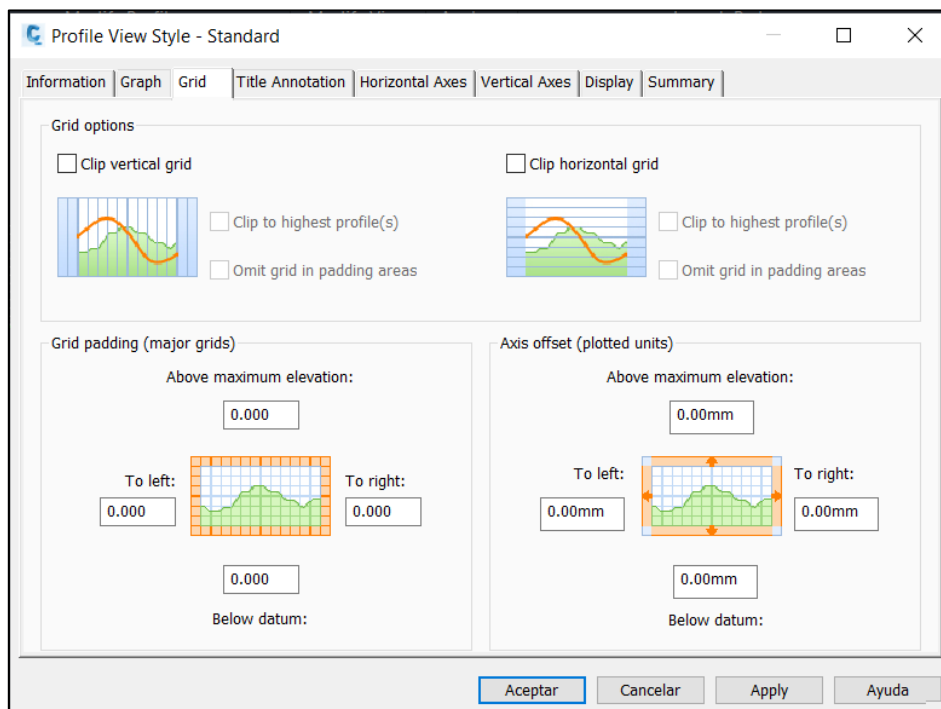
Fuente: elaboración propia.

Una vez que se creó el perfil, se procederá a dibujarlo, para ello en el cuadro que se mantiene desplegado “Create Profile from Surface”, hacer click izquierdo en “Draw in Profile view” (para crear la vista de perfil). En el cuadro que se despliega ‘Create Profile View’, seleccionar “General” y en la opción “Select Alignment” seleccionar el alineamiento “Pista”, en “Profile view name” se nombrará a la vista del perfil como “PERFIL LONGITUDINAL G-M_< [parent alignment (cp)]>”, seguidamente en “Profile view style” (Estilo de vista del perfil), se seleccionará “Profile View”, luego hacer click izquierdo en el desplegable y seleccionar “Copy Current Selection”.

En el cuadro desplegable “Profile View Style”, en pestaña Information se nombrará al estilo de la vista de perfil como “_Perfil longitudinal”. Seguidamente en pestaña Graph (Gráfico), se especificará la orientación de la visualización del perfil, el factor de escala, la escala vertical y horizontal. Para ello, en “Vertical scale” seleccionar “1:100”, en “Custom scale” seleccionar 100, n pestaña Grid (Grilla): Se especificarán las opciones de rejilla, para lo cual se deberá dejar las configuraciones.

En pestaña Title Annotation (Anotación del título): Se especificará el contenido y el aspecto de los títulos para la visualización del perfil global y para los ejes individuales. Para ello, en “Text style” seleccionar el estilo de texto que se creó “Etiqueta”, en “Height text” teclear “2.5mm”, luego hacer click izquierdo en, y en la ventana que se despliega “Text Component Editor”, en la pantalla de edición borrar el contenido que esta antes del contador y teclear “PERFIL LONGITUDINAL”, luego click izquierdo en Ok. Así sucesivamente se editaron todos los parámetros.

Figura 53. Configuración del perfil longitudinal.

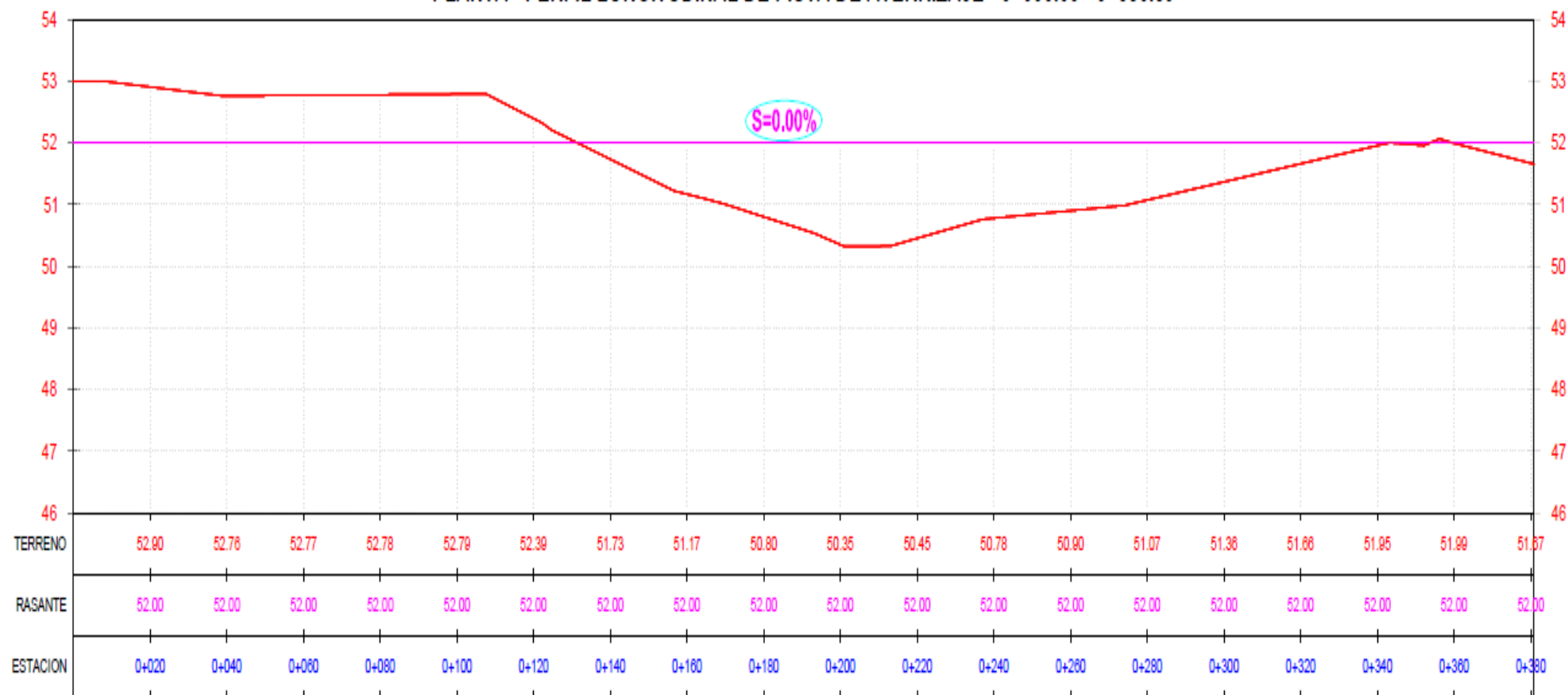


Fuente: elaboracion propia.

Luego click izquierdo en “Create Profile View” para crear la vista del perfil. Finalmente, hacer click izquierdo en un punto cualquiera del modelo, para que el perfil sea insertado, en la figura 54 se podrá apreciar la vista del perfil.

Figura 54. Perfil longitudinal terminado de la estación 0+000.00 a la estación 0+380.89 de la pista.

PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - 0+000.00 - 0+380.89



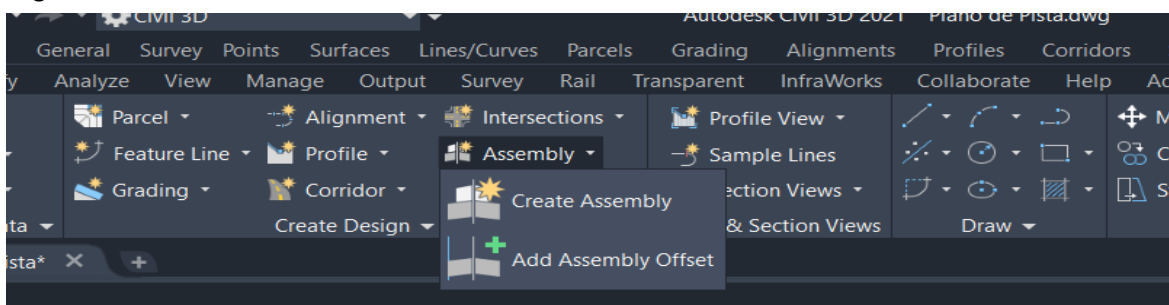
Fuente: elaboracion propia.

4.7 Seccion Transversal tipica

En Civil 3D los datos de sección típica, se definen y muestran mediante líneas de muestreo, secciones y vistas en sección y todas ellas se administran a través de colección.

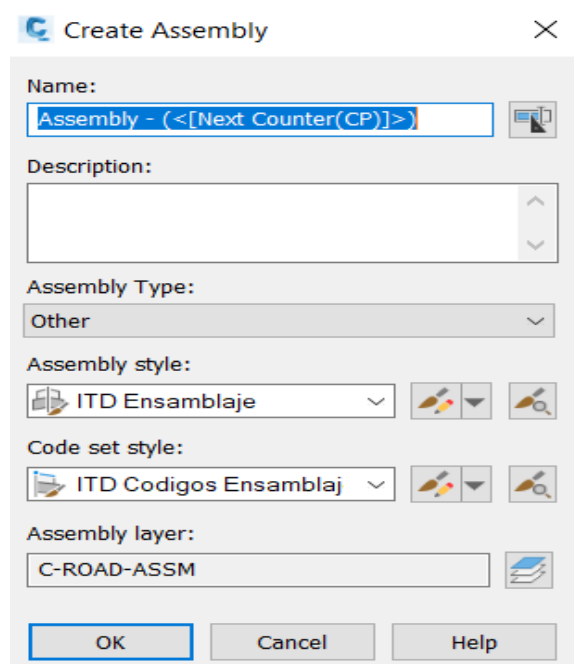
Para proceder a crear la sección típica, inicialmente será necesario crear el ensamble, luego se crearán los sub-ensambles, carriles y hombro, para ello, ubicarse en pestaña Home, extender Assembly y seleccionar “Create Assembly”.

Figura 55. Creación de ensamble.



Fuente: elaboracion propia.

Figura 56. Asignación del nombre, tipo y estilo del ensamble.

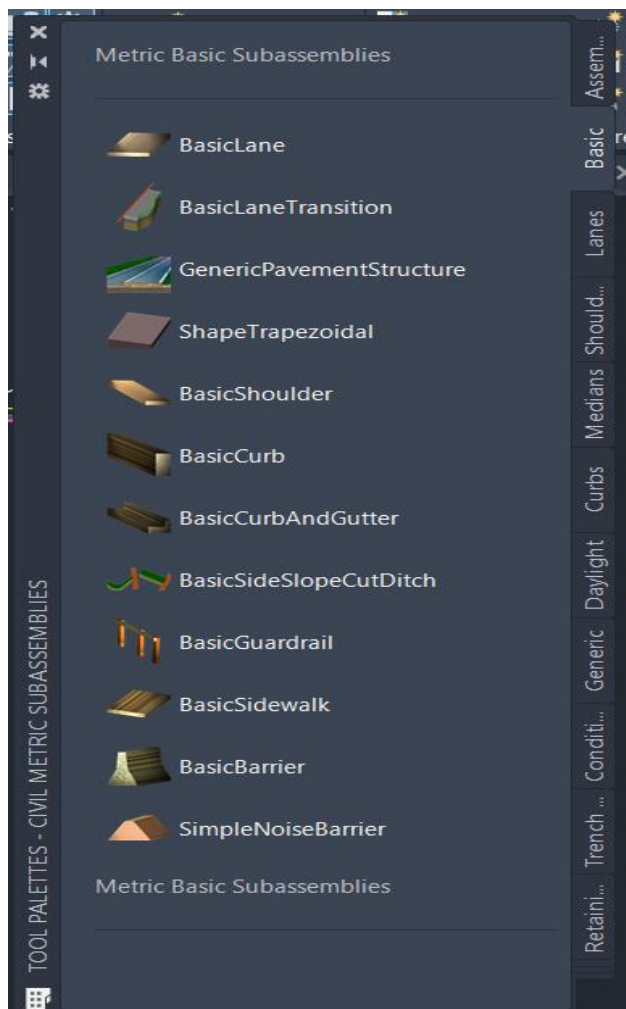


Fuente: elaboracion propia.

