



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

CALCULO DE CAPACIDAD DE PISTA DEL AEROPUERTO
INTERNACIONAL ELDORADO

AUTOR:

CAMILO ANDRES RAMIREZ SIERRA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
Bogotá D.C.
2018

CALCULO DE CAPACIDAD DE PISTA DEL AEROPUERTO
INTERNACIONAL ELDORADO

AUTOR:

CAMILO ANDRES RAMIREZ SIERRA

Presentado para optar al título de: Ingeniero Civil

DIRECTOR:

ING. OSCAR EDUARDO DIAZ OLARIAGA

PAR ACADEMICO:

ING. FERNANDO REY VALDERRAMA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
Bogotá D.C.
2018

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por guiarme y brindarme sabiduría para afrontar mi proyecto de vida, y a mi familia, siendo mis padres los pilares de mi vida, dedico este mi proyecto de grado a mi papa Carlos Arturo Ramírez y mi mama Alba Marina Sierra Rojas por apoyarme durante mi carrera profesional y darme la fuerza e inteligencia necesaria para cumplir las metas de mi vida.

Dedico este trabajo además a mi país Colombia, me siento orgulloso de ser colombiano, y orgulloso de ser Ingeniero Civil de una de las universidades más prestigiosas del país, dedico mi trabajo a la Universidad Santo Tomas por crearme como persona y profesional para afrontar mi futura vida profesional con confianza, inteligencia y principios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por crearme como ser humano y persona, por darme la vida y el conjunto de experiencias que con los años junto a ellos crearon de mi hoy en día un profesional, un Ingeniero Civil con ganas de proyectarse profesionalmente, aportando todos mis conocimientos y siempre dando lo mejor de mí, para intentar cambiar la sociedad colombiana y por qué no el mundo.

Agradezco a mis hermanos Junior, Jonathan y Katherine Ramírez Sierra por "ser mis hermanos", agradezco a la vida cada instante y cada enseñanza que aprendí con ellos, al igual que con mis padres, el principal pilar de mi vida personal es mi Familia, fundamental para poder crearme como ingeniero civil.

Agradezco a mi director de grado Ing. Oscar Díaz Olariaga, por guiarme y apoyarme durante el trabajo de grado, agradezco cada una de sus enseñanzas y por confiar en mí y en mis conocimientos para poder materializar este mi proyecto de grado.

Agradezco a mi par académico Ing. Fernando Rey Valderrama por orientarme en mi proyecto de grado y además en mi camino de ser profesional, agradezco sus enseñanzas, siempre ilustrando mejores formas de ver la ingeniería y soluciones inteligentes ante la vida y la profesión.

Agradezco a cada profesor de la universidad que de una u otra manera intervino en mi crecimiento intelectual y académico, cada aporte de parte de ellos fue enriquecedor y sustancioso para mi vida profesional y personal.

Gracias a todos...

Camilo Andrés Ramírez Sierra

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 General.....	20
2.2 Específicos.....	20
3. JUSTIFICACION	21
4. MARCO TEORICO	22
4.1 Capacidad del Área de Movimiento.....	22
4.2 Factores que afectan la Capacidad de Pista.....	23
4.3 Metodología calculo capacidad pista (OACI)	25
4.3.1 Tiempos de ocupación de pista (TOP).....	25
4.3.2 Tiempos de Vuelo entre el OM y la THR.....	26
4.3.3 Cálculo media tiempos de ocupación de pista (MTOPI).....	28
4.3.4 Cálculo del MIX de aeronaves.....	29
4.3.5 Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP).....	30
4.3.6 Cálculo de la Capacidad Física POR Pista.....	30
4.3.7 Cálculo del porcentaje de Utilización de Pista (PU).....	31
4.3.8 Cálculo de la capacidad física del aeródromo.....	32
4.3.9 Cálculo de la Velocidad de aproximación entre el OM y el THR.....	32
4.3.10 Cálculo de la Vel. media de aproximación final (VM).....	33
4.3.11 Determinación de la separación de seguridad (SS).....	34
4.3.12 Determinación de la separación total entre dos aterrizajes consecutivos (ST).....	35
4.3.13 Determinación del Tiempo Medio Ponderado, entre dos aterrizajes consecutivos, considerando la separación total (TMST).....	35
4.3.14 Determinación del número de aterrizajes en el intervalo de una hora (P).....	36
4.3.15 Determinación del número de despegues en el intervalo de una hora (D).....	37
4.3.16 Determinación de la capacidad teórica de pista (CTP).....	37
4.3.17 Determinación de la capacidad declarada del conjunto de pistas (CDP).....	38
4.4 Metodología calculo capacidad pista (FAA).....	39
4.4.1 Capacidad de aeropuerto y cálculos aeronáuticos.....	39
4.4.2 Capacidad horaria del componente de pista.....	39
4.4.2.1 Seleccionar Configuración Pista.....	39
4.4.2.2 Identificar Capacidad VMC e IMC.....	42
4.4.2.3 Índice de Mezcla.....	43
4.4.2.4 Porcentaje Llegadas (PA).....	44
4.4.2.5 Capacidad Base (C*).....	45
4.4.2.6 Factor Toque y Vaya (T).....	45
4.4.2.7 Factor Salida (E).....	46
4.4.3 Capacidad de Pista (CP).....	47
4.5 Metodología calculo capacidad pista (RAC).....	48
4.5.1 Declaración del Aeropuerto EIDorado como coordinado y de capacidad.....	48

4.5.2	Capacidad de Aeropuerto (pistas) ElDorado.....	48
4.5.3	Consideraciones.....	49
4.5.4	Capacidad Declarada.....	50
4.5.5	Capacidad Declarada de pista (CDP).....	50
4.5.6	Capacidad de Pista.....	50
4.5.7	Capacidad Física de Pista (CFP).....	51
4.5.8	Capacidad Teórica de Pista (CTP).....	51
4.5.9	Capacidad Declarada del Conjunto de Pistas.....	52
5	LOCALIZACION PROYECTO Y CARACTERISTICAS DE BOG	53
5.1	Ubicación geográfica proyecto.....	53
5.2	Características generales de BOG.....	56
5.2.1	Características Físicas de la Pista.....	58
5.2.2	Distancias Declaradas de Pistas.....	59
5.2.3	Radio ayudas para la navegación y aterrizaje.....	60
5.2.4	Luces de Aproximación y pista.....	64
6	VARIABLES QUE INTERVIENEN O ALTERAN EL ESTADO DE LA CAPACIDAD DE PISTA DE BOG	66
6.1	Variables referentes a la particularidad de BOG.....	67
6.1.1	Infraestructura Aérea.....	67
6.1.2	Condiciones de entorno.....	70
6.1.2.1	Reporte Pronóstico Estado del Tiempo BOG.....	71
6.1.2.2	Meteorología BOG.....	72
6.1.2.2.1	Temperatura BOG.....	73
6.1.2.2.2	Brillo Solar BOG (insolación).....	73
6.1.2.2.3	Precipitación BOG.....	74
6.1.2.2.4	Visibilidad y Techo de nubes BOG.....	75
6.1.2.2.5	Vientos BOG.....	78
6.1.3	Modo de operación ATC (Control de Tráfico Aéreo).....	79
6.1.3.1	Condiciones Control Tráfico Aéreo.....	79
6.1.3.1.1	Demanda característica (mix de Aprox. y Desp.).....	79
6.1.3.1.2	Tipo de operación (razón aterrizajes/despegues).....	79
6.1.3.1.3	Calidad y desempeño sistemas navegación y control...80	
6.1.3.1.4	Performance de controladores y pilotos.....	80
6.1.3.1.5	Condiciones meteorológicas.....	80
6.1.3.1.6	El concepto carga de trabajo.....	80
6.1.3.2	La forma o gestión de utilización del sistema de pistas.....	81
6.1.4	Características operacionales de aerolíneas.....	84
7	APLICACIÓN DEL METODO	85
7.1	Desarrollo de la Metodología Colombiana RAC.....	85
7.1.1	Factores de planificación.....	85
7.1.2	Factores relacionados con operaciones (Aprox. y Desp.).....	85
7.1.3	Obtención de datos.....	86
7.1.4	Consideraciones Generales.....	87
7.2	Calculo.....	87
7.2.1	Tiempos de ocupación de pista.....	88
7.2.2	Media aritmética de los tiempos de ocupación de pista.....	88
7.2.3	Cálculo del MIX de aeronaves.....	91
7.2.4	Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP).....	92
7.2.5	Cálculo de la Capacidad Física POR Pista de BOG (CFP).....	93

7.2.6	Cálculo del porcentaje de Utilización de Pista (PU).....	94
7.2.7	Calculo capacidad física del aeródromo (o conjunto de pistas).....	95
7.2.8	Capacidad Teórica de Pista (CTP) de BOG.....	96
7.2.8.1	Tiempos de Vuelo entre el OM y la THR.....	97
7.2.8.2	Tiempo Medio de Vuelo de aproximación (TMA).....	97
7.2.8.3	Cálculo de Velocidad de Aproximación (VA).....	97
7.2.8.4	Cálculo de Velocidad media de Aproximación final (VM).....	98
7.2.8.5	Calculo de la separación de seguridad (SS).....	99
7.2.8.6	Calculo de Separación Total entre dos aterrizajes (ST).....	100
7.2.8.7	Calculo del Tiempo Medio Ponderado entre dos aterrizajes Consecutivos (TMST).....	100
7.2.8.8	Calculo de Número de Aterrizajes (A) en una hora (1h).....	101
7.2.8.9	Calculo de Número de Despegues (D) en una hora (1h).....	101
7.2.8.10	Calculo de la Capacidad Teórica de BOG (CTP).....	102
7.2.8.11	Determinación de la Capacidad Declarada del Conjunto de Pistas (CDP) de BOG.....	102
8	ANÁLISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS	104
8.1	Análisis Comparativo entre valores de Capacidad BOG.....	104
8.2	Análisis Demanda / Capacidad BOG.....	106
9	CONCLUSIONES	107
10	BIBLIOGRAFÍA	108
11	ANEXOS	110

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	Categoría de aeronaves (CAT), función Vel. Cruce umbral.....	14
TABLA 2	Tiempo ocupacion pista despegue (TOPD).....	25
TABLA 3	Tiempo ocupacion pista aterrizaje (TOPP).....	26
TABLA 4	Tiempo vuelo entre OM y THR (T).....	27
TABLA 5	Tiempo medio vuelo entre OM y THR (T).....	27
TABLA 6	Tiempo medio ocupacion pista aterrizaje (TOPP).....	28
TABLA 7	Tiempo medio ocupacion pista despegue (TOPD).....	28
TABLA 8	Porcentual utilizacion por categoria (MIX).....	29
TABLA 9	Porcentual unificado utilizacion por categoria (MIX).....	29
TABLA 10	Calculo tiempo medio de ocupacion pista (TMOP).....	30
TABLA 11	Porcentaje utilizacion pista.....	31
TABLA 12	Calculo porcentaje utilizacion pista.....	31
TABLA 13	Calculo de la capacidad fisica del aeródromo.....	32
TABLA 14	Calculo vel. aproximacion entre OM y THR.....	33
TABLA 15	Determinacion numero aterrizajes en una hora (P).....	36
TABLA 16	Determinacion numero despegues en una hora (D).....	37
TABLA 17	Determinacion capacidad teorica de pista (CTP).....	37
TABLA 18	Condiciones de techo y visibilidad.....	42
TABLA 19	Clasificacion de aeronaves.....	43
TABLA 20	Indice de mezcla.....	44
TABLA 21	Valores capacidad fisica de pista (RAC).....	51
TABLA 22	Valores capacidad teorica de pista (RAC).....	52
TABLA 23	Ficha Técnica de BOG.....	53

