



Universidad
Rey Juan Carlos

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL EN
AERONAVEGACIÓN

Trabajo Fin De Grado

**‘CONVERSIÓN DEL AERÓDROMO DE CASARRUBIOS DEL
MONTE EN EL AEROPUERTO MADRID – SUR ÓPTIMO
PARA RYANAIR’**

Autora: Virginia Recio Ramos

Tutor: Álvaro Olivas Moreno

Curso académico 2022/23

*Dedicado a
Mi familia*

Agradecimientos

Estoy más que agradecida. Agradecida de llegar al final de esta bonita, y a la vez dura, carrera, y más agradecida aun por poder contar con tantas personas con quien compartirlo.

A lo largo de estos meses de TFG he contado con muchos apoyos tanto emocionales como académicos. Profesores, compañeros y familiares que no han dudado en proporcionarme la ayuda o la información necesaria.

Mis amigos, tanto de la universidad como de fuera, me han enseñado lo importante que es el compañerismo, he aprendido a dar ayuda y a saber recibirla. Al igual que mi pareja, que ha sabido guardar la calma en los momentos más difíciles. Muchas gracias a todos.

También sé que si miro al cielo hay personas que realmente se sienten orgullosas de mí. Por ello, una vez más, doy gracias.

El párrafo final lo guardo para mis padres y mis hermanas, incluyendo a mi perrita. Han sido los principales impulsores. Gracias por tanta paciencia. No encontraría las palabras para expresar el fuerte sentimiento que me provoca.

Confío en que esto es sólo el principio.

Resumen

El sector aeronáutico abarca tantas ramas que resulta imposible abrazarlas todas. Leyendo el título se deduce en cuál está ubicado este Trabajo de Fin de Grado (TFG). Tras reflexionar sobre la buena ubicación del aeródromo de Casarrubios del Monte y sobre la posible existencia de un segundo aeropuerto en la capital de España, Madrid, se decide convertir el aeródromo actual mencionado recientemente en un aeropuerto Madrid-Sur que, además, sea de uso exclusivo para Ryanair.

Se elabora con precisión el área de maniobras del Plan Director, generando todo el contenido en AutoCAD, y se dejan planteadas la plataforma y la terminal dentro de los requisitos que exige el anexo 14 de la OACI y que también precisa la aerolínea, Ryanair, cuya flota se reduce en su totalidad al Boeing 737.

En base a la aeronave a operar, ya mencionada, y en el rango máximo de alcance establecido, Madrid – Amán, se calculan las dimensiones de la pista manteniendo su orientación actual y diseñando, además, sus características físicas, señalización e incluso los sistemas de iluminación. Se repite el proceso para la elaboración de las calles de rodaje, completando así el área de maniobras.

Para completar el área de movimiento se deja planteada una posible plataforma, con dimensiones y puestos de estacionamiento establecidos dentro de unas variables fiables en base a la normativa y con vistas a un futuro desarrollo.

Se plantea también una posible terminal estableciendo los niveles y las medidas de ésta e incluyendo un posible parking que facilitaría su acceso. Se elabora, de nuevo, con una mentalidad de futuro desarrollo.

Lista de acrónimos

B	Boeing
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
MTOW	Peso máximo al despegue (<i>Maximum Take-Off Weight</i>)
MLW	Peso máximo al aterrizaje (<i>Maximum Landing Weight</i>)
OEW	Peso operacional en vacío (<i>Operating Empty Weight</i>)
MZFW	Peso máximo sin combustible (<i>Maximum Zero Fuel Weight</i>)
MPL	Máxima carga de pago (<i>Maximum Payload</i>)
TORA	Recorrido de despegue disponible (<i>Take-Off Runway Available</i>)
CWY	Zona libre de obstáculos (<i>Clearway</i>)
TODA	Distancia de despegue disponible (<i>Take-Off Distance Available</i>)
SWY	Zona de parada (<i>Stopway</i>)
ASDA <i>Available</i>)	Distancia de aceleración – parada disponible (<i>Accelerate Stop Distance</i>
LDA	Distancia de aterrizaje disponible (<i>Landing Distance Available</i>)
doc	Documento
TFG	Trabajo de Fin de Grado
BRGW	Peso máximo al despegue (<i>Brake Release Gross Weight</i>)
ISA	Atmósfera Estándar Internacional (<i>International Standard Atmosphere</i>)
STD	Estándar (<i>Standard</i>)
RFF	Procedimiento de salvamento y extinción de incendios
RESA	Áreas de seguridad de extremo de pista
TOD	Distancia de despegue (<i>Take Off Distance</i>)
CAT	Categoría
R	Derecha (<i>Right</i>)
C	Central (<i>Central</i>)
L	Izquierda (<i>Left</i>)

- T-VASIS Sistema visual indicador de pendiente de aproximación en T (*T-Visual Approach Slope Indicator System*)
- AT-VASIS Sistema visual indicador de pendiente de aproximación simplificado en T (*Abbreviated T visual approach slope indicator system*)
- PAPI Indicador de trayectoria de aproximación de precisión (*Precision Approach Path Indicator*)
- APAPI Indicador simplificado de trayectoria de aproximación de precisión (*Abbreviated Precision Approach Path Indicator*)
- VOR Radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia (*Very High Frequency Omnidirectional Range*)
- TCL Señal de eje de calle de rodaje (*Taxiway Center Line*)
- AENA Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea

Lista de símbolos

m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
°	Grados
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
ft	Pies
Km	Kilómetros
m ³	Metros cúbicos
°C	Grados centígrados
T	Temperatura
T ₀	Temperatura para z = 0m, según ISA
α	Gradiente de temperatura en troposfera, según ISA
h	Altitud
z	Altura
K	Kelvin
c ^{te}	Constante
lb	Libras
°F	Grados Fahrenheit
%	Porcentaje
V	Velocidad
V ₁	Velocidad de decisión
V _{LOF}	Velocidad de despegue
V ₂	Velocidad de ascenso

Índice general

1. Introducción y objetivos	1
2. Metodología.....	4
I Capítulos teóricos.....	6
3. Definiciones aeroportuarias	8
4. Condiciones iniciales y datos de referencia.....	13
4.1. Pistas y calles de rodaje actuales	13
4.2. Ryanair en la actualidad	14
4.3. Aeropuerto de Varsovia-Modlin.....	15
II Capítulos de aplicaciones.....	16
5. Pista	18
5.1. Nueva pista: dimensiones	18
5.1.1. Longitud de pista necesaria en el despegue	20
5.1.2. Longitud de pista necesaria en aterrizaje	24
5.1.3. Longitud de pista final y anchura	26
5.2. Nueva pista: características físicas	27
5.2.1. Pendiente de la pista	27
5.2.2. Márgenes de pista	27
5.2.3. Franjas de pista	28
5.2.4. Áreas de seguridad de extremo de pista (RESA).....	29
5.2.5. Zonas libres de obstáculos (CWY)	30
5.2.6. Zonas de parada (SWY).....	31
5.3. Nueva pista: señalización horizontal	32
5.3.1. Señal de eje de pista.....	32

5.3.2. Faja lateral de pista	32
5.3.3. Señal designadora de pista	33
5.3.4. Señal de umbral	34
5.3.5. Señal de zona de toma de contacto	35
5.3.6. Señal de punto de visada.....	37
5.3.7. Señal de punto de espera de la pista	38
6. Calles de rodaje	53
6.1. Calles de rodaje: dimensiones	53
6.2. Calles de rodaje: características físicas	55
6.2.1. Pendiente.....	55
6.2.2. Superficie	55
6.2.3. Márgenes.....	55
6.2.4. Franjas.....	56
6.3. Calles de rodaje: señalización horizontal	57
6.3.1. Señal de eje de calle de rodaje	57
6.3.2. Señal de borde de calle de rodaje.....	58
6.3.3. Instalaciones de deshielo/antihielo y señal de punto de espera intermedio	59
6.3.4. Señal de prohibida la entrada.....	60
6.3.5. Señal con instrucciones obligatorias.....	61
6.4. Calles de rodaje: luces	62
6.4.1. Luces de eje de calle de rodaje	62
6.4.2. Luces de borde de calle de rodaje	64
6.4.3. Barras de parada.....	66
6.4.4. Luces de salida de la instalación de deshielo/antihielo.....	66
6.4.5. Luces de protección de pista	67
6.4.6. Iluminación de calle de rodaje completa	68
6.4.7. Balizas.....	69

6.5. Calles de rodaje: letreros	69
6.5.1. Letreros con instrucciones obligatorias	69
6.5.2. Letreros de información.....	70
7. Plataforma aproximada	74
7.1. Plataforma: dimensiones aproximadas	74
7.2. Plataforma: características físicas aproximadas	75
7.2.1. Puestos de estacionamiento	75
7.2.1. Área aproximada destinada a los vehículos y al personal	77
7.3. Plataforma: aproximación de señales y letreros	77
7.3.1. Señales	77
7.3.2. Letreros	78
7.4. Plataforma: luces aproximadas.....	78
7.5. Plataforma: planteamiento de la torre de control	78
8. Terminal aproximada	81
8.1. Terminal aproximada: dimensiones y niveles	81
8.2. Terminal aproximada: parking	82
9. Conclusiones y trabajo futuro	84
9.1. Conclusiones.....	84
9.2. Trabajo futuro	87
Bibliografía	89

Índice de figuras

Figura 1. Imagen satélite del Aeródromo de Casarrubios del monte en la actualidad [5]	1
Figura 2. Distancias declaradas de pista [3]	11
Figura 3. Boeing 737.8AS de Ryanair [7].....	14
Figura 4. Mapa de destinos de Ryanair [6]	14
Figura 5. Dimensiones generales del Boeing 737-800 [2].....	19
Figura 6. Diagrama Carga de pago - Alcance del Boeing 737-800[2].....	20
Figura 7. Brake Release Gross Weight de la misión [2]	21
Figura 8. Diagrama “Distancia de pista requerida en el despegue” del Boeing 737-800 ‘STANDARD DAY +27°F (STD + 15°C), DRY RUNWAY’ [2].....	22
Figura 9. Longitud de pista en el despegue de la misión [2].....	23
Figura 10. Imagen satélite de la longitud de pista en el despegue [5].....	23
Figura 11. Diagrama de “Longitud requerida en el aterrizaje” del B737-800 en configuración flaps 30° [2]	24
Figura 12. Longitud requerida en el aterrizaje de la misión [2].....	25
Figura 13. Imagen satélite de la longitud de pista en el aterrizaje [5].....	25
Figura 14. Longitud de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	26
Figura 15. Pendiente longitudinal de la pista [Elaboración propia en AutoCAD].....	27
Figura 16. Recorte acotado del margen de pista [Elaboración propia en AutoCAD]	28
Figura 17. Parte nivelada de la franja de una pista para aproximaciones de precisión con numero de clave 3 o 4 [1].....	28
Figura 18. Franja añadida a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	29
Figura 19. RESA añadida a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	30
Figura 20. RESA de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD].....	30
Figura 21. Distancia necesaria en el despegue sin fallo motor [Elaboración propia]	31
Figura 22. CWY añadido a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	31
Figura 23. CWY de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD].....	31
Figura 24. Señal de eje de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	32
Figura 25. Faja lateral de pista [Elaboración propia en AutoCAD].....	33
Figura 26. Señales designadoras de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	33

Figura 27. Proporciones (en metros) de las señales designadoras de pista [1]	34
Figura 28. Recorte acotado de señal designadora de pista con respecto al umbral y al eje de pista [Elaboración propia en AutoCAD]	34
Figura 29. Señal de umbral de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	35
Figura 30. Señal de zona de toma de contacto de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	36
Figura 31. Señal de zona de toma de contacto en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]	36
Figura 32. Señal de zona de toma de contacto acotada en máximo detalle [Elaboración propia en AutoCAD]	36
Figura 33. Señal de punto de visada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	37
Figura 34. Señal en detalle de punto de visada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	38
Figura 35. Formato señal de punto de espera en metros [4]	39
Figura 36. Recorte de la señal de punto de espera [Elaboración propia en AutoCAD].....	39
Figura 37. Iluminación de aproximación de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	41
Figura 38. Luces PAPI de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	43
Figura 39. Luces de umbral de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	43
Figura 40. Luces de borde de pista [Elaboración propia en AutoCAD]	44
Figura 41. Luces de extremo de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	45
Figura 42. Luces de eje de pista de la misión (1/2) [Elaboración propia en AutoCAD]	45
Figura 43. Luces de eje de pista de la misión (2/2) [Elaboración propia en AutoCAD]	46
Figura 44. Luces de zona de toma de contacto de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	47
Figura 45. Luces de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	48
Figura 46. Letreros acotados (mm) de punto de espera de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	50
Figura 47. Letreros de punto de espera de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	51
Figura 48. Letreros de salida de pista con cotas [Elaboración propia en AutoCAD]	51
Figura 49. Letrero de salida de pista en la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	52
Figura 50. Calles de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	54
Figura 51. Cotas de las calles de rodaje [Elaboración propia en AutoCAD].....	54
Figura 52. Radios de curvatura de las calles de rodaje en base a los de Modlin [Elaboración propia en AutoCAD]	54

Figura 53. Pendiente de las calles de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	55
Figura 54. Recorte acotado del margen de una de las calles de rodaje [Elaboración propia en AutoCAD]	56
Figura 55. Recorte acotado de la franja de una de las calles de rodaje [Elaboración propia en AutoCAD]	57
Figura 56. Cotas en cm de la señal de eje de calle de rodaje TCL [4]	58
Figura 57. Señal en detalle de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	58
Figura 58. Cotas en cm de la señal de borde de calle de rodaje [4]	58
Figura 59. Señal en detalle de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	59
Figura 60. Instalación de deshielo/antihielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	60
Figura 61. Instalaciones de deshielo/antihielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	60
Figura 62. Señal de prohibida la entrada de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]	61
Figura 63. Señal de prohibida la entrada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	61
Figura 64. Señales con instrucciones obligatorias de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]	62
Figura 65. Señales con instrucciones obligatorias de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	62
Figura 66. Luces de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD] ..	63
Figura 67. Luces de eje de calle de rodaje en instalación deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	64
Figura 68. Luces de borde de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	64
Figura 69. Luces de borde de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	65
Figura 70. Luces de borde de calle de rodaje en instalación deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	65
Figura 71. Barra de parada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	66
Figura 72. Luces de salida de la instalación de deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	67
Figura 73. Luces de protección de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	68

Figura 74. Luces de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD].....	68
Figura 75. Letrero acotado de prohibida la entrada [4].....	69
Figura 76. Letrero de prohibida la entrada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]..	70
Figura 77. Letreros de emplazamiento de la misión con cotas [Elaboración propia en AutoCAD]	70
Figura 78. Letrero de emplazamiento de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	71
Figura 79. Letrero de destino acotado [Elaboración propia en AutoCAD]	71
Figura 80. Letrero de destino de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	72
Figura 81. Plataforma aproximada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	75
Figura 82. Plataforma planteada para la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	76
Figura 83. Puesto de estacionamiento tipo VI [Elaboración propia en AutoCAD]	76
Figura 84. Puestos de estacionamiento de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	77
Figura 85. Ubicación de la torre de control [Elaboración propia en AutoCAD]	79
Figura 86. Diseño aproximado de la terminal de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	81
Figura 87. Diseño aproximado del parking del aeropuerto de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]	82
Figura 88. Aeropuerto Madrid – Sur de día [Elaboración propia en Photoshop]	85
Figura 89. Aeropuerto Madrid – Sur de noche [Elaboración propia en Photoshop].....	86

Índice de tablas

Tabla 1. Clave de referencia del aeródromo [1]	9
Tabla 2. Características técnicas del B737-8AS [2].....	19
Tabla 3. Formulario ISA [Elaboración propia]	22
Tabla 4. Anchura de pista [1]	26
Tabla 5. Número de fajas del umbral según la anchura de pista [1].....	35
Tabla 6. Pares de señales de señal de zona de toma de contacto [4]	36
Tabla 7. Emplazamiento y dimensiones de la señal de punto de visada [1].....	37
Tabla 8. Distancias mínimas entre el eje de la pista y un punto de espera [4]	38
Tabla 9. Distancias relativas al emplazamiento de los letreros [1]	49
Tabla 10. Anchura de las calles de rodaje según su letra de clave [1]	53
Tabla 11. Anchura total de las calles de rodaje [1]	55
Tabla 12. Distancia del eje de la calle de rodaje a la franja [1].....	56
Tabla 13. Márgenes mínimos de separación en los puestos de estacionamiento de la aeronave [1].....	76

Capítulo 1

Introducción y objetivos

Casarrubios del Monte es un municipio español de la provincia de Toledo, en Castilla-La Mancha, que cuenta con una estimación de 5.500 habitantes. Está situado en la comarca de La Sagra, una zona natural con unos 1.300 km² de extensión que incluye localidades pertenecientes a la comunidad de Madrid y a la provincia de Toledo.

Una vez introducida la localización en la que se trabajará, se presenta su aeródromo actual el cual quedará modificado. Está situado a 620 m de elevación y consta de una sola pista de 600 metros de longitud con una orientación 08/26.



Figura 1. Imagen satélite del Aeródromo de Casarrubios del monte en la actualidad [5]

El objetivo de este proyecto es analizar las acciones necesarias para reconvertir el aeródromo privado de Casarrubios en un aeropuerto en el sur de Madrid exclusivo para la operación de una aerolínea de bajo coste. En particular y de cara a poder desarrollar los cálculos se toma a Ryanair como compañía de bandera del aeropuerto. La idea surge tras reflexionar sobre la necesidad de un segundo aeropuerto en la capital de España, Madrid. Es cierto que el aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas cumple con sus objetivos, pero también es cierto que la existencia de un aeropuerto Madrid - Sur desahogaría notablemente su flujo de pasajeros

y tránsito aéreo. Además, si se lleva a cabo un análisis del número de aeropuertos que tienen la mayoría de las capitales europeas, casi todas ellas tienen dos, lo cual hace analizar nuevamente la idea comentada.

Sería inabarcable realizar el Plan Director completo dentro del alcance de un TFG, luego la intención ha sido seleccionar unos puntos concretos incluso con la idea de dejarlo abierto a su posible continuación en el futuro. Se opta por elaborar el área de maniobras diseñando todo el contenido en AutoCAD, y se dejan planteadas la plataforma y la terminal con los requisitos que exige el anexo 14 de la OACI y que serán también necesarios para la aerolínea, Ryanair, cuya flota se reduce en su totalidad al Boeing 737.

La primera idea fue modificar el Plan Director del aeródromo actual, pero cabe mencionar que, al ser privado, no está publicado en ninguna plataforma, luego no se ha tenido acceso él y se ha elaborado todo desde cero cogiendo como referencia la imagen satélite del aeródromo.

Para asegurar que la compañía pueda realizar todos sus trayectos y que el nuevo aeropuerto se adapte a ello, se traza un radio con Madrid como centro que alcanza el trayecto más lejano que ejecuta Ryanair en la actualidad, de manera que los demás destinos quedan dentro de este radio. El trayecto limitante resulta ser Madrid-Amán (Jordania), dato relevante de cara a los próximos cálculos.

Una vez definida la aeronave a operar y el alcance máximo de los vuelos que operarán en el aeropuerto, se han calculado las dimensiones de la pista con ayuda de las gráficas publicadas por Boeing en el Manual del 737 y del anexo 14, nuevamente. A partir de ahí, se han elaborado todas las demás características concluyendo con una idea teórica y gráfica de lo que podría ser el Aeropuerto Madrid – Sur de Ryanair.

El aeropuerto polaco de Modlin, Varsovia, ha sido referente a la hora de diseñar este aeropuerto debido a que también se trata de un aeropuerto exclusivo para Ryanair.

Capítulo 2

Metodología

Para que un proyecto salga adelante es importante seguir un método de trabajo y organización, establecer unas referencias fijas y seleccionar la información realmente necesaria.

La información de este trabajo se ha obtenido, principalmente, del Volumen I del Anexo 14 de la OACI: “Aeródromos” y es gracias a este documento que se ha conseguido obtener los resultados. Otro documento de especial importancia ha sido el “*Manual Normativo de Señalización en el Área de Movimiento EXA 40*” de AENA, de donde se ha logrado deducir gran parte de la información referida a señales y letreros tanto de pista como de calle de rodaje.

Como ya se ha comentado, la parte predominante del proyecto ha sido el diseño del área de maniobras optimizado para una flota y un tipo de operaciones que tiene como referencia el funcionamiento de la compañía de bajo coste, Ryanair.

Para la longitud final de la pista (área de operaciones), primero se ha calculado detalladamente la distancia necesaria en el despegue y, seguidamente, en el aterrizaje dando por hecho que la aeronave a utilizar dicha pista sería una Boeing 737-8AS, ya que es la aeronave que frecuenta Ryanair, y que el alcance máximo sería Madrid - Amán. Entre estas dos distancias se ha escogido la más restrictiva e, independientemente de la distancia exacta que resulta, se ha fijado una longitud de pista mayor de cara al futuro crecimiento (500 metros adicionales). A continuación, se han obtenido todos los demás datos de ésta: anchura, características físicas, señales, luces, ...

Para las calles de rodaje se ha seguido un procedimiento similar. Cinco calles de rodaje con todas sus características incluidas en base a las dimensiones del Boeing en cuestión.

Las figuras y planos de pista y calles de rodaje se han ido elaborando según se definían en AutoCAD, véanse los Anexos del trabajo.

Para completar el área de movimiento del aeropuerto, se han dejado únicamente planteadas la plataforma y la terminal utilizando la normativa de la OACI, pero sin entrar en concreto detalle (sin elaboraciones en AutoCAD, definición de señales o luces). Aun así, el planteamiento deja una clara idea de cómo podría ser para que el aeropuerto cobre sentido.

Cabe mencionar que se ha tomado como referencia en varias ocasiones el Aeropuerto de Modlin – Varsovia al ser, también, de uso exclusivo para Ryanair.

Para terminar, se pueden encontrar al final del documento las conclusiones del trabajo dejando el presente proyecto abierto a futuras propuestas.

Parte I

Capítulos teóricos

Capítulo 3

Definiciones aeroportuarias

De cara a poder entender los capítulos de aplicaciones (Parte II) con facilidad, se considera necesario incluir este capítulo dedicado exclusivamente a definiciones y conceptos dentro del entorno aeroportuario.

Un aeropuerto es una infraestructura en la que existen de modo permanente instalaciones y servicios con carácter público para asistir de modo regular al tráfico aéreo, permitir el aparcamiento y reparación del material aéreo y recibir o despachar pasajeros o carga. Un aeropuerto se divide en dos partes: lado aire y lado tierra.

La función del lado tierra es satisfacer al pasajero. Incluye las terminales, las zonas comerciales, aduanas, parkings y accesos. Controla el flujo de pasajeros. El lado aire, en cambio, se encarga de satisfacer a las aeronaves. Comienza en el lado aéreo terminal e incluye las pistas y calles de rodaje, los hangares, la plataforma y las zonas de estacionamiento de aeronaves

A su vez, el lado aire tiene cuatro áreas diferenciadas:

- Área de movimiento: parte del aeródromo que ha de utilizarse para despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves integrada por el área de maniobras y las plataformas. Esta área será desarrollada a lo largo del documento.
- Área de maniobras: parte del aeródromo que se utiliza para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, excluyendo la plataforma.
- Plataforma: área destinada al embarque y desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento de aeronaves.
- Área de operaciones: parte del área de movimiento destinada al aterrizaje o despegue de aeronaves (pista).

Una vez identificadas las áreas, se debe conocer el concepto “clave de referencia”. Todos los aeródromos tienen una clave de referencia cuyo propósito es proporcionar un método

simple para relacionar entre si las numerosas especificaciones de 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. La OACI establece una tabla donde identificar la clave de referencia en función de la longitud de campo de referencia de la aeronave, es decir, la longitud mínima que necesita en el despegue en condiciones MTOW (explicado más adelante) y de sus propias dimensiones.

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

Tabla 1. Clave de referencia del aeródromo [1]

La clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal. Una especificación determinada está relacionada con el más apropiado de los dos elementos de la clave o con una combinación apropiada de estos dos elementos. En este documento se va a particularizar el estudio del lado aire del aeropuerto de interés con el fin de adaptar partes del lado tierra a los requisitos futuros derivados de éste.

Finalmente, para realizar la descripción de las principales características de una aeronave a la hora de realizar el diseño de un aeropuerto en base a la misma, las siguientes definiciones de pesos son esenciales:

- **Maximum Landing Weight (MLW) o Peso Máximo en Aterrizaje:** Es el peso más alto en el aterrizaje, restringido por la resistencia de la aeronave y los requisitos de aeronavegabilidad.
- **Maximum Takeoff Weight (MTOW) o Peso Máximo en Despegue:** Es el peso máximo permitido para el despegue, limitado por la resistencia del avión y los requisitos de aeronavegabilidad.
- **Operating Empty Weight (OEW) o Peso Operativo en Vacío:** es el peso de la estructura, planta de energía, mobiliario, combustible no utilizable y otros elementos de equipo considerados parte de una configuración de aeronave específica. También se incluyen ciertos artículos estandarizados, personal, equipo y suministros necesarios para operaciones completas, excluyendo el combustible utilizable y la carga de pago.
- **Maximum Design Zero Fuel Weight (MZFW) o Máximo Peso Sin Combustible:** es el peso máximo permitido antes de cargar el combustible utilizable y otros agentes especificados que deben cargarse en secciones definidas de la aeronave, según lo limitado que esté por su resistencia y los requisitos de aeronavegabilidad.
- **Maximum Payload (MPL) o Máxima Carga de Pago:** es la diferencia entre el MZFW y el OEW.
- **Maximum Seating Capacity o Máximo Número de Plazas:** máximo número de pasajeros certificado.
- **Maximum Cargo Volume o Máximo Volumen de Carga:** es el espacio máximo disponible para transportar carga.
- **Usable Fuel o Combustible Útil:** Cantidad de combustible destinado a la propulsión de la aeronave.

Durante el desarrollo del aeropuerto es crucial conocer, además, las definiciones de las distancias de una pista. Algunas de estas definiciones serán calculadas más adelante:

- **TORA (Take-Off Runway Available)** es la longitud de pista declarada disponible y adecuada para el recorrido de un avión que despegue.
- **CWY (Clearway) o zona libre de obstáculos** es un espacio rectangular acondicionado que brinda una zona apropiada sobre la cual el avión puede iniciar su ascenso.
- **TODA (Take-Off Distance Available)** es la distancia que abarca tanto la longitud de la pista disponible para el despegue (TORA) como la longitud de la zona libre de obstáculos (CWY).

- SWY (Stopway) o zona de parada es el terreno situado a continuación del recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para frenar un avión en un despegue interrumpido.
- ASDA (Accelerate Stop Distance Available) comprende la longitud de recorrido de despegue disponible (TORA) más la longitud de la zona de parada (SWY).
- LDA (Landing Distance Available) o distancia de aterrizaje disponible es la longitud de la pista declarada disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterriza.

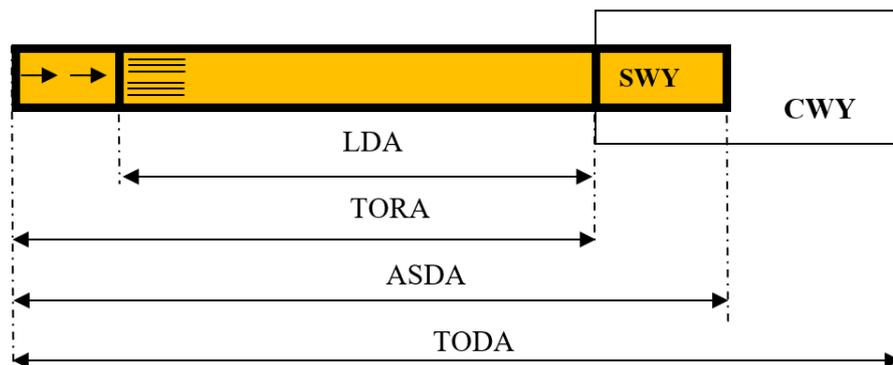


Figura 2. Distancias declaradas de pista [3]

Capítulo 4

Condiciones iniciales y datos de referencia

Todo aeropuerto requiere la previa elaboración de un Proyecto, llamado Plan Director, que está formado por una memoria, los planos necesarios para el desarrollo del aeropuerto, un estudio de la incidencia de éste y sus infraestructuras circundantes, y un cuarto documento en el que se estiman las magnitudes económicas previstas. No existe un protocolo que fije unas normas a seguir a la hora de elaborar los documentos del Plan Director, pero sí hay contenidos que son imprescindibles según establece el Real Decreto. A lo exigido se pueden añadir más documentos y estudios con el fin de que se adecue a las necesidades que puedan existir.

Dado que este nuevo Aeropuerto será creado y adaptado para la compañía de bajo coste, Ryanair, antes de elaborar la memoria se deberá conocer el alcance máximo de sus vuelos, y su flota. Previamente, se deberán estudiar las características del Aeródromo que va a ser modificado.

4.1. Pistas y calles de rodaje actuales

El Aeródromo en cuestión consta de una sola pista y dos calles de rodaje que facilitan el acceso a la plataforma. La pista mencionada tiene 600 m de largo y 23 m de ancho con una orientación 08/26 o lo que es lo mismo 80° respecto al norte magnético en uno de los sentidos y 260° (80° más 180°) en el opuesto. Se encuentra dentro de una zona asfaltada de 950 m de longitud. Sus medidas serán modificadas posteriormente para su correcta adaptación. La elevación de la pista varía entre 619 y 629 metros sobre el nivel del mar (msnm), o lo que es lo mismo, entre 2030 y 2063 pies (ft).

Los establecimientos del lado tierra actuales, que son escuelas de vuelo y hangares, serán reemplazados por el nuevo aeropuerto.

4.2. Ryanair en la actualidad

Se trata de una compañía aérea de origen irlandés especializada en vuelos de bajo coste, con su sede central en Dublín, Irlanda. Fue fundada en 1985 por Tony Ryan. Es la principal aerolínea de Irlanda y se distingue por ser líder en vuelos económicos en Europa, ofreciendo actualmente más de 2000 rutas y operando desde más de 80 bases. Se ha posicionado como una de las aerolíneas más rentables a nivel mundial gracias a su enfoque en la reducción de gastos. Sus principales competidores son EasyJet y Vueling.

La flota de Ryanair es sencilla. Se compone de dos modelos de la familia del Boeing 737: Boeing 737-8AS y Boeing 737-8MAX 200, siendo el 8AS el predominante sin lugar a dudas y con el que se trabaja a la hora de realizar los cálculos. B737-800 es el modelo y AS el código que hace referencia a las aeronaves que pertenecen a Ryanair.



Figura 3. Boeing 737.8AS de Ryanair [7]

La siguiente figura consiste en un mapa extraído de la propia web de Ryanair con los destinos que ofrece marcados con un círculo amarillo más llamativo que el resto y con Europa considerada casi en su totalidad, además de tener destinos, incluso, en África y Asia.

Gracias a la circunferencia trazada en rojo, se puede percibir que el destino más restrictivo, es decir, más alejado de Madrid, es Amán, Jordania. Esta información será de importante valor en el próximo capítulo. El resto de los destinos quedan dentro del radio con el centro en Madrid.