En el cuadro que se despliega “Create Assembly”, nombrar a la sección transversal como” Sección pista”. En “Assembly Type” (tipo de ensamble), seleccionar “Other” (otro), luego en “Assembly style” (estilo del ensamble), seleccionar “Basic”, en “Code set style” (estilo de conjunto de códigos), seleccionar “All Codes” (todos los códigos), en “Assembly Layer” seleccionar la capa “C-ROAD-ASSM” (es la que trae por defecto la plantilla).

Todas estas configuraciones realizadas se muestran en la figura anterior, luego click izquierdo en Ok. Seguidamente, definir un punto cualquiera en el modelo, para que el ensamble sea insertado.

Figura 57. Herramientas de subensambles.



Para añadir subensambles, hacer click izquierdo en el ícono “Tool Palettes”, A continuación, se desplegará la barra flotante “TOOL PALETTES CIVIL METRIC SUBASSEMBLIES” (paletas de herramientas de subensambles), esta barra flotante cuenta con diferentes ensambles, subensambles y objetos para crear secciones compuestas y que están distribuidas en varias pestañas tal como; se muestra en la figura 57.

Una vez creado el ensamble, habrá que añadir el resto de entidades (subensambles), se iniciará con la creación de los carriles.

Fuente: elaboracion propia.

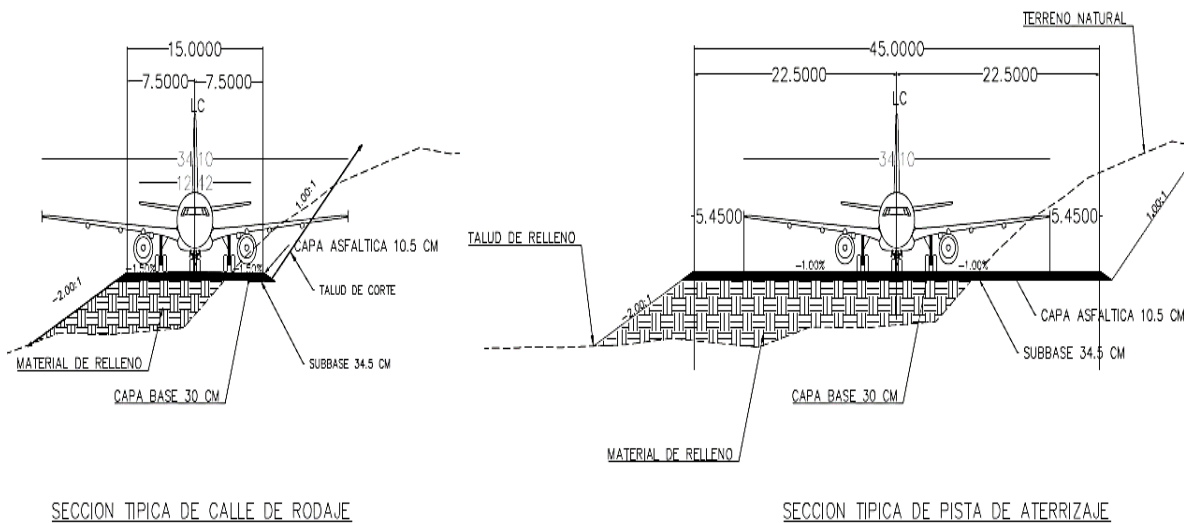
Click izquierdo en la pestaña Lanes (Carriles), y seleccionar “Lane Superelevation AOR” (Este subensamble se utiliza normalmente para la creación del carril de uso general). En la ventana desplegable “Properties”, se definirán las propiedades geométricas del subensamble “Carril”, cuyos datos se presentan en la sección típica que se adoptó, los cuales se especifican a continuación:

- En “Side” seleccionar “Right”.
- En “Width” (Ancho del carril) teclear “22.5m”.
- En “Default slope” (bombeo), teclear “0%”.
- En “Pave 1 depth” (espesor de la primera capa de pavimento), digitar “10.5 cm” que corresponde al espesor del pavimento.
- En “Base depth” (espesor de la capa base), teclear “30 cm”.
- En “Sub base depth” (espesor de la capa subbase) teclear “34.5 cm”.

El resto de configuraciones que presenta el programa se dejan por defecto.

Realizado todo el proceso de la creación de la sección típica, se aprecia todas las condiciones de la misma, tanto al lado derecho como al lado izquierdo.

Figura 58. Sección típica terminada.



Fuente: elaboracion propia.

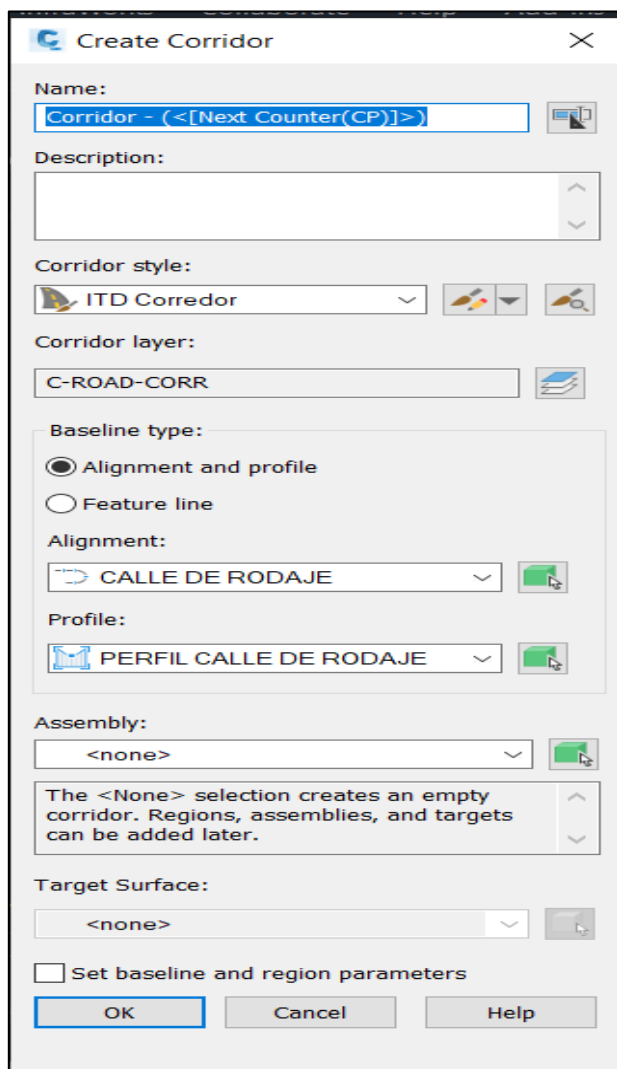
4.8 Creación de corredor

El corredor vial es la estructura final del diseño, se configurará utilizando el alineamiento horizontal y la sección típica creada a partir de los ensamblajes definidos. Con el comando “View/Edit Corridor Sections”, se puede visualizar y/o editar una o un rango de secciones.

Los parámetros editables, son los mismos con los que se definen los ensamblajes: Anchos de carril, bombeos, taludes, espesores de la estructura del pavimento, etcétera.

Previo a ello, se debe contar con una superficie, con un alineamiento horizontal y con una sección típica. Seguidamente se digita el comando “MENUBAR”, se presiona Enter, y luego se tecléa “1” (este dígito permite activar dicho menú).

Figura 59. Creación del corredor.



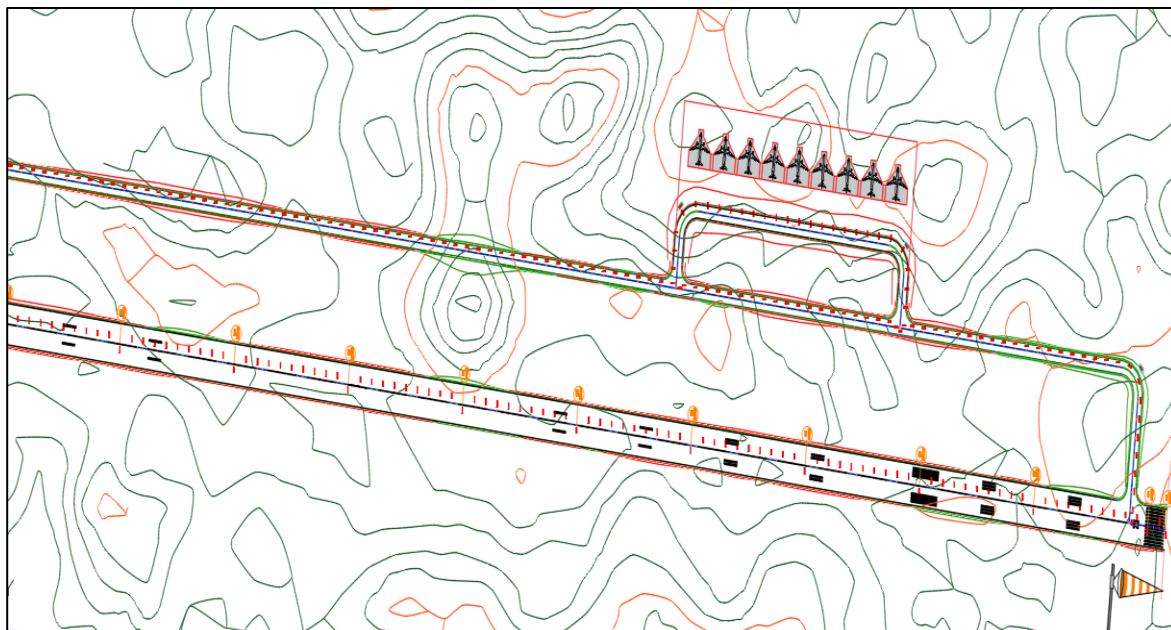
A continuación, en el menú Corridor, seleccionar “Create Corridor” y en el cuadro desplegable “Create Corridor”, nombrar el corredor como “Corredor pista”, en “Corridor style” seleccionar “Basic”, en “Corridor layer” se deja la capa que trae por defecto la plantilla, en Alignment se selecciona el alineamiento creado.

Seguidamente en “Profile” seleccionar la rasante creada, en Assembly seleccionar la sección típica creada en “Target” seleccionar la superficie, y activar “Set baseline and región parameters”, estas configuraciones realizadas se muestran en la figura 59, luego click izquierdo en Ok.

Fuente: elaboracion propia.

Luego de haber realizado los pasos para configurar todo el corredor, en la ventana que se mantiene desplegada, corroborar que en la opción “Code set style” se encuentre seleccionado “CODIGOS CORREDOR_G-M, luego hacer click izquierdo en Apply, finalmente seleccionar “Rebuilt the corridor” y click izquierdo en Ok. En la figura 60 se aprecia el corredor una vez editado.

Figura 60. Vista del corredor terminado.

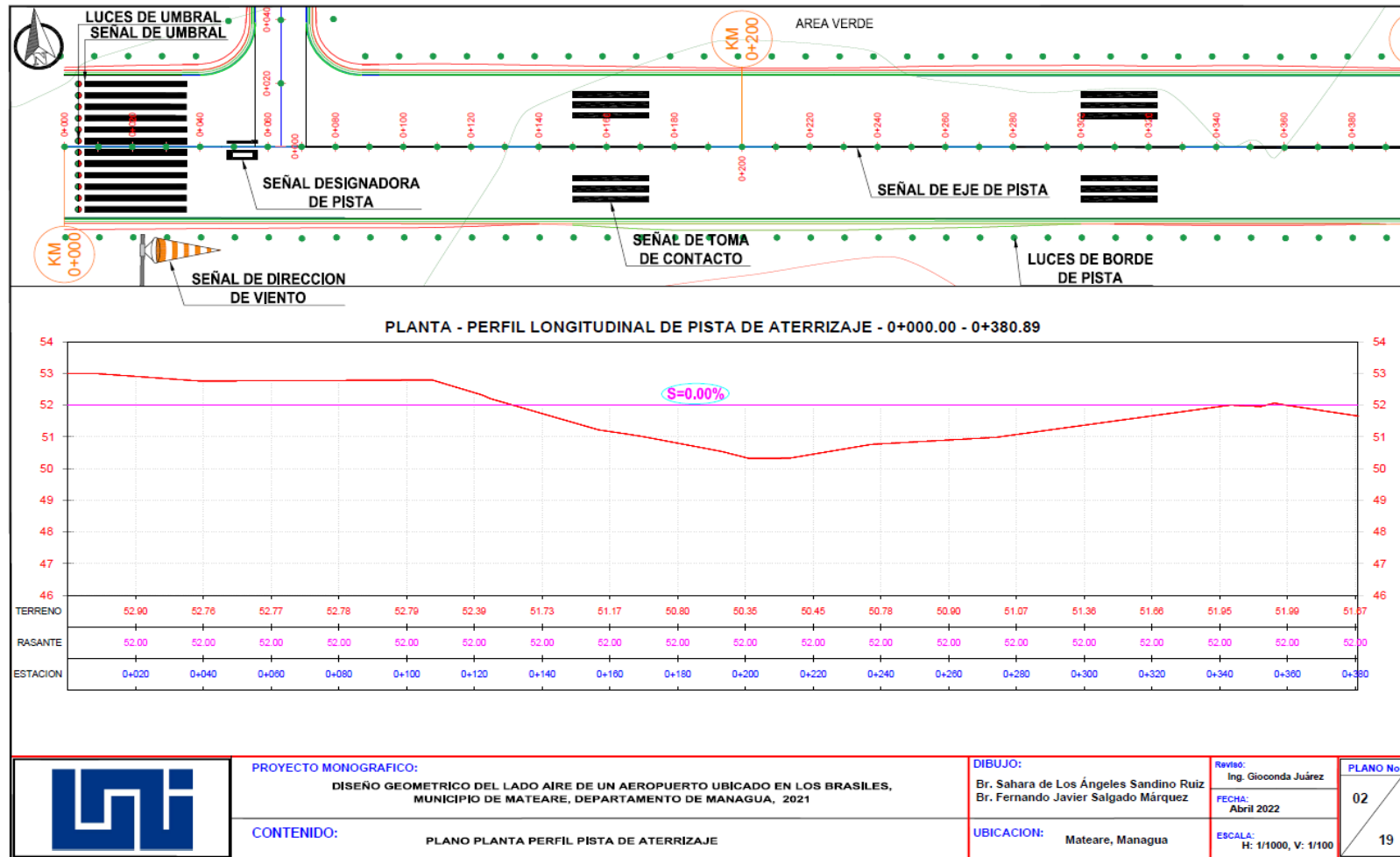


Fuente: elaboracion propia.