TABLA 24	Características físicas pista BOG.....	58
TABLA 25	Distancias declaradas BOG.....	59
TABLA 26	Radio ayudas navegación y aterrizaje BOG.....	61
TABLA 27	Instalaciones de comunicaciones ATS BOG.....	63
TABLA 28	Luces Aproximación y pista BOG.....	64
TABLA 29	Descripción sistema pistas BOG.....	67
TABLA 30	Resumen Reporte Pronostico Estado Tiempo BOG.....	72
TABLA 31	Llegadas Oficiales BOG.....	82
TABLA 32	Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 13L.....	89
TABLA 33	Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 13R.....	90
TABLA 34	Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 31R.....	90
TABLA 35	Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 31L.....	91
TABLA 36	Mix Aeronaves BOG.....	92
TABLA 37	Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 13L.....	92
TABLA 38	Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 13R.....	92
TABLA 39	Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 31R.....	93
TABLA 40	Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 31L.....	93
TABLA 41	Movimiento Mensual Operaciones 2017 BOG.....	94
TABLA 42	Porcentaje Utilización Pistas BOG.....	95
TABLA 43	Capacidad Física BOG.....	95
TABLA 44	Tiempo Medio aproximación TMA BOG.....	97
TABLA 45	Velocidad de Aproximación VA BOG.....	98
TABLA 46	Velocidad Media de Aproximación Final VM BOG.....	98
TABLA 47	Capacidad Teórica de BOG.....	102
TABLA 48	Capacidad Declarada Oficial BOG.....	103

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Separacion longitudinal de aeronaves en aproximacion.....	34
FIGURA 2	Configuracion de pista 1.....	40
FIGURA 3	Configuracion de pista 2.....	41
FIGURA 4	Capacidad Inicial VFR e IFR.....	42
FIGURA 5	Capacidad base C*.....	44
FIGURA 6	Valores factor (T).....	45
FIGURA 7	Valores factor (E).....	46
FIGURA 8	Ec. Capacidad de pista (FAA).....	47
FIGURA 9	Valores capacidad declarada del conjunto pistas (RAC).....	52
FIGURA 10	Ubicación del A. Internacional de Bogotá-El Dorado.....	54
FIGURA 11	Plano del Aeropuerto EIDorado BOG.....	55
FIGURA 12	Características generales 1 BOG.....	56
FIGURA 13	Características generales 2 BOG.....	57
FIGURA 14	Terminales lado tierra BOG.....	57
FIGURA 15	Distancias declaradas Pista 13L/31R BOG.....	60
FIGURA 16	Distancias declaradas Pista 13R/31L BOG.....	60
FIGURA 17	ILS y VOR carta de navegación BOG.....	62
FIGURA 18	VOR Colombia Aerocivil.....	63
FIGURA 19	Luces aproximación y pista 13L BOG.....	65
FIGURA 20	Luces aproximación ALS umbral 13R BOG.....	65
FIGURA 21	Sistema de pistas BOG.....	68

FIGURA 22	Pistas 13L/31R BOG.....	69
FIGURA 23	Pistas 13R/31L BOG.....	69
FIGURA 24	Reporte Pronostico Estado Tiempo BOG.....	71
FIGURA 25	Rosa de vientos BOG.....	78
FIGURA 26	Reglamentación pista 13L/31R BOG.....	81
FIGURA 27	Reglamentación pista 13R/31L BOG.....	81
FIGURA 28	Reglamentación pista 13R/31L BOG.....	82
FIGURA 29	Visual Ruta Operativa BOG.....	83
FIGURA 30	Lado Tierra operativa BOG.....	84
FIGURA 31	Visual BBDD operaciones BOG.....	88
FIGURA 32	Capacidad Declarada BOG.....	103

INDICE DE ECUACIONES

ECUACION 1	Capacidad Fisica por Pista.....	31
ECUACION 2	Calculo vel. media aproximaicon final.....	33
ECUACION 3	Determinacion separacion de seguridad (SS).....	35
ECUACION 4	Determinacion separacion total aterrizajes consecutivos.....	35
ECUACION 5	Determinacion tiempo medio ponderado.....	36
ECUACION 6	Capacidad declarada conjunto pistas (CDP).....	38
ECUACION 7	Indice de Mezcla.....	43
ECUACION 8	Nro. Aterrizajes (A) BOG.....	101
ECUACION 9	Nro. Despegues (D) BOG.....	101
ECUACION 10	Capacidad Teorica (CTP) BOG.....	102

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1	Factores relevantes capacidad pista BOG.....	67
GRAFICA 2	Comportamiento Climático Anual BOG.....	70
GRAFICA 3	Temperatura Medias (C°) BOG.	73
GRAFICA 4	Brillo Solar (insolación) BOG.....	74
GRAFICA 5	Precipitación Mensual BOG.....	74
GRAFICA 6	Estado Sistema de Pistas BOG.....	75
GRAFICA 7	Visibilidad Operaciones BOG.....	76
GRAFICA 8	Estado Techo Nubes Operaciones BOG.	76
GRAFICA 9	Neblina y Niebla Histórica BOG.....	77

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1	FMU – (RAC) Reglamentos Aeronáuticos Colombianos 2013.....	110
ANEXO 2	FAA – Administración Federal de Aviación 1983.....	110
ANEXO 3	OACI – Organización de Aviación Civil Internacional 2011.....	110
ANEXO 4	AEROCIVIL – BBDD Operaciones aéreas año 2017.....	110
ANEXO 5	AEROCIVIL – BBDD Datos control tráfico aéreo año 2017/2018....	110

ABREVIATURAS

AAR: Aerodrome Acceptance Range.

ACC: Area Control Center.

ATC: Air Traffic Control.

ATFM: Air Traffic Flow Management.

ATM: Air Traffic Management.

ATS: Air Traffic Services.

AVA: Avianca.

Avianca: Aerovías del Continente Americano.

CATAM: Comando Aéreo de Transporte Militar.

CTOT: Calculated Take off Time.

EOBT: Estimated Off Block Time.

EOT: Estimated Take Off Time.

FAA: Federal Aviation Administration.

FMU: Flow Management Unit.

IFR: Instrumental Flight Rules.

IMC: Instrumental Meteorological Conditions.

ILS: Instrumental Landing System.

LAN: Líneas Aéreas Nacionales.

OACI: Organización Aeronáutica Civil Internacional.

RAC: Regulación Aérea Colombiana.

SAM: Sur América.

TMI: Traffic Management Initiatives.

VFR: Visual Flight Rules.

VMC: Visual Meteorological Conditions

GLOSARIO

AAR Potencial: El régimen de aceptación Teórico de aeronaves para un umbral de pista antes de tomar en cuenta, si es el caso, los factores de ajuste. El AAR potencial es el valor que la DSNA a determinado como capacidad declarada para dicho cálculo.

AAR Real: Es el AAR potencial en el umbral de pista, revisado con base en los factores de ajuste, este valor de AAR podrá ser calculado rápidamente por el supervisor o encargado del aeródromo y tendrá como numero base o de partida el valor de capacidad declarado oficialmente por la DSNA (AAR Potencial), a fin de ser aplicado, en caso necesario, debido a alguna reducción de capacidad por condiciones MET en la aproximación o en el Aeródromo. Siendo este un valor de AAR potencial resultado de la operación matemática correspondiente, teniendo en cuenta una separación base, más una separación adicional requerida de acuerdo a las condiciones operacionales.

Aeropuerto Coordinado: Aeropuerto en el cual, para facilitar las actividades de las empresas de servicios aéreos comerciales que allí operan o proponen operar, se ha establecido una oficina de coordinación de SLOT.

Capacidad de pista: Número máximo de movimientos utilizando combinaciones despegue y aterrizaje de aeronaves en una pista determinada, en condiciones meteorológicas definidas para periodos de tiempo específicos. Este tipo de capacidad es un índice inicial general sobre la capacidad de pista, que tiene en cuenta diversos factores que afectan la misma.

Nota 1: La capacidad de pista se establece individualmente para cada umbral utilizado. Si es necesario establecer un valor de capacidad de pista para los dos umbrales, se debe utilizar la media aritmética ponderada de los dos valores encontrados en función de los datos estadísticos utilizados en cada umbral durante un periodo de por lo menos un año.

Nota 2: Para situaciones específicas, el cálculo de capacidad de pista tiene tres escenarios característicos: la Capacidad Física, la Capacidad Teórica y la Capacidad Declarada, conforme se definen a continuación.

Capacidad Física de Pista (CFP): Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista **(TOP)**. Proceso simplificado que tiene por finalidad proporcionar el primer indicativo para los valores de capacidad del aeródromo. Se destina a los aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo todavía no ha alcanzado niveles de congestión.

Capacidad Teórica de Pista (CTP): Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista **(TOP)** amparado por la legislación o normativa local vigente.

Relativa a la separación reglamentaria entre aeronaves, así como de las normas y procedimientos específicos aplicables a las operaciones aéreas de la localidad considerada. Se destina a los aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo ha alcanzado o tiende a alcanzar niveles de congestión. Por tratarse de un proceso complejo, toma en cuenta diversas variables, siendo la más importante el modo de operación.

Capacidad Declarada de Pista (CDP): Capacidad de pista plenamente sostenible desde el punto de vista operacional resultante de las versiones anteriores incluyendo *parámetros que interfieren directa o indirectamente en el "modus operandi" del órgano de control de tránsito aéreo*. Se trata del valor efectivamente divulgado, es decir, las variables estudiadas son reunidas y evaluadas antes de llegar a un valor final. Este estudio puede resultar en un valor diferente de los anteriormente calculados. Este valor puede agregar otros elementos, como: meteorología, posición geográfica, etc.

Nota: La Capacidad Declarada será aplicada exclusivamente en los aeropuertos que presenten tendencias de saturación. La forma de operar, tanto de los pilotos

como de los controladores, será estudiada por el CGNA (Centro de Gestión de Navegación Aérea), con el objetivo de establecer un valor posible y sostenible de operaciones por un periodo de tiempo determinado.