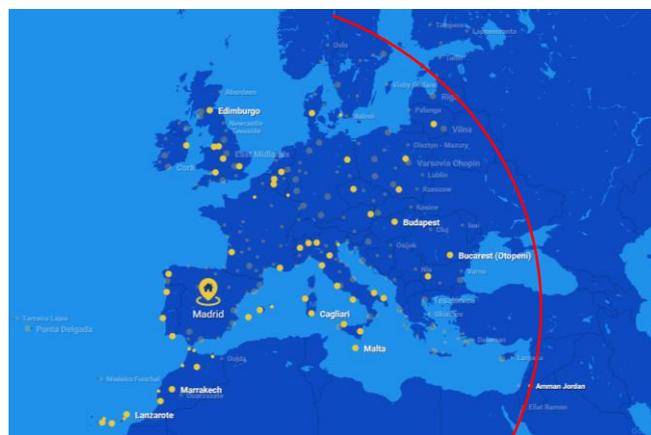


Figura 4. Mapa de destinos de Ryanair [6]

4.3. Aeropuerto de Varsovia-Modlin

El aeropuerto polaco de Varsovia-Modlin, situado a 40km del centro de la ciudad y considerado el segundo aeropuerto de Varsovia, se caracteriza por su uso exclusivo por Ryanair. En 2012 también llegó a operar Wizz Air, nuevamente una aerolínea “low cost”, pero actualmente ha dejado de hacerlo.

Cuenta con un edificio terminal de una sola planta donde se gestionan salidas y llegadas. En la zona de puestos de estacionamiento, en el lado aire, no cuenta con fingers, luego se utiliza el embarque a pie de pista o mediante lanzaderas. Tiene una sola pista asfaltada de 2.500 m de longitud y 60 m de ancho.

Estos datos son útiles a lo largo del TFG ya que se toma como aeropuerto de referencia en numerosas ocasiones especificadas.

Parte II

Capítulos de aplicaciones

Capítulo 5

Pista

Se realiza el proceso de cálculo y diseño de la nueva pista explicando la normativa utilizada y todos los factores a tener en cuenta. En los capítulos 5, 6 y 7 se estudia el lado aire y en el 8, el lado tierra del aeropuerto.

5.1. Nueva pista: dimensiones

Para el desarrollo de la nueva pista se debe modificar prácticamente todo con respecto a la actual. Lo único que se mantendrá será la orientación debido a las buenas condiciones comprobadas con la rosa de vientos.

El anexo 14 de la OACI explica que la longitud real de la pista principal debe adecuarse a los requisitos operacionales del avión o aviones para los que se proyecte la pista y que no sería apropiado que la longitud fuese 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 las aeronaves que vayan a beneficiarse de ella. La aeronave en cuestión será una Boeing 737-8AS con Winglets. Para entrar en detalle, se elabora una tabla de características, cuya información es extraída del manual de Boeing 737, de la aeronave referente. Cuando se habla de características, se refiere a los pesos, ya que, se puede afirmar que la longitud final de la pista puede fluctuar notablemente en función de la variación de éstos.

El caso se evalúa tomando como unidad de referencia el Kilogramo (Kg) y teniendo en cuenta considerar los requisitos de despegue y de aterrizaje. Se diseña el área de operaciones de manera que pueda utilizarse en ambos sentidos. Figuran como condiciones importantes la elevación, temperatura, pendiente de la pista, humedad y características de la superficie de la pista.

Características	Unidad	Modelo 737-800	Modelo 737-800 con Winglets
“MAX DESIGN TAXI WEIGHT”	Kg	70.760	79.333
“MAX DESIGN TAKE OFF WEIGHT”	Kg	70.534	79.016
“MAX DESIGN LANDING WEIGHT”	Kg	65.317	66.361
“MAX DESIGN ZERO FUEL WEIGHT”	Kg	61.689	62.732
“OPERATING EMPTY WEIGHT”	Kg	41.413	41.413
“MAX STRUCTURAL PAYLOAD”	Kg	20.276	21.319
“SEATING CAPACITY”	Asientos	184	184
“MAX CARGO - LOWER DECK”	m ³	44,1	44,1
“USABLE FUEL”	Kg	20894	20894

Tabla 2. Características técnicas del B737-8AS [2]

Otros datos que se utilizan de la aeronave son sus dimensiones. Las actuaciones del avión cambian si éstas lo hacen. La sustentación y la resistencia aerodinámica juegan un papel relevante en el vuelo de la aeronave, y ambas están condicionadas fundamentalmente por la superficie y el ala. Acto seguido se pueden observar las dimensiones en la siguiente figura.

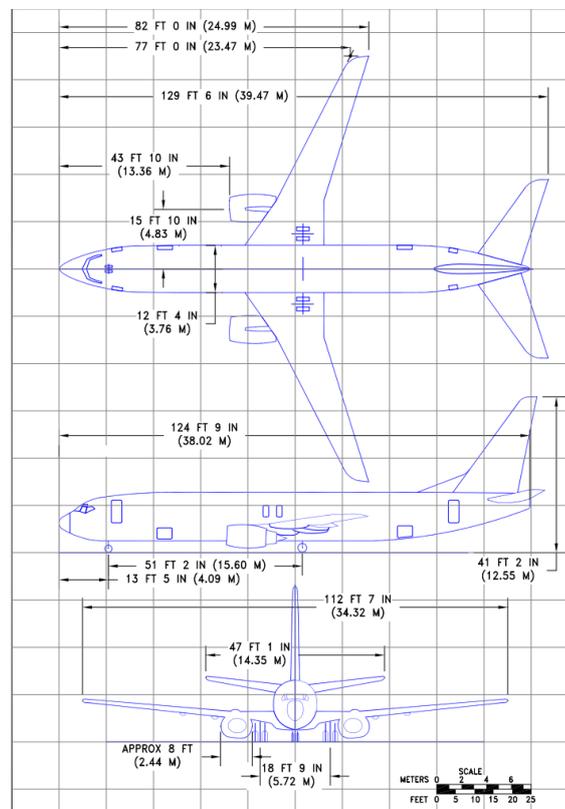


Figura 5. Dimensiones generales del Boeing 737-800 [2]

5.1.1. Longitud de pista necesaria en el despegue

Para el cálculo de la longitud de la pista, se ha de seleccionar un vuelo de referencia en el que basar el estudio. Se escoge la ruta que conecta el aeropuerto de “Ammán Queen Alia” en Jordania con la propuesta de aeropuerto que se lleva a cabo. Dicha ruta recorre, aproximadamente, 4.200 kilómetros.

El primer paso a la hora de calcular la longitud de la pista en el despegue es obtener el valor del peso máximo al despegue o BRGW (Brake Release Gross Weight) que representa el MTOW en cuestión. Para ello es preciso el alcance máximo y la carga de pago que posteriormente se introducirán en el diagrama de (Carga de Pago + OEW) – Alcance en un día estándar y sin viento de la aeronave. Este diagrama y todos los utilizados para el cálculo de pista se obtienen del manual del Boeing 737 generado y publicado por Boeing.

Tomando los 4.200 km de alcance o 2.300 millas y siendo la capacidad de 184 pasajeros con un valor estándar considerado de manera voluntaria de 100 kg de masa por cada uno de ellos, se concluye que su peso total de carga de pago será de 18.400 kg. A este peso se le debe sumar el valor del OEW (41,413 kg). El resultado total será de 59.813Kg (60.000 Kg aproximadamente). A continuación, se introducen los dos valores mencionados en el diagrama de la figura 6 y mediante interpolación lineal, figura 7, se determina que el BRGW es 170.000 Lb o 77.100 Kg.

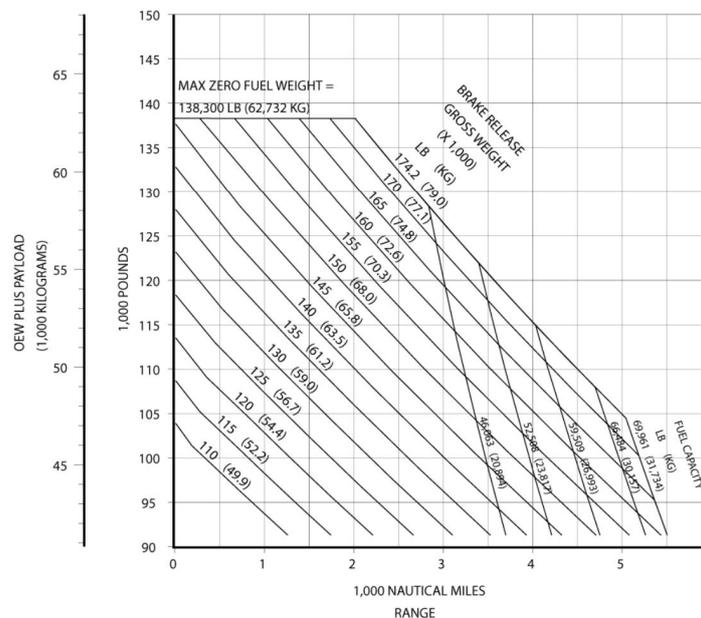


Figura 6. Diagrama Carga de pago - Alcance del Boeing 737-800[2]

Las condiciones del diagrama son para un día estándar, es decir, sin viento, con extracción de energía y purgas de aire acondicionado normal, reglas de misión típicas y, además, se muestra el rendimiento sin Winglets. Los aviones con Winglets, el caso que interesa, tendrán un alcance ligeramente mayor, pero no influye a la hora de calcular debido a que el alcance que se estudia está dentro del diagrama.

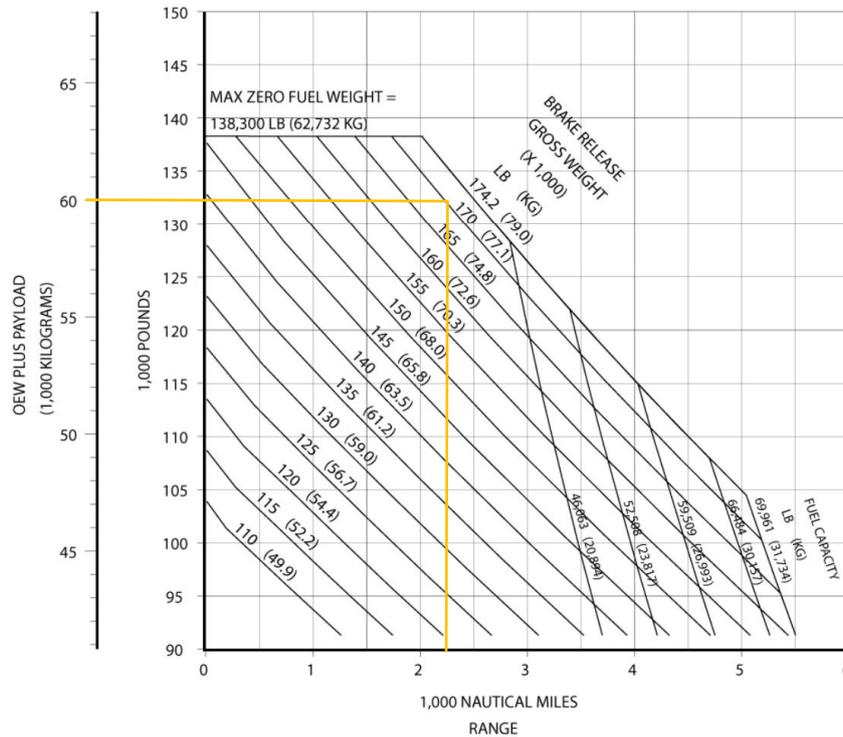


Figura 7. Brake Release Gross Weight de la misión [2]

Para hallar la distancia necesaria en el despegue también se ha de utilizar el diagrama proporcionado por Boeing que relaciona la longitud de pista con el peso recientemente obtenido. A la hora de realizar este cálculo se han de tener en cuenta las correcciones interpuestas por la elevación, temperatura y pendiente del terreno consideradas a continuación.

La elevación es de 624 m en el centro de la pista, luego su elevación se aproxima a 610 m (2000 pies) que es lo que proporciona la gráfica proporcionada por Boeing que se encuentra a continuación. La corrección de temperatura se implementará eligiendo el diagrama recientemente mencionado de manera correcta, ya que está disponible tanto para condiciones de atmosfera ISA +15°, como para ISA +27°. Las temperaturas a 610 m de altitud se corresponden aproximadamente con 26°C y 38°C, respectivamente (condiciones ISA a 610 m son 11,185°C).

Fórmula de la temperatura en la troposfera, según ISA	$T = T_0 - \alpha h$
Temperatura para $z = 0m$, según ISA	$T_0 = 288,15 K$
Gradiente de temperatura en troposfera, según ISA	$\alpha = c^{te} = 6,5 \frac{K}{Km}$

Tabla 3. Formulario ISA [Elaboración propia]

Dado que la temperatura media anual del aeropuerto es de 16°, según los datos meteorológicos publicados, se escoge la tabla que hace referencia a ISA + 15° a 610 m de altitud. De tener una temperatura mayor, sería necesario tener en cuenta la de +27° y hacer una interpolación entre ellas. Se introduce el valor obtenido de BRGW en la gráfica a continuación que lo relaciona con la longitud de pista en el despegue y se deduce que la longitud de pista necesaria para despegue es de 2.650 metros.

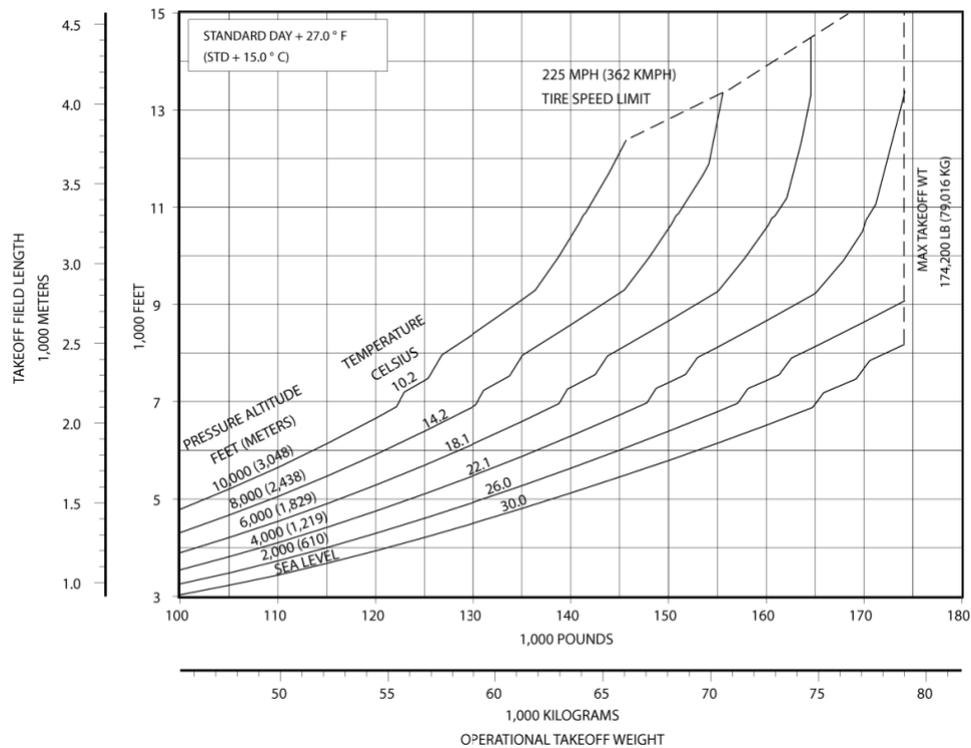


Figura 8. Diagrama “Distancia de pista requerida en el despegue” del Boeing 737-800 ‘STANDARD DAY +27°F (STD + 15°C), DRY RUNWAY’ [2]

La figura 8 hace referencia a una pista seca, sin viento y sin pendiente.

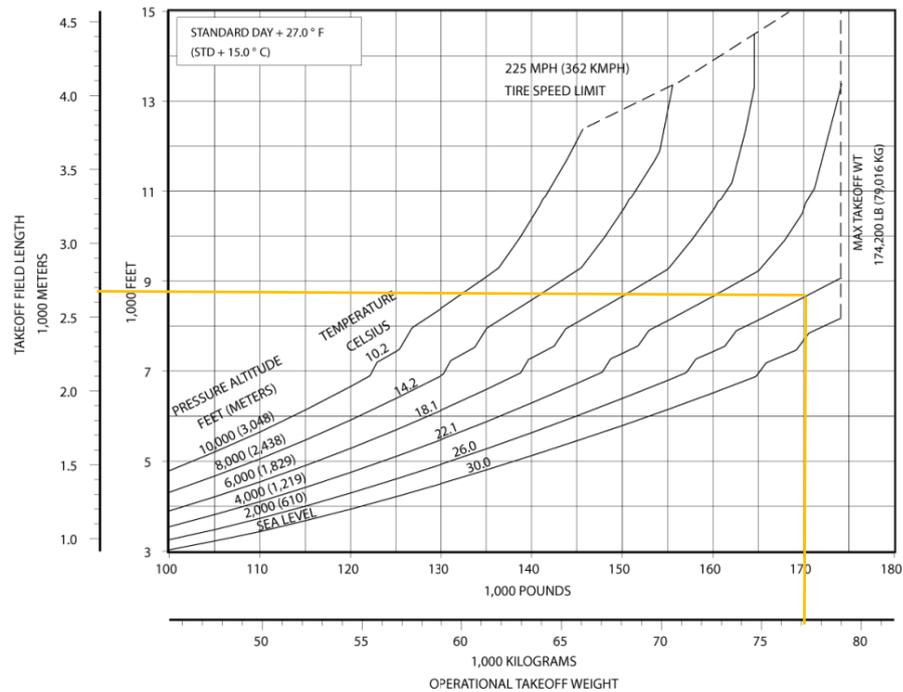


Figura 9. Longitud de pista en el despegue de la misión [2]

A continuación, se obtiene la pendiente a la que este terreno está sometido para su corrección. El desnivel obtenido entre los extremos de la nueva pista es de 35 metros, ya que tiene una elevación de 645 metros en el extremo izquierdo y 610 metros en el derecho. Es necesario aplicar la corrección establecida por la OACI que determina que la longitud de una pista se debe aumentar un 10% por cada 1% de pendiente longitudinal que haya en la pista. Así, siendo 35 metros el 1,32% de 2650m, la pista se ha de alargar un 13,2% que, en este caso, son 350 metros. Se concluye entonces que la longitud de la pista necesaria en el despegue es de 3000 metros.



Figura 10. Imagen satélite de la longitud de pista en el despegue [5]

5.1.2. Longitud de pista necesaria en aterrizaje

Para la resolución de este cálculo se va a utilizar el dato de MLW, Maximum Landing Weight, que es 66.361kg o 146.300lb. Se relaciona dicho peso con la longitud de pista necesaria para el aterrizaje en el diagrama a continuación, publicado por Boeing, que hace una diferenciación entre pistas húmedas y secas. Las probabilidades de precipitaciones en Casarrubios, haciendo la media, es del 14%, así que se realiza el cálculo para ambas condiciones.

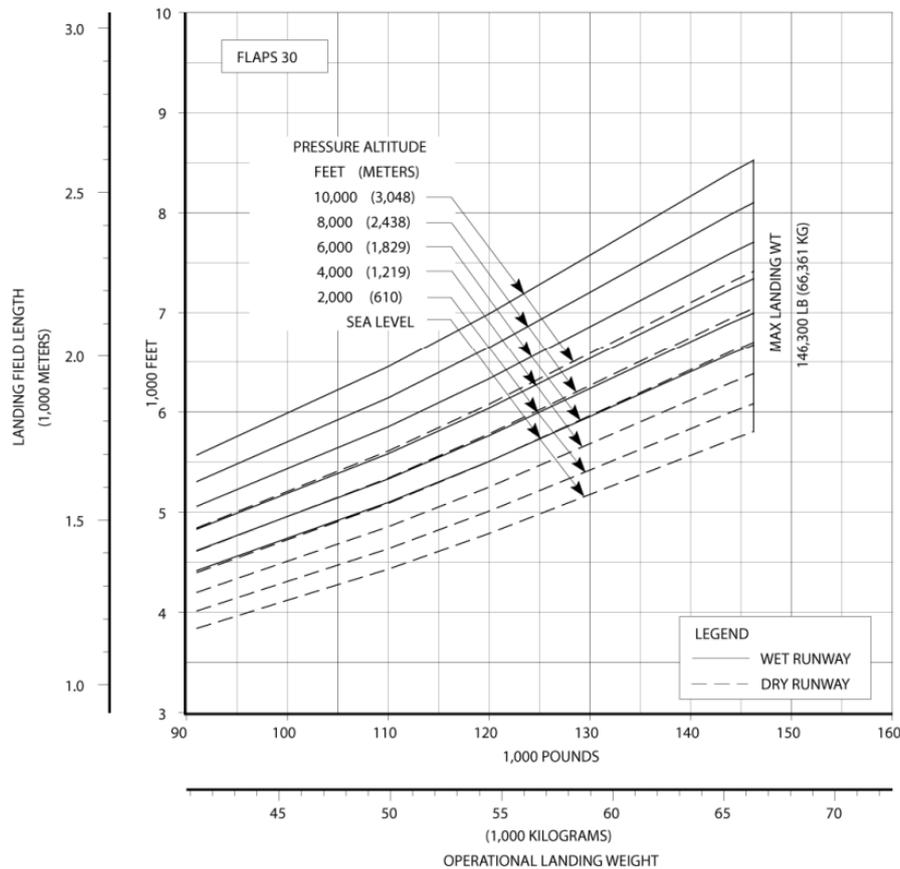


Figura 11. Diagrama de “Longitud requerida en el aterrizaje” del B737-800 en configuración flaps 30° [2]

Se puede observar en la figura 11 cómo se muestran las longitudes necesarias tanto con la pista seca (dry) como mojada (wet) con los flaps deflectados 30°.

Esta la gráfica hace referencia a un día estándar sin viento, con los auto spoilers operativos, antideslizante operativo y gradiente de pista cero. Los resultados obtenidos para estas dos condiciones a 610 m de altitud son 1.880 m en condición seca y 2.130 m en condición mojada. Véase a continuación.

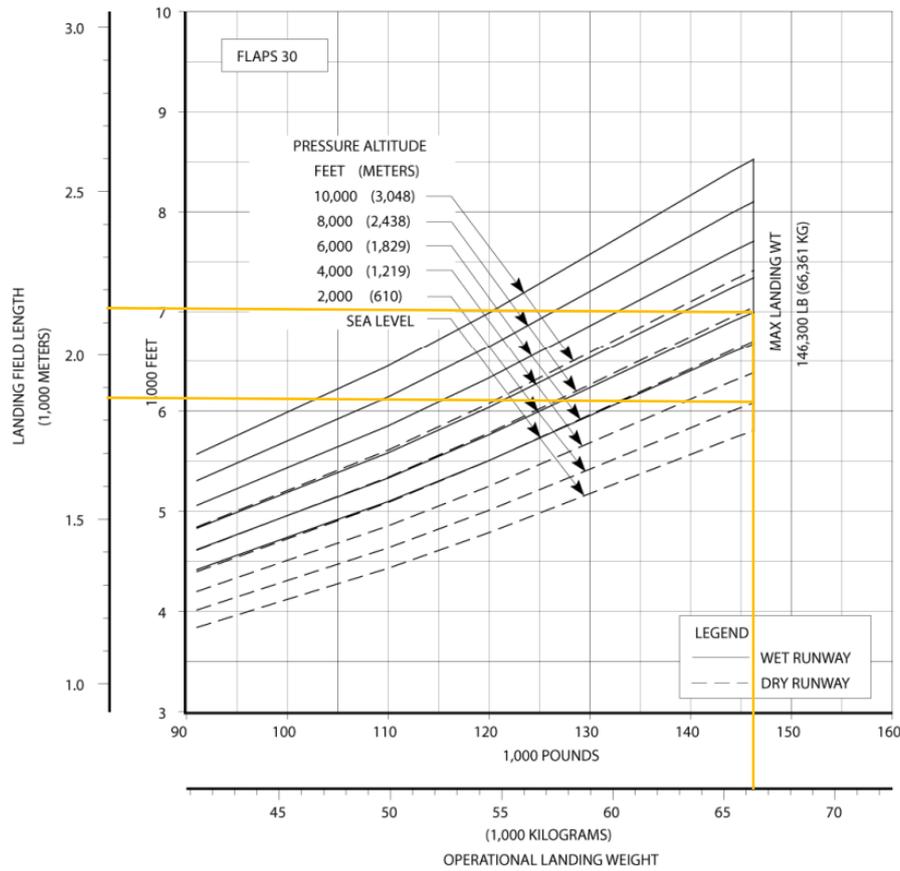


Figura 12. Longitud requerida en el aterrizaje de la misión [2]

En situación de aterrizaje también es necesario aplicar el factor de corrección que presenta la pendiente del terreno a la longitud de pista de 2.130 metros al ser la longitud más restrictiva en el aterrizaje. De esta manera y sabiendo que el terreno tendría un desnivel de 25 metros (teniendo en uno de los extremos una elevación de 638 m y en el otro 613 m), siendo el 1,17% de 2.130 m, la pista se ha de alargar un 11,7%, lo que equivale a alargarla 249,21 m. Como resultado, se obtiene una longitud de pista en el aterrizaje total de 2.380 m.



Figura 13. Imagen satélite de la longitud de pista en el aterrizaje [5]

5.1.3. Longitud de pista final y anchura

Finalmente, se decide que la distancia obtenida mayor debe ser la que se implementará para asegurar el correcto diseño de la misma y su posible utilización en situaciones adversas. Esta distancia final es de 3000 metros, la hallada para aplicaciones de despegue del B737 - 8AS para el alcance establecido.

A pesar haber llegado a la conclusión de que la longitud final es de 3000 metros, se lleva a cabo el diseño de una pista de 3500 metros como medida anticipatoria a futuras previsiones, ya que no sería idea descabellada que el aeropuerto evolucionara y creciera con el paso del tiempo.



Figura 14. Longitud de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Además de la longitud, existen otras características a determinar a la hora de construir una nueva pista en un aeropuerto, así como la anchura. El primer dato necesario para averiguar esta característica es la clave de referencia del aeropuerto, que en este caso particular es 4C según la tabla 1 del capítulo tres extraída del anexo 14 de la OACI. El cuatro se refiere a la longitud de campo de referencia del avión (longitud mínima que necesita en el despegue en condiciones MTOW), más de 1.800 metros, y la C a la envergadura del B737 800 AS (35,79m) que se encuentra entre 24m y 36 m. 4C también se dice 4 “Charlie” según el alfabeto aeronáutico.

Asimismo, la distancia entre el tren de aterrizaje principal es de 5,72 m, luego, cogiendo el valor más crítico para la letra de clave, será la C. Una vez se tiene la clave de referencia, se puede averiguar que la anchura de pista será de 45 metros gracias a una tabla publicada, de nuevo, en el anexo 14 y que se muestra a continuación.

Núm. de clave	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
1	18m	18m	23m	-	-	-
2	23m	23m	30m	-	-	-
3	30m	30m	30m	45m	-	-
4	-	-	45m	45m	45m	60m

Tabla 4. Anchura de pista [1]

5.2. Nueva pista: características físicas

A continuación, se manifiestan las características que tendrá la pista una vez deducidas sus dimensiones para conseguir que tenga la seguridad que requiere.

5.2.1. Pendiente de la pista

La pendiente longitudinal de la pista no debe exceder el 1% por ser código 4 (si fuera 3 ocurriría lo mismo). En el primero y el último cuarto de la longitud de la pista, la pendiente no debería exceder del 0,8%. Y por último, cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, este no deberá exceder el 1,5% [1].

La diferencia de nivel de la pista es de 25 metros, es decir, se genera una pendiente longitudinal del 0,71%, encontrándose dentro de los límites establecidos por la OACI.



Figura 15. Pendiente longitudinal de la pista [Elaboración propia en AutoCAD]

5.2.2. Márgenes de pista

Son superficies que se encuentran a los lados de la pista o de las zonas de parada construidas para minimizar el daño que podría causar una aeronave que se salga de dicha pista o dicha zona, por lo que deben poder soportar el peso del avión y el de los vehículos terrestres que puedan circular por encima. Se han de proporcionar para toda pista con letra de clave D o E y deberán extenderse simétricamente a ambos lados de forma que tenga una anchura final inferior a 60 metros. Su superficie debería estar al mismo nivel que la de la pista y la pendiente transversal que constituya no debe exceder el 2,5%. Por lo que se puede concluir, verificado por el anexo 14, que la pista recientemente diseñada no necesitaría márgenes de pista, pues se trata con una letra de clave C.

Independientemente de la explicación anterior, se incluyen márgenes con una anchura de 59 metros para proporcionar mayor seguridad. Tienen la siguiente forma.

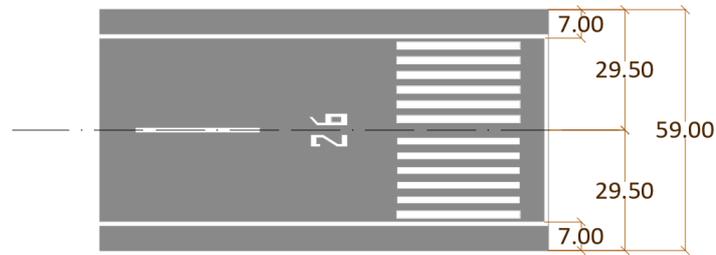


Figura 16. Recorte acotado del margen de pista [Elaboración propia en AutoCAD]

5.2.3. Franjas de pista

Se habla de una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese, destinada a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista y a proteger a las que sobrevuelan durante las operaciones de despegue o aterrizaje.

Similar a los márgenes de pista, la franja se extiende lateralmente desde el centro de la pista hasta más allá del extremo de pista con el objetivo de proporcionar un área sin obstáculos que supusiesen un peligro para las aeronaves. Todo objeto presente en la misma ha de ser frangible y tener la altura mínima posible. Se ha de proporcionar una franja de una distancia de al menos 60 metros más allá del umbral de la pista por ser número de clave 4. En cuanto a su anchura ha de ser de al menos 150 metros por el mismo motivo. Se decide, con ayuda del anexo 14 de la OACI mencionado numerosas veces, que la franja tiene la forma descrita en la figura 17 debido a que es recomendada por la Organización de Aviación Civil Internacional. Esta franja en particular ha sido diseñada considerando la información de las aeronaves que se desvían de la pista. La sección se expande lateralmente hasta alcanzar una distancia de 105 metros desde el centro, sin embargo, gradualmente se reduce a 75 metros en los extremos a lo largo de una extensión de 150 metros, contada desde el extremo de la pista. La superficie estará al mismo nivel que la superficie de la pista, margen o zona de parada.