4.9 Creación de planos

Por último, se procedió a hacer un juego de planos de 19 láminas en total, esto se realizó en el espacio de layout, la producción del conjunto de planos planta, sección típica, tabla de leyendas y perfil longitudinal se realizaron de manera ordenada y facilitaron la identificación de cada elemento del proyecto. En los planos, se representa gráficamente el proyecto, los criterios y los datos contenidos tanto en el trazo en planta y perfil, además los resultados del mismo, las estimaciones y otros elementos primordiales del diseño geométrico de la pista elaborados para llegar a una comprensión visual del conjunto. ([Ver planos completos en Anexos](#))

Figura 61. Plano planta-perfil de la pista de aterrizaje.



Fuente: Elaboracion propia.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en este documento, se concluye lo siguiente:

- Se definieron todos los elementos que componen la geometría del lado aire de un aeropuerto, entre los cuales tenemos la pista de aterrizaje/despegue, las calles de rodaje, las plataformas y los apartaderos de espera, además de los dispositivos de señalización que deben colocarse para que las aeronaves que utilicen dicho aeropuerto operen de manera segura. Así mismo, se establecieron cada uno de los parámetros que influyen en el dimensionamiento de estos elementos, siendo la clave de referencia del aeródromo, en este caso 4C, el que determina la mayoría de las dimensiones de los elementos geométricos anteriormente mencionados tomando en cuenta también datos como orientación de vientos, condiciones meteorológicas y topográficas del lugar de emplazamiento, todo esto basado en los criterios expuestos en los manuales de diseño de aeródromos de la OACI.
- El diseño geométrico del aeródromo, para una aeronave crítica de diseño modelo Airbus A320-200 (Motores IAE V2500 Series Engine), determinó una longitud total de pista requerida de 2832 metros con un ancho de 45 metros; se estableció que debe colocarse una calle de rodaje paralela a la pista a una distancia de 168 metros entre eje y eje, la cual tendrá la misma longitud de pista y un ancho de 15 metros, con curvas de viraje de 90°, las cuales tendrán un radio de 30 metros. Además, se proveerá de una plataforma para estacionamiento de aeronaves, con un área aproximada de 43,400 m², dicha plataforma tendrá 9 puestos de estacionamiento, que serán utilizados tanto para embarque y desembarque de pasajeros; como también, para carga y descarga de paquetería, así mismo en caso de ser requerido, podrán utilizarse para estacionar aeronaves que requieran de parqueo por períodos de tiempo más extensos.

- Los planos correspondientes al diseño geométrico del aeropuerto, se realizaron utilizando el software AutoCAD Civil 3D, en los cuales se presentan cada uno de los elementos del diseño y su correlación entre ellos, ilustrados en planos de vista de planta, perfil longitudinal y sección típica, en este último se detalla el espesor de la estructura de pavimento calculado a partir de la distribución del peso bruto o peso máximo en rampa (MRW) de la aeronave, el cual será de 10.5 centímetros para la carpeta de rodamiento (asfalto), 30 centímetros para la base granular y 34.5 centímetros para la subbase, obteniendo un total de 75 centímetros de estructura de pavimento. Además, se presenta el diseño de señalización horizontal de la pista, calles de rodaje y plataformas.

RECOMENDACIONES

- Para disminuir la longitud de pista se puede limitar la carga y/o disminuir la elevación del terreno reduciendo al mínimo, la pendiente o dejar pendiente cero, esto dependerá, de la demanda que tenga el aeropuerto y sus proyecciones futuras.
- Al determinar la orientación de la pista debemos tomar en cuenta cómo se va desplazando el norte magnético, esta orientación se puede actualizar si la posición del norte magnético varía lo suficiente como para hacer necesario el cambio de numeración.
- Los valores de longitud de aterrizaje o despegue pueden variar en función del manual de vuelo de cada aerolínea, de la destreza del piloto, de las condiciones de la pista, del estado del avión, entre otros factores.
- Al determinar la longitud verdadera de la pista principal, no necesariamente debe considerarse las operaciones del avión crítico con masa máxima.
- Según el anexo 14 de la OACI vol. 1, las zonas de parada y zonas libres de obstáculos no son obligatorias.
- La decisión de proporcionar una zona de parada, o una zona libre de obstáculos, como otra solución al problema de prologar la longitud de pista, dependerá de las características físicas de la zona situada más allá del extremo de la pista y de los requisitos de performance de los aviones que utilicen la pista.
- Cuando sea posible, el eje de una calle de rodaje de entrada debería ser perpendicular al eje de la pista, esto permite a los pilotos una vista despejada de toda la pista, en ambas direcciones.
- Se deberá proveer mantenimiento constante, ya que el asfalto es propenso a daño por derrame de combustible y chorro de los reactores; en el manual de mantenimiento de aeródromos se aborda con más detalle este aspecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENA. (s.f.). *Características del aeropuerto*. Madrid: Propia.
- AIRBUS S.A.S. (2005). *Aircraft Characteristics Airport and maintenance planning*. Toulouse: Propia.
- Consortio INGENNYA. (2015). *Estudio de factibilidad tecnica y economica para el mejoramiento de la carretera Las piedrecitas - Mateare*. Managua: Propia.
- Federal Aviation Administration. (1978). *AC 150/5320-6D Airport Pavement Desing and Evaluation*. Estados Unidos : Propia.
- Federal Aviation Administration. (2016). *AC 150/5320-6F Airport Pavement Desing and Evaluation*. Estados Unidos: Propia .
- Galíndez López, D. (s.f.). *Aeropuertos*. Mexico D.F., Mexico : Asociación Mexicana de ingeniería de vías terrestres, A. C.
- INAC. (s.f.). *Publicación de informacion Aeronautica de la republica de Nicaragua*. Managua : Propia.
- MTI. (2001). *Plan nacional de transporte de NicaraguaVol. 6. Sistema Aereo*. Managua, Nicaragua: Propia.
- OACI. (1983). *Manual de diseño de aerodromos Parte 3. Pavimentos*. Montréal: Propia.
- OACI. (1987). *Manual de planificación de aeropuertos Parte 1. planificación general*. Montréal: Propia.
- OACI. (2004). *Manual de diseño de Aeródromos Parte 6. Ayudas Visuales*. Montréal: Propia.
- OACI. (2005). *Manual de diseño de Aeródromos Parte 2. Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera*. Montréal: Propia.
- OACI. (2006). *Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas*. Montréal, Canada: Propia.
- OACI. (2016). *Anexo 14. Diseño y operaciones de Aeródromos. Parte 1 (Vol. 1)*. Montréal, Canada: Propia.
- Perceval, C. D. (2016). *El vuelo por instrumentos 1*. Propia.
- Perceval, C. D. (2016). *El vuelo por instrumentos 2*. Propia.

ANEXOS

Foto 1. Fotografía de la aeronave de diseño Modelo AIRBUS A320 (Vista lateral).



Fuente: Google. Recuperado de <https://images.app.goo.gl/bL9QKy5sNGFZgDJeA>

Foto 2. Fotografía de la aeronave de diseño Modelo AIRBUS A320 (Vista de frente).



Fuente: Google. Recuperado de https://media.istockphoto.com/photos/passenger-plane-front-pictureid1194527462?b=1&k=20&m=1194527462&s=170667a&w=0&h=Cn2cOSUF2dha8KEUGzvU_9hH538zglGMiGmi3edUZM=

Tabla 21. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-1.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
DeHavilland Canada	DHC2	1A	381	14,6	3,3
	DHC2T	1A	427	14,6	3,3
Britten Norman	BN2A	1A	353	14,9	4,0
Cessna	152	1A	408	10,0	—
	172 S	1A	381	11,0	2,7
	180	1A	367	10,9	—
	182 S	1A	462	11,0	2,9
	Stationair 6	1A	543	11,0	2,9
	Turbo 6	1A	500	11,0	2,9
	Stationair 7	1A	600	10,9	—
	Turbo 7	1A	567	10,9	—
	Skylane	1A	479	10,9	—
	Turbo Skylane	1A	470	10,9	—
	310	1A	518	11,3	—
	310 Turbo	1A	507	11,3	—
	Golden Eagle 421 C	1A	708	12,5	—
	Titan 404	1A	721	14,1	—
Piper	PA28-161	1A	494 ²	10,7	3,2
	PA28-181	1A	490 ²	10,8	3,2
	PA28R-201	1A	487 ²	10,8	3,4
	PA32R-301	1A	539 ²	11,0	3,5
	PA32R-301T	1A	756 ²	11,0	3,5
	PA34-220T	1A	520 ²	11,9	3,5
	PA44-180	1A	671 ²	11,8	3,2
	PA46-350P	1A	637 ²	13,1	3,9
Raytheon/Beechcraft	A24R	1A	603	10,0	3,9
	A36	1A	670	10,2	2,9

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apéndice 1-1)

Tabla 22. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-2.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
	76	1A	430	11,6	3,3
	B55	1A	457	11,5	2,9
	B60	1A	793	12,0	3,4
	B100	1A	579	14,0	4,3
Cessna	525	1B	939	14,3	4,1
DeHavilland Canada	DHC3	1B	497	17,7	3,7
	DHC6	1B	695	19,8	4,1
LET	L410 UPV	1B	740	19,5	4,0
Pilatus	PC-12	1B	452	16,2	4,5
Raytheon/Beechcraft	E18S	1B	753	15,0	3,9
	B80	1B	427	15,3	4,3
	C90	1B	488	15,3	4,3
	200	1B	579	16,6	5,6
Short	SC7-3/SC7-3A	1B	616	19,8	4,6
DeHavilland Canada	DHC7	1C	689	28,4	7,8
Lear Jet	24F	2A	1 005	10,9	2,5
	28/29	2A	912	13,4	2,5
LET	L410 UPV-E	2B	920	20,0 ¹	4,0
	L410 UPV-E9	2B	952	20,0 ¹	4,0
	L410 UPV-E20	2B	1 050	20,0 ¹	4,0
	L420	2B	920	20,0 ¹	4,0
Shorts	SD3-30	2B	1 106	22,8	4,6
Dassault Aviation	Falcon 10	3A	1 615	13,1	3,0
Hawker Siddley	HS 125-400	3A	1 646	14,3	3,3
	HS 125-600	3A	1 646	14,3	3,3
	HS 125-700	3A	1 768	14,3	3,3
Lear Jet	24D	3A	1 200	10,9	2,5
	35A/36A	3A	1 287/1 458	12,0	2,5
	54	3A	1 217	13,4	2,5
	55	3A	1 292	13,4	2,5

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apéndice 1-2)

Tabla 23. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-3.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
Bombardier Aero.	CRJ 100	3B	1 470	21,2	4,0
	CRJ 100ER	3B	1 720	21,2	4,0
	CRJ 200	3B	1 440	21,2	4,0
	CRJ 200ER	3B	1 700	21,2	4,0
Dassault Aviation	Falcon 20	3B	1 463	16,3	3,7
	Falcon 200	3B	1 700	16,3	3,5
	F50/F50EX	3B	1 586	18,9	4,5
	Falcon 900	3B	1 504	19,3	4,6
	Falcon 900EX	3B	1 590	19,3	4,6
	F2000	3B	1 658	19,3	5,0
Embraer	EMB-135 LR	3B	1 745	20,0	4,1
Fokker	F28-1000	3B	1 646	23,6	5,8
	F28-2000	3B	1 646	23,6	5,8
I.A.I.	SPX	3B	1 644	16,6	—
	Galaxy	3B	1 798	17,7	—
Gulfstream Aero.	G IV-SP	3B	1 661	23,7	4,8
Nord	262	3B	1 260	21,9	3,4
Antonov	AN24	3C	1 600	29,2	8,8
Boeing	B717-200	3C	1 670	28,4	5,4
	B737-600	3C	1 690	34,3	7,0
	B737-700	3C	1 598	34,3	7,0
	B737-800	3C	1 495	35,8	7,0
Convair	240	3C	1 301	28,0	8,4
	440	3C	1 564	32,1	8,6
	580	3C	1 341	32,1	8,6
	600	3C	1 378	28,0	8,4
	640	3C	1 570	32,1	8,6
Douglas	DC3	3C	1 204	28,8	5,8
	DC4	3C	1 542	35,8	8,5
	DC6A/6B	3C	1 375	35,8	8,5
	DC9-20	3C	1 551	28,5	6,0
Embraer	EMB-120 ER	3C	1 481	19,8	6,6
Fokker	F27-500	3C	1 670	29,0	7,9
	F27-600	3C	1 670	29,0	7,9

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apéndice 1-3)

Tabla 24. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-4.