Categoría de Aeronave (CAT): Clase de aeronaves subdivididas en cinco grupos: A, B, C, D y E definidas en función de la velocidad de cruce del umbral, que debe ser el 130 por cien del valor de la velocidad de pérdida (**stall**) en la configuración de aterrizaje (*full flaps, gear down*), según la siguiente *Tabla 1*:

CAT ANV	VEL APX FINAL	CLASE DE ANV	PESO MAX DEP
A	< 91 Kt	A	≤ 7.000 Kg
B	91 < o ≤ 120 Kt	B	
C	121 < o ≤ 140 Kt	C	≤ 136.000 Kg
D	141 < o ≤ 165 Kt	D	>136.000 Kg
E	166 < o ≤ 210 Kt	E	

TABLA 1 CATEGORIA / VEL. CRUCE UMBRAL. Fuente: OACI

Mezcla (Mix) de Aeronaves: Distribución porcentual del número de aeronaves en operación en el aeródromo, conforme sus categorías, en un periodo de tiempo específico.

Nota: El Mix de Aeronaves debe ser calculado a partir del movimiento total diario en el aeródromo en estudio, obtenido por medio de cualquier fuente estadística reconocida que revele fielmente el movimiento total de aeronaves en el aeródromo. Se calcula a través de la media aritmética de un muestreo conteniendo datos referentes al periodo de, por lo menos, una semana. Preferentemente, este periodo debe abarcar la fase de la recolección de las muestras y considerar los días de mayor movimiento, generalmente, los días de lunes a viernes.

Porcentual de Utilización de Pista: Índice calculado a partir del movimiento total diario, constante de la IEPV 100-34 (Movimiento de Aeronaves en Aeródromos), del SGTC o de cualquier otra fuente estadística reconocida que revele fielmente el movimiento total de aeronaves en el aeródromo. Se obtiene a

través de la media aritmética de un muestreo conteniendo datos referentes al periodo de un año, validando la confiabilidad de los datos.

Régimen de Aceptación de Aeródromo (AAR): Se define como la cantidad de aeronaves entrantes que un aeródromo conjuntamente con las condiciones meteorológicas, la capacidad del espacio aéreo terminal, el espacio en plataforma, el espacio para estacionamiento y las instalaciones puede aceptar por hora.

Separación de Seguridad (SS): Se define separación como el término genérico usado para describir la acción de los servicios de tránsito aéreo (ATS) para mantener los aviones en operación en una misma área general en tales distancias que el riesgo de colisión está mantenido debajo de un nivel aceptable de seguridad. Tal separación se puede aplicar horizontalmente y verticalmente. La separación requerida entre el avión se expresa generalmente en términos de distancias mínimas en cada dimensión que no deba ser infringida simultáneamente, así pues la Separación de Seguridad es el cálculo de una distancia de seguridad para ser sumada a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, con el fin de posibilitar el despegue de una aeronave, luego del aterrizaje de la primera, sin comprometer la separación reglamentaria con la segunda aeronave en aproximación, en caso de presentarse un procedimiento de Aproximación Frustrada.

SLOT: (Por sus siglas en ingles Space Limit Over Traffic). Es el “intervalo” de tiempo, o franja horaria, previsto en un aeropuerto para la operación de un vuelo determinado, indicado por el tiempo preciso (día, hora y minutos) específico disponible o asignado a una aeronave para su operación (aterrizaje o despegue), de acuerdo con su disponibilidad en relación con la capacidad declarada y proyectada del espacio aéreo, pistas e instalaciones y servicios de cada aeropuerto.

Tiempo de vuelo SAF (TSAF): tiempo consumido por la aeronave en vuelo entre el marcador exterior (OM) y el umbral de la pista (THR).

Tiempo medio de vuelo SAF (TM): media aritmética de los TSAF por categoría de aeronave.

Tiempo de Ocupación de Pista (TOP): Tiempo utilizado por la aeronave durante la operación de despegue (TOPD) o aterrizaje (TOPA). Es decir, el tiempo contado desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el cruce del umbral opuesto para la operación de despegue o, a partir del punto en que la aeronave cruza el umbral hasta el momento en que haya abandonado la pista en la operación de aterrizaje

Tiempo de Ocupación de pista en Despegue (TOPD): Tiempo desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera hasta el momento en que cruza el extremo de pista en sentido de despegue.

Tiempo de Ocupación de pista en Aterrizaje (TOPA): Tiempo desde el momento en que la aeronave cruza el umbral de la pista en el sentido del aterrizaje hasta el momento en que la abandona.

Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP): Es el tiempo resultante de la media aritmética ponderada de las medias de los tiempos de ocupación de pista, por categoría de aeronave, teniendo como factor de ponderación el mix de aeronaves que opera en el aeródromo.

Tiempo Promedio de Ocupación de Pista: Media Aritmética ponderada de las medias de los tiempos de ocupación de pista por categoría de aeronave, teniendo como factor de ponderación el MIX de aeronaves que opera en el aeródromo.

Velocidad de aproximación final (VA): Velocidad necesaria para recorrer el segmento de aproximación final (SAF) para aterrizaje.

CALCULO DE CAPACIDAD DE PISTA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE BOGOTA ELDORADO (BOG)

Camilo Andrés Ramírez Sierra

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá (Colombia).

E-mail: Camilo.ramirez@usantotomas.edu.co

RESUMEN

El concepto de Capacidad de Pista se puede definir como la demanda máxima de operaciones aéreas que el aeropuerto pueda ofrecer en un intervalo de tiempo. La capacidad de pista del Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (en adelante BOG) está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC (Control de Tráfico Aéreo) y las características operacionales de los operadores aéreos. BOG presenta, desde mediados de 2012, congestiones de operaciones aéreas. Aerocivil, responsable de la gestión del tráfico aéreo, gestiona las operaciones aéreas (despegues y aterrizajes) con datos de capacidad de pista obsoletos y/o desactualizados, lo que genera un gran conflicto operativo y de seguridad operacional. Los valores de capacidad de pista, de capital importancia, son utilizados como base para lograr una gestión óptima y eficiente de la pista, consiguiendo con ello un uso eficiente de la infraestructura disponible y garantizando en todo momento una "obligada y estricta" seguridad operacional.

Palabras clave: **Aeropuerto, Capacidad de pista, Operaciones aéreas, Demanda aeroportuaria**

ABSTRACT

The concept of track capacity can be defined as the maximum demand for air operations that the airport can offer over a period of time. The runway capacity of the Bogota-El Dorado International Airport (hereinafter BOG) is specifically related to its infrastructure, the prevailing meteorology, the operational configurations, the operation mode of the ATC (Air Traffic Control) dependencies and the operational characteristics of the aerial operators. BOG presents, since mid-2012, congestion of air operations. Aerocivil, responsible for air traffic management, manages air operations (take-offs and landings) with obsolete and or outdated track capacity data, which generates a major operational and operational safety conflict. The track capacity values, of capital importance, are used as a basis to achieve optimal and efficient track, thereby achieving an efficient use of the infrastructure available and guaranteeing at all times an "obligated and strict" operational safety.

Keywords **Airport, Track capacity, Air operations, Airport demand**

1 INTRODUCCIÓN

El Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (en adelante **BOG**, su código IATA) desde mediados de 2012 presenta congestiones de operaciones aéreas, en horas valles se presentan congestiones y saturación de operaciones y en horas pico se presenta sobresaturación. Aerocivil, responsable de la gestión del tráfico aéreo, en primer lugar planifica y controla sus operaciones aéreas (despegues y aterrizajes) con datos de capacidad de pista obsoletos y/o desactualizados, lo que genera un gran conflicto operativo (y que podría llegar a producir situaciones de riesgo operacional, es decir accidentes), y en segundo lugar, planifica el uso de capacidad en infraestructura, tarea que gestiona en colaboración con el operador del aeropuerto (empresa privada, OPAIN), también con datos (de ambos entes, y no necesariamente siempre compartidos) que no se ajustan a la realidad.

El propósito de este documento es proporcionar los valores de la capacidad de pista que se obtuvieron como resultado de la aplicación de la Metodología de medición y cálculo para la determinación de la capacidad de la pista de los aeropuertos y aeródromos, que se tomarán para hacer la declaración oficial de la Dirección de Servicios de Navegación Aérea (DSNA) de los valores de la capacidad de la pista del Aeropuerto Internacional El Dorado para ser utilizada con el propósito de proporcionar el servicio ATC (Control de Tráfico Aéreo). Los valores de capacidad se utilizan como referencia para lograr una utilización óptima de la pista bajo un nivel de demanda constante para ser absorbida en un determinado intervalo de tiempo, equilibrando el potencial que el aeropuerto de El Dorado puede ofrecer a las necesidades de dicha reclamación.

El concepto de Capacidad de Pista, se puede definir como la demanda máxima de operaciones aéreas que el aeropuerto pueda ofrecer, en un intervalo de tiempo. La capacidad de pista del aeropuerto está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC (Control de Tráfico Aéreo) y las características operacionales de los operadores aéreos. Estos son factores que

pueden conducir a incrementos o reducciones en los valores de la capacidad de pista. Es importante resaltar que el concepto de *Capacidad de Pista* para un aeropuerto, es el dato por excelencia para la planeación, control y ejecución de operaciones aéreas.

BOG tiene un límite en cuanto al número de operaciones de aeronaves que el sistema de pista y calles de rodaje pueden acomodar. Este límite se identifica como la capacidad del aeródromo. La capacidad del aeródromo es evaluada en periodos de una hora para el sistema de pistas/calles de rodaje. El análisis Demanda/Capacidad busca identificar la capacidad del aeródromo y definir que mejoras, si existiesen, pueden ser necesarias para atender la demanda futura.

El norte principal del trabajo es calcular y evaluar los valores de la capacidad de pista para el Aeropuerto Internacional El Dorado, que se obtiene como resultado de la aplicación de la metodología y la medición del cálculo para la determinación de la capacidad de la pista de los aeropuertos y aeródromos. Las actividades generales que componen el gran propósito para el papel particular del Aeropuerto El Dorado son:

- Explicar las variables que afectan el cálculo de la capacidad de pista.
- Aplicar el método para el cálculo de la capacidad de pista.
- Analizar y evaluar los resultados obtenidos después de usar el método.
- Explicar las posibles causas y soluciones a problemáticas de operaciones presentadas en el aeropuerto.

2 OBJETIVOS

2.1 General

- Calcular la Capacidad de pista del Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (BOG).

2.2 Específicos

- Explicar las variables que afectan el Cálculo de la Capacidad de pista, para las particularidades presentes en BOG.
- Aplicar el método de cálculo de capacidad de pista para BOG.
- Generar y obtener la capacidad de pista de BOG.
- Analizar y evaluar el resultado encontrado tras el empleo del método de cálculo de capacidad de pista de BOG.

3 JUSTIFICACIÓN

Los valores de capacidad de pista, de capital importancia, son utilizados como base para lograr una gestión óptima y eficiente de la pista (o sistema de pistas, como es el caso de BOG, que tiene un sistema de dos pistas paralelas) bajo un determinado nivel de demanda a ser absorbido en un determinado intervalo de tiempo, consiguiendo con ello un uso eficiente de la infraestructura disponible y garantizando en todo momento una "obligada y estricta" seguridad operacional.