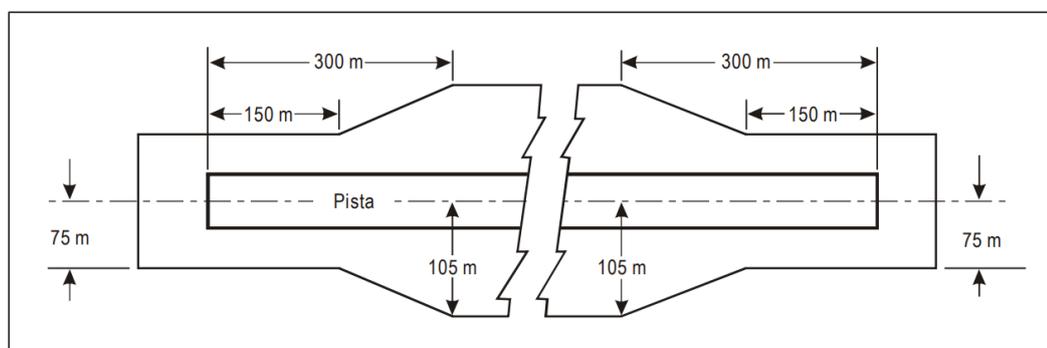


Figura 17. Parte nivelada de la franja de una pista para aproximaciones de precisión con número de clave 3 o 4 [1]

Por motivos de seguridad, exceptuando las ayudas visuales necesarias para la navegación aérea, se prohíbe la presencia de objetos fijos dentro de la franja en una distancia de 60 metros al eje de la pista de aproximación de precisión de categoría I, II o III por ser número de clave 4. Además, la franja situada por lo menos 30 m antes del comienzo de la pista debe prepararse contra la erosión producida por el chorro de los motores, a fin de proteger los aviones que aterrizan de los peligros que representan los bordes expuestos.

Como se ha mencionado varias veces, el número de clave es el 4, luego las pendientes longitudinales a lo largo de la porción de una franja que ha de nivelarse no deberían exceder del 1.5%. Se aconseja que los cambios de pendiente en la parte de una franja que haya de nivelarse sean lo más graduales posible, evitando así los cambios bruscos o las inversiones repentinas de pendiente. Las pendientes transversales que hayan de nivelarse deben ser adecuadas para impedir la acumulación de agua en la superficie sin exceder el 2.5% excepto que, para facilitar el drenaje, pueda llegar hasta el 5%.

En el procedimiento de salvamento y extinción de incendios sería necesario tener en cuenta el emplazamiento de los conductos de aguas pluviales descubiertos dentro de la parte no nivelada de la franja de una pista. Medida necesaria que queda únicamente planteada en el proyecto sin llegarse a introducir en el diseño debido al límite de extensión.



Figura 18. Franja añadida a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.2.4. Áreas de seguridad de extremo de pista (RESA)

Un área de seguridad de extremo de pista es construida con el fin de reducir el riesgo de daño que pueda correr un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o que se salga del extremo de la pista, intensificar la deceleración del avión y facilitar el movimiento de los vehículos de salvamento y extinción de incendios.

Uno de los requisitos para que se provea un área de seguridad de extremo de pista en cada extremo de una franja de pista es que el número de clave sea 3 o 4, luego en este caso es necesario incluirla en el planteamiento. Éste área se extenderá desde el extremo de una franja de pista hasta por lo menos 90 m debido nuevamente a su número de clave. Aun así, se recomienda que el área de seguridad de extremo de pista se extienda, en la medida de lo posible,

desde el extremo de la franja hasta una distancia de por lo menos 240 metros, o una longitud menor cuando se instale un sistema de parada.

Respecto a la anchura, debe ser de por lo menos el doble de la anchura de pista. Incluso, si es posible, se prefiere que la anchura del área de seguridad de extremo de pista sea igual a la anchura de la parte nivelada de la franja de pista correspondiente.

Un factor a tener en cuenta es qué objetos puede haber en las áreas de seguridad de extremo de pista. Aquellos que puedan poner en peligro a los aviones, deben considerarse como obstáculo y eliminarse siempre que sea posible. Esta área debe presentar una superficie despejada y nivelada.

Respecto a las pendientes longitudinales y transversales, no deben sobrepasar una inclinación del 5% y deben ser lo más graduales posibles.

De este modo, se decide utilizar una RESA en cada extremo de franja de 240 metros de largo y 150 metros de ancho, omitiendo así la necesidad de una zona de parada (SWY).



Figura 19. RESA añadida a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

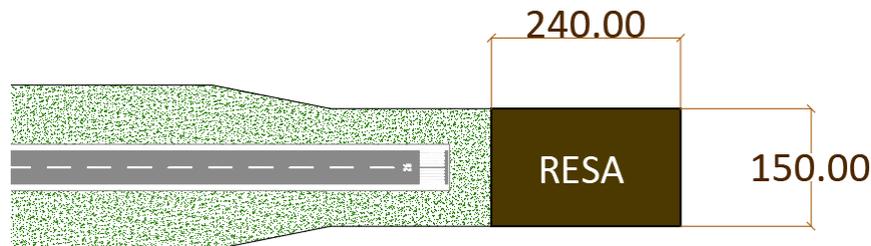


Figura 20. RESA de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

5.2.5. Zonas libres de obstáculos (CWY)

El CWY es una zona rectangular delimitada por tierra o agua, bajo control de la autoridad competente y preparada como espacio apropiado donde una aeronave puede realizar su fase inicial de ascenso.

El origen de la zona libre de obstáculos debe comenzar donde acabe la pista disponible en el despegue y debe tener una longitud inferior a la mitad de la TODA con una anchura de al menos 75 metros al ser un vuelo por instrumentos. Luego, la anchura considerada es de 75 metros y la longitud de 500 metros, superando así el 15% de la longitud de pista necesaria en el despegue con destino Amán y estando así en terreno seguro según la definición de la distancia necesaria en el despegue sin fallo motor. [1]

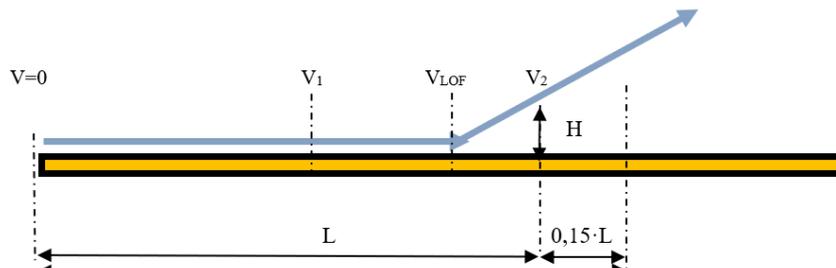


Figura 21. Distancia necesaria en el despegue sin fallo motor [Elaboración propia]

Se formula el siguiente diseño:

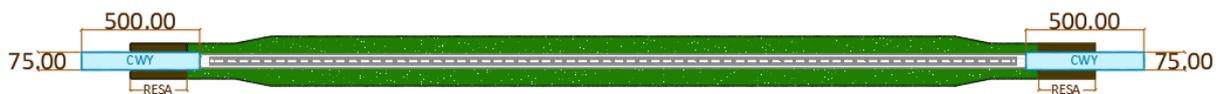


Figura 22. CWY añadido a la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

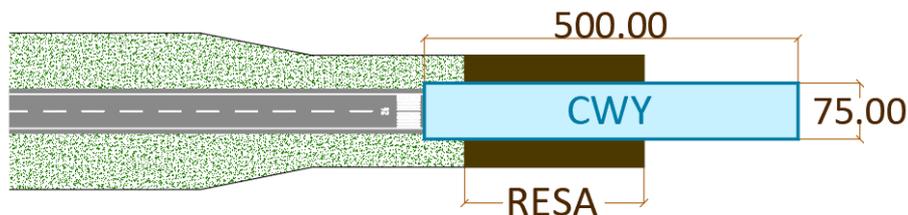


Figura 23. CWY de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

5.2.6. Zonas de parada (SWY)

Son zonas habilitadas para que aquellos aviones que hayan tenido un despegue frustrado frenen con total seguridad. Es importante mencionar que las zonas de parada no son obligatorias de incluir, y que en caso de que sí, tendrán la misma anchura que la pista con la cual esté asociada.

En relación a esta situación particularmente se decide no incluir zona de parada por dos importantes motivos: el primer motivo es la RESA incluida anteriormente cuyas dimensiones omiten la necesidad de una zona de parada. El segundo motivo son los 500 metros añadidos a

la longitud de pista final como previsión futura. De este modo se entiende que, por el momento, no sería necesario de ninguna manera añadir una zona de parada.

5.3. Nueva pista: señalización horizontal

Este apartado vuelca toda su atención en la señalización de pista. Es dato útil ya que el objetivo de la señalización es informar a los pilotos sobre los diversos tramos en los que se divide la pista. Cabe mencionar que toda la señalización de pista es de color blanco.

5.3.1. Señal de eje de pista

Primero se identifica la señal de eje de pista. Se dispone a lo largo del eje de la pista entre las señales de eje de pista que son diseñadas más adelante. Es importante que, tanto la longitud de la faja como la del intervalo, se redondeen a décimetros. La finalidad, como su nombre indica, es clarificar cuál es el eje de la pista. Ésta señal discontinua se conforma de líneas de 0,90m de ancho por ser una pista CAT II al tener en invierno condiciones meteorológicas nublosas con baja visibilidad y 30 m mínimo de largo con separaciones mínimas de 20 metros [4]. Estas medidas variarían si el ancho de pista variara. La señal de eje de pista en cuestión es la siguiente:

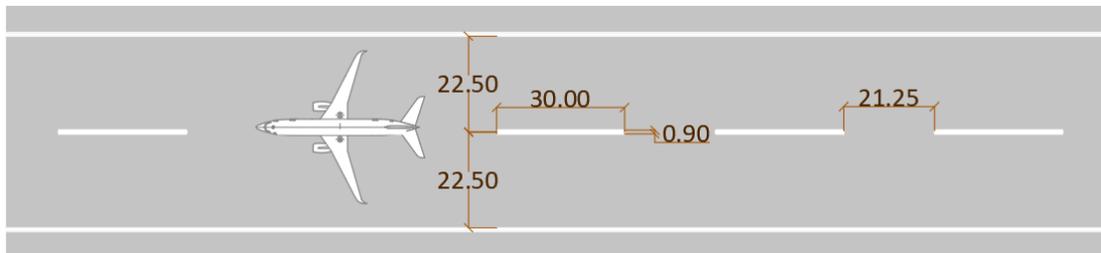


Figura 24. Señal de eje de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.2. Faja lateral de pista

Se amplía la franja adyacente a la pista en ambos lados del eje de pista entre los umbrales con el fin de marcar el borde de la pista. El grosor de la señal es de 0,9 metros por tener una anchura de pista de mas de 30 metros según el Manual Normativo de Señalización en el Área de Movimiento EXA 40:

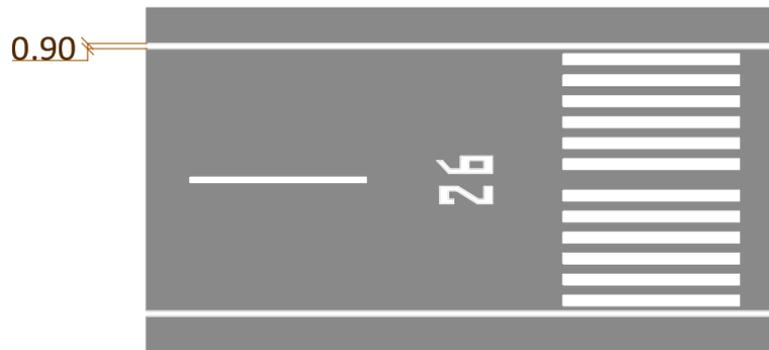


Figura 25. Faja lateral de pista [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.3. Señal designadora de pista

La señal designadora de pista consiste en un número de dos cifras, que es, el entero más próximo a la décima parte del azimut magnético del eje de la pista, medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte magnético, visto en la dirección de la aproximación [1].

De manera más simplificada, la señal designadora de pista, pintada en color blanco, responde al ángulo que existe entre la pista y el norte magnético, existiendo siempre una diferencia de 180° entre el número designador de uno de los extremos de la pista y el otro. Cuando existen pistas paralelas, esta señal va acompañada de una letra en función de su posición. Puede ser con la L, indicando que está a la derecha, la R, señalizando la izquierda, e incluso, puede tener una C cuando se trate de pistas centrales. En el caso del aeropuerto de Madrid Sur que se está llevando a cabo, no hace falta una letra designadora al tener una única pista. Aun así, como se menciona varias veces, se espera un futuro crecimiento en el que, quizá, será necesario incluir las letras recién comentadas.

En el lado izquierdo de la presente pista hay un 08, que indica que la pista está a 80° respecto del norte magnético, y en el lado derecho un 26, 260° respecto del norte magnético. Los números y letras que conforman esta señal deben tener unas dimensiones y formas específicas [1].



Figura 26. Señales designadoras de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

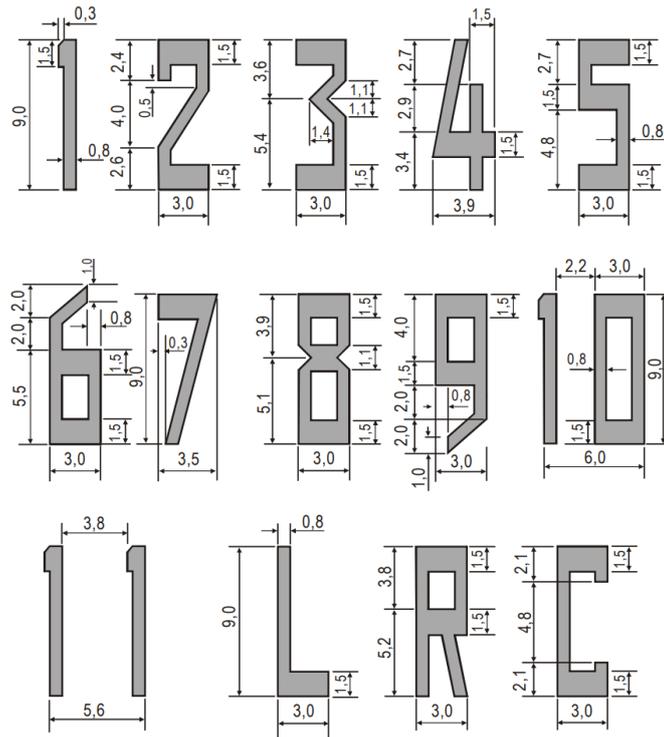


Figura 27. Proporciones (en metros) de las señales designadoras de pista [1]

Estas señales designadoras se situarán a 12 metros de la señal de umbral, que es detallada en el siguiente apartado.

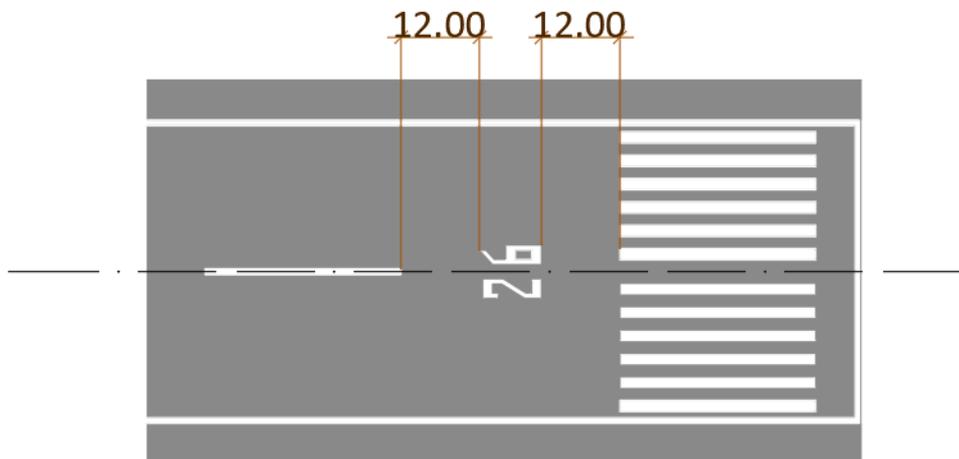


Figura 28. Recorte acotado de señal designadora de pista con respecto al umbral y al eje de pista [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.4. Señal de umbral

Esta señal es necesaria siempre que el número de clave sea 3 ó 4. Está destinada al transporte aéreo comercial internacional, luego ambos factores indican que es necesario

añadirla en el proyecto. Esta señal define el comienzo de la zona utilizable de la pista para el aterrizaje.

Consiste en una configuración de fajas longitudinales uniformes colocadas de forma simétrica con respecto al eje de la pista.

Anchura de la pista	Número de fajas
18m	4
23m	6
30m	8
45m	12
60m	16

Tabla 5. Número de fajas del umbral según la anchura de pista [1]

Con 45 metros de anchura se deben pintar 12 fajas. Cada faja contiene un ancho de 1,8m y una separación igual. La separación central medirá el doble, 3,6m. Entre el umbral y la señal designadora hay una distancia de 12m. Y entre el umbral y el extremo de pista, 6m.

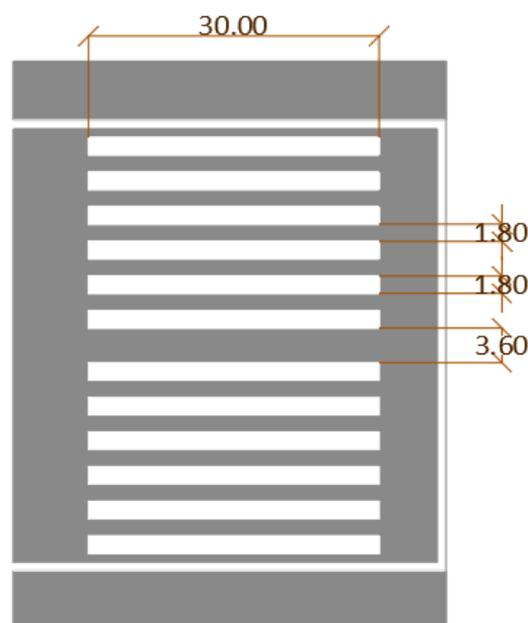


Figura 29. Señal de umbral de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.5. Señal de zona de toma de contacto

Según el anexo 14 se dispone de una señal de zona de toma de contacto en el área de toma de contacto de la pista para aproximaciones de precisión de clave 2, 3 o 4. Consiste en pares de señales rectangulares colocadas simétricamente respecto al eje de la pista. El espaciado será el mismo que el de las señales de punto de visada, entre 18 y 22,5 metros. Los pares de señales se disponen con espacios de 150 m a partir del umbral. En pistas para aproximación de

precisión es necesaria esta señal. Al tener una distancia entre umbrales de más de 2.400 m se necesita el conjunto completo de pares de señales, es decir, seis pares de señales según la tabla a continuación.

Distancia de aterrizaje disponible o distancia entre umbrales	Pares de señales
Menos de 900 m	1
900 - 1.200 m	2
1.200 - 1.500 m	3
1.500 – 2.400 m	4
2.400 m o más	6

Tabla 6. Pares de señales de señal de zona de toma de contacto [4]

La apariencia de la señal de zona de toma de contacto de la pista diseñada es la que aparece en el siguiente recorte acotado en AutoCAD.

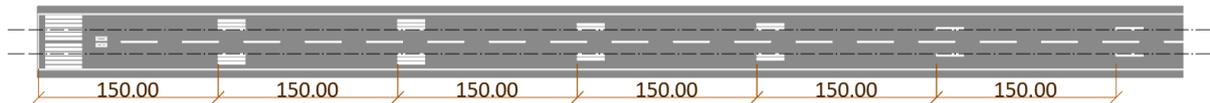


Figura 30. Señal de zona de toma de contacto de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

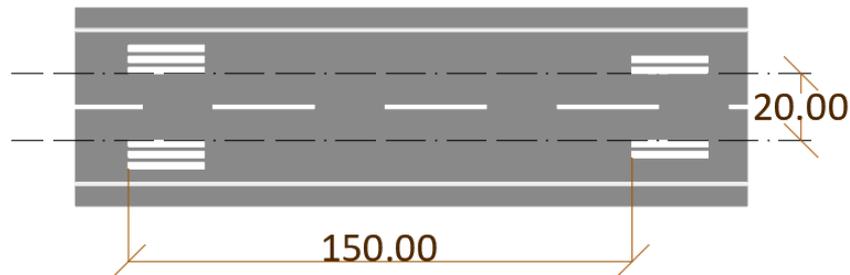


Figura 31. Señal de zona de toma de contacto en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

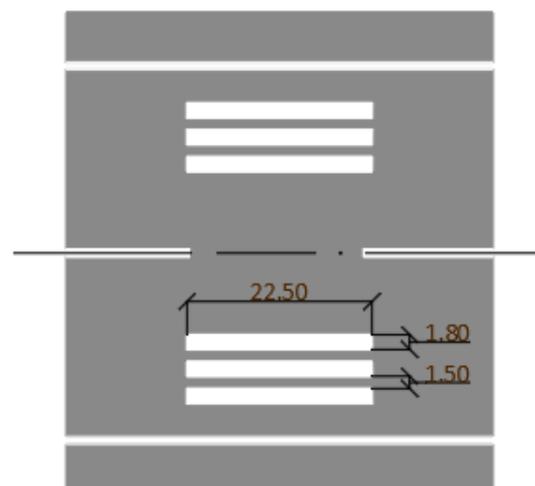


Figura 32. Señal de zona de toma de contacto acotada en máximo detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.6. Señal de punto de visada

Señal presente en cada extremo de aproximación de las pistas de vuelo por instrumentos con numero de clave 2, 3 o 4 con el objetivo de proporcionar una referencia visual clara y visible al piloto para alinear adecuadamente la aeronave con el eje de pista, motivo por el cual la señal es más gruesa que las demás.

Consiste en dos fajas situadas simétricamente respecto al eje de pista. Las dimensiones de las fajas varían en función de la distancia de aterrizaje disponible (LDA) y el espaciado entre ellas es el mismo que el de la señal de toma de contacto. Se obtienen las medidas de esta señal seguidamente con ayuda de la tabla.

Emplazamiento y dimensiones	LDA<800m	800<LDA<1.200m	1.200<LDA<2.400m	LDA≥2.400m
Distancia entre el umbral y el comienzo de la señal	150m	250m	300m	400m
Longitud de la faja	30-45 m	30-45 m	45-60 m	45-60 m
Anchura de la faja	4m	6m	6-10 m	6-10 m
Espacio lateral entre los lados internos de las fajas	6m	9m	18-22,5m	18-22,5m

Tabla 7. Emplazamiento y dimensiones de la señal de punto de visada [1]

Se concluye que la señal de punto de visada debe guardar una distancia de 400m entre el comienzo del umbral y el de la señal en cuestión, tener una longitud entre 45 y 60 metros y un grosor entre 6 y 10 metros. El espaciado entre los lados internos de las fajas está comprendido entre 18 y 22,5 metros. Si la señal de toma de contacto coincide con la señal de punto de visada o se sitúa a una distancia igual o menor a 50 metros de ésta, esa señal de toma de contacto se omite, según la administración federal de aviación. Se muestra recorte acotado definitivo de esta señal:

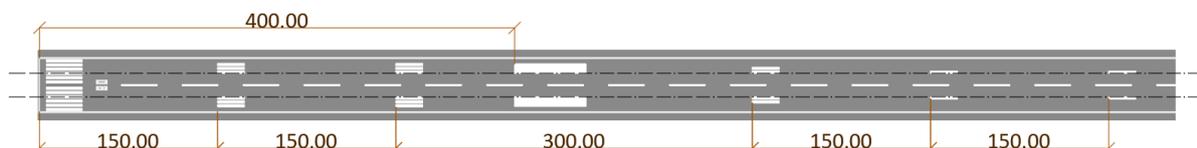


Figura 33. Señal de punto de visada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

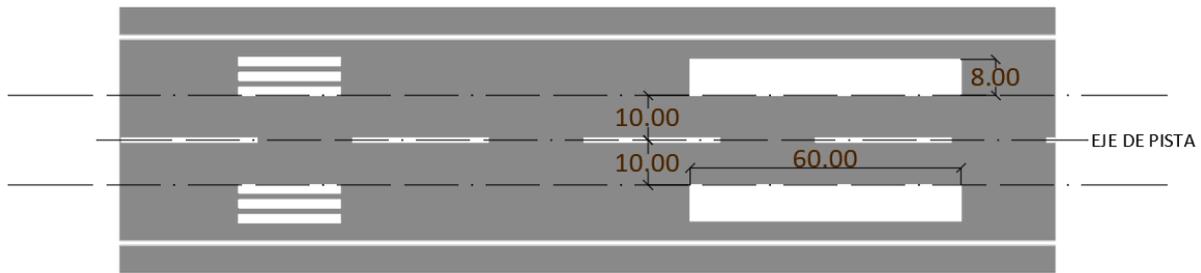


Figura 34. Señal en detalle de punto de visada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.3.7. Señal de punto de espera de la pista

Señal presente en los puntos de espera de la pista. Es perpendicular al eje de la calle de rodaje donde se encuentre y se extiende por todo su ancho. Es, además, la única señal de pista que es de color amarillo al igual que la señalización de las calles de rodaje. En intersecciones de calle de rodaje con pista para aproximaciones de precisión CAT I, II, o III, cuando se proporcionen dos o más puntos de espera, la señal de punto de espera más cercano a la pista será de configuración A y las más lejanas de configuración B. En este caso sólo tendrá una debido a que no se prevé un tráfico extremadamente alto en comparación con otros aeropuertos que utilizan dos [4]. Para establecer el punto de espera se analizan y documentan las posibles interferencias que puedan darse con vuelos simultáneos en las calles de rodaje. Para esto, normalmente se tiene en cuenta la aeronave más restrictiva y las posibles variaciones en el punto de parada que se pudieran dar. Además, con el fin de mejorar la eficiencia se instalan barras de parada para evitar que las aeronaves y los vehículos entren accidentalmente en la pista. Las barras de parada son diseñadas en el apartado de luces.

En primer lugar, se ubica el punto de espera con ayuda de la tabla a continuación.

	Número de clave			
	1	2	3	4
Aproximación visual	30m	40m	75m	75m
Aproximación de no precisión	40m	40m	75m	75m
Aprox. de precisión CAT I	60m	60m	90m	90m
Aprox. De precisión CAT II y III	-	-	90m	90m
Despegue	30m	40m	75m	75m

Tabla 8. Distancias mínimas entre el eje de la pista y un punto de espera [4]

La distancia entre el eje y el punto deseado son 90 metros. El ancho lo marcará la señal de borde de calle de rodaje explicada en el capítulo siguiente y el diseño en configuración A debe ser, según el EXA 40, de la siguiente manera:

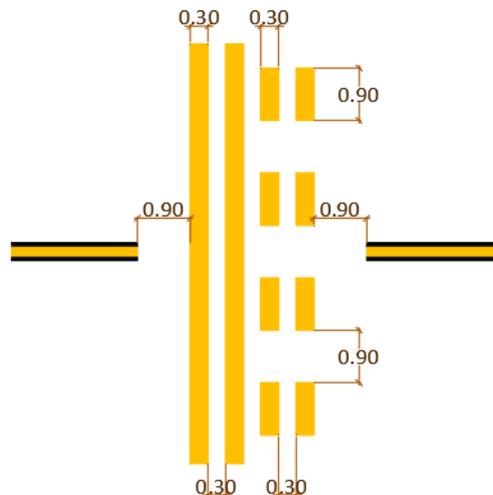


Figura 35. Formato señal de punto de espera en metros [4]

La línea discontinua apunta a la pista y la continua hacia la calle de rodaje. En el plano tiene la próxima forma.

Se incluye en todas las calles de rodaje excepto en la central, ya que no será de doble sentido, se considera únicamente válida en el sentido de salida de pista, luego sería innecesario incluir esta señal.

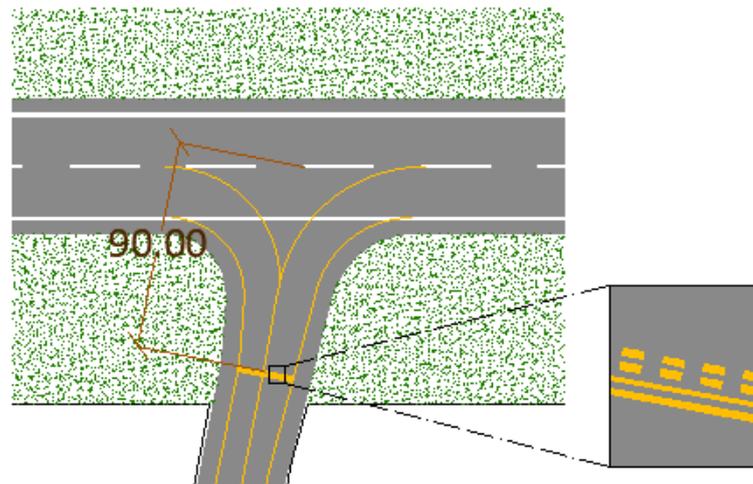


Figura 36. Recorte de la señal de punto de espera [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4. Nueva pista: luces

Las luces aeronáuticas o balizas, son un tema delicado ya que pueden ser peligrosas para la seguridad de los aviones causando confusiones. Estas pueden ser elevadas o empotradas y

deben tener una intensidad adecuada la cual, para conseguirla, es necesario que la luz sea direccional, visible dentro del ángulo óptimo y que su orientación cumpla con los requisitos de la misión. Es importante saber que las luces, en muchas ocasiones, son incluso más eficaces que las señales.

5.4.1. Iluminación de aproximación

Este sistema de iluminación siempre parte de uno sencillo que varía en función de la categoría de aproximación. El sistema sencillo está formado por una fila de luces que prolongan eje de pista hasta una distancia de, al menos 420 metros del umbral separadas 60 o 30 metros, según se considere conveniente, y con una barra transversal a los 300 metros del umbral de 18 o 30 metros de longitud, según las necesidades, formada por luces con una separación entre ellas de 1 a 4 metros. Si la barra es de 30 metros pueden dejarse espacios vacíos a cada lado del eje menores de 6 metros [1].

Cuando se habla de luces de aproximación de precisión de CAT I, se refiere a un sistema muy similar al anterior pero con una prolongación de hasta 900 metros desde el umbral con luces blancas variables equiespaciadas 30 m que deben ser: una luz en los primeros 300 metros, dos en los siguientes 300 m intermedios del eje y tres en los 300 últimos metros o bien colocando barretas [1].

Finalmente, si se refiere a una categoría II o III, en este caso CAT II es la que nos interesa, se trata nuevamente de una prolongación del eje de pista extendido hasta 900 m a partir del umbral, con barretas color blanco variable, a las que se añaden barretas de color rojo en los laterales hasta 270 metros del umbral con espacios de entre 18 y 22,5 metros, utilizando el espacio ya establecido entre las señales de zona de toma de contacto insertadas anteriormente, y dos barras transversales, una a 150 m y otra a 300. En los primeros 300 m las luces son blancas variables y las luces de los laterales. En los 600 m restantes permanecen blancas. Al igual que en la CAT I, la separación entre las barretas será de 30 metros, utilizando esta separación entre el umbral y la primera barreta también [1].

Las barretas de luces blancas colocadas en el centro, que se intercalan con luces de destellos (dos por segundo), tendrán 4 m de longitud como mínimo estando las luces uniformemente espaciadas a intervalos no superiores a 1,5 m.

Las barretas de luces rojas mantienen la longitud y el espaciado de las barretas luminosas de la zona de toma de contacto, es decir, estarán espaciadas 20 metros y tendrán una longitud

de 3 metros con 3 luces rojas espaciadas un metro cada una [1]. El diseño de las luces de aproximación de la pista, impuesto en ambos extremos de pista, es el siguiente.