Fabricante	Modelo	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
McDonnell Douglas SAAB	F28-3000	3C	1 640	25,1	5,8
	F28-4000	3C	1 640	25,1	5,8
	F28-6000	3C	1 400	25,1	5,8
	F50	3C	1 355	29,0	8,0
	MD90	3C	1 798	32,9	6,2
	340A	3C	1 220	21,4	7,3
	340B	3C	1 220	22,8 ³	7,3
	SAAB 2000	3C	1 340	24,8	8,9
BAe	ATP	3D	1 540	30,6	9,3
DeHavilland Canada	DHC5D	3D	1 471	29,3	10,2
Airbus	A300 B2	3D	1 676	44,8	10,9
Bombardier Aero.	CRJ 100LR	4B	1 880	21,2	4,0
	CRJ 200LR	4B	1 850	21,2	4,0
Dassault Aviation	Falcon 20-5 (Retrofit)	4B	1 859	16,3	3,7
Embraer	EMB-145 LR	4B	2 269	20,0	4,1
Airbus	A320-200	4C	2 480	33,9	8,7
BAC Boeing	1-11-200	4C	1 884	27,0	5,2
	1-11-300	4C	2 484	27,0	5,2
	1-11-400	4C	2 420	27,0	5,2
	1-11-475	4C	2 286	28,5	5,4
	1-11-500	4C	2 408	28,5	5,2
	B727-100	4C	2 502	32,9	6,9
	B727-200	4C	3 176	32,9	6,9
	B737-100	4C	2 499	28,4	6,4
	B737-200	4C	2 295	28,4	6,4
	B737-300	4C	2 160	28,9	6,4
	B737-400	4C	2 550	28,9	6,4
	B737-500	4C	2 470	28,9	6,4
	B737-800	4C	2 090	34,3	7,0
	B737-900	4C	2 240	34,3	7,0
Fokker	F100	4C	1 840	28,1	6,0
Gulfstream Aero	G V	4C	1 863	28,5	5,1

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apéndice 1-4)

Tabla 25. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-5.

Fabricante	Modelo	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
Douglas	DC9-10	4C	1 975	27,2	5,9
	DC9-15	4C	1 990	27,3	6,0
	DC9-20	4C	1 560	28,4	6,0
	DC9-30	4C	2 134	28,5	5,9
	DC9-40	4C	2 091	28,5	5,9
	DC9-50	4C	2 451	28,5	5,9
McDonnell Douglas	MD81	4C	2 290	32,9	6,2
	MD82	4C	2 280	32,9	6,2
	MD83	4C	2 470	32,9	6,2
	MD87	4C	2 260	32,9	6,2
	MD88	4C	2 470	32,9	6,2
Airbus	A300 B4	4D	2 605	44,8	10,9
	A300-600	4D	2 332	44,8	10,9
	A310	4D	1 845	44,8	10,9
Boeing	B707-300	4D	3 088	44,4	7,9
	B707-400	4D	3 277	44,4	7,9
	B720	4D	1 981	39,9	7,5
	B757-200	4D	1 980	38,1	8,6
	B757-300	4D	2 400	38,1	8,6
	B767-200	4D	1 981	47,6	10,8
	B767-300ER	4D	2 540	47,6	10,9
	B767-400ER	4D	3 130	51,9	10,8
	CL44D-4	4D	2 240	43,4	10,5
Canadair	18V	4D	1 980	37,4	9,9
Ilyushin	62M	4D	3 280	43,2	8,0
Lockheed	L100-20	4D	1 829	40,8	4,9
	L100-30	4D	1 829	40,4	4,9
	L188	4D	2 066	30,2	10,5
	L1011-1	4D	2 426	47,3	12,8
	L1011-100/200	4D	2 469	47,3	12,8
	L1011-500	4D	2 844	47,3	12,8
Douglas	DC8-61	4D	3 048	43,4	7,5
	DC8-62	4D	3 100	45,2	7,6

Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apéndice 1-5)

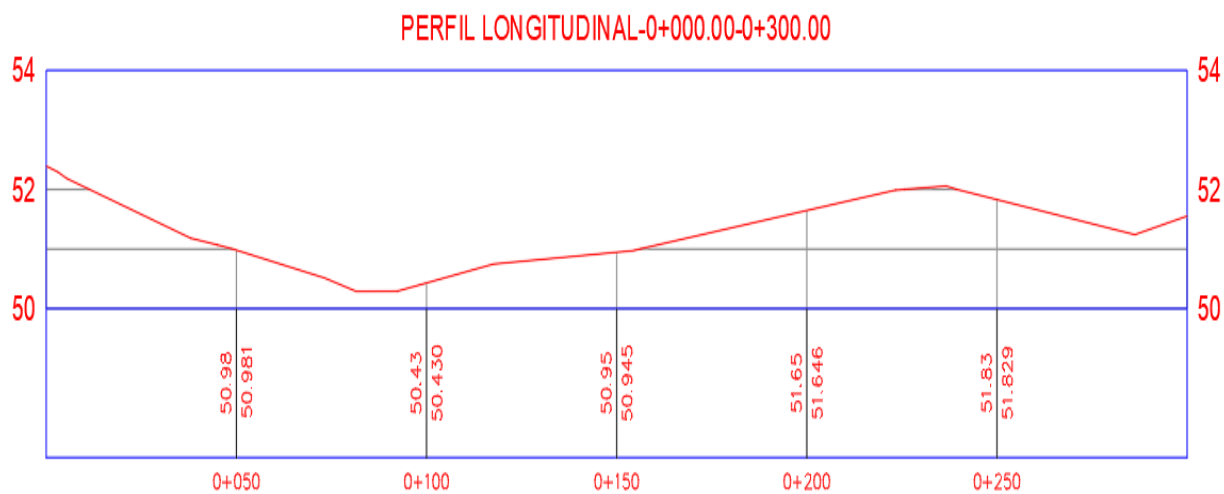
Tabla 26. Clasificación de aeronaves por número y letra de clave A1-6.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
McDonnell Douglas	DC8-63	4D	3 179	45,2	7,6
	DC8-71	4D	2 770	43,4	7,5
	DC8-72	4D	2 980	45,2	7,6
	DC8-73	4D	3 050	45,2	7,6
	DC10-10	4D	3 200	47,4	12,6
	DC10-30	4D	3 170	50,4	12,6
	DC10-40	4D	3 124	50,4	12,6
Tupolev	TU134A	4D	2 400	29,0	10,3
	TU154	4D	2 160	37,6	12,4
Boeing	B747-100	4E	3 060	59,6	12,4
	B747-200	4E	3 150	59,6	12,4
	B747-300	4E	3 292	59,6	12,4
	B747-400	4E	2 890	64,9 ⁴	12,6
	B747-SR	4E	1 860	59,6	12,4
	B747-SP	4E	2 710	59,6	12,4
	B777-200	4E	2 390	61,0	12,9
	B777-200ER	4E	3 110	61,0	12,9
	B777-300	4E	3 140	60,9	12,9
	B777-300ER	4E	3 120	64,8	12,9
	MD11	4E	3 130	52,0 ⁴	12,6
Airbus	A380	4F	3 350	79,8	14,3

1. Con los tanques de extremo de ala instalados.
 2. Sobre un obstáculo de 15 m.
 3. Con los extremos de ala extendidos.
 4. Con planos verticales en los extremos de ala.

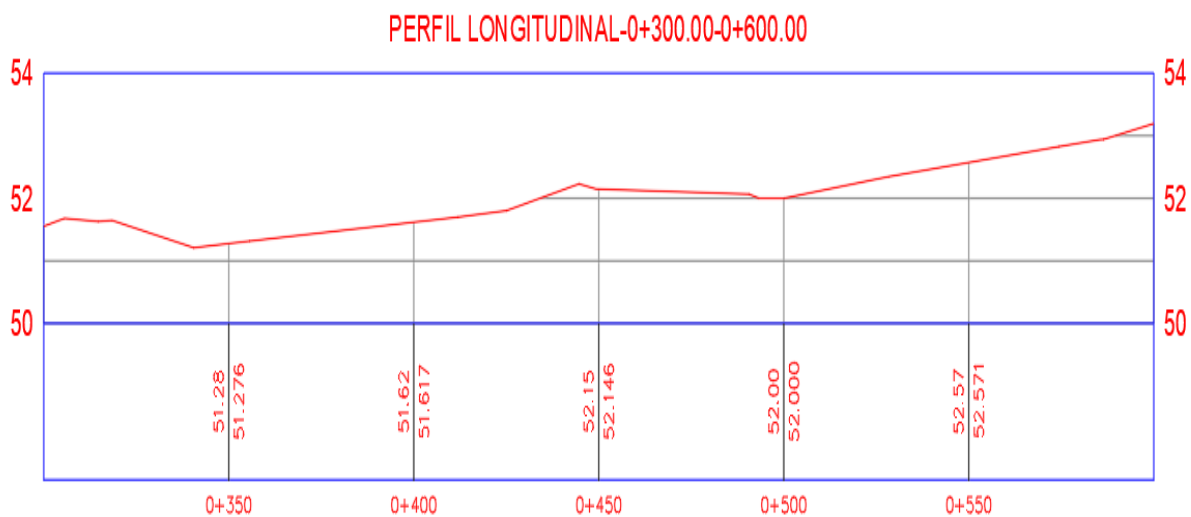
Fuente: Manual de diseño de Aeródromos Parte 1. Pistas (OACI, 2006, págs. Apendice 1-6)

Figura 62. Perfil longitudinal de la estación 0+000.00 a la estación 0+300.00 de la pista, para la longitud del campo de referencia.



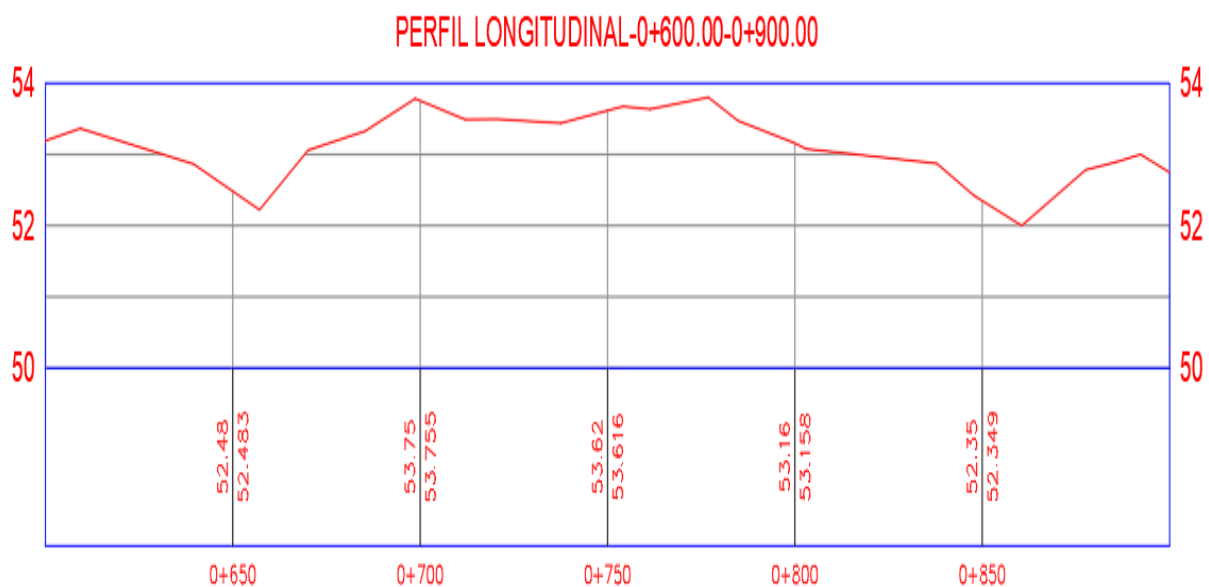
Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Perfil longitudinal de la estación 0+300.00 a la estación 0+600.00 para la longitud del campo de referencia.