Los valores de capacidad de pista que se obtendrán como resultado de la aplicación de la Metodología de medición y cálculo para la determinación de capacidad de pista de los aeropuertos y aeródromos, serán tomados para realizar la declaración oficial por parte de la Dirección de *Servicios a la Navegación Aérea (DSNA)* de los valores de capacidad de pista de BOG, a fin de ser utilizados para los fines correspondientes a la prestación de servicio de Control de Tráfico Aéreo por parte de Aerocivil y como medida referencia para la aplicación de medidas de gestión de flujo de tránsito aéreo. Operar un aeropuerto con conceptos de capacidad de pista desactualizados, y en general basar cualquier funcionamiento de una entidad con información poco cercana de la realidad, genera una relación directamente proporcional con el mal funcionamiento y operación de la misma. Un gran aeropuerto, como es el caso de BOG; no puede planear, controlar y ejecutar sus operaciones aéreas con bajos niveles de confiabilidad de información.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Capacidad del Área de Movimiento

El transporte aéreo, es decir, el movimiento eficiente de las aeronaves entre los aeropuertos, es altamente dependiente de dos características clave de las operaciones de un aeropuerto: la demanda (de servicio) y la capacidad (ofrecida por el aeropuerto). Una de las principales preocupaciones de la gestión y planificación de un aeropuerto es la adecuación (en términos de capacidad) de su campo de vuelo, específicamente, su sistema de pistas, en cuanto a su capacidad para absorber y gestionar la demanda prevista de operaciones. Si la demanda de tráfico aéreo supera la capacidad instalada/ofrecida del aeropuerto, o de su espacio aéreo asociado, se presentará el fenómeno de los retrasos, causando pérdidas económicas a las compañías aéreas, molestias a los pasajeros, un aumento de la carga de trabajo para el sistema de control del tráfico aéreo del aeropuerto, y disminución de la calidad del servicio prestado por el aeropuerto, con la consiguiente pérdida de imagen, y también ciertos perjuicios económicos.

El crecimiento sin precedentes de la demanda de transporte aéreo en los últimos 30-40 años ha generado situaciones en que los aeropuertos no han podido responder adecuadamente (suministrando mayor capacidad) a esta demanda. Por ello, en los últimos años la ingeniería aeroportuaria ha puesto el énfasis en la investigación de la capacidad, de manera de optimizar los futuros diseños y construcciones de las infraestructuras aeroportuarias. La información sobre la capacidad del aeropuerto y las demoras existentes es importante para el planificador aeroportuario.

Los ingresos de un aeropuerto se pueden optimizar (es decir, aumentar) si se consigue comprender, y luego gestionar, los factores que causan retrasos (o demoras). Los planificadores aeroportuarios pueden comparar la capacidad de un sistema aeroportuario, o cualquiera de sus componentes, con la demanda existente y con el pronóstico (a corto, medio y largo plazo) y determinar si se necesitan ampliaciones de las infraestructuras para aumentar la capacidad.

Comparando la capacidad de las diferentes configuraciones en el campo de vuelo ayudaría a determinar cuáles serían las soluciones o alternativas más eficientes a adoptar.

4.2 Factores que afectan la Capacidad de Pista

La capacidad está muy influida por todos aquellos actores que a su vez influyen o afectan al campo de vuelo, es decir, al sistema de pistas; a continuación se citan algunos:

- Las condiciones de control de tráfico aéreo y de aproximación y despegue.
- La longitud, orientación y número de pistas existentes.
- De la forma en que se utiliza el sistema de pistas para las operaciones.
- El número, situación y características de las calles de salida de la pista.
- El número y características de las calles de rodadura y apartaderos de espera para acceso a las cabeceras de pista para el despegue.
- Mezcla de aeronaves usuarias del aeropuerto y sus características.
- Condiciones climatológicas. Estado de la superficie de las pistas.
- Tipo de ayudas visuales.
- Procedimiento de aproximación, especialmente si existen restricciones (p.e. medioambientales).
- Interferencias en el espacio aéreo con aeropuertos próximos o bases aéreas militares.

Las condiciones de control de tráfico aéreo y de aproximación y despegue, afectan de manera importante a la capacidad de las pistas. Las reglas de navegación aérea fijan, por motivos de seguridad, que en el proceso de aproximación (en vuelo hacia el aeropuerto) las aeronaves guarden unas separaciones mínimas obligatorias. En el argot aeronáutico se habla de separación “radar” o “separación sin radar”, en un determinado aeropuerto, lo que implica distancias diferentes en los procedimientos de aproximación. Por otro lado, los aterrizajes tienen prioridad sobre los despegues, que debe estar separado de los aterrizajes al menos 2 mn (3,76 km).

Además de la precisión de las ayudas disponibles influye también la habilidad y rapidez de reflejos del controlador aéreo, seleccionando en cada momento el tipo secuencial de entradas (por velocidades, tamaños, etc.) y reduciendo segundos en las operaciones. Por otro lado, y como se ha indicado, la mezcla de aeronaves tiene gran importancia en la gestión de la capacidad. Si la mezcla es homogénea, las entradas son más regulares y fluidas; en cambio si se alternan aviones grandes y pequeños obliga a separaciones mayores, ya que los torbellinos que los grandes aviones generan afectan a la estabilidad de los pequeños aviones (si éstos les siguen en turno). Las diferentes velocidades inciden negativamente en la gestión de la capacidad de la pista. En otro orden, calles de salida rápida, situadas convenientemente, liberan la pista más rápidamente, pero las condiciones meteorológicas adversas obligan a mayores márgenes de seguridad y provocan mayores tiempos de ocupación de las pistas.

4.3 Metodología de Cálculo de la Capacidad de Pista según la OACI

Según la metodología de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en el *Apunte de Cálculo de la Capacidad de Pista en Aeródromos, realizado por el COMANDO DE AERONÁUTICA - CENTRO DE GESTIÓN DE NAVEGACIÓN AÉREA, en 2011*, la metodología para el Cálculo de la Capacidad de Pista de aeropuertos y aeródromos, el siguiente orden de pasos deberá seguirse:

4.3.1 Tiempos de ocupación de pista (TOP): Registrar valores en los formularios específicos para tiempos de ocupación de pista, según la metodología a emplear o recolectar de la forma más fácil o disponible para el investigador (hoja de papel sin formato, hoja de cálculo), pero teniendo en cuenta la estructura de datos ilustrada, la recolección del Tiempo de Ocupación de Pista Durante el Despegue (TOPD) descrito en la *Tabla 2* y ficha de recolección del Tiempo de Ocupación de Pista Durante el Aterrizaje (TOPA) descrito en la *Tabla 3*, cronometrar el tiempo de ocupación de pista durante las operaciones de despegue y de aterrizaje, distribuidas en sus respectivas categorías.

TABLA				
RECOLECCIÓN DEL TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE (TOPD)				
LOCALIDAD: _____ FECHA: _____ PISTA: _____				
MATRÍCULA	TIPO	CAT	TIEMPO	OBSERVACIONES

TABLA 2 TIEMPO OCUPACION PISTA DESPEGUE (TOPD). Fuente: OACI

TABLA				
RECOLECCIÓN DEL TIEMPO DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE (TOPP)				
LOCALIDAD: _____		FECHA: _____		PISTA: _____
MATRÍCULA	TIPO	CAT	TIEMPO	OBSERVACIONES

TABLA 3 TIEMPO OCUPACION PISTA ATERRIZAJE (TOPA). Fuente: OACI

Las recolecciones serán realizadas junto a la Torre de Control u órgano ATC del Aeródromo en estudio, en este caso Aerocivil. En el campo, se deberán tomar observaciones, deberá constar cualquier nota relevante a la validación de los datos recolectados. Para operación de aterrizaje, la maniobra de aproximación inicia 5 millas (8000 m) antes en orientación a la pista y el tiempo se tomara desde el momento en que la aeronave cruza el umbral de la pista en el sentido del aterrizaje hasta el momento en que abandona la pista, por salida rápida o salida. Para operación de despegue, el tiempo se tomara desde el momento en que la aeronave abandona el punto de espera o ingresa a la pista hasta el momento en que cruza el extremo de pista en sentido de despegue.

4.3.2 Tiempos de Vuelo entre el OM y la THR (T): Deberán ser recolectados e inseridos en la Tabla adecuada para esta actividad, los tiempos de vuelo entre el OM (punto aproximación) y la THR (umbral) de la pista en estudio, considerando las diversas categorías de aeronaves que operan en el aeródromo. Tras la toma de tiempos, se adjuntan a la *Tabla 4* para inicialmente tener discriminados todos los tiempos por categoría. Posteriormente hay que inserirlas en la *Tabla 5* (Tiempo Medio de Vuelo entre el OM y la THR), posibilitando, por intermedio de esos valores, el cálculo de las velocidades medias en la aproximación final para todos los umbrales.

TABLA				
TIEMPO DE VUELO ENTRE EL OM Y LA THR (T)				
DISTANCIA OM/THR (SAF)				
MATRÍCULA	TIPO	CAT	TIEMPO (SEG)	TIEMPO (MIN)

TABLA 4 TIEMPO VUELO ENTRE OM Y THR (T). Fuente: OACI

TABLA		
TIEMPO MEDIO DE VUELO ENTRE EL OM Y A THR(TM)		
DISTANCIA OM/THR (SAF)		
CAT	TIEMPO (SEG)	TIEMPO (MIN)
A		
B		
C		
D		
E		

$$TM = \sum T_{CAT X} / N^{\circ} ANV_{CAT X}$$

TABLA 5 TIEMPO MEDIO VUELO ENTRE OM Y THR (T). Fuente: OACI

El tiempo a ser cronometrado deberá ser, desde el momento en que la aeronave pasa sobre el marcador externo (*punto de aproximación (OM)*) hasta el cruce del umbral de la pista (umbral *THR (T)*), o en la ausencia de un marcador externo, cuando inicia el segmento de aproximación final hasta el cruce del umbral de la pista. Considerar o medir la distancia (SAF) del OM al THR en NM (2 nm = 3.76 km). En caso de inexistencia del OM, debemos determinar un punto en la aproximación final cuya distancia sea conocida y que determine la imposibilidad de ingreso en la pista por cualquier otra aeronave.

4.3.3 Cálculo de la media aritmética de los tiempos de ocupación de pista:

Deberá ser considerado cada uno de los umbrales existentes en el aeródromo, incluyendo los datos referidos en la *Tabla 2* y *3* de este método, (Ficha de Cálculo de las Medias de los Tiempos de Ocupación de Pista (ARR/DEP) por Categoría de Aeronaves). Tras la recolección de los tiempos de ocupación de pista, se efectúa el cálculo de la media aritmética, por categoría de aeronaves, entre esos tiempos insertando los valores en la *Tabla 6* y *7* respectivamente.