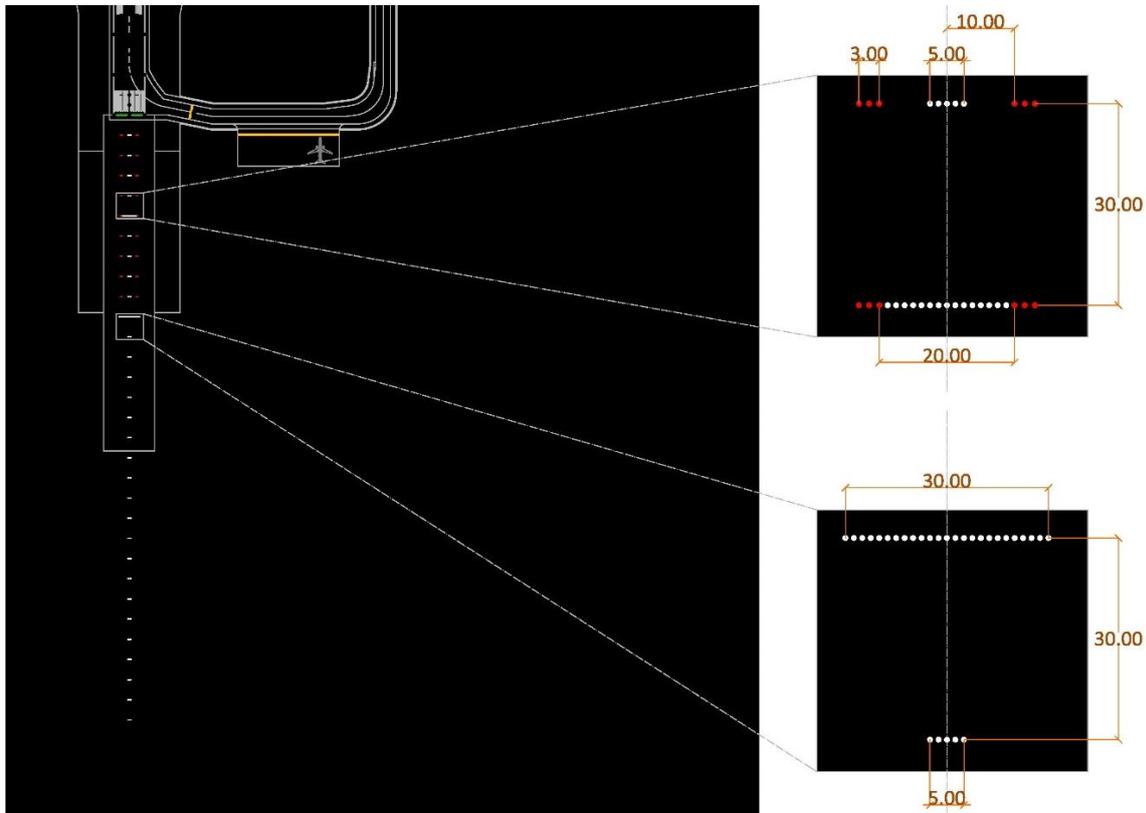


Figura 37. Iluminación de aproximación de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Este sistema de iluminación de aproximación se considera lo suficientemente eficaz de manera que no será necesario incluir luces de entrada de pista.

5.4.2. Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación

Con el objetivo de facilitar la aproximación a la pista y con ayuda del anexo 14, se proporcionará un sistema visual indicador de pendiente de aproximación, clasificado en:

- T-VASIS y AT-VASIS
- PAPI y APAPI

Teniendo número de clave 4, se podrán instalar PAPI, T-VASIS o AT-VASIS explicados a continuación.

5.4.2.1. T-VASIS Y AT-VASIS

El T-VASIS consiste en 20 elementos luminosos simétricamente dispuestos respecto al eje de la pista conformando dos barras de ala de cuatro elementos cada una contadas en su punto medio por filas de seis luces.

El sistema AT-VASIS está compuesto de 10 luces dispuestos a un lado de la pista en forma de una barra de ala con cuatro luces cortada en su punto medio por una fila de seis luces.

En ambos sistemas, los elementos serán tales que:

- Cuando la aeronave mantenga una inclinación adecuada, el piloto percibirá todas las luces de barra de ala en tono blanco.
- En caso de volar por encima de la trayectoria correcta, el piloto observará las barras de ala en blanco junto con uno, dos o tres elementos luminosos que indican “descienda”. Así, cuantos más elementos se visualicen, mayor será la altitud del piloto con respecto a la pendiente de aproximación.
- Si el avión se encuentra por debajo de la trayectoria deseada, el piloto verá las barras de ala blancas y uno, dos o tres elementos luminosos que señalen “ascienda”. La cantidad de elementos luminosos visibles aumentará a medida que el piloto se encuentre a una altitud más baja en relación a la pendiente de aproximación.
- En caso de volar muy bajo, el piloto notará que las luces de barra o los tres elementos luminosos que indican “ascienda” se iluminan en rojo.

5.4.2.2. PAPI

El sistema PAPI está formado por una barra de ala de 2 o 4 elementos colocados a los lados de la pista de manera que:

- Cuando el avión vuele correctamente, el piloto vea las dos luces más cercanas a la pista de color rojo y las dos más alejadas de color blanco.
- Si vuela por encima, el piloto observa roja la luz más cercana a la pista y blancas las otras tres, siendo todas blancas en una posición aún más elevada.
- Si vuela por debajo, vea blanca la luz más alejada a la pista y las otras tres de color rojo, siendo rojas todas en una posición aún más baja.

En esta pista se decide instalar el sistema PAPI en ambos extremos, teniendo el siguiente diseño. La distancia del umbral a los focos del sistema PAPI se calcularía haciendo un balance entre las ayudas visuales y las no visuales, de modo que se lograra una mayor visibilidad. Esa distancia no se calcula en el presente proyecto, pero se toman referencias de otros aeropuertos con el sistema ya instalado, y, por el momento, los focos se instalan a una distancia de 300 metros del umbral.

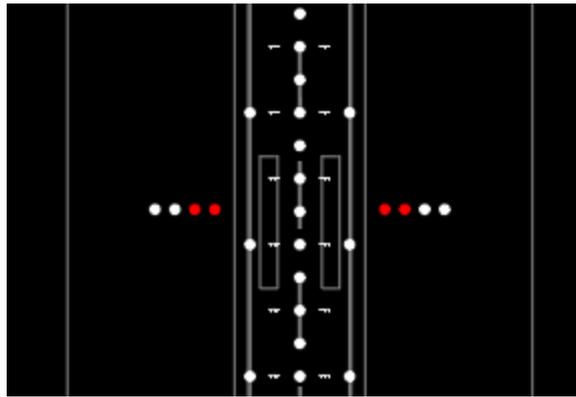


Figura 38. Luces PAPI de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.3. Luces de umbral de pista

Este sistema luminoso es necesario ya que tenemos una pista de CAT II con un sistema de luces de borde de pista, que está explicado a continuación. Consiste en una línea perpendicular al eje de la pista a una distancia del extremo de ésta tan cerca como sea posible con una separación equidistante de 3 metros entre ellas hasta alcanzar los bordes de pista. Son luces fijas unidireccionales y de color verde. De nuevo se instalan en ambos lados de la pista.

Se considera innecesario añadir luces de identificación de umbral de pista ya que se pueden apreciar con claridad las luces de umbral instaladas.

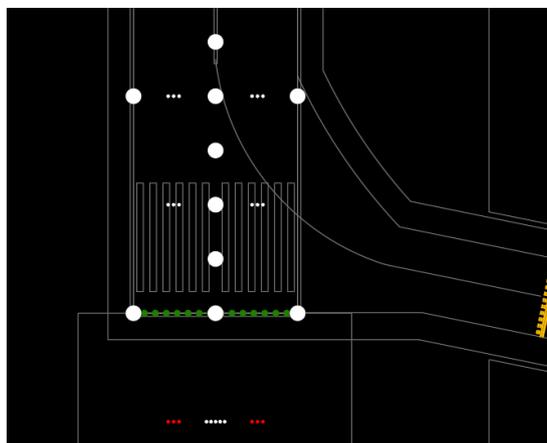


Figura 39. Luces de umbral de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.4. Luces de borde de pista

Estas luces se emplazan a lo largo de toda la pista formando dos filas paralelas y a la misma distancia del eje de pista. No pueden excederse más de 3 metros del área destinada a servir de pista. Al ser un vuelo por instrumentos, éstas no deben estar espaciadas más de 60 metros y deben ser de color blanco variable. Esta luz debe ser visible en todos los ángulos de azimut, es decir, se debe apreciar desde ambos sentidos de la pista. Además, deberán ser visibles

hasta 15° sobre la horizontal, con unas condiciones de visibilidad adecuadas para despegues y aterrizajes.

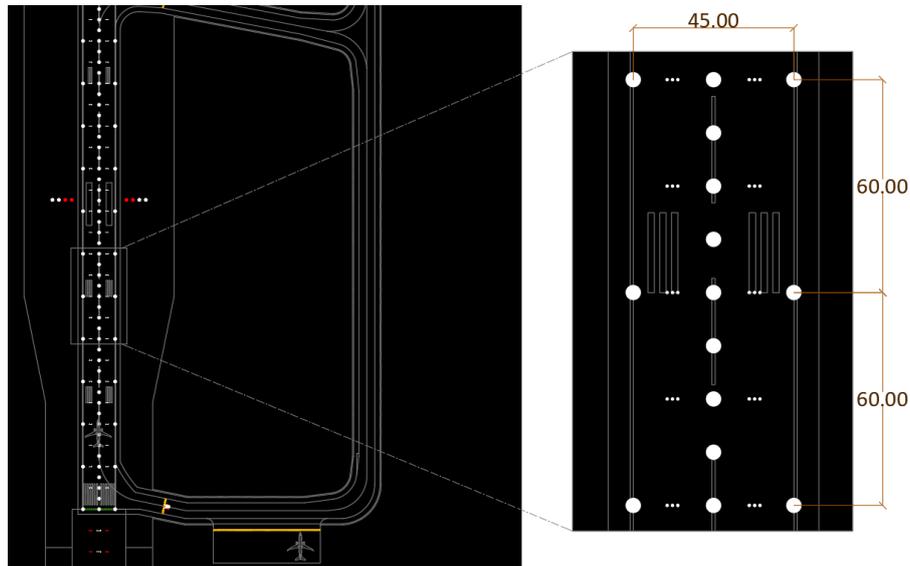


Figura 40. Luces de borde de pista [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.5. Luces de extremo de pista

Las luces de extremo de pista son necesarias ya que el umbral se encuentra en el extremo de la pista. Se emplazan en una perpendicular al eje, tan cerca del extremo como sea posible, no sobrepasando nunca más de 3 metros al exterior del mismo.

Consiste en, al menos, seis luces que deben estar espaciadas entre las filas de luces de borde pista de manera uniforme y simétrica con respecto al eje de pista en dos grupos. Deben tener un espacio entre estos que no sobrepase la mitad de la distancia entre las filas de luces de borde de pista.

Estas iluminaciones son fijas y unidireccionales de color rojo, de manera que se puedan ver en la dirección de la pista, y con una intensidad y abertura de haz adecuadas. Están colocadas en ambos extremos, al igual que todo el sistema de iluminación.

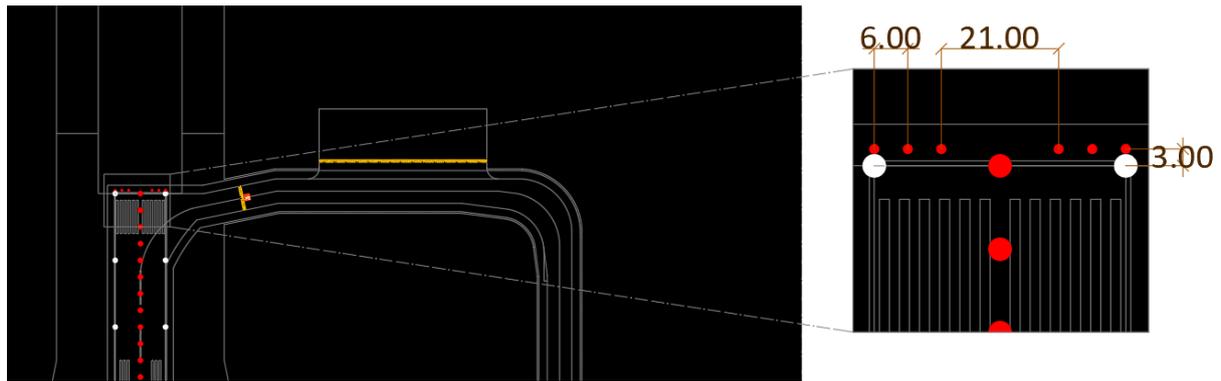


Figura 41. Luces de extremo de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.6. Luces de eje de pista

Como su nombre indica, estas luces se colocan a lo largo del eje de la pista desde el umbral hasta el extremo con un espacio aproximado de 15 metros entre cada foco.

Serán luces de color blanco variable desde el umbral hasta 900 m del extremo de la pista, después desde los 900 m hasta los 300 m antes del extremo de la pista, las luces se alternarán de colores rojo y blanco, y, los últimos 300 m, de color rojo únicamente. Se colocan estas luces en ambos sentidos, siendo así, luces bidireccionales con el color que le pertenezca a cada una en función del sentido de aproximación.

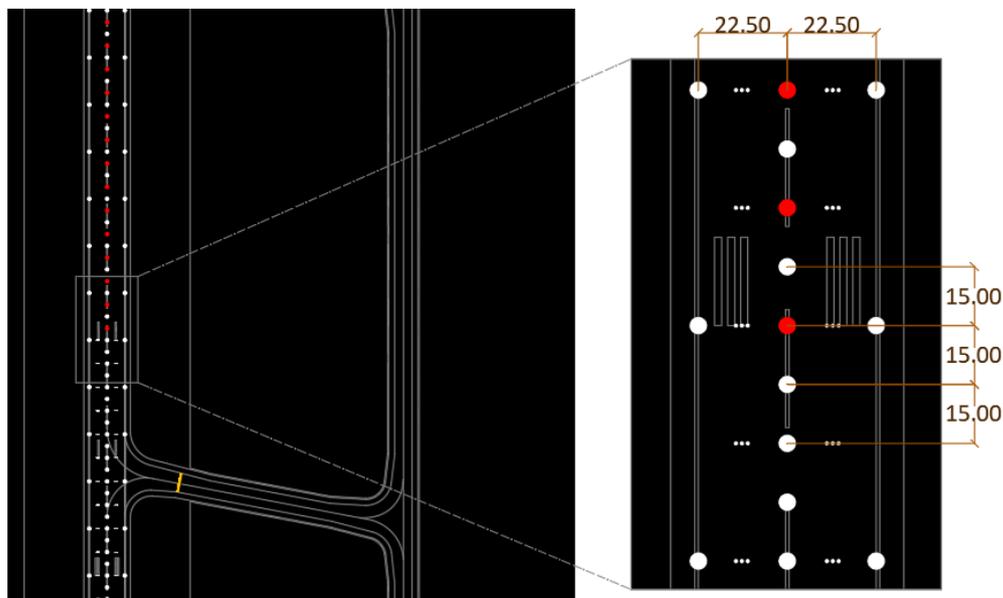


Figura 42. Luces de eje de pista de la misión (1/2) [Elaboración propia en AutoCAD]

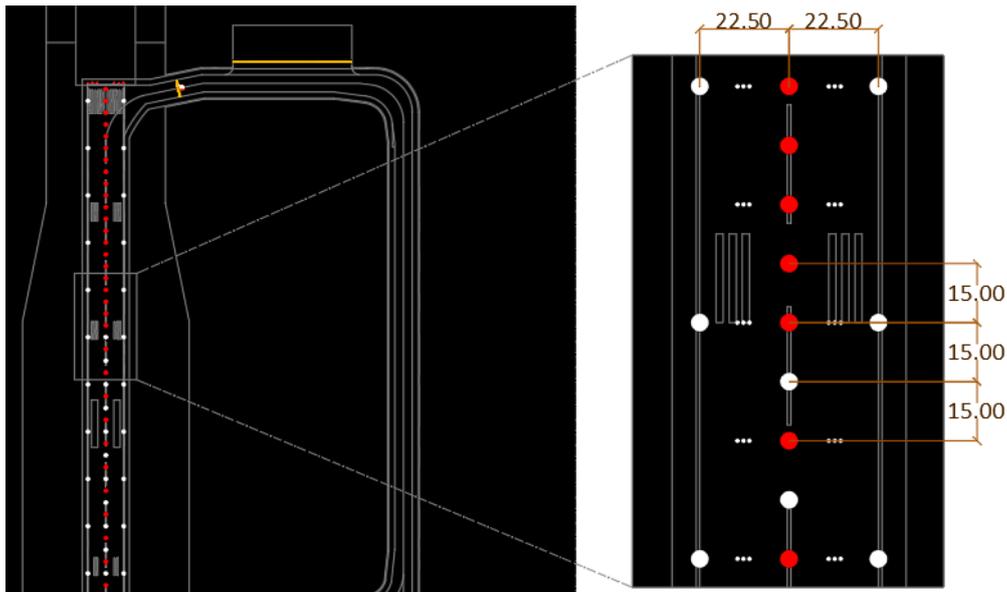


Figura 43. Luces de eje de pista de la misión (2/2) [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.7. Luces de zona de toma de contacto

Se emplazan estas luces en la zona de toma de contacto al ser de CAT II. Se extienden desde la luz de umbral hasta 900 m en forma de pares de barretas simétricas colocadas respecto al eje. Los elementos luminosos de un par de barretas más próximos al eje de pista tendrán un espaciado lateral igual al espacio elegido para la señal de zona de toma de contacto, y el espacio longitudinal entre los pares de barretas será de 30 m.

Las barretas en cuestión están conformadas por tres luces como mínimo, con un espacio entre la mismas de un máximo de 1,5 metros, formando así barretas con una longitud que se encuentre entre 3 y 4,5 metros. Se utilizan luces fijas de color blanco variable y unidireccionales. Aun así, se insertan en ambos sentidos como se ha explicado anteriormente con las demás.

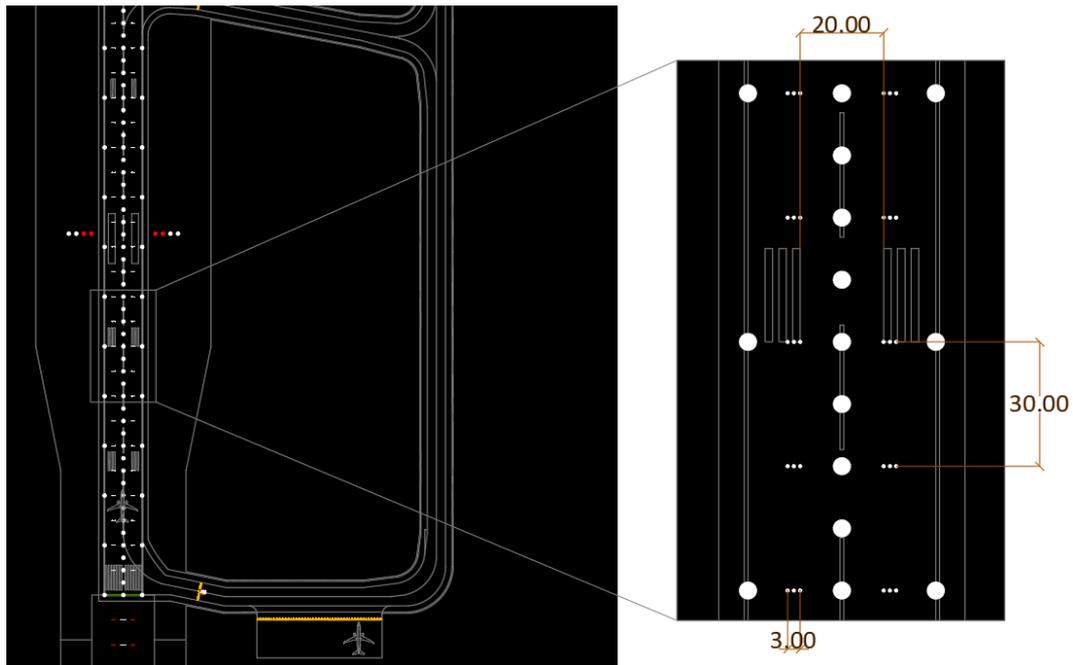


Figura 44. Luces de zona de toma de contacto de la misión [Elaboración propia en AutoCad]

5.4.8. Iluminación de emergencia

En cualquier aeropuerto con iluminación de pista y sin una segunda fuente de energía, se debe disponer de suficientes luces de emergencia para encenderlas en caso de que el sistema de iluminación normal erre. Además, se puede utilizar de manera eficaz para señalar obstáculos o delimitar calles de rodaje y partes de la plataforma [1].

La configuración debe adaptarse, como mínimo, a la requerida para una pista de vuelo visual, y el color de las luces debe ajustarse a los requeridos para la iluminación de pista. Donde no sea posible insertar luces de color, se colocarán luces de color blanco. [1]

5.4.9. Iluminación de pista completa

Se adjunta a continuación un recorte de todas las luces que se han incluido en la pista en una única configuración, pero el sistema es simétrico y se podría encender desde ambos extremos.

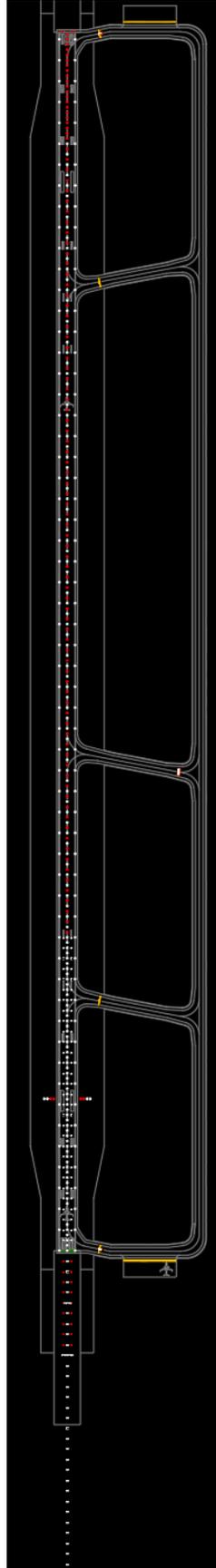


Figura 45. Luces de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.4.10. Balizas

Las balizas frangibles se podrían utilizar en sustitución a algunas de las luces de pista, no es parte de lo que se lleva a cabo en este aeropuerto, pero es una información válida mirando siempre de cara a un futuro. Las balizas que se hubieran ubicado si no se hubiera instalado el sistema completo de luces serían balizas de borde para pistas cubiertas de nieve en caso de que nevara de manera abundante (no es lo típico).

5.5. Nueva pista: letreros

Los letreros son eficaces para suministrar instrucción e información con el fin de satisfacer los requisitos. Pueden ser fijos o se puede variar su mensaje.

Son frangibles y de altura suficientemente baja como para conservar la distancia de seguridad respecto a los reactores. En la tabla a continuación se entiende cuál será la altura que no deben sobrepasar.

Número de clave	Altura máxima del letrero (mm)	Distancia entre letrero y borde de calle de rodaje	Distancia entre borde de pista y letrero
1 o 2	700	5-11m	3-10m
1 o 2	900	5-11m	3-10m
3 o 4	900	11-21m	8-15m
3 o 4	1.100	11-21m	8-15m

Tabla 9. Distancias relativas al emplazamiento de los letreros [1]

Suelen tener un sistema de iluminación para poder apreciarse en los vuelos nocturnos o en malas condiciones. Se decide, por el momento, no incluir los letreros que informen sobre radioayudas, como es el VOR, al no tener su proyecto previo.

Los letreros son rectangulares, con el lado mayor horizontal, con dimensiones variables en función del tipo de letrero y con distancias entre estos y la pista y calle de rodaje cambiantes en función del número de clave.

5.5.1. Letreros con instrucciones obligatorias

Lo mensajes obligatorios se expresarán en blanco sobre un fondo rojo. Si se quisiera aumentar la visibilidad de las inscripciones se podría añadir un contorno negro de 20 mm de anchura [4].

5.5.1.1. Letrero de punto de espera de la pista

Se emplazan alineados con las correspondientes señales de punto de espera. Al estar en configuración A, se indica la designación de la pista y un letrero de emplazamiento en el lado alejado de la calle de rodaje. Las calles de rodaje están nombradas de “A” a “E” en el sentido de izquierda a derecha de la pista. En el EXA 40 de AENA vienen definidas las dimensiones del letrero, y el emplazamiento se consigue con los datos de la tabla 9. La altura total de la instalación de todos los letreros será de un metro.



Figura 46. Letreros acotados (mm) de punto de espera de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Estos letreros se emplazan a ambos lados de la calle de rodaje y en ambas calles de rodaje que conectan con el inicio de las pistas 08 y 26. Obsérvese las siguientes figuras.

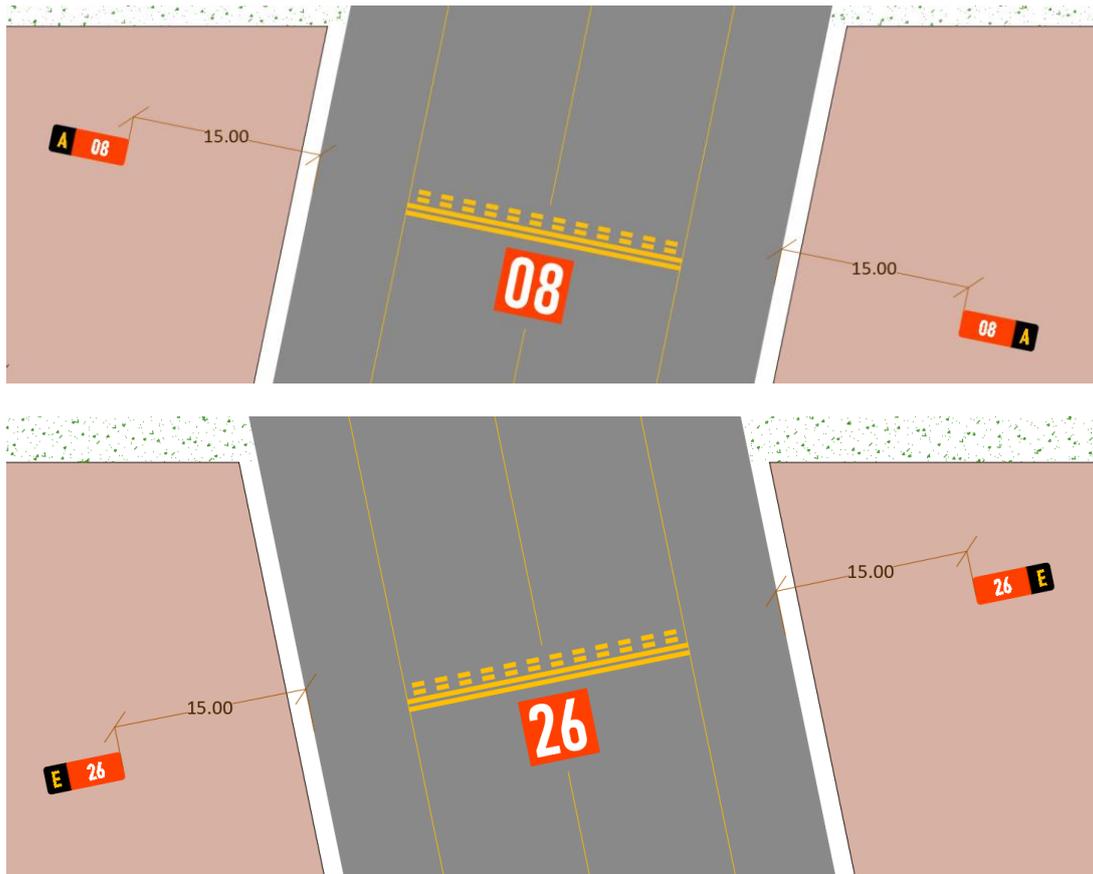


Figura 47. Letreros de punto de espera de la pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

5.5.2. Letreros informativos

Dentro de los letreros informativos, los mensajes de emplazamiento serán amarillos sobre fondo negro, y los de dirección o destino de color negro sobre fondo amarillo [4].

5.5.2.1. Letrero de salida de pista

Se colocan antes de las salidas de las pistas en ambos sentidos con el fin de identificar una salida de pista. Se introducen cinco letreros de salidas de pista indicando las salidas a las calles de rodaje A, B,C,D y E. Sus dimensiones se muestran en la figura acotada en base a la normativa y también se muestra, en la figura consecutiva, la distancia entre la pista y la calle de rodaje que se deciden en base a la tabla 9.



Figura 48. Letreros de salida de pista con cotas [Elaboración propia en AutoCAD]

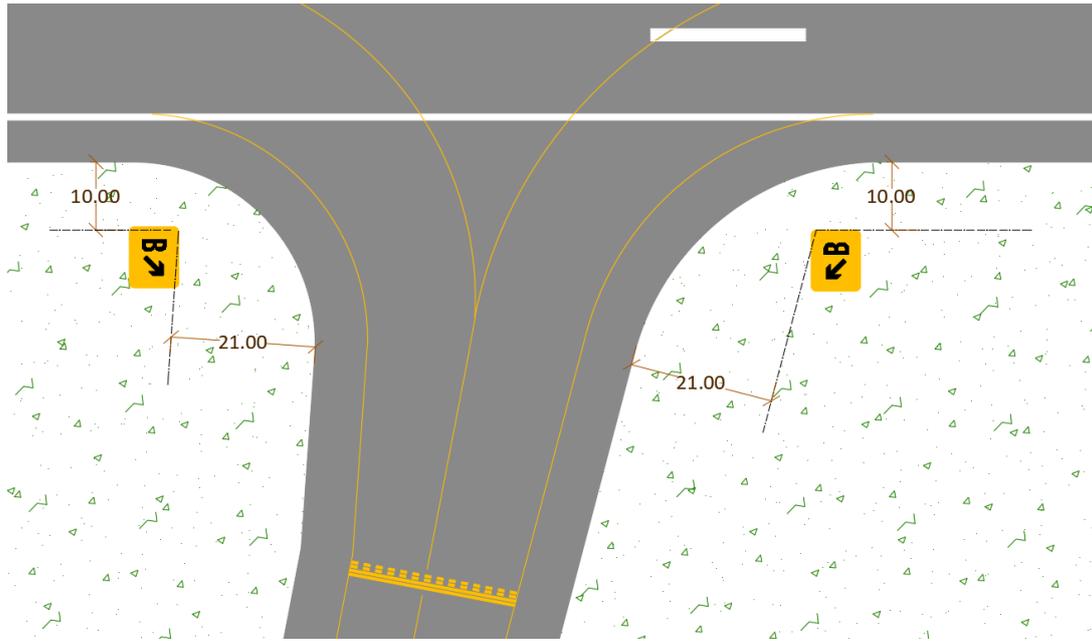


Figura 49. Letrero de salida de pista en la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Capítulo 6

Calles de rodaje

Según recomienda el anexo 14, deben proveerse calles de rodaje que permitan el movimiento seguro y rápido de aeronaves en la superficie entre pistas y la plataforma. Con ayuda del documento mencionado y el Manual de Diseño de Aeródromos (9157), Parte 2, se han diseñado las siguientes calles de rodaje.