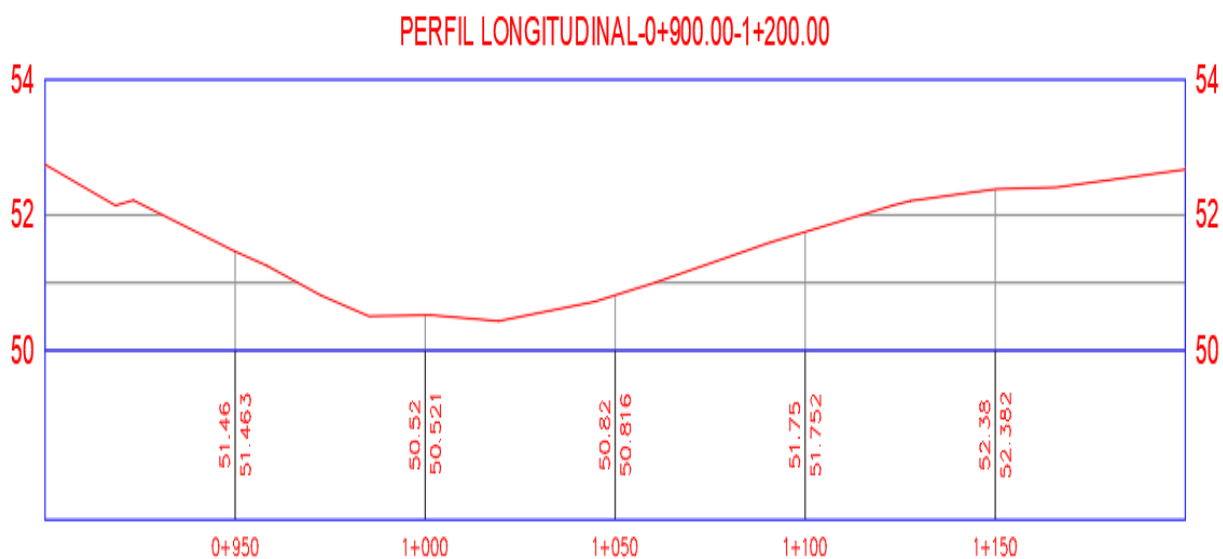
Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Perfil longitudinal de la estación 0+600.00 a la estación 0+900.00 para la longitud del campo de referencia.



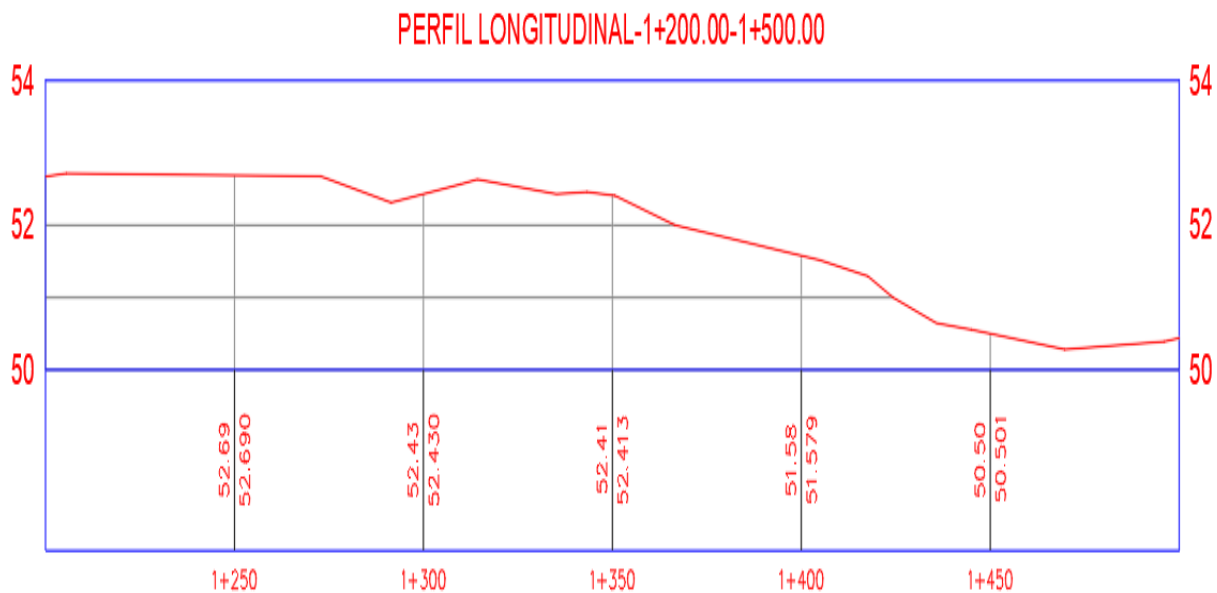
Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Perfil longitudinal de la estación 0+900.00 a la estación 1+200.00 para la longitud del campo de referencia.



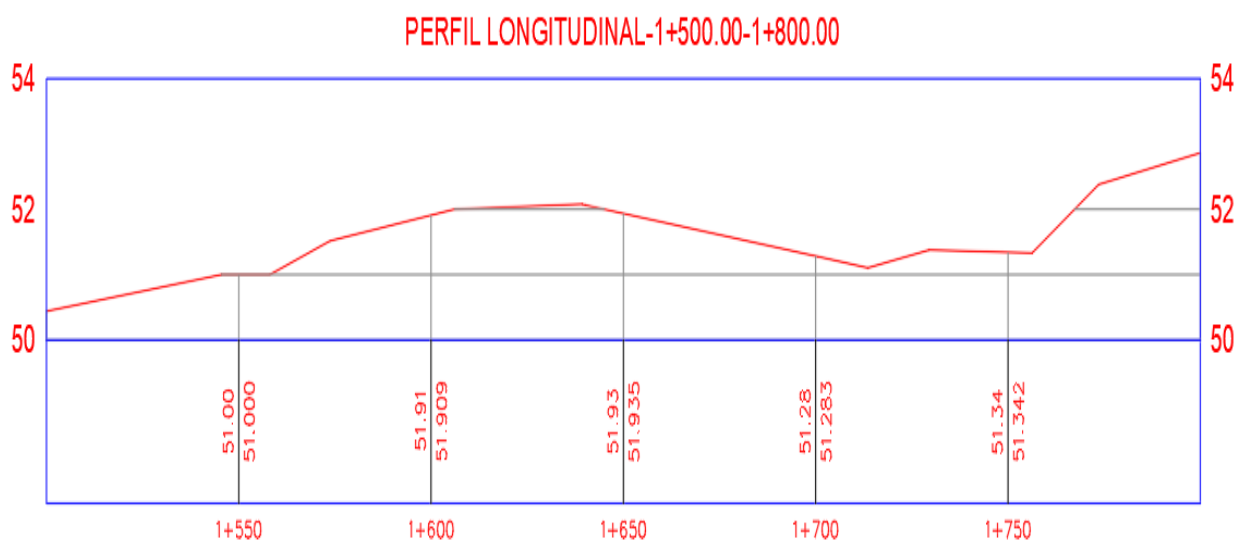
Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Perfil longitudinal de la estación 1+200.00 a la estación 1+500.00 para la longitud del campo de referencia.



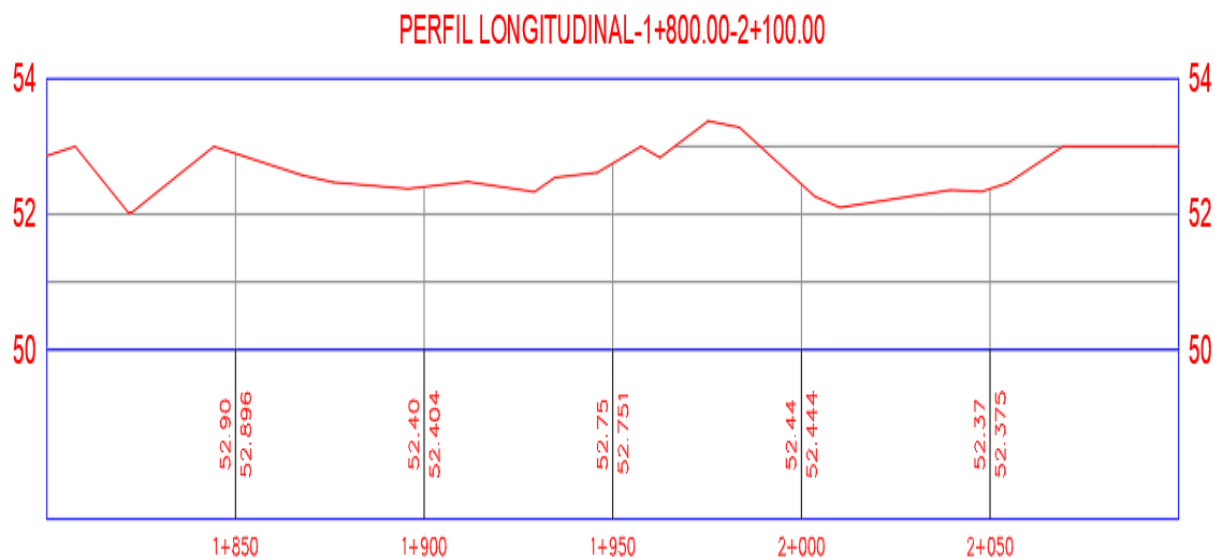
Fuente: Elaboración propia.

Figura 67. Perfil longitudinal de la estación 1+500.00 a la estación 1+800.00 para la longitud del campo de referencia.



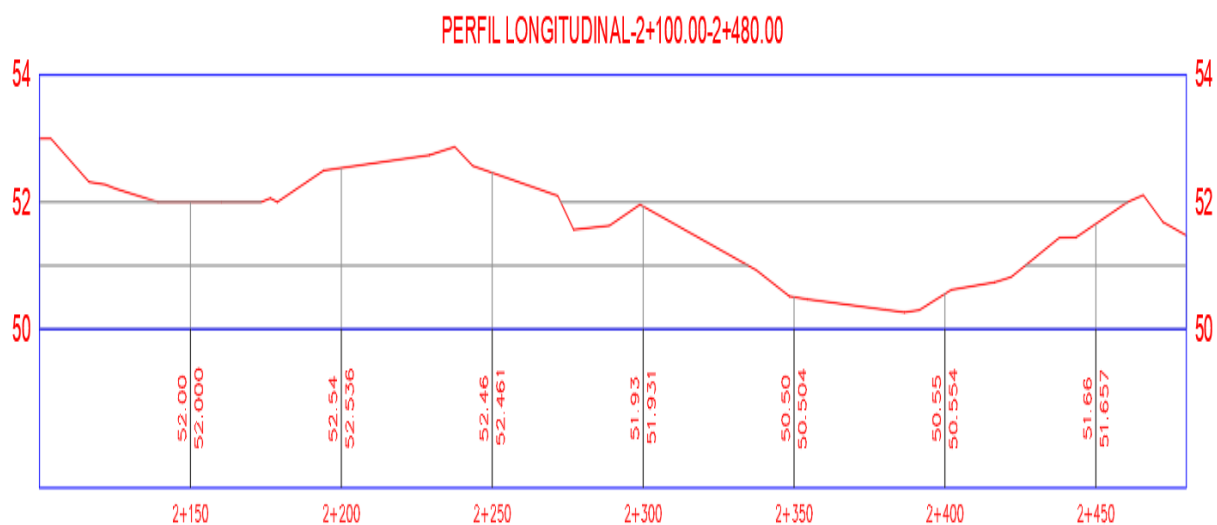
Fuente: Elaboración propia.

Figura 68. Perfil longitudinal de la estación 1+800.00 a la estación 2+100.00 para la longitud del campo de referencia.



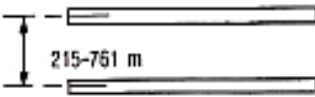
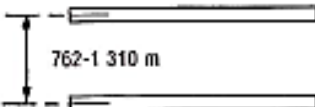
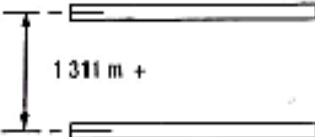
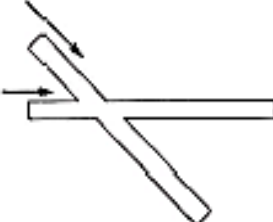
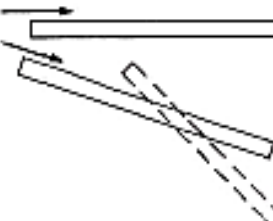
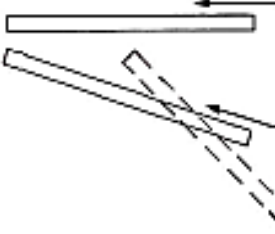
Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Perfil longitudinal de la estación 2+100.00 a la estación 2+480.00 para la longitud del campo de referencia.