TABLA		
MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPP)		
AERÓDROMO: _____		PISTA: _____
$\Sigma \text{TOPP}_{\text{CAT X}} / \text{N}^{\circ} \text{ACFT}_{\text{CAT X}}$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	

TABLA 6 TIEMPO MEDIO OCUPACION PISTA ATERRIZAJE (MTOPA). Fuente: OACI

MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)		
$\Sigma \text{TOPD}_{\text{CAT X}} / \text{N}^{\circ} \text{ACFT}_{\text{CAT X}}$	CAT	TIEMPO (seg)
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	

T

TABLA 7 TIEMPO MEDIO OCUPACION PISTA DESPEGUE (MTOPD). Fuente: OACI

4.3.4 Cálculo del MIX de aeronaves: Tomándose como base los registros del movimiento total diario, adquiridos de cualquier fuente estadística reconocida que revele, fielmente, el movimiento total de aeronaves (operaciones) en el aeródromo, se obtiene el muestreo necesario de una semana (proyectos detallados entre meses o años) para que se efectúe el cálculo del Mix de aeronaves, insertando los valores encontrados en la *Tabla 8* (Ficha de Recolección del Porcentual de Utilización del Aeródromo por Categoría de Aeronaves - Mix). El valor del Mix será encontrado por medio de la comparación porcentual, por día de la semana (para mayor precisión tomar muestra datos aproximadamente de 1 año), entre el total de aeronaves en el respectivo día y el número total de aeronaves de cada categoría. Los valores finales unificados se ilustran en base a la *Tabla 9*.

TABLA			
RECOLECCIÓN DEL PORCENTUAL DE UTILIZACIÓN DEL AERÓDROMO POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MIX)			
AERÓDROMO: _____			
LUNES		MARTES	
CAT	N° ANV (%)	CAT	N° ANV (%)
A		A	
B		B	
C		C	
D		D	
E		E	

TABLA 8 PORCENTUAL UTILIZACION POR CATEGORIA (MIX). Fuente: OACI

TABLA (CONTINUACIÓN)		
$\Sigma N^{\circ} ANV_{CAT X} / N^{\circ} DIAS$	MIX	
	CAT	N° ANV (%)
	A	
	B	
	C	
	D	
E		

TABLA 9 PORCENTUAL UNIFICADO UTILIZACION POR CATEGORIA (MIX). Fuente: OACI

4.3.5 Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP): Los valores de los tiempos de ocupación de pista finales, por categoría de aeronave y por despegue y aterrizaje, que se ilustran en las *Tablas 6 y 7* (se deben unificar las tablas) y el respectivo MIX que aparece en la *Tabla 9* deberán ser transportados para la *Tabla 10* (Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista), con el propósito de ser calculado, por medio de estas variables.

TABLA																														
CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO DE OCUPACIÓN DE PISTA (TMOP)																														
AERÓDROMO: _____		PISTA: _____																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MATOP</th> </tr> <tr> <th>CAT</th> <th>TIEMPO (seg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MATOP		CAT	TIEMPO (seg)	A		B		C		D		E		X	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MIX</th> </tr> <tr> <th>CAT</th> <th>Nº ANV (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MIX		CAT	Nº ANV (%)	A		B		C		D		E	
MATOP																														
CAT	TIEMPO (seg)																													
A																														
B																														
C																														
D																														
E																														
MIX																														
CAT	Nº ANV (%)																													
A																														
B																														
C																														
D																														
E																														
		=																												
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TMOP</th> </tr> <tr> <th>TIEMPO (seg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="height: 100px;"></td></tr> </tbody> </table>	TMOP	TIEMPO (seg)																										
TMOP																														
TIEMPO (seg)																														
$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$																														

TABLA 10 CALCULO TIEMPO MEDIO DE OCUPACION PISTA (TMOP). Fuente: OACI

4.3.6 Cálculo de la Capacidad Física POR Pista: Cálculo de la Capacidad Física POR Pista, habiendo considerado cada umbral, en el intervalo de una hora, será encontrada por medio de la división del referido intervalo, transformado en segundos (3600seg), por el tiempo medio de ocupación (TMOP) de cada pista, en segundos. La *Ecuación 1* ilustra la ecuación para obtener la capacidad física por pista.

$$\text{CFP} = 3600 / \text{TMOP}$$

ECUACION 1 CAPACIDAD FISICA POR PISTA. Fuente: OACI

4.3.7 Cálculo del porcentaje de Utilización de Pista (PU): Índice calculado a partir del movimiento total de operaciones aéreas, obtenido por medio de un muestreo conteniendo datos referentes al periodo de un año. Los porcentuales son ponderados con las capacidades de cada pista, posibilitando de esta forma, un único valor como resultado final. Las *Tablas 11 y 12* siguientes evidencian un ejemplo ilustrativo del cálculo del porcentual de utilización de pista:

MOVIMIENTO MENSUAL DE AERONAVES

MES	PISTA A	PISTA B	Mov. mensual
ENE	7622	2631	10253
FEB	6364	3229	9593

TABLA 11 PORCENTAJE UTILIZACION PISTA. Fuente: OACI

PISTA	% DE UTILIZACIÓN (PU)
A	86
B	14
TOTAL	100

TABLA 12 CALCULO PORCENTAJE UTILIZACION PISTA. Fuente: OACI

4.3.8 Cálculo de la capacidad física del aeródromo (o conjunto de pistas):

Considerar en términos porcentuales la media anual de utilización de cada pista, con los datos del movimiento total mensual, adquirido por medio de cualquier fuente estadística reconocida que revele, fielmente, el movimiento total de aeronaves en el aeródromo, de los cuales obtendremos el muestreo deseado. A partir de los valores porcentuales de las medias anuales por pista (**punto 4.3.7**), y sus respectivos valores de Capacidad Física (CFP) (**punto 4.3.6**), se efectúa la ponderación de esos datos para la obtención de la Capacidad Física del Aeródromo (CFA) conforme dispuesto en la *Tabla 13*.

TABLA		
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD FÍSICA DEL AERÓDROMO		
CFP	X	%DE UTILIZACIÓN PISTA
PISTA A		% PISTA A
PISTA B		% PISTA B
		= CAPACIDAD FÍSICA DEL AERÓDROMO
$CFA = \sum (CFP_{PISTAX} \cdot \%UTIL_{PISTAX}) / 100$		

TABLA 13 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD FÍSICA DEL AERÓDROMO. Fuente: OACI

4.3.9 Cálculo de la velocidad de aproximación (VA) entre el OM y la THR

(T): Con los datos obtenidos de las *Tablas 4 y 5*, podemos calcular las velocidades de aproximación entre el OM y el umbral (THR) y el segmento de aproximación final (SAF). Tomando en cuenta cada categoría de aeronave, se registran los valores encontrados en la *Tabla 14* (Velocidad Media entre el OM y la THR). Esa velocidad es el resultado de la división de la longitud del segmento de aproximación final (SAF) por el tiempo medio de vuelo, por categoría de aeronave, entre el marcador externo (OM) y el umbral de la pista (THR).

$V_{AA} = \frac{SAF}{TMA}$	$V_{AB} = \frac{SAF}{TMB}$	$V_{AC} = \frac{SAF}{TMC}$	$V_{AD} = \frac{SAF}{TMD}$	$V_{AE} = \frac{SAF}{TME}$
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

TABLA			
MEDIA DE LAS VELOCIDADES ENTRE EL OM Y LA THR _____			
CAT	VEL (KT)	VEL (NM/MIN)	VEL (NM/SEG)
A			
B			
C			
D			
E			
$VEL(KT) = \frac{DIST(NM)}{T \text{ VUELO}_{OM/THR}} (H)$ $VEL(NM/MIN) = \frac{DIST(NM)}{T \text{ VUELO}_{OM/THR}} (MIN)$ $VEL (NM/SEG) = \frac{DIST(NM)}{T \text{ VUELO}_{OM/THR}} (SEG)$			

TABLA 14 CALCULO VEL. APROXIMACION ENTRE OM Y THR. Fuente: OACI

4.3.10 Cálculo de la velocidad media de aproximación final (VM): Con los datos de velocidad de aproximación de la *Tabla 14* y en consideración con el MIX de aeronaves (**punto 4.3.4**), se calcula la velocidad media de aproximación final (VM). La *Ecuación 2* ilustra la ecuación para obtener la velocidad media final.

$$VM = \frac{MIX_A \times V_{AA} + MIX_B \times V_{AB} + MIX_C \times V_{AC} + MIX_D \times V_{AD} + MIX_E \times V_{AE}}{100}$$

ECUACION 2 CALCULO VEL. MEDIA APROXIMAICON FINAL. Fuente: OACI

4.3.11 Determinación de la separación de seguridad (SS): El método prevé la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, pero sin herir la separación mínima reglamentar (SMR), que en Colombia está establecida en los *Reglamentos Aeronáuticos Colombianos (RAC)*, en su *Capítulo Sexto (6) Gestión de Tránsito Aéreo*, entre las aeronaves que aterrizan y despegan. Con ese objetivo, es necesario calcular una distancia de seguridad a ser añadida a la separación mínima reglamentaria, entre las aeronaves en aproximación, de forma a viabilizar el despegue de una aeronave, luego después del aterrizaje de la primera, sin comprometer su separación reglamentaria con la segunda aeronave en aproximación.

Separación Mínima Reglamentaria (**SMR**) general según RAC – 6, entre cualquier tipo de aeronave en proceso de aproximación es de al menos **5 mn (9 km)**. En la *Figura 1*, se puede ilustrar la separación mínima reglamentaria para cada clasificación de aeronaves en proceso de aproximación. (1 mn = 1.85 km).

Velocidad de aproximación	Avión "i", clase	Avión "j", clase			
		A	B	C	D
175 km./h (95 kn)	A	3	3	3	3
220 km./h (120 kn)	B	3	3	3	3
240 km./h (130 kn)	C	4	4	3	3
260 km./h (140 kn)	D	6	6	5	4

Separación lateral mínima: 3 mn (5,55 km/h)
 Separación vertical mínima: 300 m (1 000 pies)
 Separación longitudinal mínima entre avión "i" y siguiente "j", en mn

FIGURA 1 SEPARACION LONGITUDINAL DE AERONAVES EN PROCESO APROXIMACION

Calculándose la distancia recorrida en la aproximación final por la segunda aeronave, durante el tiempo en que la pista ha permanecido ocupada por la primera, y sumándose la distancia calculada con la separación reglamentaria mínima adoptada, se obtiene la separación necesaria entre dos aterrizajes consecutivos. Esa distancia recorrida es el resultado entre la multiplicación de la velocidad media en la final (**punto 4.3.10**) y el tiempo medio ponderado de ocupación de pista (**punto 4.3.5**) se puede ilustrar en la *Ecuación 3*.

$$SS = VM \times TMOP$$

ECUACION 3 DETERMINACION SEPARACION DE SEGURIDAD (SS). Fuente: OACI

4.3.12 Determinación de la separación total entre dos aterrizajes consecutivos (ST): La separación total es el resultado entre la sumatoria de la separación de seguridad (SS) con la separación mínima reglamentaria (SMR). Luego, tenemos ilustrado en la *Ecuación 4*.

$$ST = SS + SMR$$

ECUACION 4 DETERMINACION SEPARACION TOTAL ATERRIZAJES CONSECUTIVOS. Fuente: OACI

Existen casos en que la SS puede no ser considerada. Normalmente, eso puede ocurrir en aeropuertos que poseen dos o más pistas, donde se puede aumentar el dinamismo de la operación al dejarse una aeronave alineada en una pista mientras aguarda el aterrizaje de una aeronave en la otra pista.