6.1. Calles de rodaje: dimensiones

En primer lugar, una pregunta interesante es, ¿Cuántas calles de rodaje debe tener este aeropuerto? La respuesta es, las suficientes calles de entrada y salida para dar rapidez al movimiento de aviones hacia la pista y desde ésta, previendo que pudiera existir densidad de tráfico. Al dejar planteados 3500m de pista por futuras expectativas, se proponen cinco calles de rodaje, dos a la derecha de la plataforma y tres a la izquierda con una anchura entre la parte rectilínea no inferior a 15 metros cada una al ser letra C (4C).

Letra de clave	Anchura mínima de la calle de rodaje
A	7,5 m
B	10,5 m
C	15 m
D	18 m – 23 m
E	23 m
F	25 m

Tabla 10. Anchura de las calles de rodaje según su letra de clave [1]

Se instalan unas calles de rodaje de 22 metros de anchura cada una, con un espacio libre de 1.400 m entre las intermediarias de cara al futuro crecimiento y con la disposición de la figura a continuación.

6.2. Calles de rodaje: características físicas

Se intenta seguir una metodología y un orden similar al de la pista. Dentro de las características físicas de las calles de rodaje se incluyen las pendientes, las superficies, los márgenes y las franjas, siguiendo también el orden del anexo 14.

6.2.1. Pendiente

En este caso particular, la pendiente longitudinal de una calle de rodaje no debe sobrepasar el 1,5%. La nivelación actual de ese terreno tiene una pendiente de 3,2% por lo que se ejecuta a una nivelación al 1% de manera que no haya un cambio brusco de nivelación con la de la pista ni exceda el 1,5% establecido. Como resultado final, queda una pendiente del 1% expresada a continuación.

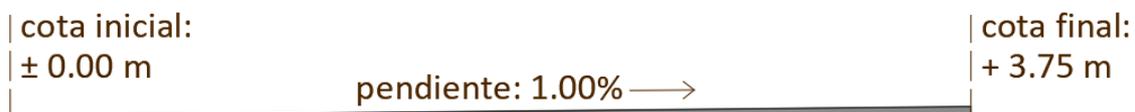


Figura 53. Pendiente de las calles de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Las pendientes transversales serán adecuadas para prevenir la acumulación de agua en la superficie y tampoco excederán el 1,5%, entrando la nivelación actual en este rango.

6.2.2. Superficie

La superficie no tendrá irregularidades que puedan llegar a causar daños a la estructura de las aeronaves y estará pavimentada de manera que las características de rozamiento sean idóneas.

A modo de conclusión, deben garantizar una operación segura a los aviones. No se entra en detalle en materiales ni resistencias debido al límite de extensión del proyecto.

6.2.3. Márgenes

Como ya se explicó en el margen de la pista, se extiende simétricamente a ambos lados del eje. La anchura total de la calle de rodaje y sus márgenes no debe ser menor de las medidas expresadas en la tabla.

Letra de clave	Anchura total de la calle de rodaje
F	60 m
E	44 m
D	38 m
C	25 m

Tabla 11. Anchura total de las calles de rodaje [1]

El ancho total que se considera adecuado para cada una de las cinco calles de rodaje es de 37 metros, añadiendo así una franja de 7,5 m desde el borde de calle de rodaje a cada lado.

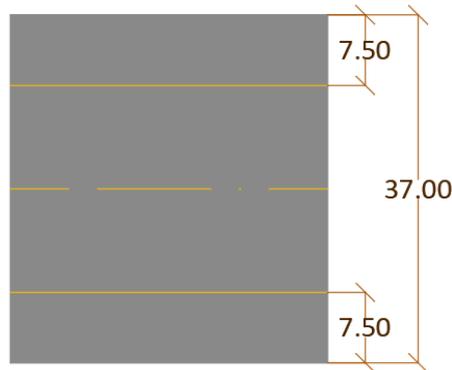


Figura 54. Recorte acotado del margen de una de las calles de rodaje [Elaboración propia en AutoCAD]

6.2.4. Franjas

Las franjas deben estar siempre presentes en las calles de rodaje excepto en las calles de acceso al puesto de estacionamiento de la aeronave. Tienen la misma finalidad que las de la pista. Cada una de ellas está obligada a extenderse simétricamente a ambos lados del eje de las calles de rodaje y en toda la longitud de éstas, mínimamente. La parte central de la franja debe proporcionar una zona con un nivel equilibrado a una distancia del eje de la calle de rodaje de, al menos, las medidas mostradas en la siguiente tabla.

Letra de clave	Distancia mínima de la franja al eje de la calle de rodaje
A	11 m
B o C	12,5 m
D	19 m
E	22 m
F	30 m

Tabla 12. Distancia del eje de la calle de rodaje a la franja [1]

Al tener un margen diseñado en el punto 6.2.3 que conforma un ancho total de 37 metros, 18,5 metros a cada lado del eje de las calles de rodaje, se decide introducir una franja formando 20 metros a cada lado desde el eje, teniendo la forma expresada a continuación.

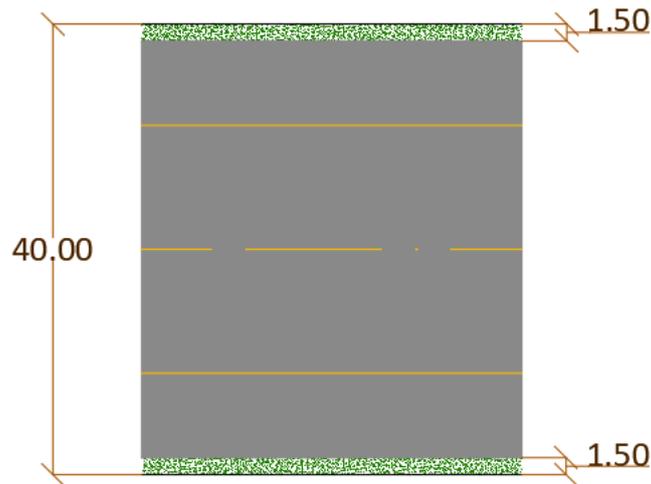


Figura 55. Recorte acotado de la franja de una de las calles de rodaje [Elaboración propia en AutoCAD]

De esta manera, queda una anchura total de las calles de rodaje de 40 metros.

6.3. Calles de rodaje: señalización horizontal

Las calles de rodaje tienen como función unir el eje de la pista con los puestos de estacionamientos de los aviones. En las calles de rodaje, al igual que en la pista, hay señalización de eje, instalaciones antihielo y plataformas pavimentadas.

6.3.1. Señal de eje de calle de rodaje

La señal de eje de calle de rodaje consiste en una línea amarilla continua de 15 cm de ancho bordeada con 7,5 cm de color negro, que se mantiene continua hasta que corta con una señal de punto de espera. En tramos rectos se mantiene en el eje, y en tramos curvos, se conserva la misma distancia desde la parte rectilínea de la calle de rodaje hasta el borde exterior de la curva. En los entronques de pista con calle de rodaje, la señal de eje de rodaje (TCL) corre paralelamente a la señal de eje de pista a 0,9 m de esta y a lo largo de 60 metros. Si el número de clave fuera 1 o 2, esta distancia se reduciría a la mitad. [4]



Figura 56. Cotas en cm de la señal de eje de calle de rodaje TCL [4]

Así pues, la señal de eje de calle de rodaje tendrá el siguiente diseño.

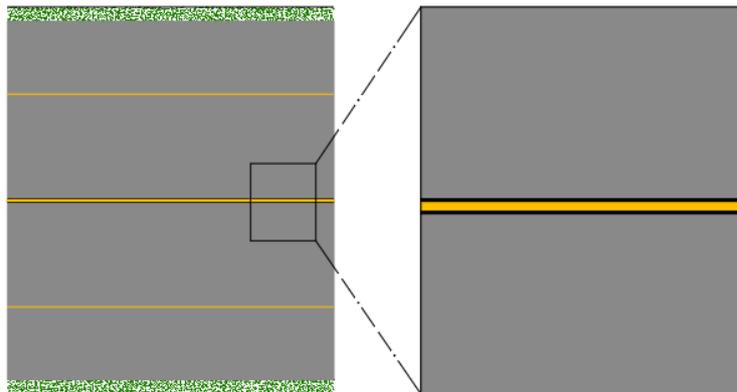


Figura 57. Señal en detalle de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.3.2. Señal de borde de calle de rodaje

Esta señal, como su nombre indica, delimita la superficie de la calle de rodaje válida para soportar el peso de las aeronaves en tierra. También puede ser llamada faja lateral de calle de rodaje. De nuevo, se utiliza pintura de color amarillo para el emplazamiento de esta.



Figura 58. Cotas en cm de la señal de borde de calle de rodaje [4]

Esta señal finaliza al empalmar con la faja lateral de pista teniendo la forma de la figura 59.

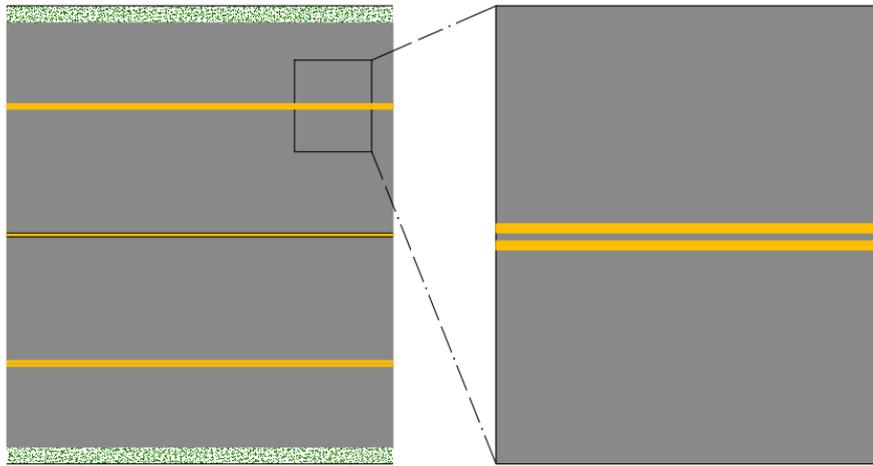


Figura 59. Señal en detalle de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.3.3. Instalaciones de deshielo/antihielo y señal de punto de espera intermedio

Los aeropuertos en los que se prevean engelamientos se deben instalar estas instalaciones ya sea en los puestos de estacionamiento o en áreas específicas de las calles de rodaje. Se opta por la segunda opción, asentándose de manera que no provoquen interferencia en las radioayudas ni invadan las superficies limitadoras de obstáculos.

En cuanto al emplazamiento, se recomienda guardar a una distancia de seguridad que permita la circulación del tránsito y que no requiera maniobras de rodaje inhabituales para entrar y salir de ellas, al tener una letra de clave C, la distancia entre el eje de la calle de rodaje y la señal de punto de espera intermedio será de 26 metros [1]. Además, consta de un área interior donde poder estacionar el avión dispuesto a recibir el tratamiento, y otra área exterior con espacio suficiente para poder operar dos o más unidades móviles de equipo antihielo.

La pendiente no debe superar el 1% para asegurar un drenaje satisfactorio, acompañándose con este fin, de un desagüe en la superficie recogiendo así el exceso de líquido deshielo utilizando de manera que no contamine el terreno.

Tomando como referencia, nuevamente, el aeropuerto de Modlin, que opera con el mismo modelo de aeronave, y comprobando que coincide con la normativa del anexo, se toman las medidas similares de esta instalación, se obtienen las siguientes dimensiones: 40 metros de ancho y 150 metros de largo.

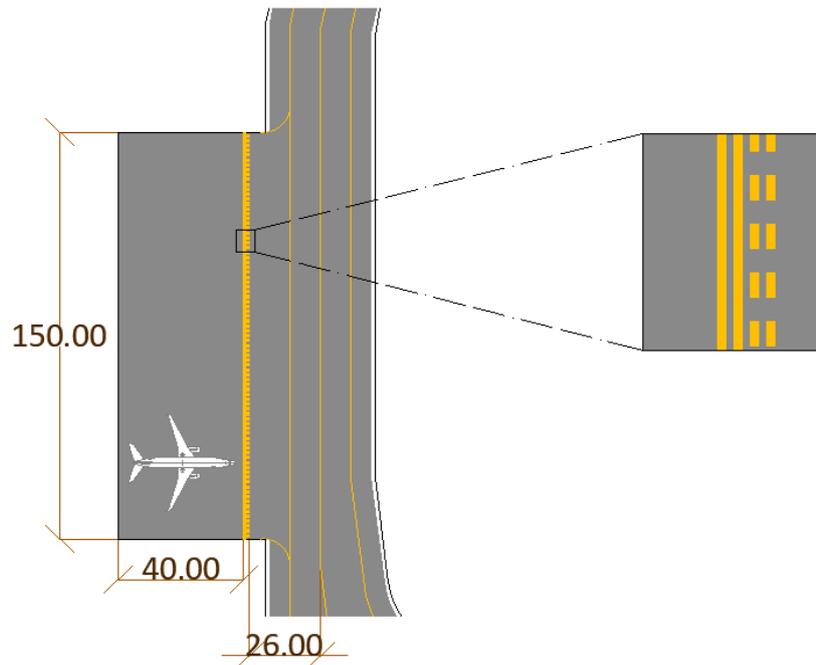


Figura 60. Instalación de deshielo/antihielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

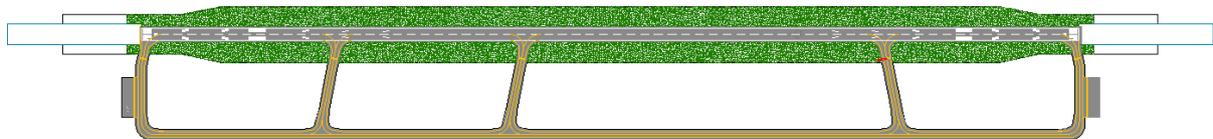


Figura 61. Instalaciones de deshielo/antihielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.3.4. Señal de prohibida la entrada

Con la aplicación de esta señal, se puede complementar o sustituir a los letreros con instrucciones obligatorias que den la misma información. Se colocan al inicio del área en el que está prohibida la entrada con el fin de prevenir la incursiones en pista. Al ser letra C tiene 4 metros de altura y las demás cotas se muestran en la figura 62.

Se inserta en la calle de rodaje intermedia, pues la idea inicial es que esa calle se utilice para salir y no para entrar a la pista de manera que se pueda acceder a la plataforma desde ella. Pueden ir acompañadas de luces contraintrusión, aunque no se considera necesario incluirlas en este caso.



Figura 62. Señal de prohibida la entrada de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

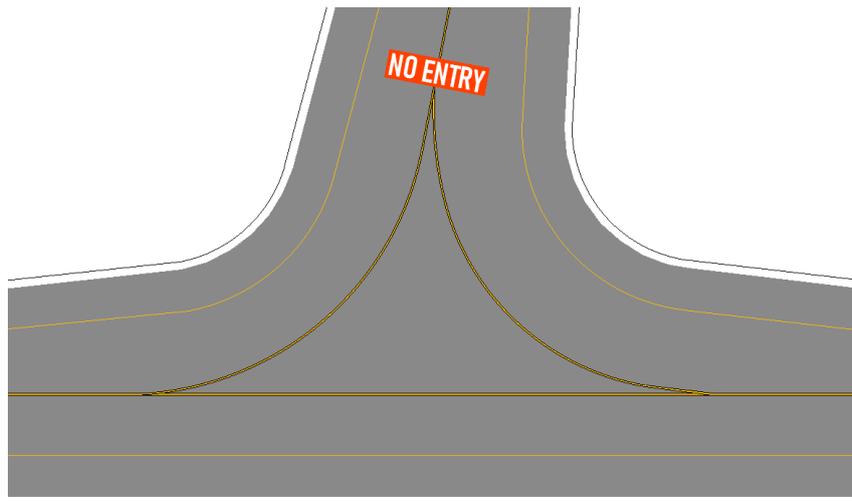


Figura 63. Señal de prohibida la entrada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.3.5. Señal con instrucciones obligatorias

La finalidad de esta señal es muy similar a la de la anterior señal. Se insertan señales designadoras en la calle de rodaje con el fin de identificar el lugar más allá del cual el avión no debe proseguir hasta que lo autorice la torre de control. Se dibujará el 08 en la calle de rodaje que conecta con el inicio de la pista 08, y el mismo proceso con el 26.

La altura es de 4 metros por ser letra de clave C [1]. Las señales tendrán las siguientes cotas y se colocarán de la siguiente manera en las calles de rodaje:

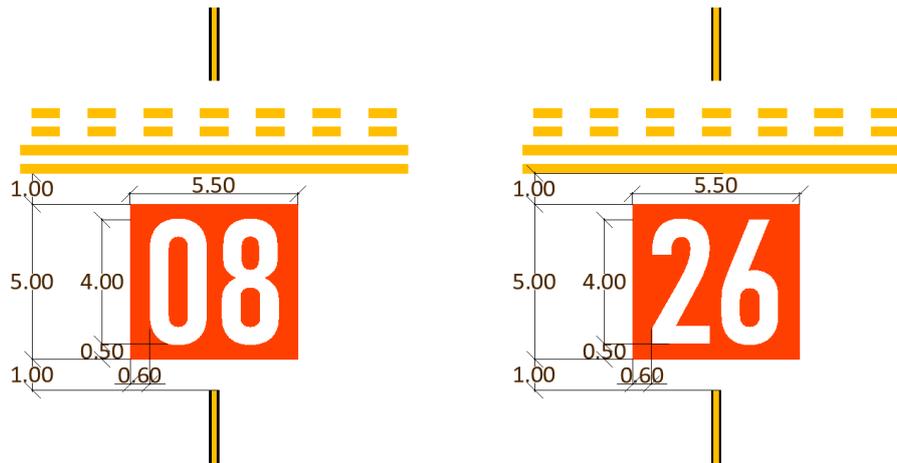


Figura 64. Señales con instrucciones obligatorias de la misión en detalle [Elaboración propia en AutoCAD]

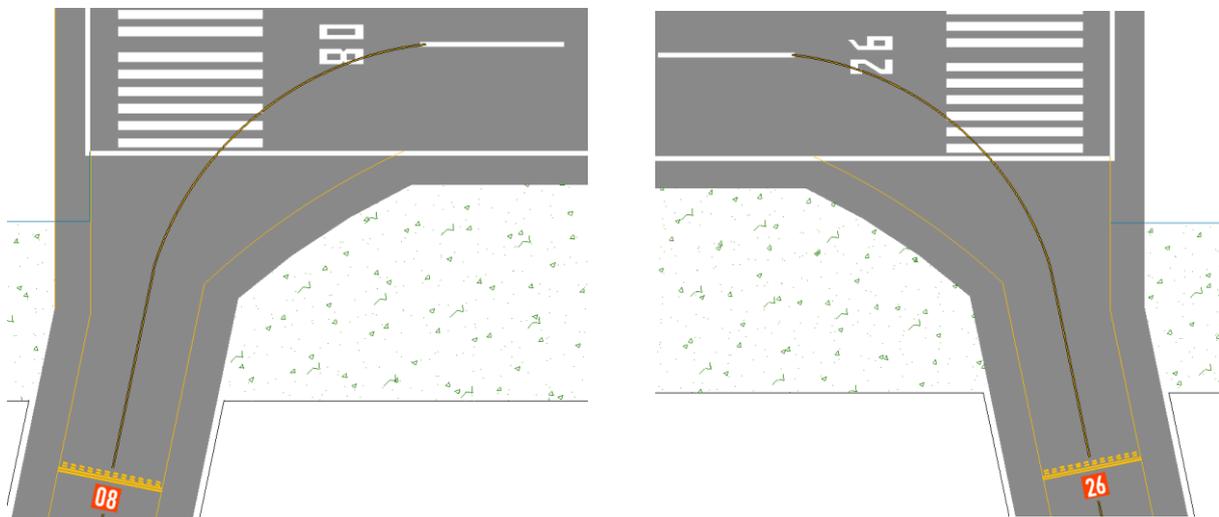


Figura 65. Señales con instrucciones obligatorias de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4. Calles de rodaje: luces

Al igual que la pista, las calles de rodaje también precisan de un sistema completo de iluminación para los vuelos nocturnos o, incluso, diurnos con condiciones de visibilidad bajas. Se añaden a continuación todas las luces de calles de rodaje que han sido consideradas necesarias de incluir.

6.4.1. Luces de eje de calle de rodaje

Estas luces se instalan en las calles de salida de pista, calles de rodaje y en las instalaciones de deshielo/antihielo con el fin de proporcionar una guiar entre el eje de la pista y los puestos de estacionamientos de los aviones. Serán fijas y de color verde y amarillo desde su comienzo cerca del eje de la pista hasta llegar al borde inferior de la superficie de transición

interna, donde comienzan a ser todas verdes. La primera luz de eje de calle de salida siempre irá en color verde y la más cercada al perímetro, amarilla. [1]

La luz verde debe estar bien diferenciada de la del umbral para evitar confusiones. Las luces de eje de calle de rodaje deben comenzar donde comienza la señal de eje de calle de rodaje, alejándose, como máximo, 30 cm de ella y existir una separación entre ellas de 7,5 metros inicialmente hasta que cambien únicamente al color verde donde existirá una separación de 30 m. [1]

Las luces intercaladas entre verde y amarillo se extienden hasta coincidir con la señal de punto de espera, donde comienzan a ser verdes con una separación de 30 metros. Se repite el mismo proceso en las cinco calles de rodaje existentes, dando una idea visual con la forma mostrada a continuación. [1]

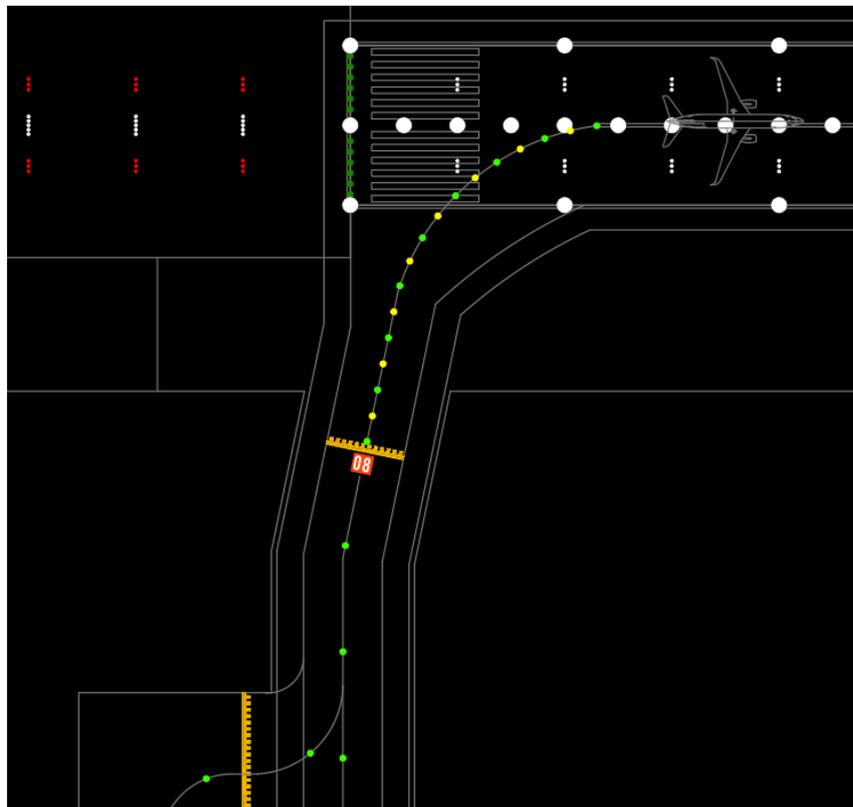


Figura 66. Luces de eje de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

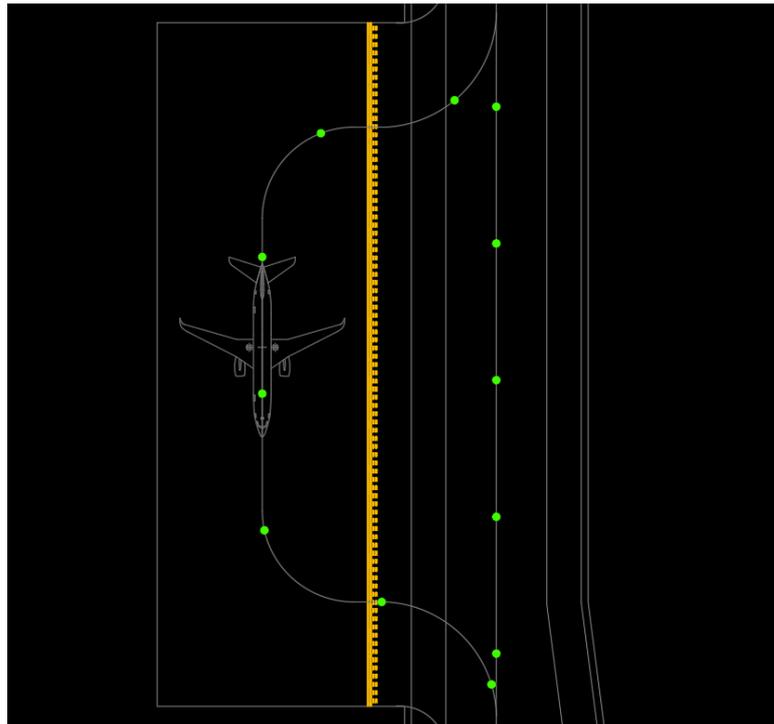


Figura 67. Luces de eje de calle de rodaje en instalación deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4.2. Luces de borde de calle de rodaje

Las luces de borde de calle de rodaje se proponen en las mismas instalaciones en las que están las luces de eje de calle de rodaje. Esta vez son luces azules fijas con una separación longitudinal de 60 metros exceptuando los virajes en la pista, donde se recomienda que la separación de estas luces sea de 7,5 metros. Se incorporan en todas las calles de rodaje y se extienden, de nuevo, hasta alcanzar la plataforma. [1]

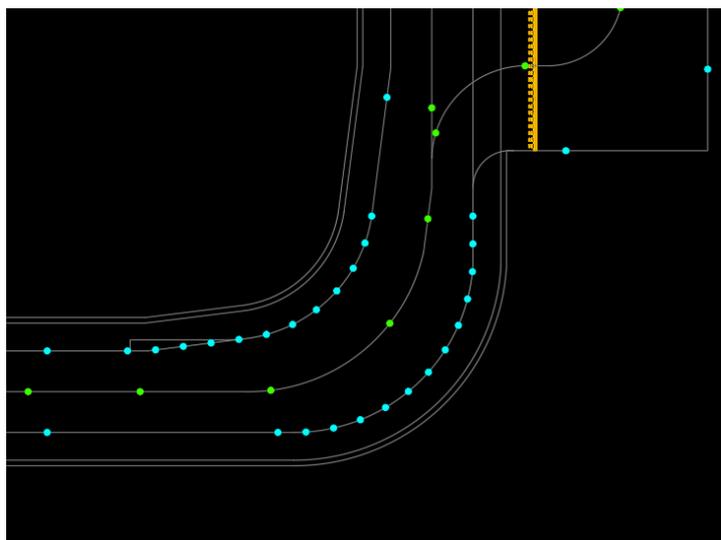


Figura 68. Luces de borde de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

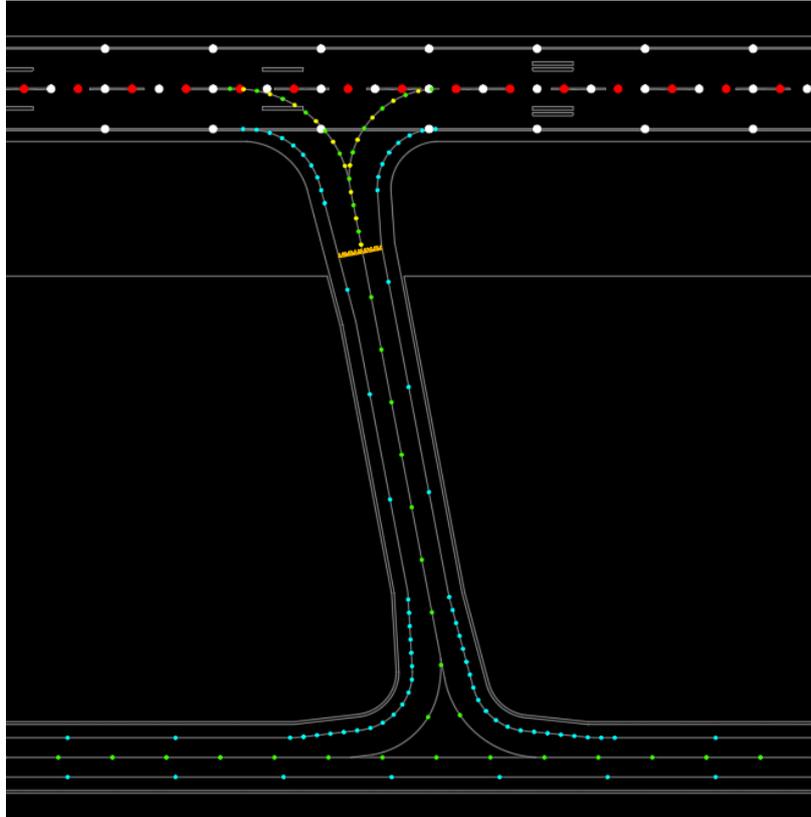


Figura 69. Luces de borde de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

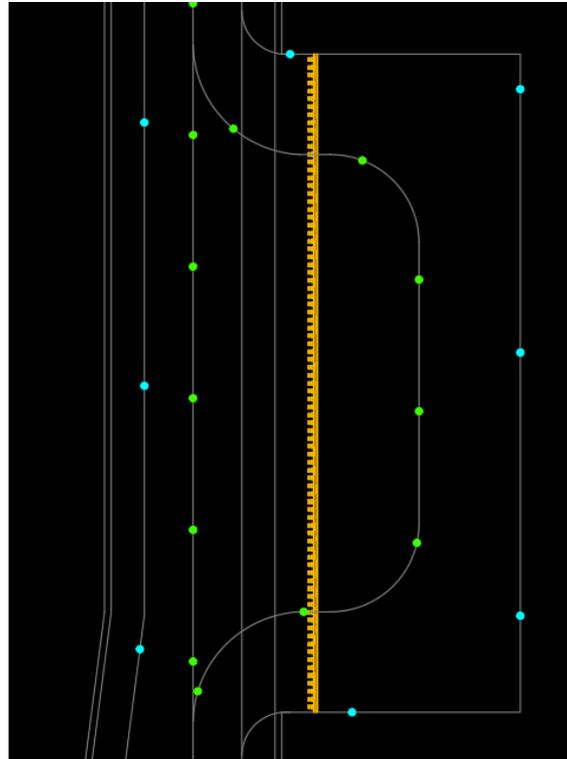


Figura 70. Luces de borde de calle de rodaje en instalación deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4.3. Barras de parada

Se instalan barras de parada en los puntos de espera de la pista, es decir, donde se encuentran las señales de punto de espera. Al instalar esta señal desaparece la necesidad de incluir luces de punto de espera.