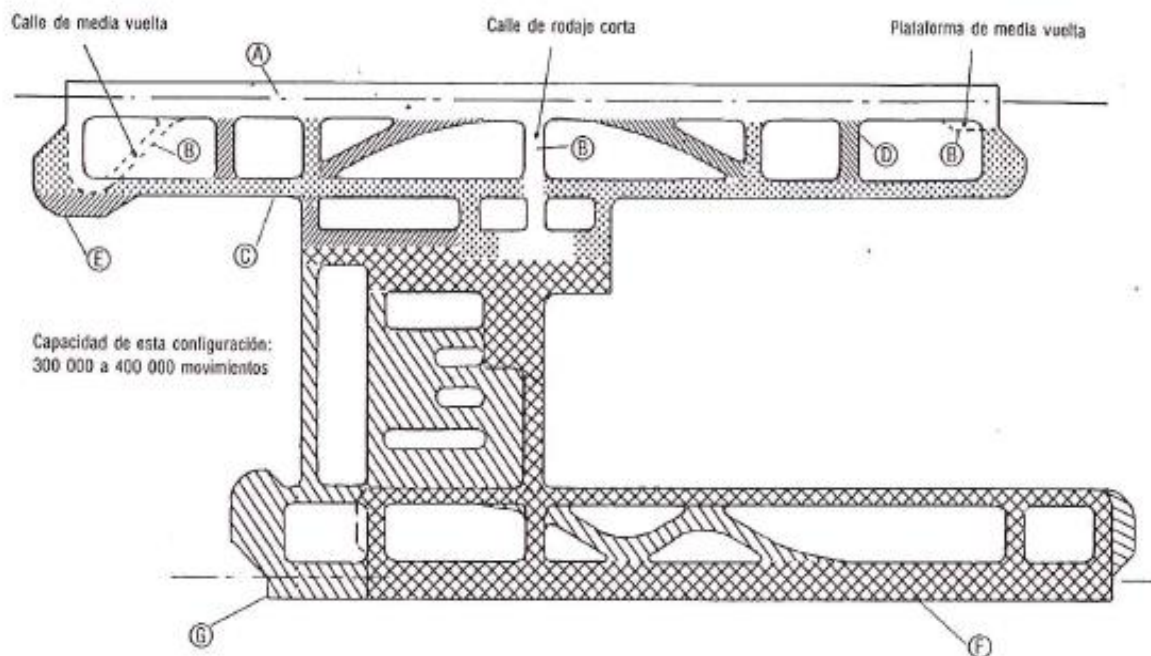
Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Capacidad horaria y volumen de servicio anual para la planificación a largo plazo.

Número	Configuración de la pista	Capacidad movimientos/h		Volumen de servicio anual Movimientos/h
		VFR	IFR	
1		51-98	50-59	195 000-240 000
2		94-197	56-60	260 000-355 000
3		103-197	62-75	275 000-365 000
4		103-197	99-119	305 000-370 000
5		72-98	56-60	200 000-265 000
6		73-150	56-60	220 000-270 000
7		73-132	56-60	215 000-265 000

Fuente: Manual de planificación de aeropuertos, Parte 1. Planificación general (OACI, 1987, pág. 1.57)

Figura 71. Diagrama típico de desarrollo por etapas.



FASE	UBICACIÓN DE CRITERIOS
	SECCIÓN
A	6.3.2
B	6.3.5 a)
C	6.3.5 b)
D	6.3.5 c)
E	6.3.5 d)
F	6.3.5 a) a c)
G	6.3.4 d)

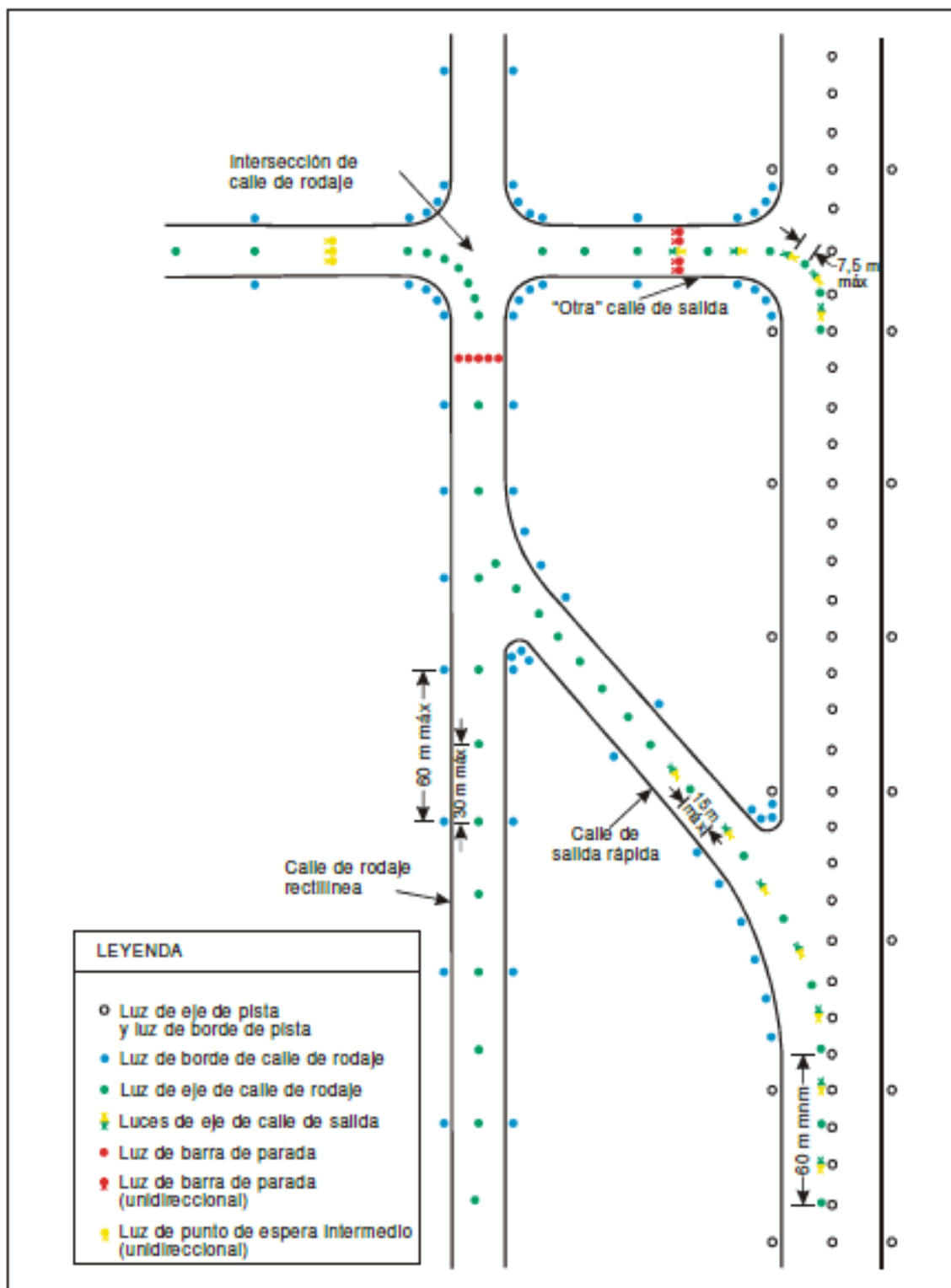
NIVEL DE CONSTRUCCIÓN

- ☐ De 20 000 a 30 000 movimientos
- ☒ De 30 000 a 60 000 movimientos
- ☒ De 50 000 a 99 000 movimientos
- ☒ De 75 000 a 150 000 movimientos
- ☒ De 150 000 a 250 000 movimientos

* Estas gamas representan niveles de actividad típicos de los valores que se obtendrían siguiendo estas instrucciones. Aunque, con toda seguridad, los valores calculados corresponderían a alguna de estas gamas, esta tabla no responde a ningún criterio.

Fuente: Manual de planificación de aeropuertos, Parte 1. Planificación general (OACI, 1987, pág. 1.58)

Figura 72. Dispositivos luminosos del aeródromo.



Fuente: Anexo 14. Diseño y operaciones de aeródromos, parte 1. (OACI, 2016)

Tabla 27. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 1).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+000					1,347,767.61	569,560.94	53.00
0+020	1	2	20	S83° 38' 11"E	1,347,764.44	569,580.69	52.90
0+040	2	3	20	S83° 38' 11"E	1,347,761.28	569,600.43	52.76
0+060	3	4	20	S83° 38' 11"E	1,347,758.11	569,620.18	52.77
0+080	4	5	20	S83° 38' 11"E	1,347,754.95	569,639.93	52.78
0+100	5	6	20	S83° 38' 11"E	1,347,751.79	569,659.68	52.79
0+120	6	7	20	S83° 38' 11"E	1,347,748.62	569,679.43	52.39
0+140	7	8	20	S83° 38' 11"E	1,347,745.46	569,699.17	52.73
0+160	8	9	20	S83° 38' 11"E	1,347,742.29	569,718.92	51.17
0+180	9	10	20	S83° 38' 11"E	1,347,739.13	569,738.67	50.80
0+200	10	11	20	S83° 38' 11"E	1,347,735.96	569,758.42	50.35
0+220	11	12	20	S83° 38' 11"E	1,347,732.80	569,778.17	50.40
0+240	12	13	20	S83° 38' 11"E	1,347,729.63	569,797.91	50.78
0+260	13	14	20	S83° 38' 11"E	1,347,726.47	569,817.66	50.90
0+280	14	15	20	S83° 38' 11"E	1,347,723.30	569,837.41	51.07
0+300	15	16	20	S83° 38' 11"E	1,347,720.14	569,857.16	51.36
0+320	16	17	20	S83° 38' 11"E	1,347,716.98	569,876.91	51.66
0+340	17	18	20	S83° 38' 11"E	1,347,713.81	569,896.65	51.95
0+360	18	19	20	S83° 38' 11"E	1,347,710.65	569,916.40	51.99
0+380	19	20	20	S83° 38' 11"E	1,347,707.48	569,936.15	51.67
0+400	20	21	20	S83° 38' 11"E	1,347,704.32	569,955.90	51.34
0+420	21	22	20	S83° 38' 11"E	1,347,701.15	569,975.65	51.33
0+440	22	23	20	S83° 38' 11"E	1,347,697.99	569,995.39	51.81
0+460	23	24	20	S83° 38' 11"E	1,347,694.82	570,015.14	52.27
0+480	24	25	20	S83° 38' 11"E	1,347,691.66	570,034.89	52.40
0+500	25	26	20	S83° 38' 11"E	1,347,688.49	570,054.64	52.54
0+520	26	27	20	S83° 38' 11"E	1,347,685.33	570,074.39	52.67
0+540	27	28	20	S83° 38' 11"E	1,347,682.17	570,094.13	52.80
0+560	28	29	20	S83° 38' 11"E	1,347,679.01	570,113.88	52.63
0+580	29	30	20	S83° 38' 11"E	1,347,675.84	570,133.63	52.13
0+600	30	31	20	S83° 38' 11"E	1,347,672.67	570,153.38	52.01
0+620	31	32	20	S83° 38' 11"E	1,347,669.51	570,173.13	52.00
0+640	32	33	20	S83° 38' 11"E	1,347,666.34	570,192.88	52.13
0+660	33	34	20	S83° 38' 11"E	1,347,664.92	570,205.64	52.48
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 28. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 2).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+680	34	35	20	S83° 38' 11"E	1,347,663.18	570,212.62	52.69
0+700	35	36	20	S83° 38' 11"E	1,347,660.01	570,232.37	52.85
0+720	36	37	20	S83° 38' 11"E	1,347,656.85	570,252.12	52.87
0+740	37	38	20	S83° 38' 11"E	1,347,653.68	570,271.87	52.87
0+760	38	39	20	S83° 38' 11"E	1,347,650.52	570,291.62	52.84
0+780	39	40	20	S83° 38' 11"E	1,347,647.36	570,311.36	52.44
0+800	40	41	20	S83° 38' 11"E	1,347,644.19	570,331.11	53.26
0+820	41	42	20	S83° 38' 11"E	1,347,641.03	570,350.86	53.75
0+840	42	43	20	S83° 38' 11"E	1,347,637.86	570,370.61	53.51
0+860	43	44	20	S83° 38' 11"E	1,347,634.70	570,390.36	53.49
0+880	44	45	20	S83° 38' 11"E	1,347,631.53	570,410.10	53.65
0+900	45	46	20	S83° 38' 11"E	1,347,628.37	570,429.85	53.67
0+920	46	47	20	S83° 38' 11"E	1,347,625.21	570,449.60	53.16
0+940	47	48	20	S83° 38' 11"E	1,347,622.04	570,469.35	52.98
0+960	48	49	20	S83° 38' 11"E	1,347,618.87	570,489.10	52.76
0+980	49	50	20	S83° 38' 11"E	1,347,615.71	570,508.84	52.58
1+000	50	51	20	S83° 38' 11"E	1,347,612.55	570,528.59	52.82
1+020	51	52	20	S83° 38' 11"E	1,347,609.38	570,548.34	52.73
1+040	52	53	20	S83° 38' 11"E	1,347,606.22	570,568.09	52.17
1+060	53	54	20	S83° 38' 11"E	1,347,603.05	570,587.84	51.73
1+080	54	55	20	S83° 38' 11"E	1,347,599.89	570,607.58	51.18
1+100	55	56	20	S83° 38' 11"E	1,347,596.72	570,627.33	50.62
1+120	56	57	20	S83° 38' 11"E	1,347,593.56	570,647.08	50.52
1+140	57	58	20	S83° 38' 11"E	1,347,590.39	570,666.83	50.44
1+160	58	59	20	S83° 38' 11"E	1,347,587.23	570,686.58	50.67
1+180	59	60	20	S83° 38' 11"E	1,347,584.06	570,706.32	51.00
1+200	60	61	20	S83° 38' 11"E	1,347,580.90	570,726.07	51.39
1+220	61	62	20	S83° 38' 11"E	1,347,577.74	570,745.82	51.76
1+240	62	63	20	S83° 38' 11"E	1,347,574.57	570,765.57	52.02
1+260	63	64	20	S83° 38' 11"E	1,347,571.41	570,785.32	52.19
1+280	64	65	20	S83° 38' 11"E	1,347,568.24	570,805.06	52.36
1+300	65	66	20	S83° 38' 11"E	1,347,565.08	570,824.81	52.41
1+320	66	67	20	S83° 38' 11"E	1,347,561.91	570,844.56	52.40
1+340	67	68	20	S83° 38' 11"E	1,347,558.75	570,864.31	52.39
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 29. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 3).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
1+360	68	69	20	S83° 38' 11"E	1,347,555.58	570,884.06	52.37
1+380	69	70	20	S83° 38' 11"E	1,347,552.42	570,903.81	52.35
1+400	70	71	20	S83° 38' 11"E	1,347,549.25	570,923.55	52.33
1+420	71	72	20	S83° 38' 11"E	1,347,546.09	570,943.30	52.43
1+440	72	73	20	S83° 38' 11"E	1,347,542.93	570,963.05	52.85
1+460	73	74	20	S83° 38' 11"E	1,347,539.76	570,982.80	52.45
1+480	74	75	20	S83° 38' 11"E	1,347,536.60	571,002.55	52.16
1+500	75	76	20	S83° 38' 11"E	1,347,533.43	571,022.29	51.83
1+520	76	77	20	S83° 38' 11"E	1,347,530.27	571,042.04	51.57
1+540	77	78	20	S83° 38' 11"E	1,347,527.10	571,061.79	51.18
1+560	78	79	20	S83° 38' 11"E	1,347,523.94	571,081.54	50.60
1+580	79	80	20	S83° 38' 11"E	1,347,520.77	571,101.29	50.39
1+600	80	81	20	S83° 38' 11"E	1,347,517.61	571,121.03	50.33
1+620	81	82	20	S83° 38' 11"E	1,347,514.44	571,140.78	50.45
1+640	82	83	20	S83° 38' 11"E	1,347,511.28	571,160.53	50.69
1+660	83	84	20	S83° 38' 11"E	1,347,508.12	571,180.28	50.94
1+680	84	85	20	S83° 38' 11"E	1,347,504.95	571,200.03	51.07
1+700	85	86	20	S83° 38' 11"E	1,347,501.79	571,219.77	51.61
1+720	86	87	20	S83° 38' 11"E	1,347,498.62	571,239.52	51.91
1+740	87	88	20	S83° 38' 11"E	1,347,495.46	571,259.27	52.03
1+760	88	89	20	S83° 38' 11"E	1,347,492.29	571,279.02	52.06
1+780	89	90	20	S83° 38' 11"E	1,347,489.13	571,298.77	51.80
1+800	90	91	20	S83° 38' 11"E	1,347,485.96	571,318.51	51.54
1+820	91	92	20	S83° 38' 11"E	1,347,482.80	571,338.26	51.28
1+840	92	93	20	S83° 38' 11"E	1,347,479.63	571,358.01	51.34
1+860	93	94	20	S83° 38' 11"E	1,347,476.47	571,377.76	51.35
1+880	94	95	20	S83° 38' 11"E	1,347,473.31	571,397.51	51.57
1+900	95	96	20	S83° 38' 11"E	1,347,470.14	571,417.25	52.50
1+920	96	97	20	S83° 38' 11"E	1,347,466.98	571,437.01	52.87
1+940	97	98	20	S83° 38' 11"E	1,347,463.81	571,456.75	52.10
1+960	98	99	20	S83° 38' 11"E	1,347,460.65	571,476.50	52.83
1+980	99	100	20	S83° 38' 11"E	1,347,457.48	571,496.25	52.71
2+000	100	101	20	S83° 38' 11"E	1,347,454.32	571,515.99	52.44
2+020	101	102	20	S83° 38' 11"E	1,347,451.15	571,535.74	52.40
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.52.56