4.3.13 Determinación del Tiempo Medio Ponderado, entre dos aterrizajes consecutivos, considerando la separación total (TMST): El tiempo medio ponderado consumido para recorrer la separación total *Ecuación 4* entre dos aterrizajes consecutivos se obtiene dividiéndose esa distancia por la velocidad media ponderada del mix de aeronaves (**punto 4.3.10**). En la *Ecuación 5* se ilustra la ecuación para el cálculo del tiempo medio ponderado (TMST).

$$TMST = ST / VM$$

ECUACION 5 DETERMINACION TIEMPO MEDIO PONDERADO. Fuente: OACI

El tiempo medio debe ser calculado para cada umbral existente en el aeródromo, en función de las diferentes configuraciones de calles de rodaje para cada umbral en uso.

4.3.14 Determinación del número de aterrizajes en el intervalo de una hora (P): El resultado obtenido, en segundos, tiempo medio ponderado (**punto 4.3.13**) consumido para recorrer la separación total entre dos aterrizajes consecutivos, será el divisor del número de segundos contenidos en una hora (3600 seg), presentando como resultado, el número de aterrizajes posibles con la separación propuesta para el umbral en estudio, según la *Tabla 15*.

TABLA
NÚMERO DE ATERRIZAJES POSIBLES
$3600 / TMST = N^{\circ} \text{ DE ATERRIZAJES}$

$$P = 1 \text{ Hora} / TMST$$

TABLA 15 DETERMINACION NUMERO ATERRIZAJES EN UNA HORA (P). Fuente: OACI

4.3.15 Determinación del número de despegues en el intervalo de una hora (D): Aplicándose la separación total encontrada, es posible intercalar un despegue entre dos aterrizajes consecutivos. Al sustraer una aeronave del total de aterrizajes, encontramos el número posible de despegues en el intervalo de tiempo considerado, según la *Tabla 16*.

TABLA		
NÚMERO DE DESPEGUES POSIBLES		
	Nº DE ATERRIZAJES - 1 = Nº DE DESPEGUES	

$$D = P - 1$$

TABLA 16 DETERMINACION NUMERO DESPEGUES EN UNA HORA (D), Fuente: OACI

4.3.16 Determinación de la capacidad teórica de pista (CTP): Sumar el número de aterrizajes y despegues obtenidos (*puntos 3.3.14 y 3.3.15*), en el intervalo de sesenta minutos, para cada umbral, que resultará en la capacidad teórica de operación para el respectivo umbral, según la *Tabla 17*.

TABLA		
CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA (CTP)		
	CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA = Nº DE ATER + Nº DE DESP	

$$CTP = P + D$$

TABLA 17 DETERMINACION CAPACIDAD TEORICA DE PISTA (CTP). Fuente: OACI

4.3.17 Determinación de la capacidad declarada del conjunto de pistas (CDP): Se calcula la capacidad declarada considerando el porcentual anual de utilización de cada pista, igual a lo constante en la *Tabla 12*. La Capacidad declarada del conjunto de pistas es la capacidad plenamente sostenible del punto de vista operacional, considerándose el porcentaje de utilización anual de cada pista. Siendo así, se calcula la media aritmética ponderada entre el porcentaje de utilización y las respectivas capacidades teóricas de pista encontradas, se ilustra en la *Ecuación 6*.

$$CDP = \frac{P_U A \times CTP_A + P_U B \times CTP_B + \dots + P_U N \times CTP_N}{P_U A + P_U B + \dots + P_U N}$$

ECUACION 6 CAPACIDAD DECLARADA CONJUNTO PISTAS (CDP). Fuente: OACI

4.4 Metodología de cálculo de la capacidad de pista según la FAA

Según la metodología de la Administración Federal de Aviación (FAA), desarrollado por el DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE de EE.UU., *instrucción de Capacidad y Demora en Aeropuertos de 1983*, donde se ilustra la metodología para el cálculo de la Capacidad de Pista de aeropuertos y aeródromos, con el siguiente orden de pasos deberá seguirse:

4.4.1 Capacidad de aeropuerto y cálculos aeronáuticos: Inicialmente la norma nos introduce por una serie de cálculos aeronáuticos generales para después pasar al cálculo de capacidad de pista.

El capítulo contiene instrucciones para calcular la capacidad de pista por hora y dicho cálculo toma en cuenta una serie de variables que interviene para aumentos o reducciones de la misma y así mismo la operatividad general del aeropuerto.

- Los cálculos de capacidad.
 - (1) Capacidad horaria del componente pista.
 - (2) Capacidad horaria del componente de calle de rodaje.
 - (3) Capacidad horaria de plataforma.
 - (4) Capacidad de aeropuerto.

4.4.2 Capacidad horaria del componente de pista: El cálculo de la capacidad horaria componente pista o capacidad de pista según el método de la FAA se realizara de la siguiente manera:

4.4.2.1 Seleccionar Configuración Pista: Seleccione la configuración de la pista a usar, en las *Figuras 2 - 3*, según corresponda, que mejor representa el uso del aeropuerto durante la hora de interés. Cada configuración tiene su identificación dentro de la tabla, el indicador numérico es particular para distintos sistemas de pistas. La tabla viene con datos relevantes para cada configuración, según su índice de mezcla (**paso 4.4.2.3**), podemos obtener la Capacidad para

condiciones de "regla de vuelo visual" (VFR) y condiciones de "regla de vuelo instrumental" (IFR), y también su volumen de servicio anual.

Otro aspecto a tener en cuenta es la distancia entre pistas o del sistema de pistas, longitud que se medirá entre centros de eje de pista a pista. Esta información va a ser relevante a la hora de identificar el sistema de pista dentro de las Figuras 2 - 3, más ajustado o más real a nuestro aeropuerto en estudio y además sabremos con seguridad el tipo de capacidad correspondiente.

Es imprescindible denotar, que debemos conocer información meteorológica sobre la zona del aeropuerto de interés, ya que es importante saber con certera realidad, si la mayor parte del tiempo nuestra pista o sistema de pistas, trabaja con tiempos meteorológicos a favor o no, y así sabremos en qué condiciones (VFR o IFR) trabaja nuestro aeropuerto la mayor parte del tiempo.


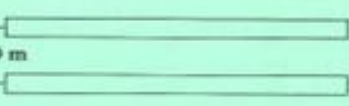
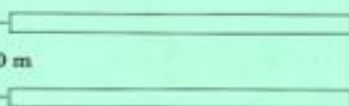

Configuración de pistas	Indice de mezcla % (C + 3D)	Capacidad Operac/h		Volumen de servicio anual Oper/año
		VFR	IFR	
1. 	0 a 20	98	59	230 000
	21 a 50	74	57	195 000
	51 a 80	63	56	205 000
	81 a 120	55	53	210 000
	121 a 180	51	50	240 000
2.  215 a 760 m	0 a 20	197	59	355 000
	21 a 50	145	57	247 000
	51 a 80	121	56	260 000
	81 a 120	105	59	285 000
	121 a 180	94	60	340 000
3.  760 1300 m	0 a 20	197	59	355 000
	21 a 50	149	57	285 000
	51 a 80	126	56	275 000
	81 a 120	111	53	300 000
	121 a 180	94	50	365 000
4.  > 1300 m	0 a 20	197	119	370 000
	21 a 50	149	113	320 000
	51 a 80	126	111	305 000
	81 a 120	111	105	315 000
	121 a 180	103	99	370 000

FIGURA 2 CONFIGURACION DE PISTA 1 , FAA AC 150/50560-5

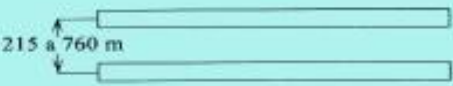
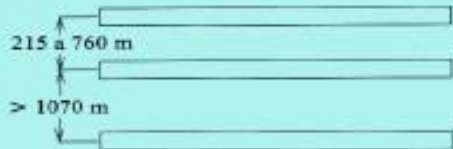
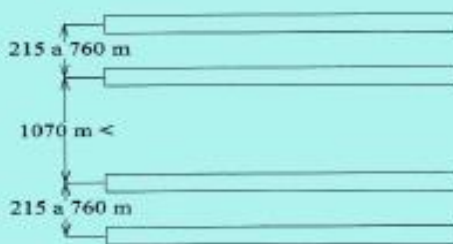
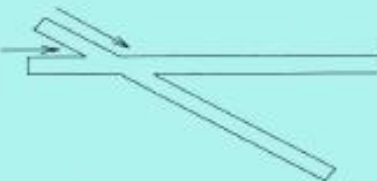

Configuración de pistas	Indice de mezcla % (C + 3D)	Capacidad Operac/h		Volumen de servicio anual Oper/año
		VFR	IFR	
6. 	0 a 20	295	62	385 000
	21 a 50	219	63	310 000
	51 a 80	184	65	290 000
	81 a 120	161	70	315 000
	121 a 180	146	75	385 000
7. 	0 a 20	295	119	625 000
	21 a 50	219	114	475 000
	51 a 80	184	111	455 000
	81 a 120	161	117	510 000
	121 a 180	146	120	645 000
8. 	0 a 20	394	119	715 000
	21 a 50	290	114	550 000
	51 a 80	242	111	515 000
	81 a 120	210	117	565 000
	121 a 180	189	120	675 000
9. 	0 a 20	98	59	230 000
	21 a 50	77	57	200 000
	51 a 80	77	56	215 000
	81 a 120	76	59	225 000
	121 a 180	72	60	265 000
10. 	0 a 20	197	59	355 000
	21 a 50	145	57	275 000
	51 a 80	121	56	260 000
	81 a 120	105	59	285 000
	121 a 180	94	60	340 000

FIGURA 3 CONFIGURACION DE PISTA 2 , FAA AC 150/50560-5

Debido al hecho de que las normas de separación de aeronaves difieren en situaciones de VMC (*Visual Meteorological Condition*) o de IMC (*Instrument Meteorological Condition*), es necesario determinar primero las condiciones de techo y la visibilidad, o más apropiadamente, determinar las reglas de separación aplicable a las condiciones de vuelo, cuando el techo en el aeropuerto es de mínimo 1.500 pies (460 m) y la visibilidad es de por lo menos 5 millas nauticas (8000 m).

Esta condición resulta en condición de vuelo y aproximación VFR para llegada y salida de aeronaves. Si cualquiera, o ambos, de estos criterios no se cumplen, entonces se deben considerar las reglas para vuelos en condición IFR. Por lo

tanto, la capacidad horaria de la pista normalmente se especifica para cada uno de estas condiciones. En la *Tabla 18* se ilustra los rangos correspondientes a las condiciones de techo y visibilidad. Según normativa Colombiana los mínimos meteorológicos son los siguientes:

CONDICIONES DE TECHO Y VISIBILIDAD NORMATIVA COLOMBIANA		
CONDICION	TECHO	VISIBILIDAD
VMC	> 460 m	> 8000 m
IMC	< 460 m	< 8000 m

TABLA 18 CONDICIONES DE TECHO Y VISIBILIDAD RAC. Colombia

4.4.2.2 Identificar Capacidad Inicial VFR e IFR: Identificar en las *Figuras 2 - 3*, el valor de la capacidad Inicial (Opera/h), correspondiente para la configuración de pista escogida anteriormente, según su índice de mezcla (**paso 3.4.2.3**) y según en la longitud entre ejes de pista, podemos determinar el valor de capacidad Inicial. Además cada valor de capacidad esta dado en condiciones Visuales VFR e Instrumentales IFR, correspondientemente. Es recomendable tener una medición muy precisa de longitud entre pistas, esto es para saber con mayor exactitud el valor de la capacidad (Opera/h), más cercana posible a la realidad del aeropuerto estudiado. En la *Figura 4* con mayor claridad se ilustran los valores de capacidad a identificar.