Se utilizan luces de color rojo visibles en los sentidos previstos de aproximación, espaciadas no más de 3 metros entre ellas, y situadas de manera transversal. En todas las calles de rodaje serán bidireccionales, excepto en la central que no se instalará al no disponer de señal de punto de espera. Además, se emplazarán a una distancia mínima de 3 m del borde de la calle de rodaje.[1]

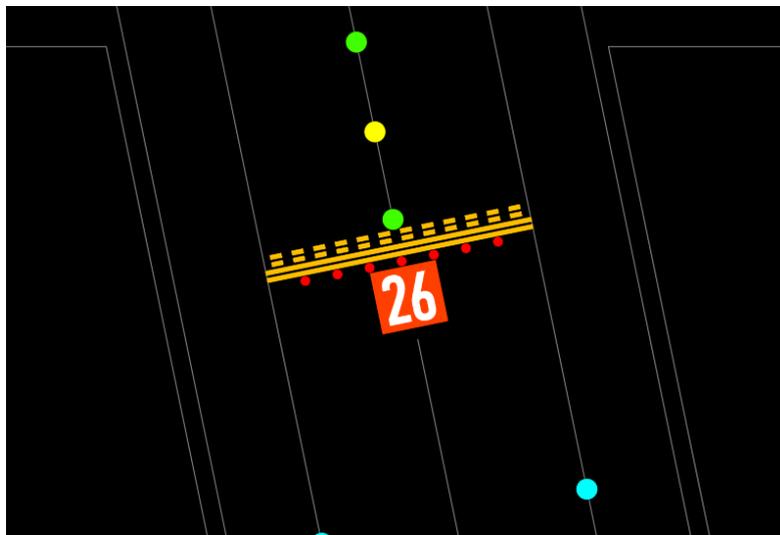


Figura 71. Barra de parada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4.4. Luces de salida de la instalación de deshielo/antihielo

En el límite de la salida de una instalación antihielo es recomendable instalar luces de salida de la instalación ubicadas 0,3 metros de la señal de punto de espera intermedio.

Se trata de una serie de luces fijas unidireccionales hacia la dirección de aproximación al límite de la salida, de color amarillo espaciadas intervalos de 6 m. Nuevamente, instaladas en todas las instalaciones de deshielo/antihielo del aeropuerto. [1]

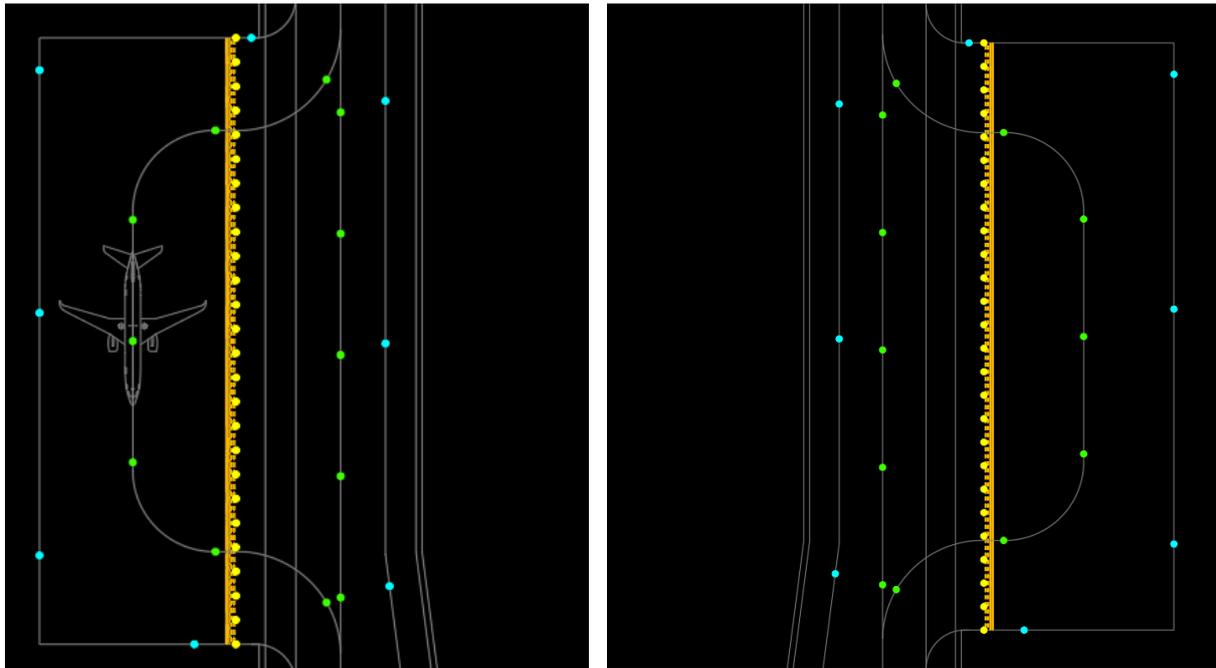


Figura 72. Luces de salida de la instalación de deshielo de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4.5. Luces de protección de pista

Este sistema de iluminación tiene como objetivo advertir a los pilotos e, incluso, a los conductores de vehículos, que están a punto de ingresar en una pista. Existen dos configuraciones, A y B. Se instala la configuración A debido a que la B no debe instalarse en un espacio común a la barra de parada.

Se instalan dos pares de luces unidireccionales, para poder ser vista por el piloto, de color amarillo, que se pueden utilizar de día y de noche, y, apagándose y encendiéndose alternativamente; recomiendan incluir viseras para evitar destellos por parte de la luz solar. La distancia entre el eje de pista y las luces debe ser, como mínimo, de 75 metros al ser número de clave 4, y el espacio entre estas será de 3 metros. Las luces se encenderán y apagarán entre 30 y 60 veces por minuto. [1]

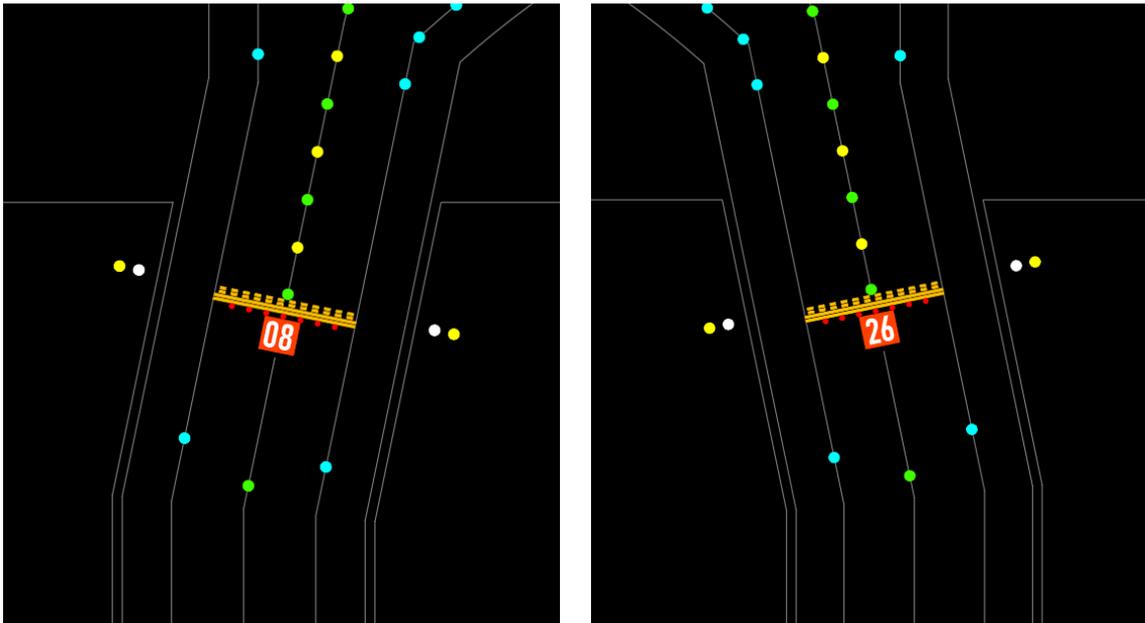


Figura 73. Luces de protección de pista de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

La imagen general con todas las luces de calle de rodaje que se han explicado, incluidas, es la siguiente.

6.4.6. Iluminación de calle de rodaje completa

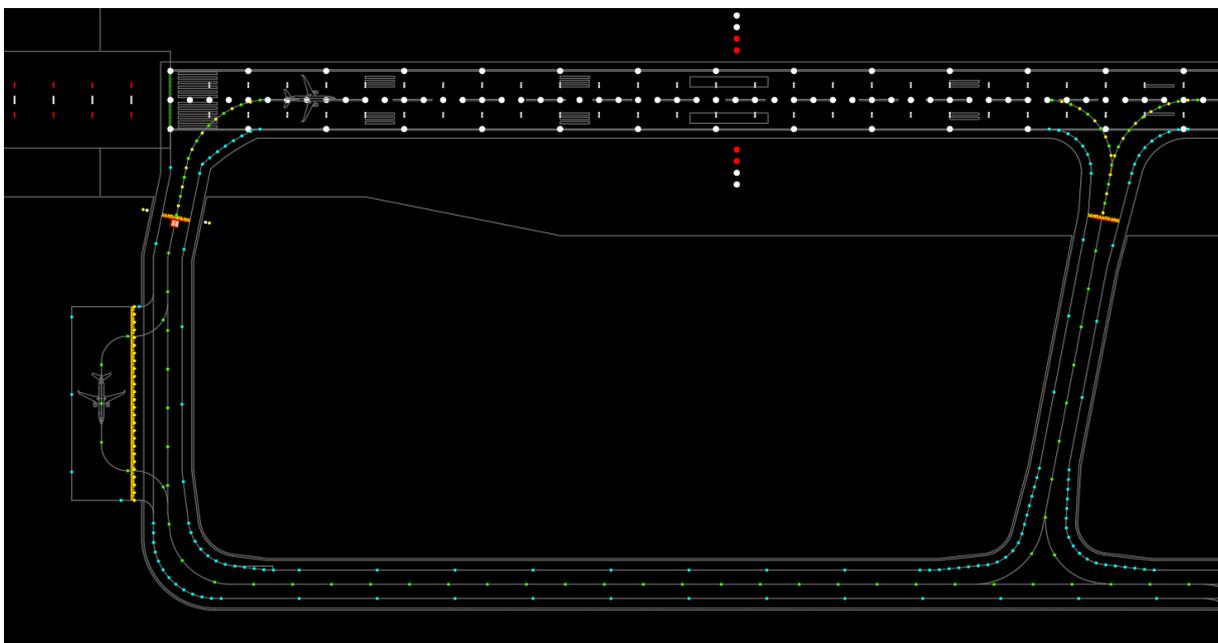


Figura 74. Luces de calle de rodaje de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.4.7. Balizas

En las calles de rodaje se también se podrían utilizar balizas frangibles en sustitución a algunas de sus luces. Aunque no es parte de lo que se lleva a cabo en este aeropuerto, es información válida de cara al futuro. Los tipos de balizas que se hubieran ubicado si no se hubiera instalado el sistema completo de luces de calle de rodaje serían:

- Balizas de borde de calle de rodaje
- Balizas de eje de calle de rodaje

6.5. Calles de rodaje: letreros

Como se explica en el capítulo cinco, los letreros son eficaces para suministrar instrucción e información con el fin de satisfacer los requisitos. Se añaden de nuevo tanto letreros de instrucción obligatoria, como informativos. Dentro de lo informativos no se incluyen los letreros que indiquen radioayudas al no tener el proyecto de las instalaciones. Todos los letreros instalados tendrán la altura de un metro.

6.5.1. Letreros con instrucciones obligatorias

Se añade un solo letrero de instrucción obligatoria, es decir, sobre fondo rojo, llamado “letrero de prohibida la entrada”. Se emplaza junto con la señal “No Entry” de la calle de rodaje intermedia. Las dimensiones se extraen del EXA 40, mostradas en la figura siguiente, y a su vez se muestra la distancia al borde pavimentado de la calle de rodaje.

Esta señal se coloca a ambos lados de la calle de rodaje y tiene una altura aproximada de un metro. La distancia al borde pavimentado se deduce de la tabla 9 (capítulo 5).

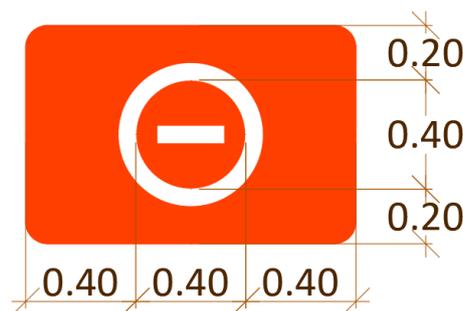


Figura 75. Letrero acotado de prohibida la entrada [4]

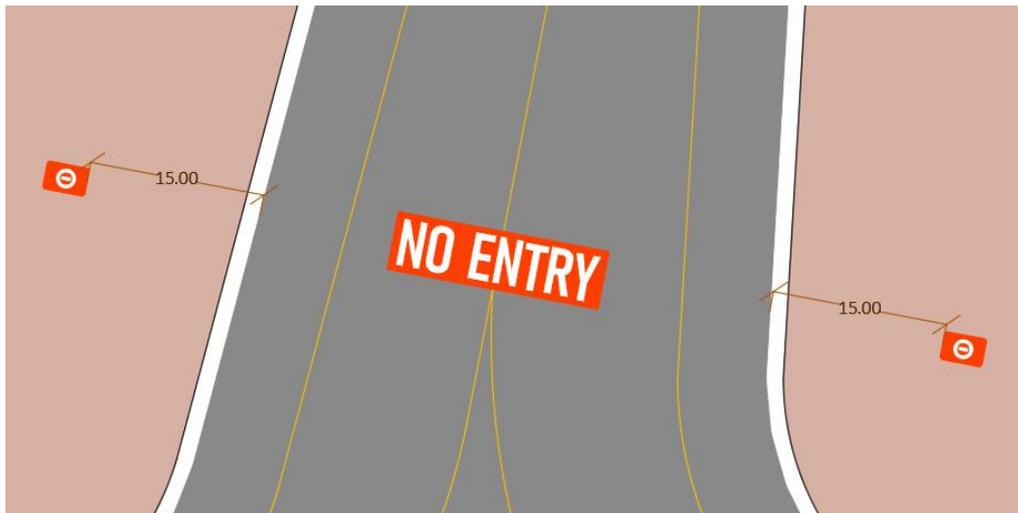


Figura 76. Letrero de prohibida la entrada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.5.2. Letreros de información

Se incluyen dos tipos de letreros de información: letreros de emplazamiento y de destino, con el fin de ofrecer una mejor orientación para el piloto.

6.5.2.1. Letreros de emplazamiento

Con el fin de identificar las calles de rodaje, se coloca un letrero a la izquierda de las calles de rodaje intermedias, tanto en un extremo como en el otro, excepto en la de en medio, que solo tendrá uno a la salida de la pista porque es de un único sentido. En las calles laterales ya está incluido en los letreros de pista.

Serán señales negras con el reborde y las designaciones en color amarillo. De nuevo, las cotas se muestran a continuación, y la distancia al borde pavimentado de la calle se deduce de la tabla 9.

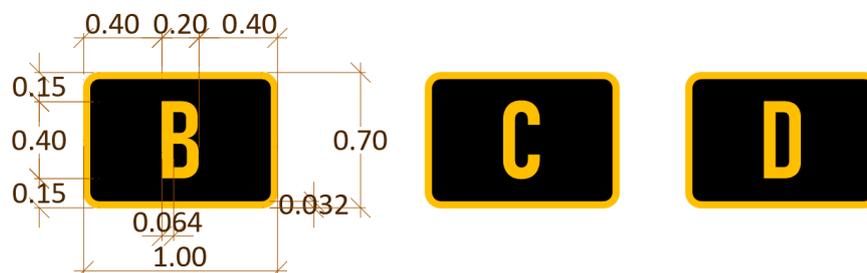


Figura 77. Letreros de emplazamiento de la misión con cotas [Elaboración propia en AutoCAD]

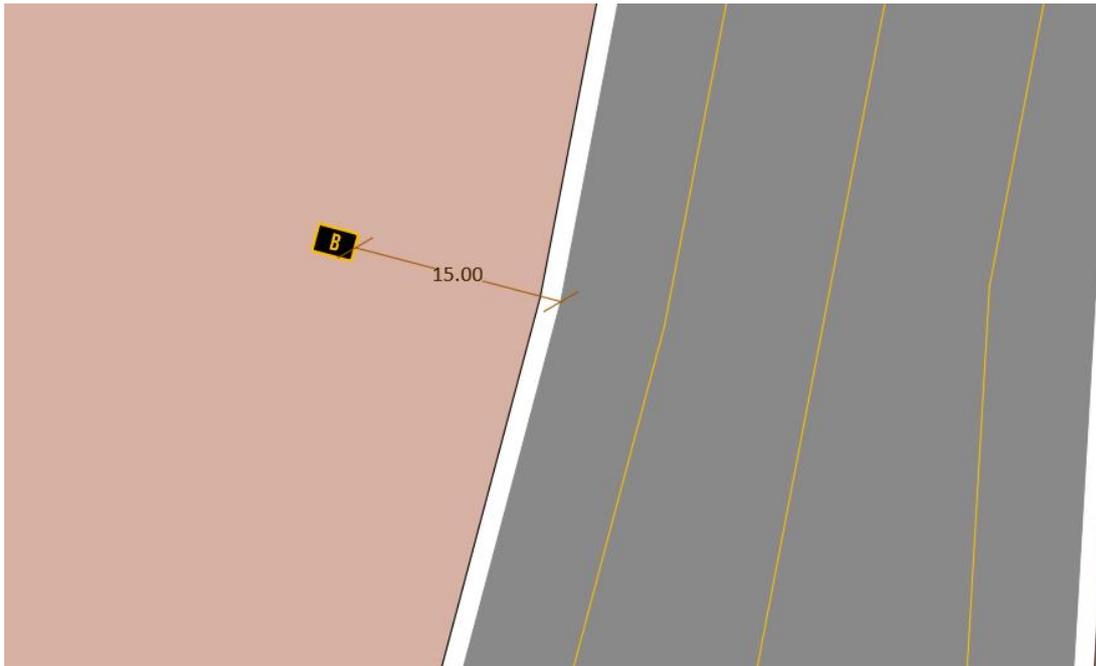


Figura 78. Letrero de emplazamiento de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

6.5.2.2. Letreros de destino

De manera informativa se introducen en la salida de la plataforma dos letreros de destino para ayudar al piloto a identificar donde comienza la pista que busca. Tienen el siguiente diseño y las siguientes medidas extraídas, una vez más, de la normativa del manual de AENA y del anexo 14.

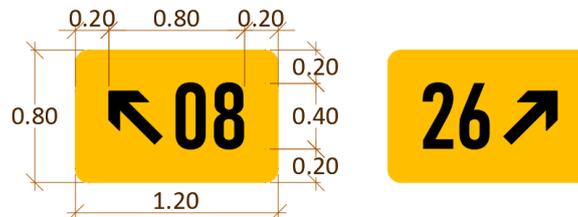


Figura 79. Letrero de destino acotado [Elaboración propia en AutoCAD]

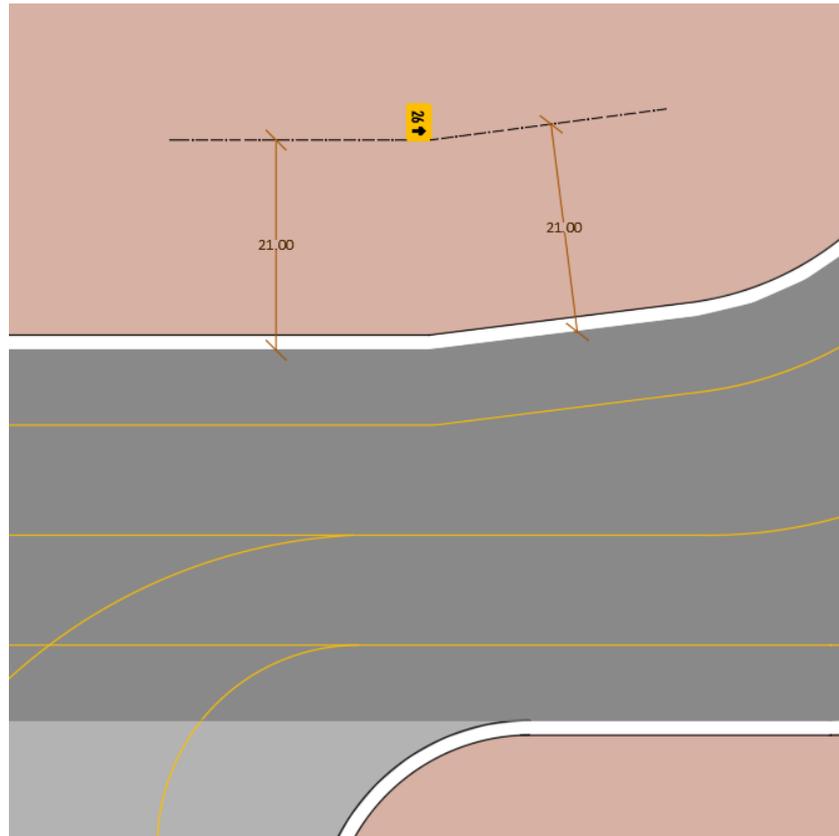


Figura 80. Letrero de destino de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Capítulo 7

Plataforma aproximada

Se entiende por plataforma a ese área definida en el aeródromo terrestre destinada a dar acceso a los aviones con fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento y/o mantenimiento. [1]

Hablando desde una perspectiva personal, sería una satisfacción y un reto poder completar todos los datos que el área de movimiento de este aeropuerto precisa para poder ponerse en funcionamiento, pero no es la oportunidad actual. Es por eso que el proyecto se centra en el área de maniobras, dejando el diseño de la plataforma planteado sin entrar en profundo detalle y con un posible proyecto abierto a completar de cara al futuro.

Aun así, queda introducida y definida de manera que el aeropuerto coja una forma completa y un contexto perfectamente entendible. Se dejan los accesos a ésta facilitados, unas dimensiones aproximadas, los puestos de estacionamiento que requiere según el anexo 14 y se ubica la torre de control de manera provisional.

7.1. Plataforma: dimensiones aproximadas

El área total debe ser suficiente para permitir un movimiento rápido y fluido del tránsito del aeropuerto en los periodos de densidad máxima prevista. A su vez, es necesario que soporte el tránsito de aeronaves que hayan de utilizarla, y, que la pendiente no exceda del 1% [1].

No es objeto de estudio en el proyecto el cálculo de densidad máxima prevista, ni si quiera de la resistencia de ésta, pero sí una idea visual de qué dimensiones y características tendrá como primera idea la plataforma del aeropuerto.

Cogiendo referencias de aeropuertos existentes con características similares y comparándolo con la normativa de la OACI, se decide instalar una plataforma de, aproximadamente, 1200 m de largo y 250 m de ancho, a partir de los puestos de estacionamiento que se incluyen, con un diseño como el que muestra la figura próxima.

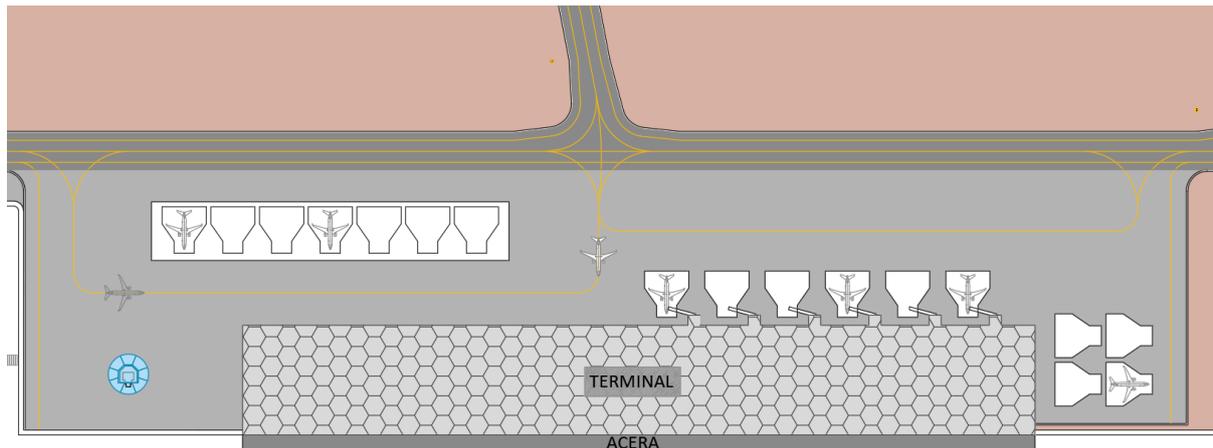


Figura 81. Plataforma aproximada de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

7.2. Plataforma: características físicas aproximadas

Es importante saber que la plataforma, al igual que las pistas y las calles de rodaje, también cuenta con características físicas y dimensiones específicas.

7.2.1. Puestos de estacionamiento

Al haber detallado anteriormente el Boeing 737-800, unas dimensiones concretas que no pueden quedar fuera son las de los puestos de estacionamiento. Existen 2 tipos de posiciones de estacionamiento:

- Posiciones de contacto: el embarque se ejecuta mediante pasarelas o “fingers”, luego el coste es más elevado.
- Posiciones remotas: con embarque a pie o mediante jardineras (autobuses que facilitan el desplazamiento entre la terminal y el avión). Es recomendable prever un 10-20% de posiciones remotas adicionales consiguiendo la flexibilidad suficiente para atender las puntas de tráfico.

Para hacer un estudio conciso de los puestos de estacionamiento que necesitaría el aeropuerto, primero se deberían hacer estudios de planificación posteriormente seguidos de estudios de operación. Como se comenta previamente, no es objeto de estudio, luego se utiliza como referencia, una vez más, el aeropuerto de Modlin (Varsovia), que cuenta con diez puestos de estacionamiento de posición remota. Así pues, teniendo en consideración que, aunque el aeropuerto polaco sea también para Ryanair, es de una extensión ligeramente menor y, en principio, no tiene previsión de crecimiento futuro, luego se introduce la cantidad de 17 puestos de estacionamiento; seis posiciones de contacto y once remotas.

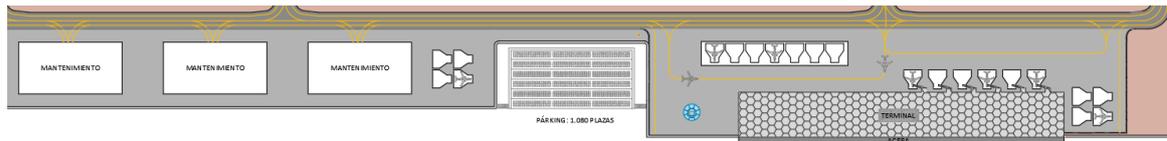


Figura 82. Plataforma planteada para la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Los puestos de estacionamiento, también llamados sobres, deben proporcionar unos márgenes mínimos de separación entre la aeronave que entre o salga del puesto y cualquier otra aeronave, edificio u otros objetos adyacentes. Estas distancias mínimas vienen explicadas en la tabla 13.

Letra de clave	Margen
A	3 m
B	3 m
C	4,5 m
D	7,5 m
E	7,5 m
F	7,5 m

Tabla 13. Márgenes mínimos de separación en los puestos de estacionamiento de la aeronave [1]

En el manual, ya empleado varias veces, de AENA, el EXA 40, vienen definidos tipos de puestos de estacionamiento según el avión que lo utilice. De los ocho tipos definidos, el modelo que interesa con el objetivo de estacionar el Boeing 737-800, es el tipo VI y está acotado en la siguiente figura.

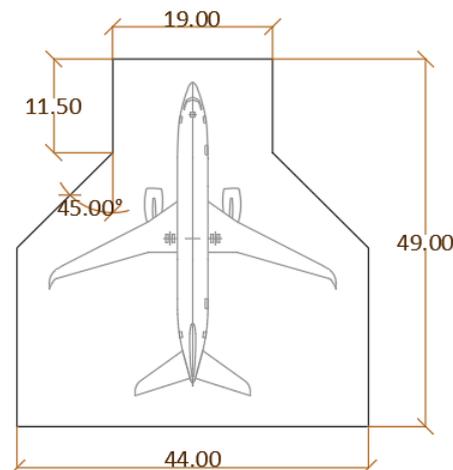


Figura 83. Puesto de estacionamiento tipo VI [Elaboración propia en AutoCAD]

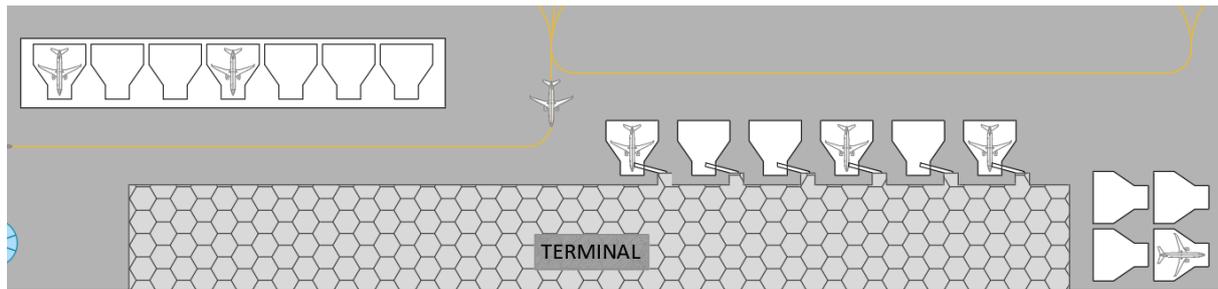


Figura 84. Puestos de estacionamiento de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

7.2.1. Área aproximada destinada a los vehículos y al personal

No son necesarias instalaciones de deshielo/antihielo en la plataforma porque las que dos que existen en la calle de rodaje son suficientes. Lo que sí sería necesario es que la plataforma cuente con un área específica destinada a los vehículos terrestres y al personal. Se deja planteado un área libre que podría ser utilizado con este fin.

7.3. Plataforma: aproximación de señales y letreros

Se dejan planteados sin resolver las señales y los letreros que deberían estar presentes en la plataforma.

7.3.1. Señales

El anexo 14 manifiesta la necesidad de proporcionarse líneas de seguridad en las plataformas pavimentadas según lo requieran las configuraciones de estacionamiento y las instalaciones terrestres. Si se introdujeran instalaciones antihielo en la plataforma, llevarían también señales.

- **Señal de puesto de estacionamiento de aeronaves**

Deberían proporcionarse estas señales para los lugares de estacionamiento designados en una plataforma pavimentada y en una instalación de deshielo/antihielo, además, deberían incluir elementos tales como identificación del puesto, línea de entrada, barra de viraje, línea de viraje, barra de alineamiento, línea de parada y línea de salida, según lo requiera la configuración de estacionamiento y para complementar otras ayudas de estacionamiento, guardando siempre los márgenes de seguridad.

Las líneas de entrada, de viraje y de salida deberán, normalmente, ser continuas en el sentido longitudinal y tener una anchura mayor de 15 cm. Las partes curvas de las líneas de entrada, de viraje y de salida tendrán radios apropiados para el tipo de aeronave para las cuales estén destinadas las señales. Las distancias que deben mantenerse entre

las líneas de parada y de entrada pueden variar según los diferentes tipos de aeronaves y del campo visual del piloto.

- **Líneas de seguridad en las plataformas**

Se emplazarían de modo que definieran la zona destinada al uso por parte de los vehículos terrestres y otros equipos de servicio de las aeronaves a efectos de proporcionar una separación segura con respecto a las aeronaves. Se trata de una línea continua en un sentido longitudinal y tendrá 10 cm de anchura mínimo.