Tabla 30. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 4).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
2+040	102	103	20	S83° 38' 11"E	1,347,447.99	571,555.49	52.39
2+060	103	104	20	S83° 38' 11"E	1,347,444.82	571,575.24	52.56
2+080	104	105	20	S83° 38' 11"E	1,347,441.66	571,594.99	52.91
2+100	105	106	20	S83° 38' 11"E	1,347,438.50	571,614.73	53.31
2+120	106	107	20	S83° 38' 11"E	1,347,435.33	571,634.48	52.42
2+140	107	108	20	S83° 38' 11"E	1,347,432.17	571,654.23	52.18
2+160	108	109	20	S83° 38' 11"E	1,347,429.01	571,673.98	52.34
2+180	109	110	20	S83° 38' 11"E	1,347,425.84	571,693.73	52.67
2+200	110	111	20	S83° 38' 11"E	1,347,422.67	571,713.48	53.00
2+220	111	112	20	S83° 38' 11"E	1,347,419.51	571,733.22	53.00
2+240	112	113	20	S83° 38' 11"E	1,347,416.34	571,752.97	52.26
2+260	113	114	20	S83° 38' 11"E	1,347,413.18	571,772.72	52.00
2+280	114	115	20	S83° 38' 11"E	1,347,410.01	571,792.47	52.00
2+300	115	116	20	S83° 38' 11"E	1,347,406.85	571,812.22	52.03
2+320	116	117	20	S83° 38' 11"E	1,347,403.69	571,831.96	52.53
2+340	117	118	20	S83° 38' 11"E	1,347,400.52	571,851.71	52.66
2+360	118	119	20	S83° 38' 11"E	1,347,397.36	571,871.46	52.60
2+380	119	120	20	S83° 38' 11"E	1,347,394.19	571,891.21	52.27
2+400	120	121	20	S83° 38' 11"E	1,347,391.03	571,910.96	51.55
2+420	121	122	20	S83° 38' 11"E	1,347,387.86	571,930.70	51.87
2+440	122	123	20	S83° 38' 11"E	1,347,384.70	571,950.45	51.34
2+460	123	124	20	S83° 38' 11"E	1,347,381.53	571,970.20	50.79
2+480	124	125	20	S83° 38' 11"E	1,347,378.37	571,989.95	50.38
2+500	125	126	20	S83° 38' 11"E	1,347,375.21	572,009.70	50.25
2+520	126	127	20	S83° 38' 11"E	1,347,372.04	572,029.44	50.51
2+540	127	128	20	S83° 38' 11"E	1,347,368.88	572,049.19	50.75
2+560	128	129	20	S83° 38' 11"E	1,347,365.71	572,068.94	51.41
2+580	129	130	20	S83° 38' 11"E	1,347,362.55	572,088.69	52.00
2+600	130	131	20	S83° 38' 11"E	1,347,359.38	572,108.44	51.48
2+620	131	132	20	S83° 38' 11"E	1,347,356.22	572,128.18	50.94
2+640	132	133	20	S83° 38' 11"E	1,347,353.05	572,147.93	50.19
2+660	133	134	20	S83° 38' 11"E	1,347,349.89	572,167.68	49.50
2+680	134	135	20	S83° 38' 11"E	1,347,346.72	572,187.43	49.12
2+700	135	136	20	S83° 38' 11"E	1,347,343.56	572,207.18	49.43
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 31. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la pista (Parte 5).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
2+720	136	137	20	S83° 38' 11"E	1,347,340.39	572,226.92	50.36
2+740	137	138	20	S83° 38' 11"E	1,347,337.23	572,246.67	51.04
2+760	138	139	20	S83° 38' 11"E	1,347,334.07	572,266.42	51.85
2+780	139	140	20	S83° 38' 11"E	1,347,330.90	572,286.17	52.82
2+800	140	141	20	S83° 38' 11"E	1,347,327.74	572,305.92	57.27
2+820	141	142	20	S83° 38' 11"E	1,347,324.57	572,325.66	50.79
2+832	142	143	12	S83° 38' 11"E	1,347,321.41	572,345.41	49.91
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							
Longitud total de la pista: 2832 Metros							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 32. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 1).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+000					1,347,757.54	569,623.76	52.77
0+020	1	2	20	N6° 21' 11"E	1,347,777.29	569,626.90	52.83
0+040	2	3	20	N6° 21' 11"E	1,347,797.05	569,630.04	52.17
0+060	3	4	20	N6° 21' 11"E	1,347,816.80	569,633.18	51.24
0+080	4	5	20	N6° 21' 11"E	1,347,836.55	569,636.32	50.22
0+100	5	6	20	N6° 21' 11"E	1,347,856.30	569,639.45	49.64
0+120	6	7	20	N6° 21' 11"E	1,347,876.05	569,642.59	49.87
0+140	7	8	20	N10° 11' 00"E	1,347,895.81	569,645.73	51.42
0+160	8	9	20	N48° 22' 50"E	1,347,913.69	569,652.93	52.64
0+180	9	10	20	N86° 34' 40"E	1,347,920.04	569,670.98	53.12
0+200	10	11	20	S83° 38' 11"E	1,347,916.88	569,690.72	52.42
0+220	11	12	20	S83° 38' 11"E	1,347,913.71	569,710.47	52.01
0+240	12	13	20	S83° 38' 11"E	1,347,910.55	569,730.22	51.98
0+260	13	14	20	S83° 38' 11"E	1,347,907.38	569,749.97	51.97
0+280	14	15	20	S83° 38' 11"E	1,347,904.22	569,769.72	52.09
0+300	15	16	20	S83° 38' 11"E	1,347,901.06	569,789.46	52.10
0+320	16	17	20	S83° 38' 11"E	1,347,897.89	569,809.21	52.21
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 33. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 2).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+340	17	18	20	S83° 38' 11"E	1,347,894.73	569,828.96	52.61
0+360	18	19	20	S83° 38' 11"E	1,347,891.56	569,848.71	53.15
0+380	19	20	20	S83° 38' 11"E	1,347,888.40	569,868.46	53.54
0+400	20	21	20	S83° 38' 11"E	1,347,885.23	569,888.20	53.78
0+420	21	22	20	S83° 38' 11"E	1,347,882.07	569,907.95	54.05
0+440	22	23	20	S83° 38' 11"E	1,347,878.90	569,927.70	53.92
0+460	23	24	20	S83° 38' 11"E	1,347,875.74	569,947.45	53.41
0+480	24	25	20	S83° 38' 11"E	1,347,872.57	569,967.20	52.42
0+500	25	26	20	S83° 38' 11"E	1,347,869.41	569,986.94	51.62
0+520	26	27	20	S83° 38' 11"E	1,347,866.25	570,006.69	50.94
0+540	27	28	20	S83° 38' 11"E	1,347,863.08	570,026.44	50.70
0+560	28	29	20	S83° 38' 11"E	1,347,859.92	570,046.19	50.46
0+580	29	30	20	S83° 38' 11"E	1,347,856.75	570,065.94	50.22
0+600	30	31	20	S83° 38' 11"E	1,347,853.59	570,085.68	49.98
0+620	31	32	20	S83° 38' 11"E	1,347,850.42	570,105.43	49.92
0+640	32	33	20	S83° 38' 11"E	1,347,847.26	570,125.18	49.80
0+660	33	34	20	S83° 38' 11"E	1,347,845.82	570,136.11	50.05
0+680	34	35	20	S83° 38' 11"E	1,347,844.09	570,144.93	50.71
0+700	35	36	20	S83° 38' 11"E	1,347,840.93	570,164.68	51.24
0+720	36	37	20	S83° 38' 11"E	1,347,837.76	570,184.42	51.40
0+740	37	38	20	S83° 38' 11"E	1,347,834.60	570,204.17	51.54
0+760	38	39	20	S83° 38' 11"E	1,347,831.44	570,223.92	51.63
0+780	39	40	20	S83° 38' 11"E	1,347,828.27	570,243.67	51.98
0+800	40	41	20	S83° 38' 11"E	1,347,825.11	570,263.42	52.53
0+820	41	42	20	S83° 38' 11"E	1,347,821.94	570,283.17	53.04
0+840	42	43	20	S83° 38' 11"E	1,347,818.78	570,302.91	52.71
0+860	43	44	20	S83° 38' 11"E	1,347,815.61	570,322.66	52.05
0+880	44	45	20	S83° 38' 11"E	1,347,812.45	570,342.41	51.79
0+900	45	46	20	S83° 38' 11"E	1,347,809.28	570,362.16	51.93
0+920	46	47	20	S83° 38' 11"E	1,347,806.12	570,381.91	52.00
0+940	47	48	20	S83° 38' 11"E	1,347,802.95	570,401.65	52.16
0+960	48	49	20	S83° 38' 11"E	1,347,799.79	570,421.40	52.70
0+980	49	50	20	S83° 38' 11"E	1,347,796.63	570,441.15	53.03
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 34. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 3).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
1+000	50	51	20	S83° 38' 11"E	1,347,793.46	570,460.90	53.23
1+020	51	52	20	S83° 38' 11"E	1,347,790.30	570,480.65	53.45
1+040	52	53	20	S83° 38' 11"E	1,347,783.97	570,520.14	53.71
1+060	53	54	20	S83° 38' 11"E	1,347,780.80	570,539.89	53.61
1+080	54	55	20	S83° 38' 11"E	1,347,777.64	570,559.64	53.74
1+100	55	56	20	S83° 38' 11"E	1,347,774.47	570,579.39	54.52
1+120	56	57	20	S83° 38' 11"E	1,347,771.31	570,599.13	55.22
1+140	57	58	20	S83° 38' 11"E	1,347,768.14	570,618.88	55.64
1+160	58	59	20	S83° 38' 11"E	1,347,764.98	570,638.63	55.89
1+180	59	60	20	S83° 38' 11"E	1,347,761.82	570,658.38	55.66
1+200	60	61	20	S83° 38' 11"E	1,347,758.65	570,678.13	55.66
1+220	61	62	20	S83° 38' 11"E	1,347,755.49	570,697.87	52.21
1+240	62	63	20	S83° 38' 11"E	1,347,752.32	570,717.62	55.56
1+260	63	64	20	S83° 38' 11"E	1,347,749.16	570,737.37	55.72
1+280	64	65	20	S83° 38' 11"E	1,347,745.99	570,757.12	52.19
1+300	65	66	20	S83° 38' 11"E	1,347,742.83	570,776.87	54.38
1+320	66	67	20	S83° 38' 11"E	1,347,739.66	570,796.61	53.60
1+340	67	68	20	S83° 38' 11"E	1,347,736.50	570,816.36	52.88
1+360	68	69	20	S83° 38' 11"E	1,347,733.33	570,836.11	51.94
1+380	69	70	20	S83° 38' 11"E	1,347,730.17	570,855.86	51.60
1+400	70	71	20	S83° 38' 11"E	1,347,727.01	570,875.61	51.80
1+420	71	72	20	S83° 38' 11"E	1,347,723.84	570,895.35	52.00
1+440	72	73	20	S83° 38' 11"E	1,347,720.68	570,915.10	52.58
1+460	73	74	20	S83° 38' 11"E	1,347,717.51	570,934.85	53.12
1+480	74	75	20	S83° 38' 11"E	1,347,714.35	570,954.60	53.43
1+500	75	76	20	S83° 38' 11"E	1,347,711.18	570,974.35	53.66
1+520	76	77	20	S83° 38' 11"E	1,347,708.02	570,994.10	53.68
1+540	77	78	20	S83° 38' 11"E	1,347,704.85	571,013.84	53.55
1+560	78	79	20	S83° 38' 11"E	1,347,701.69	571,033.59	53.23
1+580	79	80	20	S83° 38' 11"E	1,347,698.52	571,053.34	52.47
1+600	80	81	20	S83° 38' 11"E	1,347,695.36	571,073.09	51.51
1+620	81	82	20	S83° 38' 11"E	1,347,692.20	571,092.84	50.33
1+640	82	83	20	S83° 38' 11"E	1,347,689.03	571,112.58	48.43
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 35. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 4).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
1+660	83	84	20	S83° 38' 11"E	1,347,685.87	571,132.33	47.07
1+680	84	85	20	S83° 38' 11"E	1,347,682.70	571,152.08	45.93
1+700	85	86	20	S83° 38' 11"E	1,347,679.54	571,171.83	45.79
1+720	86	87	20	S83° 38' 11"E	1,347,676.37	571,191.58	46.97
1+740	87	88	20	S83° 38' 11"E	1,347,673.21	571,211.32	48.46
1+760	88	89	20	S83° 38' 11"E	1,347,670.04	571,231.07	49.79
1+780	89	90	20	S83° 38' 11"E	1,347,666.88	571,250.82	50.80
1+800	90	91	20	S83° 38' 11"E	1,347,663.71	571,270.57	51.08
1+820	91	92	20	S83° 38' 11"E	1,347,660.55	571,290.32	51.29
1+840	92	93	20	S83° 38' 11"E	1,347,657.39	571,310.06	51.55
1+860	93	94	20	S83° 38' 11"E	1,347,654.22	571,329.81	51.17
1+880	94	95	20	S83° 38' 11"E	1,347,651.06	571,349.56	51.95
1+900	95	96	20	S83° 38' 11"E	1,347,647.89	571,369.31	51.56
1+920	96	97	20	S83° 38' 11"E	1,347,644.73	571,389.06	51.05
1+940	97	98	20	S83° 38' 11"E	1,347,641.56	571,408.80	50.64
1+960	98	99	20	S83° 38' 11"E	1,347,638.40	571,428.55	50.43
1+980	99	100	20	S83° 38' 11"E	1,347,635.23	571,448.30	50.78
2+000	100	101	20	S83° 38' 11"E	1,347,632.07	571,468.05	51.52
2+020	101	102	20	S83° 38' 11"E	1,347,628.90	571,487.80	52.49
2+040	102	103	20	S83° 38' 11"E	1,347,625.74	571,507.54	52.80
2+060	103	104	20	S83° 38' 11"E	1,347,622.58	571,527.29	52.56
2+080	104	105	20	S83° 38' 11"E	1,347,619.41	571,547.04	52.20
2+100	105	106	20	S83° 38' 11"E	1,347,616.25	571,566.79	51.49
2+120	106	107	20	S83° 38' 11"E	1,347,613.08	571,586.54	50.71
2+140	107	108	20	S83° 38' 11"E	1,347,609.92	571,606.28	51.21
2+160	108	109	20	S83° 38' 11"E	1,347,606.75	571,626.03	52.05
2+180	109	110	20	S83° 38' 11"E	1,347,603.59	571,645.78	53.61
2+200	110	111	20	S83° 38' 11"E	1,347,600.42	571,665.53	55.05
2+220	111	112	20	S83° 38' 11"E	1,347,597.26	571,685.28	55.15
2+240	112	113	20	S83° 38' 11"E	1,347,594.09	571,705.03	55.00
2+260	113	114	20	S83° 38' 11"E	1,347,590.93	571,724.77	54.86
2+280	114	115	20	S83° 38' 11"E	1,347,587.77	571,744.52	54.06
2+300	115	116	20	S83° 38' 11"E	1,347,584.60	571,764.27	53.60
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 36. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 5).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
2+320	116	117	20	S83° 38' 11"E	1,347,581.44	571,784.02	52.57
2+340	117	118	20	S83° 38' 11"E	1,347,578.27	571,803.77	52.00
2+360	118	119	20	S83° 38' 11"E	1,347,575.11	571,823.51	52.00
2+380	119	120	20	S83° 38' 11"E	1,347,571.94	571,843.26	52.01
2+400	120	121	20	S83° 38' 11"E	1,347,568.78	571,863.01	53.23
2+420	121	122	20	S83° 38' 11"E	1,347,565.61	571,882.76	52.62
2+440	122	123	20	S83° 38' 11"E	1,347,562.45	571,902.51	53.11
2+460	123	124	20	S83° 38' 11"E	1,347,559.28	571,922.25	53.88
2+480	124	125	20	S83° 38' 11"E	1,347,556.12	571,942.01	54.68
2+500	125	126	20	S83° 38' 11"E	1,347,552.96	571,961.75	54.96
2+520	126	127	20	S83° 38' 11"E	1,347,549.79	571,981.50	54.57
2+540	127	128	20	S83° 38' 11"E	1,347,546.63	572,001.25	53.87
2+560	128	129	20	S83° 38' 11"E	1,347,543.46	572,020.99	53.01
2+580	129	130	20	S83° 38' 11"E	1,347,540.30	572,040.74	51.86
2+600	130	131	20	S83° 38' 11"E	1,347,537.13	572,060.49	51.21
2+620	131	132	20	S83° 38' 11"E	1,347,533.97	572,080.24	50.27
2+640	132	133	20	S83° 38' 11"E	1,347,530.80	572,099.99	50.29
2+660	133	134	20	S83° 38' 11"E	1,347,527.64	572,119.73	50.59
2+680	134	135	20	S83° 38' 11"E	1,347,524.47	572,139.48	50.58
2+700	135	136	20	S83° 38' 11"E	1,347,521.31	572,159.23	50.15
2+720	136	137	20	S83° 38' 11"E	1,347,518.15	572,178.98	50.44
2+740	137	138	20	S83° 38' 11"E	1,347,514.98	572,198.73	50.16
2+760	138	139	20	S83° 38' 11"E	1,347,511.82	572,218.47	50.22
2+780	139	140	20	S83° 38' 11"E	1,347,508.65	572,238.22	49.79
2+800	140	141	20	S83° 38' 11"E	1,347,505.49	572,257.97	49.20
2+820	141	142	20	S83° 38' 11"E	1,347,502.32	572,277.72	48.93
2+840	142	143	20	S62° 20' 09"E	1,347,499.16	572,297.47	48.62
2+860	143	144	20	S24° 08' 19"E	1,347,491.94	572,315.35	47.91
2+880	144	145	20	S6° 21' 49"W	1,347,473.90	572,321.67	47.00
2+900	145	146	20	S6° 21' 49"W	1,347,454.16	572,318.50	47.41
2+920	146	147	20	S6° 21' 49"W	1,347,434.41	572,315.34	48.33
2+940	147	148	20	S6° 21' 49"W	1,347,414.66	572,312.17	49.21
2+960	148	149	20	S6° 21' 49"W	1,347,394.91	572,309.01	50.05
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 37. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje paralela (Parte 6).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
2+980	149	150	20	S6° 21' 49"W	1,347,375.16	572,305.85	50.87
3+000	151	152	20	S6° 21' 49"W	1,347,355.42	572,302.68	51.82
3+014	152	153	14	S6° 21' 49"W	1,347,335.67	572,299.52	52.21
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 38. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje en plataforma (Parte 1).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+000				N6° 21' 49"E	1,347,856.29	570,068.87	52.81
0+020	1	2	20	N6° 21' 49"E	1,347,876.04	570,072.02	54.75
0+040	2	3	20	N6° 21' 49"E	1,347,895.79	570,075.18	56.48
0+060	3	4	20	N10° 11' 00"E	1,347,915.54	570,078.33	58.15
0+080	4	5	20	N48° 22' 50"E	1,347,933.53	570,084.94	58.81
0+100	5	6	20	N86° 34' 40"E	1,347,932.16	570,104.59	59.04
0+120	6	7	20	S83° 38' 11"E	1,347,929.00	570,124.34	58.52
0+140	7	8	20	S83° 38' 11"E	1,347,925.83	570,144.09	57.85
0+160	8	9	20	S83° 38' 11"E	1,347,922.67	570,163.84	57.43
0+180	9	10	20	S83° 38' 11"E	1,347,919.50	570,183.59	57.04
0+200	10	11	20	S83° 38' 11"E	1,347,916.34	570,203.33	56.86
0+220	11	12	20	S83° 38' 11"E	1,347,913.17	570,223.08	57.14
0+240	12	13	20	S83° 38' 11"E	1,347,910.01	570,242.83	57.13
0+260	13	14	20	S83° 38' 11"E	1,347,906.84	570,262.58	57.10
0+280	14	15	20	S83° 38' 11"E	1,347,903.68	570,282.33	57.20
0+300	15	16	20	S83° 38' 11"E	1,347,900.51	570,302.07	56.92
0+320	16	17	20	S83° 38' 11"E	1,347,897.35	570,321.82	56.61
0+340	17	18	20	S83° 38' 11"E	1,347,894.19	570,341.57	57.02
0+360	18	19	20	S83° 38' 11"E	1,347,891.02	570,361.32	57.86
0+380	19	20	20	S83° 38' 11"E	1,347,887.86	570,381.07	58.22
0+400	20	21	20	S83° 38' 11"E	1,347,884.69	570,400.81	57.61
0+420	21	22	20	S83° 38' 11"E	1,347,881.53	570,420.56	57.05
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 39. Datos Topográficos del alineamiento horizontal de la calle de rodaje en plataforma (Parte 2).