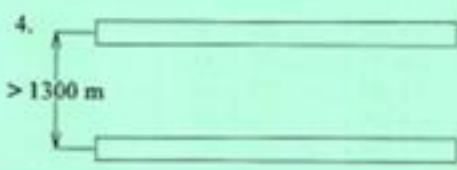
Configuración de pistas	Indice de mezcla % (C + 3D)	Capacidad Operac/h		Volumen de servicio anual Oper/año
		VFR	IFR	
4.  > 1300 m	0 a 20	197	119	370 000
	21 a 50	149	113	320 000
	51 a 80	126	111	305 000
	81 a 120	111	105	315 000
	121 a 180	103	99	370 000

FIGURA 4 Identificar Capacidad Inicial VFR e IFR, FAA AC 150/50560-5

4.4.2.3 Obtener Índice de Mezcla: Determinar el porcentaje de aeronaves de clase C y D que operan en la pista y calcular el índice de mezcla. El cálculo de la mezcla de aeronaves se lleva a cabo de la siguiente manera, inicialmente se deberá tomar una muestra de operaciones aéreas en la pista a estudiar o datos estadísticos históricos de operaciones aéreas, con un tiempo de una hora (1h), para trabajos más específicos y profundos se tomaran periodos más largos (semanas, meses, años), para la clasificación de las aeronaves se tomara como base la *Tabla 19*. Es importante que el índice de mezcla sea lo más ajustado posible, en la *Ecuación 7* se ilustra este valor y se obtiene en porcentaje, de la siguiente forma:

$$\text{Índice de mezcla} \\ \% (C + 3D)$$

ECUACION 7 Índice de Mezcla, FAA AC 150/50560-5

C y D, corresponden al Tipo de Clasificación en tabla de clasificación aeronaves, *Tabla 19 Clasificación de Aeronaves*. Posteriormente se llevara registro de todos los datos tomados de operaciones aéreas, durante el periodo tomado, en la siguiente *Tabla 20*. Se debe obtener un índice de mezcla para condiciones visuales (VFR) y un índice diferente para condiciones instrumentales (IFR). Es importante poseer datos verídicos de la realidad del aeropuerto, para que los resultados obtenidos puedan ajustarse mejor a la verdadera situación del aeropuerto en estudio.

CLASE AERONAVE	PESO (lb)	NUMERO DE MOTORES	ESTELA TURBULENCIA
A	< 12500	Sencillo	Pequeña
B	< 12500	Múltiple	Pequeña
C	12500 - 300000	Múltiple	Mediana
D	> 300000	Múltiple	Grande

TABLA 19 CLASIFICACION DE AERONAVES, FAA AC 150/50560-5

AERONAVE	MIX CONDICIONES VISUALES (VFR)		MIX CONDICIONES INSTRUMENTALES (IFR)	
CLASE	Nro. Operaciones	% Operaciones	Nro. Operaciones	% Operaciones
A	13	26	2	6
B	10	20	5	15
C	25	50	25	73
D	2	4	2	6
TOTAL # Y % Opera.	50	100	34	100

$$VFR = 50 + 3(4) = 62$$

$$IFR = 73 + 3(6) = 91$$

TABLA 20 INDICE DE MEZCLA, FAA AC 150/50560-5

4.4.2.4 Obtener Porcentaje Llegadas (PA): Determinar porcentaje de llegadas (PA) para el aeropuerto en estudio. Usualmente el porcentaje de llegadas base es entre (45% – 50%), de las operaciones atendidas por el operador, pero se aconseja basarse en datos históricos estadísticos de operaciones aéreas en el aeropuerto en estudio, para poder saber con certeza el porcentaje de llegadas real. Se tendrá que obtener un porcentaje de llegadas (PA) para condiciones visuales VFR y otro para condiciones instrumentales IFR.

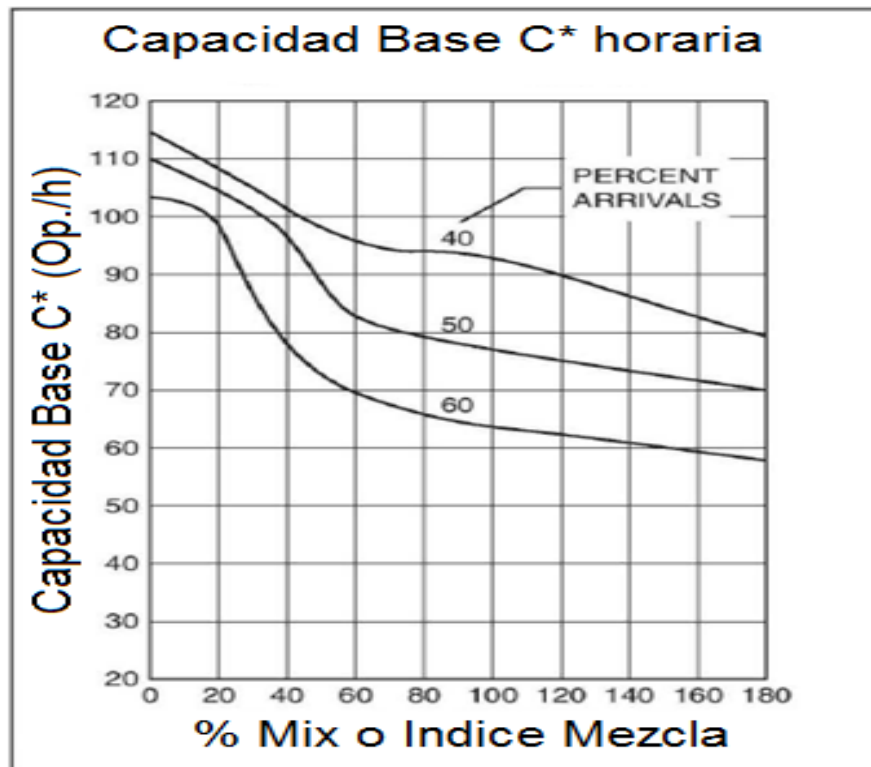


FIGURA 5 CAPACIDAD BASE (C*), FAA AC 150/50560-5

4.4.2.5 Obtener Capacidad Base (C*): Determinar la capacidad base, medida por hora u horaria (C*), basado en el índice de mezcla obtenido según método, paso (4.4.2.3) y en el porcentaje de llegadas (PA) paso (4.4.2.4). El valor de capacidad se puede obtener por medio de la *Figura 5*, entramos a la figura, buscamos la gráfica de Capacidad Base C*, y con el valor del porcentaje de índice de Mezcla y porcentaje de llegadas podemos visualizar un valor de capacidad base correspondiente.

4.4.2.6 Obtener Factor Toque y Vaya (T): Determine el porcentaje de "toque y vaya", este factor se determina para aeropuertos en los cuales se realicen este tipo de maniobras. Aeropuertos que no realicen o no se autoricen las operaciones de "toque y vaya", el factor (T) será igual a 1,00 y cuando el aeropuerto trabaje en condiciones Instrumentales IFR el factor (T) igualmente será 1,00.

El factor (T) se obtendrá mediante la *Figura 6* en condiciones visuales VFR y cuando se realicen este tipo de operaciones. Se entra a la tabla de factor (T), con el rango de operaciones de "toque y vaya" que se realicen en el aeropuerto de estudio, mientras más operaciones "toque y vaya" tenga el aeropuerto mayor el factor (T) será y con el Índice de Mezcla correspondiente (**paso 3.4.2.3**). Hay un valor correspondiente para cada rango. En la *Figura 6* se visualiza claramente los valores de la tabla del factor (T).

Factor Toque y Vaya (T)		
% Toque y Vaya	Mix o Índice de Mezcla (C + 3D) %	Factor Toque y Vaya (T)
0	0 to 180	1.00
1 to 10	0 to 70	1.03
11 to 20	0 to 70	1.06
21 to 30	0 to 40	1.13
31 to 40	0 to 10	1.26
41 to 50	0 to 10	1.33

FIGURA 6 VALORES FACTOR (T), FAA AC 150/50560-5

4.4.2.7 Obtener Factor Salida (E): Determinar el factor de salida (E), mediante la *Figura 7*. Inicialmente como datos de entrada se necesita, el Índice de mezcla correspondiente (**paso 3.4.2.3**), porcentaje de llegadas (**paso 3.4.2.4**) y el número de salidas (N) que tiene la pista en estudio. Posteriormente se necesita tomar la medida de la longitud del *rango de salida*, distancia medida desde el final del umbral (operación de llegada), hasta la salida rápida más cercana. La ubicación de las calles de salida rápida influyen en gran medida en el valor del factor (E). Con todos los datos ya podemos obtener un valor del factor (E) correspondiente para nuestro aeropuerto de estudio.

Es importante poseer datos verídicos de la realidad del aeropuerto, para que los resultados obtenidos puedan ajustarse mejor a la verdadera situación del aeropuerto en estudio.

FACTOR SALIDA (E)

% Índice Mezcla	Rango Salida	Arrivals								
		40%			50%			60%		
		N = 0	N = 1	N = 2 or 3	N = 0	N = 1	N = 2 or 3	N = 0	N = 1	N = 2 or 3
0 to 20	2000 to 4000	0.86	0.88	0.94	0.80	0.85	0.93	0.71	0.83	0.93
21 to 50	3000 to 5500	0.84	0.91	0.98	0.71	0.85	0.92	0.71	0.85	0.92
51 to 80	3500 to 6500	0.81	0.91	0.97	0.76	0.85	0.91	0.75	0.84	0.91
81 to 120	5000 to 7000	0.83	0.90	0.95	0.80	0.86	0.92	0.80	0.87	0.92
121 to 180	5500 to 7500	0.93	0.99	1.00	0.84	0.94	0.98	0.85	0.94	0.98

FIGURA 7 VALORES FACTOR (E), FAA AC 150/50560-5

Lo siguiente a tener presente para la obtención del factor salida (E):

- Si el aeropuerto o pista en estudio, posee más de cuatro (4) salidas o $N = 4$, el factor salida será igual a uno (1) o $E = 1$.
- Si $N = 3$ o menor, se deberá obtener un factor salida correspondiente para la pista en estudio, teniendo en cuenta el rango de salida, el índice de mezcla y el porcentaje de llegadas.