- **Señal de punto de espera en la vía de vehículos**

Se proveerá una señal de punto de espera en la vía de vehículos en los puntos de entrada a la pista siguiendo los reglamentos locales de tráfico.

7.3.2. Letreros

Acompañando a las señales deberían incluirse una serie de letreros, siguiendo así la metodología utilizada tanto en la pista como en el rodaje. Se incluyen letreros de identificación de los puestos de estacionamiento de aeronaves y letreros de punto de espera en la vía de vehículos.

7.4. Plataforma: luces aproximadas

Con el objetivo de facilitar la orientación a los pilotos de cara a estacionar las aeronave, la plataforma debería tener un sistema de iluminación de plataforma con proyectores, uno de guía visual para el atraque y otro para las maniobras en los puestos de estacionamiento de aeronaves. También contará con luces de punto de espera en las vías de vehículos y de situación de pista.

7.5. Plataforma: planteamiento de la torre de control

La necesidad de una torre de control es indiscutible ya que su misión es albergar las funciones de control del tránsito aéreo en los aeródromos con la máxima seguridad y eficacia.

A la hora de plantear la estructura de la torre habría que tener en cuenta una serie de condicionantes:

- **Accesibilidad:** requiere buena accesibilidad de servicios (electricidad, telefonía,...) por eso es frecuente situarla cerca de la terminal. Es importante que se evite que los accesos a la torre crucen áreas de operación de los aviones.

- **Visibilidad:** es importante que tenga una altura suficiente para tener una visión adecuada de los circuitos del aeropuerto y poder identificar a las aeronaves y vehículos. Además, se debe orientar respecto al sol.
- **Servidumbres:** la torre no puede interferir en las superficies limitadoras de obstáculos ni afectar a las radioayudas. Al no estar definidas las servidumbres, sería imposible posicionar la torre de control de momento.
- **Condicionantes del aeropuerto:** según requiera el aeropuerto en función del tránsito de aeronaves, condiciones físicas, etc.

Tomando los factores a tener en cuenta y comparando con algunos aeropuertos ya existentes como por ejemplo, el aeropuerto de Málaga, el de Modlin en Varsovia o el de Toulouse, la torre de control del aeropuerto de Casarrubios se ubica provisionalmente de la siguiente manera.

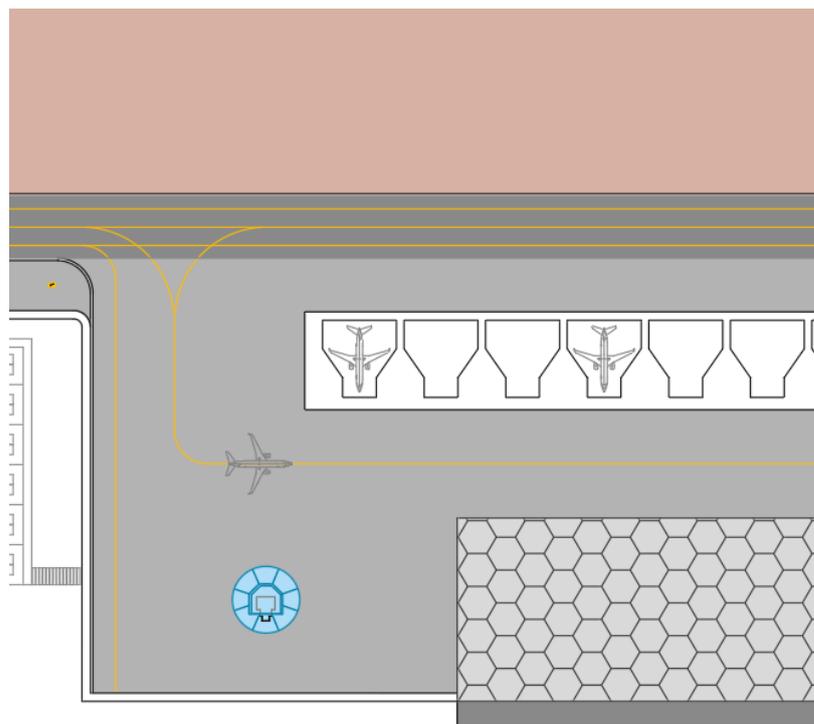


Figura 85. Ubicación de la torre de control [Elaboración propia en AutoCAD]

Capítulo 8

Terminal aproximada

Para la definición de una terminal se debe tener en cuenta que el usuario principal de ésta es el pasajero y que sus principales características son el tipo de vuelo, el propósito y la frecuencia de viaje. Los pasajeros a su vez se tienen que entender con las compañías aéreas y el gestor del aeropuerto. La compañía aérea en este caso es Ryanair.

8.1. Terminal aproximada: dimensiones y niveles

Para establecer las dimensiones es necesario describir la capacidad, lo cual resulta complicado al no tener un valor único porque depende del nivel de servicio. También sería de gran importancia realizar un estudio de flujos de pasajeros y previsiones de tráfico para definir así los recorridos de los pasajeros y el control y separación de flujos.

Se estima una terminal rectangular de 790 metros de largo y 110 metros de ancho. Estas dimensiones no serían necesarias para el aeropuerto diseñado, ya que si toma como referencia la terminal del aeropuerto de Modlin, se aprecia un largo de apenas 200 m y un ancho de, aproximadamente, 50 m, pero al tener durante todo el proyecto una previsión futura ascendente y al disponer del espacio libre, se decide dejar planteado un área disponible que pudiera permitir esa deseada evolución en el futuro, además de querer incluir fingers para embarques a diferencia del aeropuerto polaco. Este edificio terminal a su vez tendría dos niveles, con un nivel para tráfico nacional y con otro para internacional, estando a su vez separado en función de llegadas y salidas. Se adjunta un diseño aproximado de lo que podría ser la terminal vista en planta.

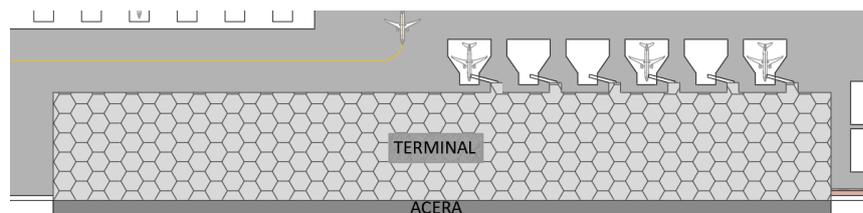


Figura 86. Diseño aproximado de la terminal de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

En el interior de la terminal existirían varios elementos así como mostradores de venta de billetes, zonas de facturación, controles, aseos, zonas de recogida de equipajes, oficinas aeroportuarias, de compañías aéreas, centros de control, tiendas, restaurantes, agencias de viajes, y un largo etc.

8.2. Terminal aproximada: parking

Para acceder a la terminal hay varias opciones, entre ellas está el transporte público o el uso de vehículo propio. Pensando que un porcentaje alto de pasajeros utiliza su vehículo propio, se proporciona un parking cerca de la terminal, con un acceso plano y sencillo, de manera que se consiga que el pasajero esté conforme. Se puede observar la propuesta a continuación.

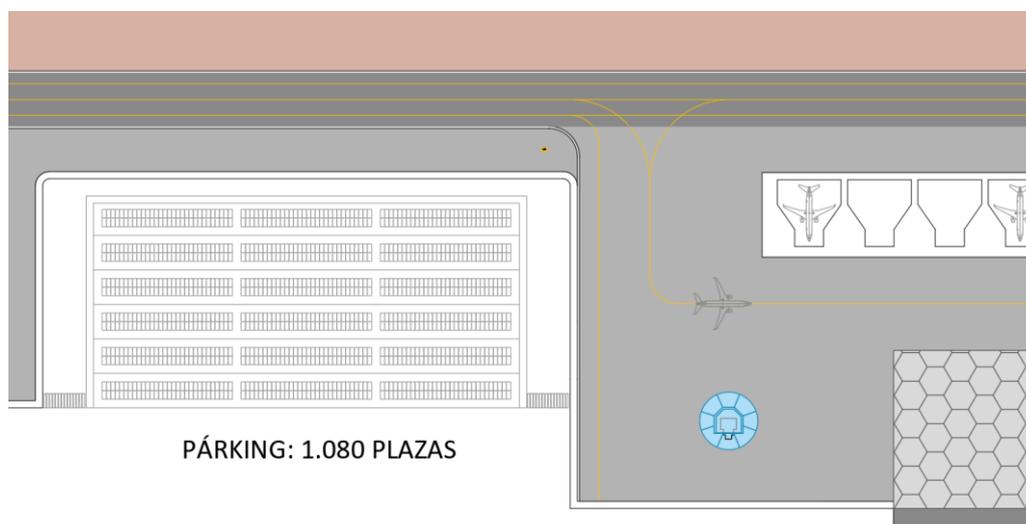


Figura 87. Diseño aproximado del parking del aeropuerto de la misión [Elaboración propia en AutoCAD]

Capítulo 9

Conclusiones y trabajo futuro

9.1. Conclusiones

A continuación, se enumeran las principales conclusiones tras haber llevado a cabo la elaboración de este proyecto.

1. El primer paso para materializar una idea, como es el proyecto de un aeropuerto, es hacer un previo estudio geográfico y de demanda. En este caso, el estudio preliminar ha consistido en hacer una serie de comparaciones tomando referencias de otros aeropuertos, otras ciudades europeas e, incluso, a través de conocer la previsión de crecimiento del tránsito aéreo futuro con el que carga el aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas. Una vez confirmado que Madrid podría ser una buena opción para la situación del proyecto, se ha valorado aprovechar el aeródromo, ya existente, de Casarrubios del Monte, por su beneficiosa localización con respecto a la capital de España. Este paso ha sido decisivo a la hora de iniciar el proyecto, ya que la idea inicial era diseñar desde cero un aeropuerto en Barcelona, pero la localización del aeródromo de Casarrubios terminó siendo una idea atractiva.
2. Al tener como objetivo el reemplazo del aeródromo de Casarrubios por un aeropuerto internacional, se han establecido una serie de datos en base a los que poder trabajar. Este ha sido el primer aprendizaje, conocer de primera mano la importancia del alcance de los vuelos y de las aeronaves a operar a la hora de iniciar estos proyectos. Por este motivo, se decide destinar el , en la que poder basar el estudio. Otro dato importante que se obtiene una vez seleccionada la aerolínea, es el radio de operación. Para obtener esta información se ha buscado el trayecto más largo realizado por Ryanair trazando un radio con origen en Madrid. El destino obtenido ha sido el aeropuerto de “Ammán Queen Alia”, en Jordania, cuyo trayecto desde Madrid supone, aproximadamente, 4.200km.

3. Con los datos mencionados en los puntos 1 y 2, y con ayuda del manual publicado por Boeing del 737 y del Anexo 14 de la OACI, se han podido calcular las longitudes en el despegue y en el aterrizaje en distintas condiciones (pista seca o mojada). En base a los resultados obtenidos de la pista, se ha elaborado todo lo demás: sus características físicas (RESA, CWY, ...), su sistema de iluminación a la par de su señalización, las calles de rodaje salientes de estas,... Completando así el diseño del área de movimiento del aeropuerto, independientemente de no haber entrado en detalle en la plataforma. Se concluye con un aeropuerto “4C” con una pista de 3.500 m, de los cuales 500 m han sido añadidos por decisión propia de cara a un posible desarrollo y crecimiento del aeropuerto en el futuro. Las distancias finales elegidas siempre han sido las más restrictivas y es un aspecto aprendido a lo largo del TFG: siempre conviene elegir la solución más restrictiva para evitar errores. Además, en ocasiones ha sido necesario suponer datos, por ejemplo, suponer una masa de 100 kg por pasajero a la hora de calcular la carga de pago. Para suponer datos se han hecho comparaciones con otros aeropuertos o aerolíneas, e incluso comentando con profesores o compañeros de trabajo.
4. Con respecto al aeródromo inicial se puede apreciar un cambio drástico. El aeropuerto Madrid – Sur sería, aproximadamente, siete veces más grande que el aeródromo y podría formar un complejo similar al que aparece en las dos figuras hechas en Photoshop a continuación, mostrando su apariencia en una vista de día y otra en una vista de noche.



Figura 88. Aeropuerto Madrid – Sur de día [Elaboración propia en Photoshop]

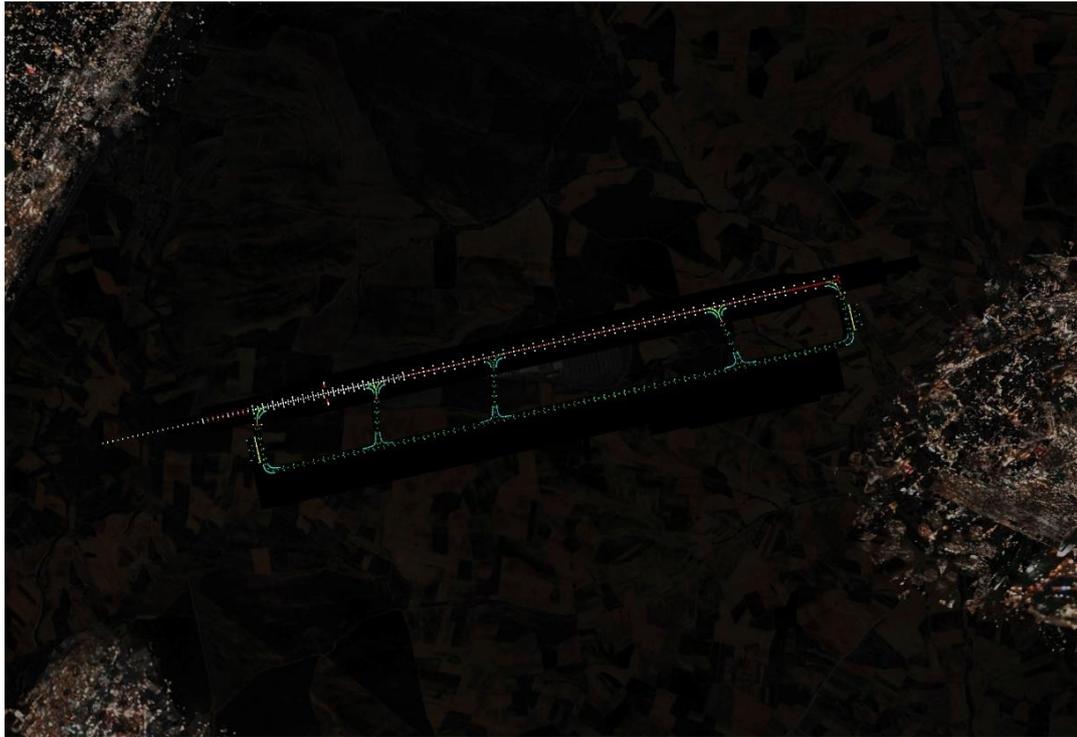


Figura 89. Aeropuerto Madrid – Sur de noche [Elaboración propia en Photoshop]

Cabe mencionar que los pasos finales donde se aprecian resultados son, sin duda, los más satisfactorios y donde realmente se entiende por qué documentos como el anexo 14 tiene el orden que tiene.

5. La finalidad del aeropuerto resultante será satisfacer los vuelos de Ryanair con origen en Madrid y destino en diferentes puntos de Europa, principalmente, incluyendo destinos fuera del continente como Marrakech, en África, o Amán, en Asia, y viceversa. Además, se podrá considerar un aeropuerto disponible para vuelos nocturnos o en condiciones meteorológicas adversas debido al sistema de iluminación instalado y a los cálculos resueltos teniendo este factor en cuenta. Como conclusión personal, se considera que la idea de este proyecto podría ser interesante de cara a un proyecto real.
6. Por último, y no menos importante, se desea aclarar que se dejan varios puntos sin resolver debido a la dificultad que resulta de realizar un proyecto de este calibre bajo las manos de una única persona y la limitada extensión de un TFG. Estos aspectos que quedarían pendientes de analizar se enumeran a continuación en el siguiente y último punto.

9.2. Trabajo futuro

De cara a posibles trabajos futuros, se dejan planteados algunos de los puntos con partes del aeropuerto sin resolver o completar:

- Plataforma
- Vías de servicio
- Terminal
- Torre de control
- Materiales
- Estudio del terreno
- Calidad y afección acústica
- Información urbanística
- Apertura de los haces de las luces del aeropuerto
- Mantenimiento del aeropuerto y las aeronaves
- Servicios de salvamento y extinción
- Servidumbres aeronáuticas
- Radioayudas
- Restricción y eliminación de obstáculos
- Red de transporte entre el aeropuerto y el centro de la ciudad
- Estudio de costes y demanda
- Consideraciones relativas al medio ambiente

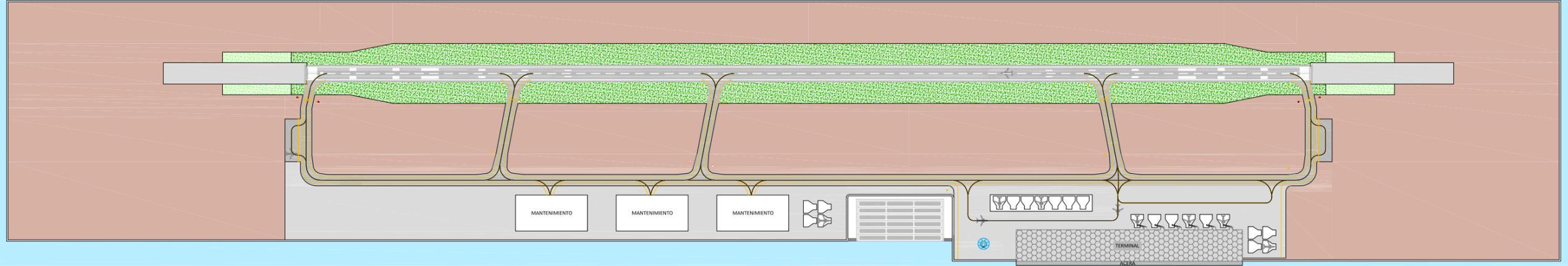
Bibliografía

- [1] OACI. (julio de 2016). Anexo 14, Aeródromos, Volumen I, Diseño y operaciones de aeródromos.
- [2] BOEING. (Septiembre de 2013). 737 Airplane Characteristics for Airport Planning.
- [3] OACI. (2005). Manual de diseño de aeródromos, Parte 2: calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera.
- [4] AENA. (2019). Manual Normativo de Señalización en el Área de Movimiento EXA 40.
- [5] *Google Earth*. (2023).
- [6] Ryanair. (2023). Obtenido de <https://www.ryanair.com/es/es/destinos-de-vuelos-baratos>
- [7] PNG EGG. (s.f.). Obtenido de <https://www.pngegg.com/en/search?q=boeing+C40+Clipper>

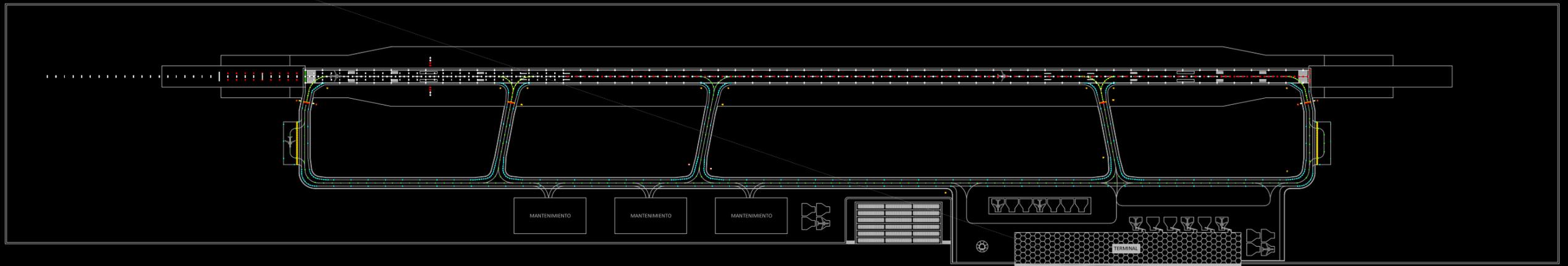
Anexos

A continuación, se adjuntan planos en detalle no introducidos en el TFG debido al formato. Se encuentran 4 planos en detalle de la pista de noche, 5 de la pista de día y una comparación entre el plano del aeropuerto de día y de noche.