EST	Poligonal LC		Long (m)	Rumbo	Coordenadas		Elev (m)
	PI	PF			Norte (m)	Este (m)	
0+440	22	23	20	S79° 05' 54"E	1,347,873.83	570,437.70	56.60
0+460	23	24	20	S40° 54' 04"E	1,347,854.08	570,435.54	56.18
0+480	24	25	20	S2° 42' 14"E	1,347,834.33	570,432.37	55.12
0+500	25	26	20	S6° 21' 49"W	1,347,814.58	570,429.21	54.52
0+520	26	27	20	S6° 21' 49"W	1,347,798.94	570,426.70	53.65
0+540	27	28	20	S6° 21' 49"W	1,347,789.65	570,422.89	53.11
0+543	28	29	3	S2° 42' 14"E	1,347,834.33	570,432.37	53.07
PI: Punto Inicial, PF: Punto Final, LC: Línea Central, Long: Longitud							

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 40. Datos de curvas horizontales en calle de rodaje paralela.

Curvas en calle de rodaje paralela					
#Curva	Radio	DC	PC	PI	PT
C-1	30.0 m	47.13	0+138	1+168	0+185
C-2	30.0 m	47.12	2+829	2+859	2+876
PC: Punto de comienzo, PI: Punto de intersección PT: Punto de tangencia, DC: Desarrollo de la curva					

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.

Tabla 41. Datos de curvas horizontales en calle de rodaje de plataforma.

Curvas en calle de rodaje en plataforma					
#Curva	Radio	DC	PC	PI	PT
C-3	30.0 m	47.12	0+058	0+088	0+105
C-4	30.0 m	47.12	0+468	0+468	0+485
PC: Punto de comienzo, PI: Punto de intersección PT: Punto de tangencia, DC: Desarrollo de la curva					

Fuente: Elaboración Propia utilizando AutoCAD Civil 3D.