VISTA DE DÍA

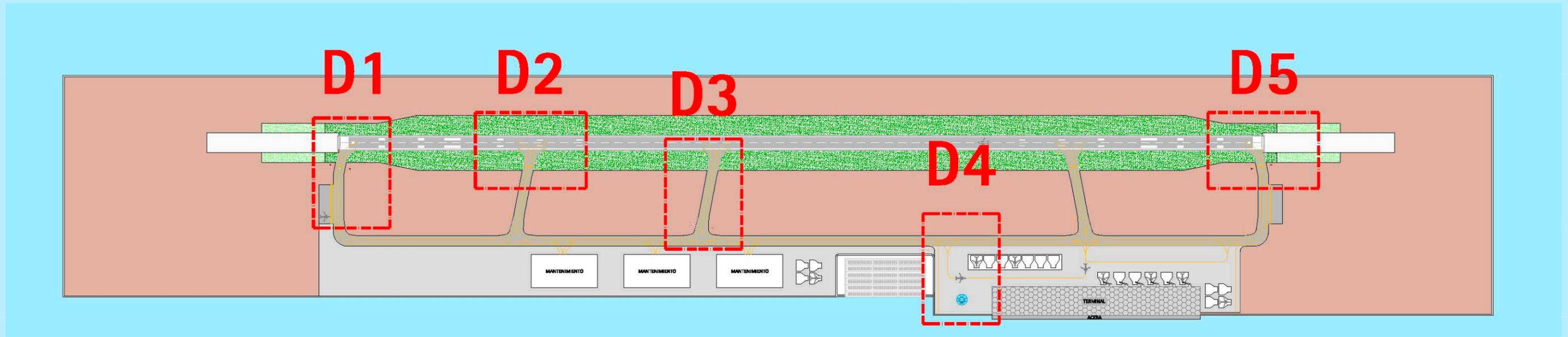


VISTA DE NOCHE

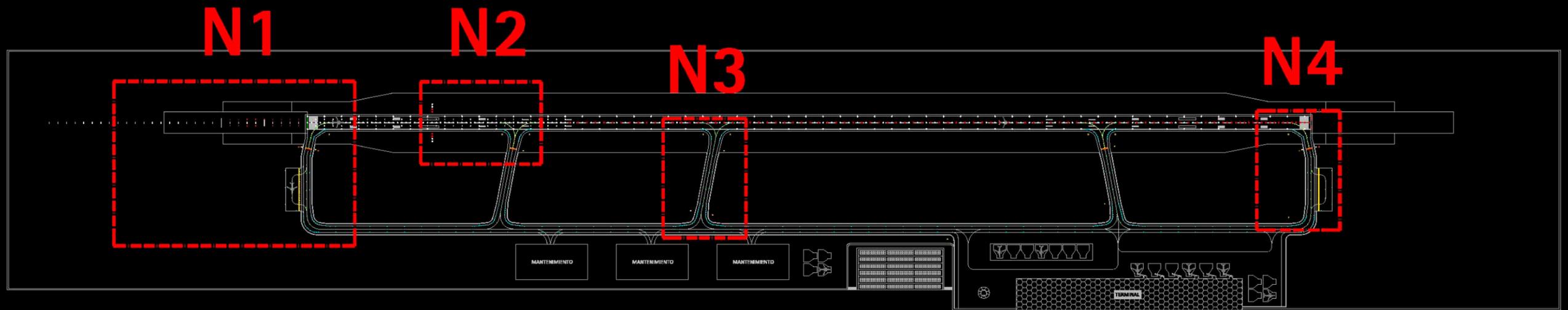


0 300 600 (m)
escala 1:15.000

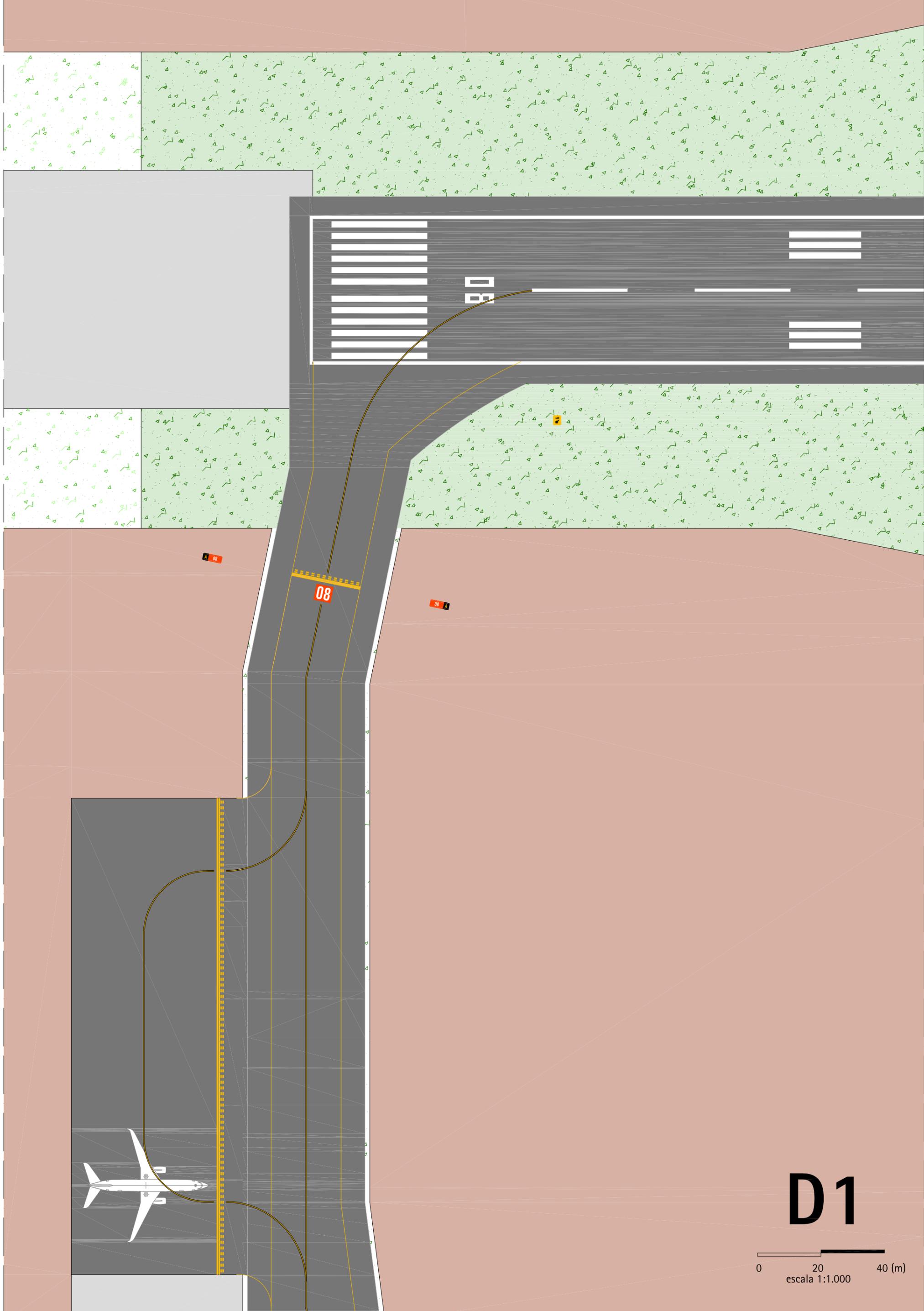
VISTA DE DÍA



VISTA DE NOCHE



ESQUEMA DE DETALLES A AMPLIAR

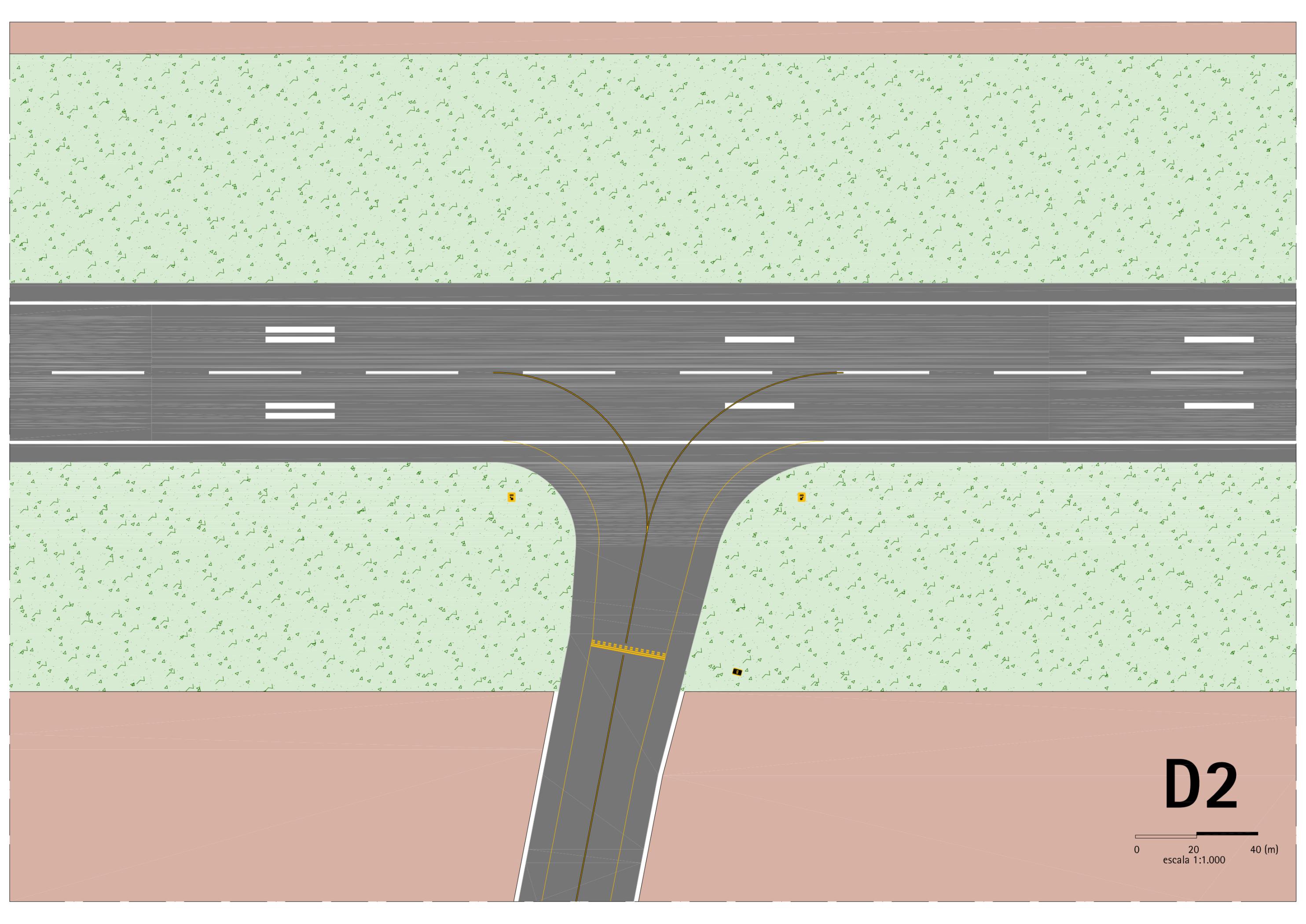


08

08

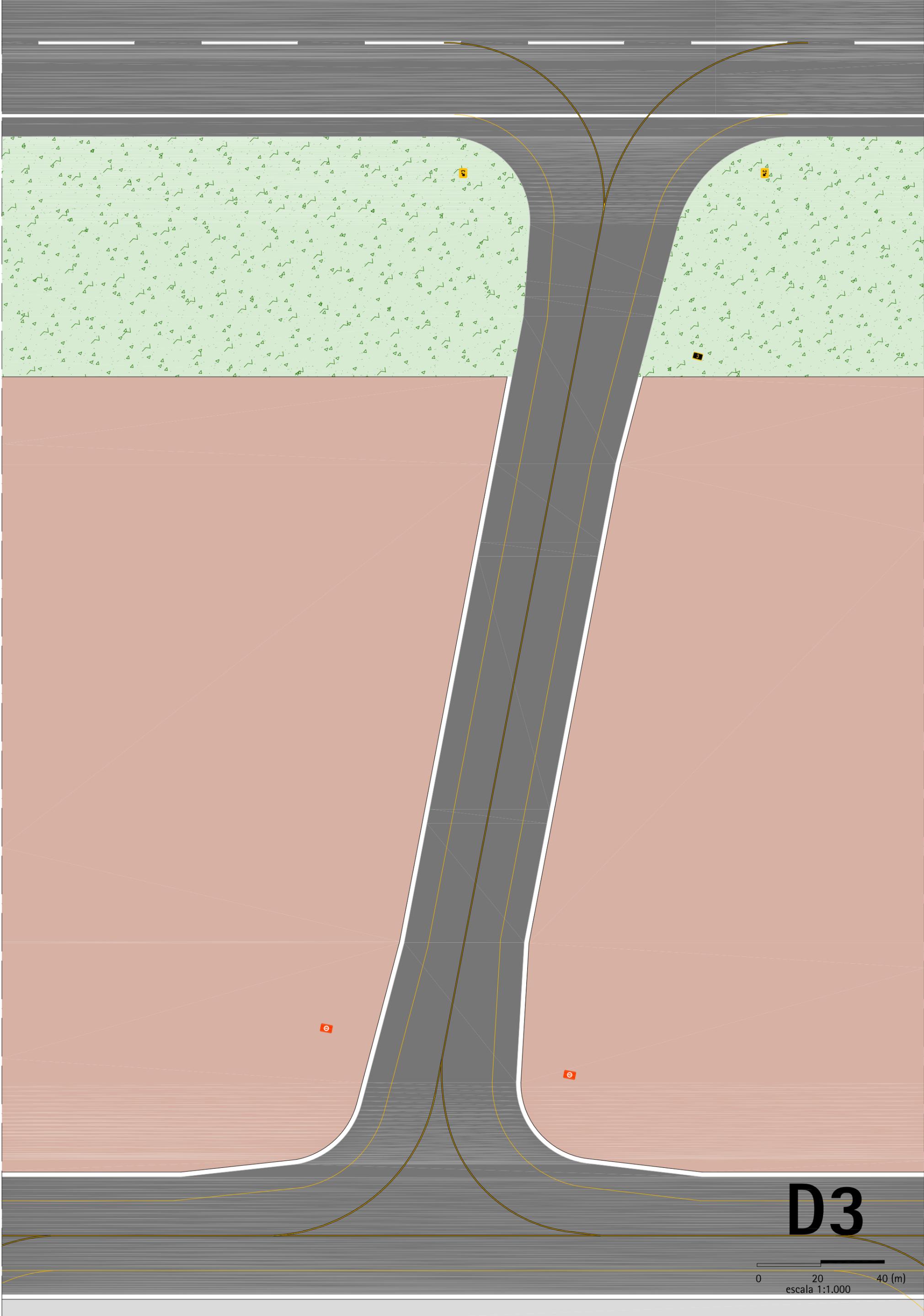
D1

0 20 40 (m)
escala 1:1.000



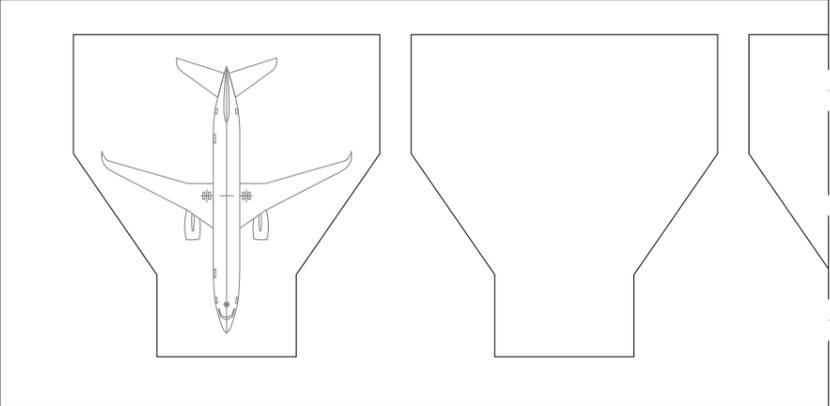
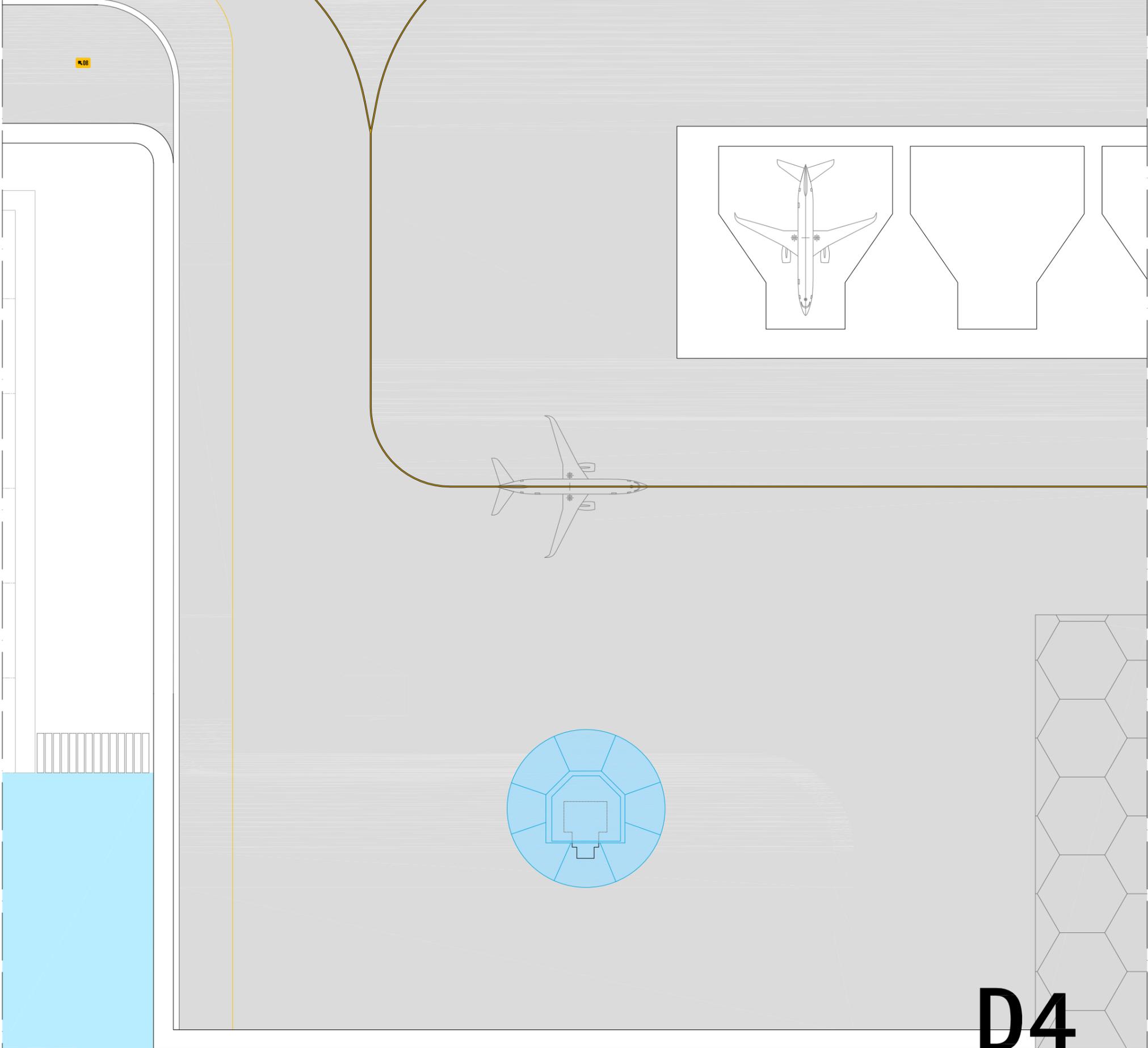
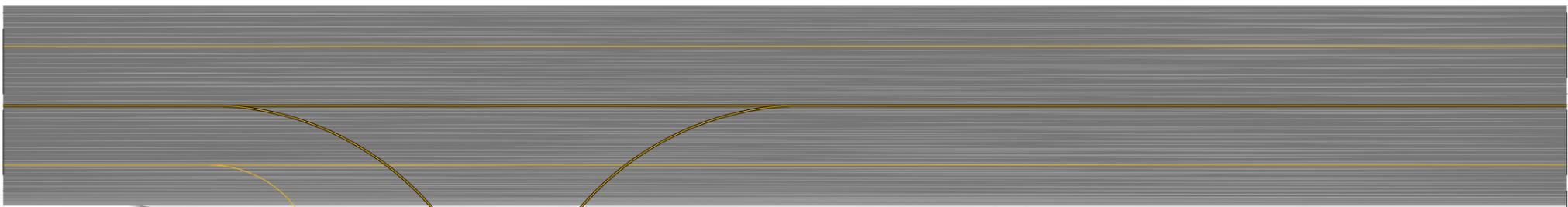
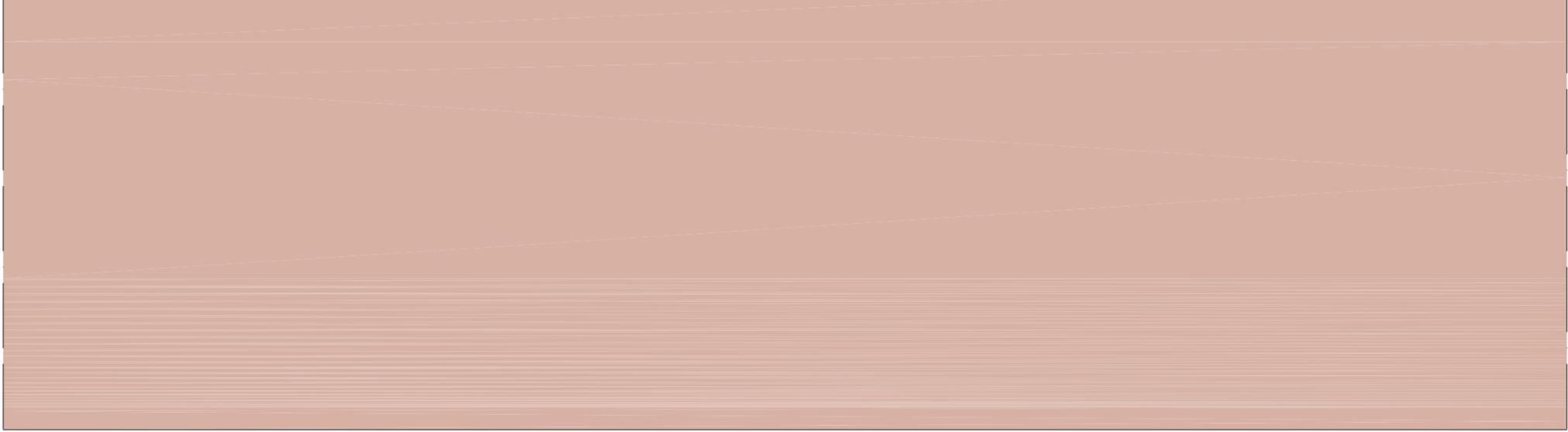
D2

0 20 40 (m)
escala 1:1.000



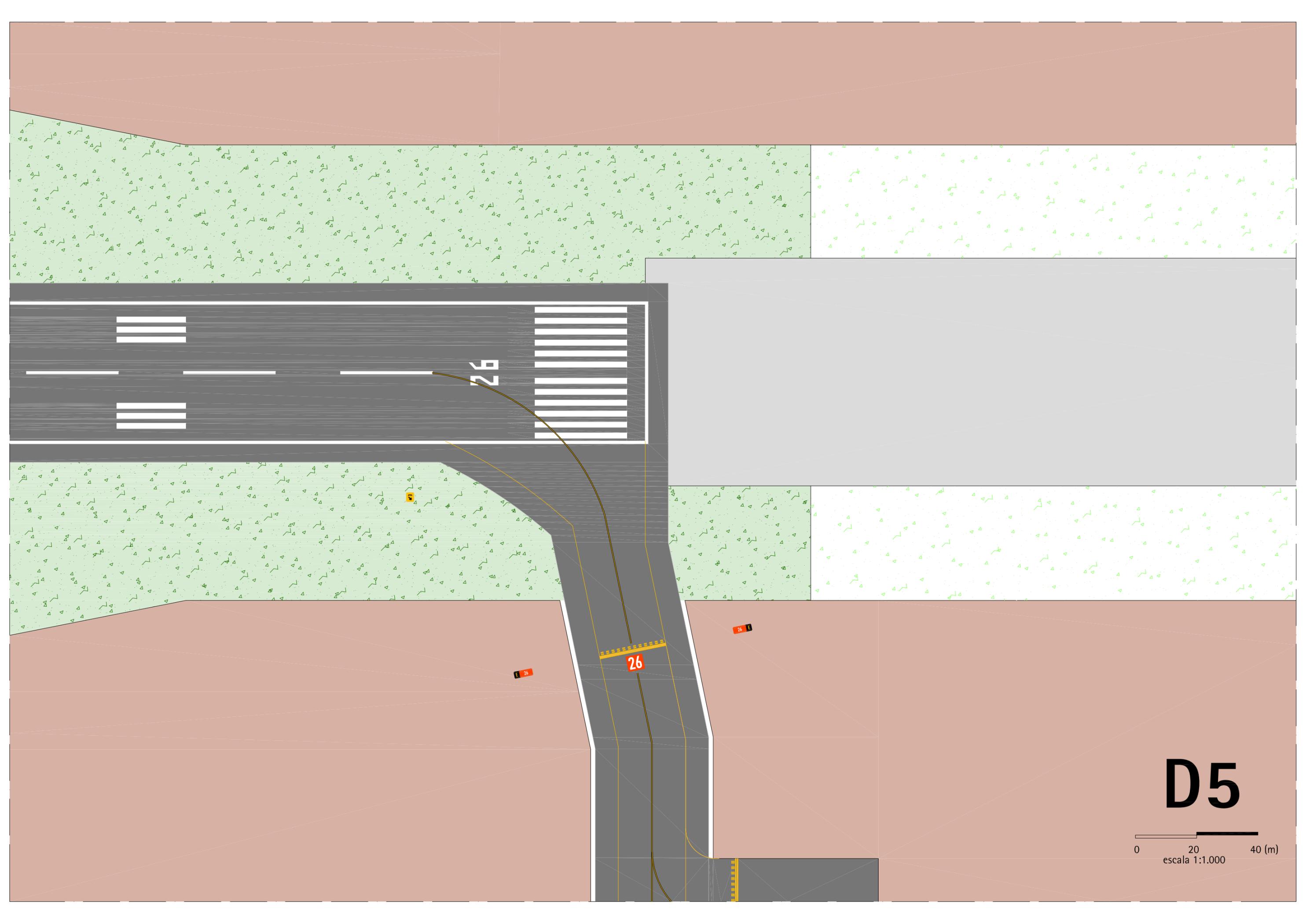
D3

0 20 40 (m)
escala 1:1.000



D4

0 20 40 (m)
escala 1:1.000



26

26

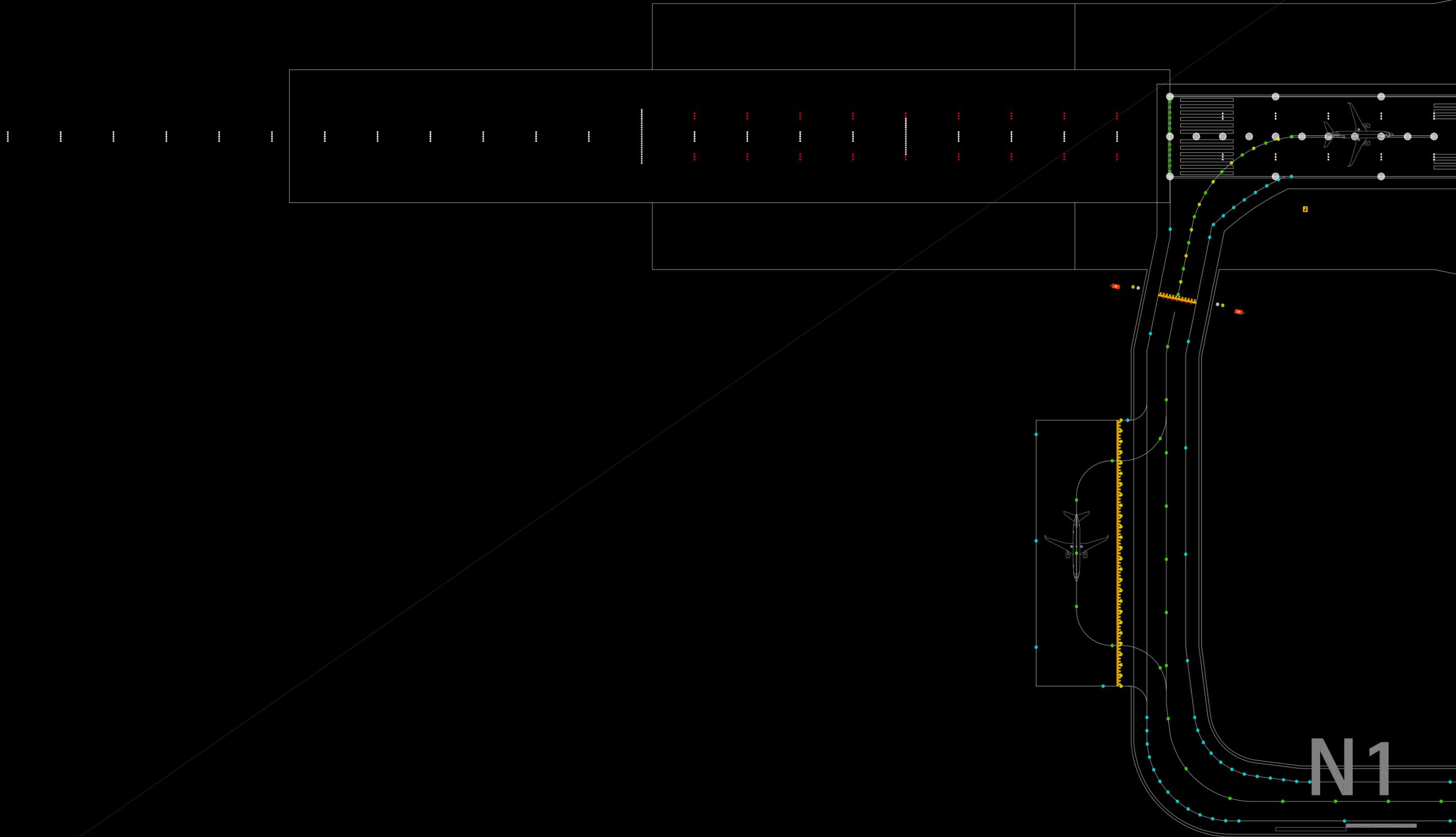
26

26

26

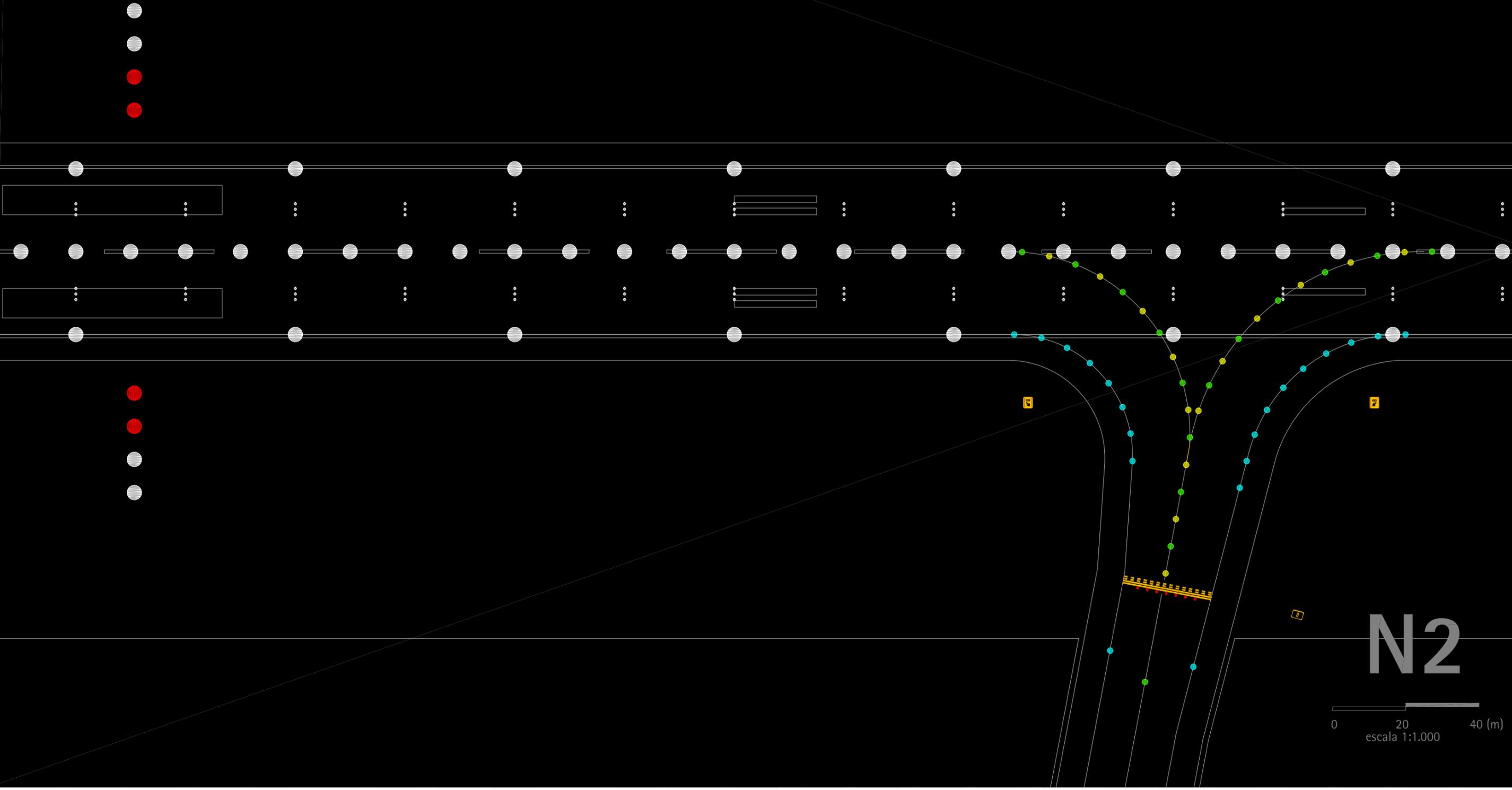
D5

0 20 40 (m)
escala 1:1.000



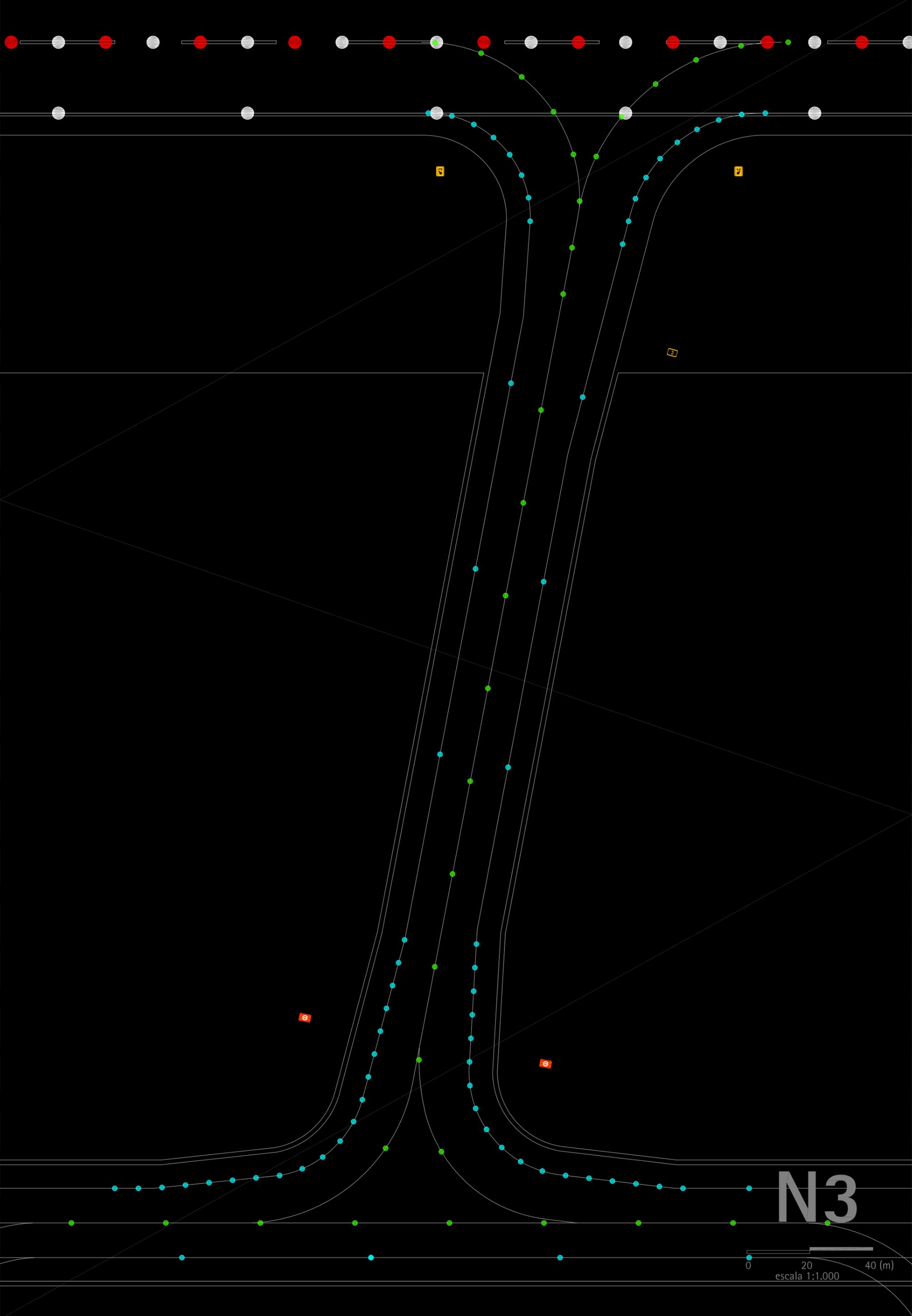
N1

0 40 80 (m)
escala 1:2.000



N2

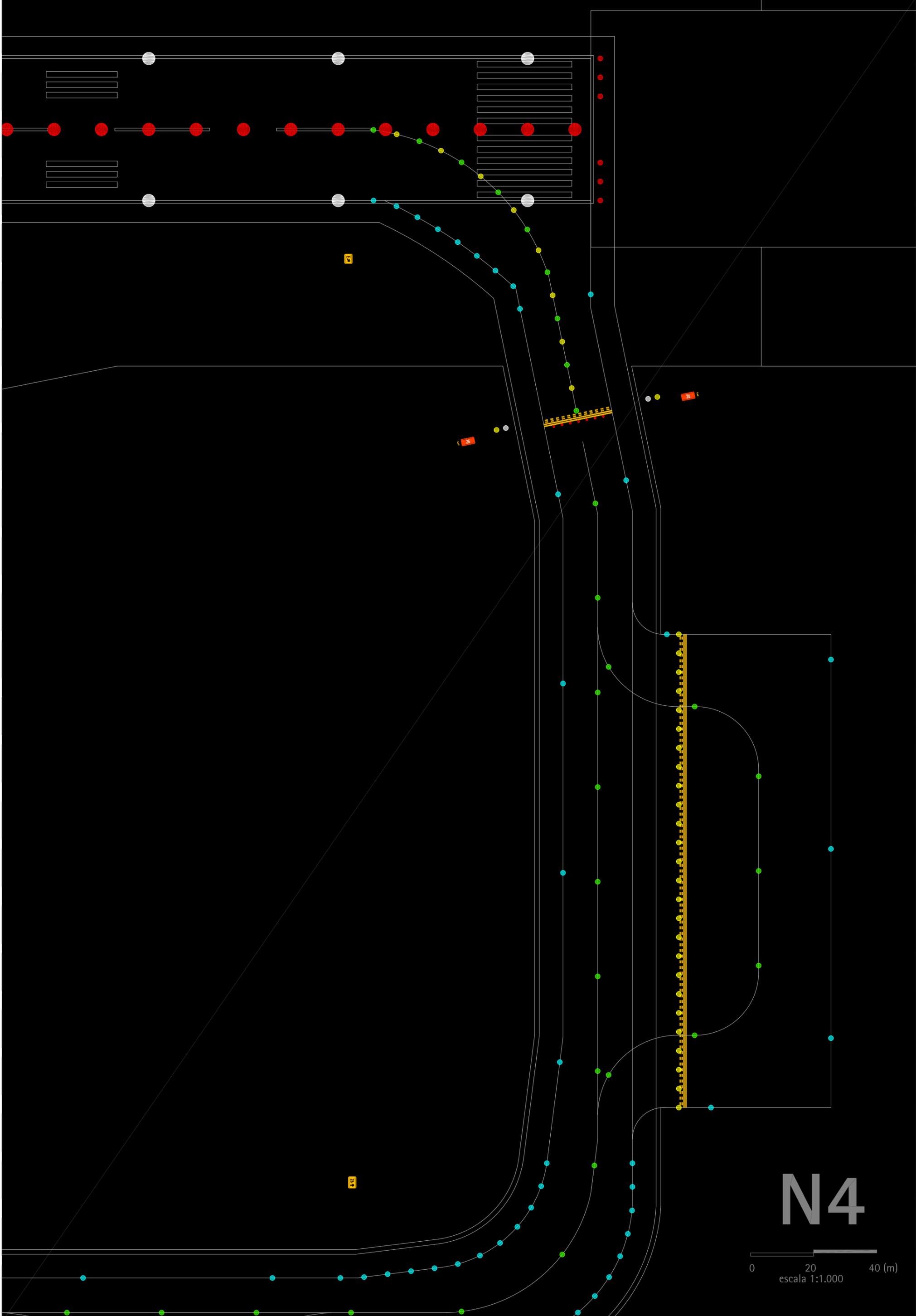
0 20 40 (m)
escala 1:1.000



N3



escala 1:1.000



N4

0 20 40 (m)
escala 1:1.000