4.4.3 Capacidad de Pista (CP): Calcular la capacidad horaria del componente de pista por la siguiente ecuación. Los datos de entrada de la ecuación son la capacidad base (C^*), el factor (T) y el factor (E), posteriormente podremos hallar la capacidad de pista mediante la *Figura 8*. En la siguiente imagen, se ilustra los datos iniciales necesarios para el proceso de obtención del cálculo de Capacidad de Pista.

$$C = C^* \cdot E \cdot T$$

Donde:

C = capacidad horaria de la pista (según configuración de uso).

C^* = capacidad horaria básica (o ideal) de la configuración de uso de la pista.

E = factor de ajuste relacionado a la ubicación de las salidas de pista.

T = factor de ajuste de operaciones *touch-and-go* (si existen).

FIGURA 8 EC. CAPACIDAD DE PISTA, FAA AC 150/50560-5

4.5 Metodología de Cálculo de la Capacidad de Pista según los RAC

Según los Reglamentos Aeronáuticos Colombianos (RAC), en su Capítulo Sexto (6) *Gestión de Tránsito Aéreo*, se realiza en colaboración con unidades de Aerocivil, la directriz *Organización de la Afluencia de Tránsito Aéreo (ENR 1.9 - AIP COLOMBIA 25 JUL 2013)*, donde se establecen los valores de capacidad declarados para BOG y la metodología para el Cálculo de la Capacidad de Pista de aeropuertos y aeródromos dentro del espacio nacional.

En la siguiente se establece la metodología general de cálculo de capacidad de pista para cualquier aeropuerto del espacio nacional. La guía se basa en el aeropuerto de Bogotá El Dorado (BOG) para realizar el procedimiento del cálculo, además se ilustran valores de capacidad oficiales para BOG. Podemos tener presente los valores oficiales aquí presentados, ya que con ellos, actualmente se opera BOG. Es indispensable conocerlos, podremos hacer un comparativo al concluir este proyecto para tener un punto de referencia oficial en el cual basarnos, para dar concretos conceptos de la realidad de BOG en la Capacidad de Pista, tras el presente estudio. Lo siguiente a tener presente:

4.5.1 Declaración del Aeropuerto EIDorado (BOG) como coordinado y de capacidad: La Dirección de Servicios a la Navegación Aérea de la Secretaría de Sistemas Operacionales declara como aeropuerto Coordinado al Aeropuerto Internacional EIDorado que sirve a la Ciudad de Bogotá de manera permanente para el cual se declara la capacidad descrita en la siguiente tabla que define la distribución de la misma.

4.5.2 Capacidad de Aeropuerto (pistas) “EIDorado”: A continuación se proveen los valores de capacidad que se obtuvieron como resultado de la aplicación de la **METODOLOGIA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS AEROPUERTOS Y AERÓDROMOS** los cuales serán tomados para realizar la declaración oficial por parte de la **Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA)** de los valores de capacidad de pista del Aeropuerto Internacional “EIDorado” a fin de

ser utilizados para los fines correspondientes a la prestación de servicio ATC, y como medida de referencia para la aplicación de medidas ATFCM por parte de la FMU Colombia. Cabe denotar que la normativa colombiana basa y toma como referencia algunos procesos de gestión aeronáutica (Calculo de Capacidad de Pista) de la norma internacional OACI.

Los valores de capacidad de pista son utilizados como referencia para lograr una utilización óptima de la pista bajo un nivel de demanda constante a ser absorbido en un determinado intervalo de tiempo, equilibrando las potencialidades que el aeropuerto EIDorado pueda ofrecer a las necesidades de dicha demanda. La capacidad de pista del aeropuerto EIDorado está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC y las características operacionales de los operadores aéreos. Estos son factores que pueden determinar en incrementos o reducciones en los valores de la capacidad de pista.

4.5.3 Consideraciones: El aeropuerto EIDorado tiene un límite en cuanto al número de operaciones de aeronaves que el sistema de pista y calles de rodaje pueden acomodar. Este límite se identifica como la capacidad del aeródromo. La capacidad del aeródromo es evaluada en periodos de una hora para el sistema de pista/calles de rodaje. El análisis Demanda/Capacidad busca identificar la capacidad del aeródromo y definir que mejoras, si existiesen, pueden ser necesarias para atender la demanda futura.

Para la determinación de la capacidad aeroportuaria existen varios métodos o modelos de tipo empírico, analítico, de colas y manuales. El resultado presentado a continuación se basó en la aplicación de la teoría relacionada con la práctica del cálculo de la capacidad de pista y con los factores que determinan, por interferencia, la variación de sus índices, los cuales fueron utilizados como parámetros que permitan mantener una operación eficiente.

4.5.4 Capacidad Declarada: Medida de la capacidad del sistema ATC o cualquiera de sus subsistemas o puestos de trabajo para proporcionar servicio a las aeronaves durante el desarrollo de las actividades normales. Se expresa como el número de aeronaves que entran a una porción concreta del espacio aéreo en un período determinado, teniendo debidamente en cuenta las condiciones meteorológicas, la configuración de la dependencia ATC, su personal y equipo disponible, y cualquier otro factor que pueda afectar al volumen de trabajo del controlador responsable del espacio aéreo.

4.5.5 Capacidad Declarada de pista (CDP): Capacidad de pista plenamente sostenible desde el punto de vista operacional resultante del valor aplicable de los anteriores teniendo en cuenta parámetros que interfieren directa o indirectamente en el modo de operación de las dependencias ATC. Este valor es el resultado del análisis de todas las variables que pueden afectar a los valores calculados, como meteorología y, finalmente es el valor a ser efectivamente divulgado.

Nota: El valor de Capacidad Declarada es determinado por la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA) y por medio de un constante análisis a su aplicación se deberá establecer un valor de capacidad sostenible de operaciones por un periodo de tiempo determinado.

4.5.6 Capacidad de Pista: Número máximo de operaciones de despegue y aterrizaje combinadas que se puede alcanzar en una determinada pista, bajo condiciones definidas, para periodos de tiempo especificados. **Nota:** La capacidad de pista se establece para cada umbral en uso. Si se requiere establecer un valor de capacidad teniendo en cuenta los dos umbrales, se debe utilizar el valor de la media aritmética ponderada de los dos valores encontrados, en función del porcentaje de utilización de cada uno de acuerdo a los datos estadísticos de operación.

4.5.7 Capacidad Física de Pista (CFP): Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista. Proceso simplificado que tiene por finalidad proporcionar el primer indicativo para los valores de capacidad del aeródromo. El valor obtenido se aplica a aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo no ha alcanzado niveles de congestión. En la *Tabla 21*, se ilustran los valores declarados de Capacidad Física de Pista para BOG.

CAPACIDAD FISICA DE PISTA (CFP) SKBO	
PISTA	VALOR
13L	63
13R	62
31R	N/A
31L	68

TABLA 21 VALORES CAPACIDAD FISICA DE PISTA (RAC)

4.5.8 Capacidad Teórica de Pista (CTP): Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista teniendo en cuenta la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, las normas y procedimientos específicos aplicables a las operaciones aéreas en el aeropuerto. El valor obtenido se aplica a aeródromos donde la demanda de tránsito aéreo ha alcanzado o tiende a alcanzar niveles de congestión. Por tratarse de un proceso complejo, toma en cuenta diversas variables, siendo la más importante el modo de operación del ATC, del aeropuerto y de los operadores aéreos. En la *Tabla 22*, se ilustran los valores declarados de Capacidad Teórica de Pista para BOG.

CAPACIDAD TEORICA DE PISTA (CTP) SKBO	
PISTA	VALOR
13L	41 (A -D)
13R	41 (A -D)
31R	38 (A -D)
31L	38 (A -D)

TABLA 22 VALORES CAPACIDAD TEORICA DE PISTA (RAC)

4.5.9 Capacidad Declarada del Conjunto de Pistas: Los valores aquí publicados se obtuvieron mediante el proceso teórico realizado por el *Grupo de Procedimientos ATM* Documento “**METODOLOGIA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DEL AEROPUERTO ELDORADO**”. En la *Figura 9*, se ilustran los valores declarados de Capacidad del Conjunto de Pistas para BOG.

CAPACIDAD DECLARADA DEL CONJUNTO DE PISTAS
82

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CAPACIDAD PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE AVIACION	
TIPO DE AVIACION	PORCENTAJE DE CAPACIDAD DISPONIBLE
REGULAR	80%
NO REGULAR	20%

FIGURA 9 VALORES CAPACIDAD DECLARADA CONJUNTO PISTAS (RAC)

5 LOCALIZACION PROYECTO Y CARACTERISTICAS DE BOG

5.1 Ubicación Proyecto

Un aeródromo o aeropuerto es un área definida de tierra o agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinado total o parcialmente a la llegada, partida o movimiento de aeronaves. Son aeropuertos aquellos aeródromos públicos que cuentan con servicios o intensidad de movimiento aéreo que justifiquen tal denominación. Aquellos aeródromos provenientes del o con destino al extranjero, donde se presten servicios de sanidad, aduana, migraciones y otros, se denominan aeródromos o aeropuertos internacionales.

El Aeropuerto Internacional El Dorado (BOG), es sin duda el mayor proyecto de infraestructura en la ciudad, cuando se terminó a mediados del 2012, fue y sigue siendo el aeropuerto más grande y moderno de toda Latinoamérica y uno de los principales núcleos de interconexiones y escalas del continente americano, con seguridad seguirá manejando todos los pasajeros y la carga que esta ciudad recibe año tras año. En la *Tabla 23* se ilustra la ficha técnica de BOG.

LOCALIZACION	
COORDENADAS	4°42'05"N - 74°08'49"O
UBICACION	Bogota D.C
PAIS	Colombia
ELEVACION	2.648m / 8.360 pies (m.s.n.m.)
SIRVE A	Bogota D.C / COLOMBIA
DETALLES DEL AEROPUERTO	
TIPO	Publico
PROPIETARIO	Republica de Colombia
OPERADOR	Operadora Aeropuerto Internacional - OPAIN S.A

TABLA 23 Ficha Técnica de BOG

El aeropuerto cuenta con cuatro (4) terminales, la A, vuelos nacionales, la B, vuelos Internacionales y chárter, la C vuelos de Avianca y la D, la mayor terminal de carga del continente; se estima que para este 2018, las proyecciones son alrededor de 35.000.000 millones de pasajeros. El aeropuerto con las remodelaciones en curso será más grande que los aeropuertos de Sao Paulo, Ciudad de México y Santiago de Chile.

El Aeropuerto presenta la siguiente nomenclatura internacional (código IATA: BOG, código OACI: SKBO) y es el principal aeropuerto de Colombia. Se encuentra localizado dentro de Bogotá a unos 12 kilómetros al occidente del Centro Internacional de Bogotá, entre las localidades de Fontibón y Engativá, y ocupa un área aproximada de 6,9 km². Al cierre del año 2017 BOG gestiono cerca de 30 millones de pasajeros/año, 560 mil Tn métricas/año y más de 330.000 operaciones aéreas en el pasado año. Es el tercer aeropuerto por transporte de pasajeros, y primero por transporte de carga aérea, de Latinoamérica. En la *Figura 10* podemos ubicar el aeropuerto internacional ElDorado localmente dentro de la ciudad de Bogotá y en la *Figura 11* podemos visualizar el plano oficial de BOG.

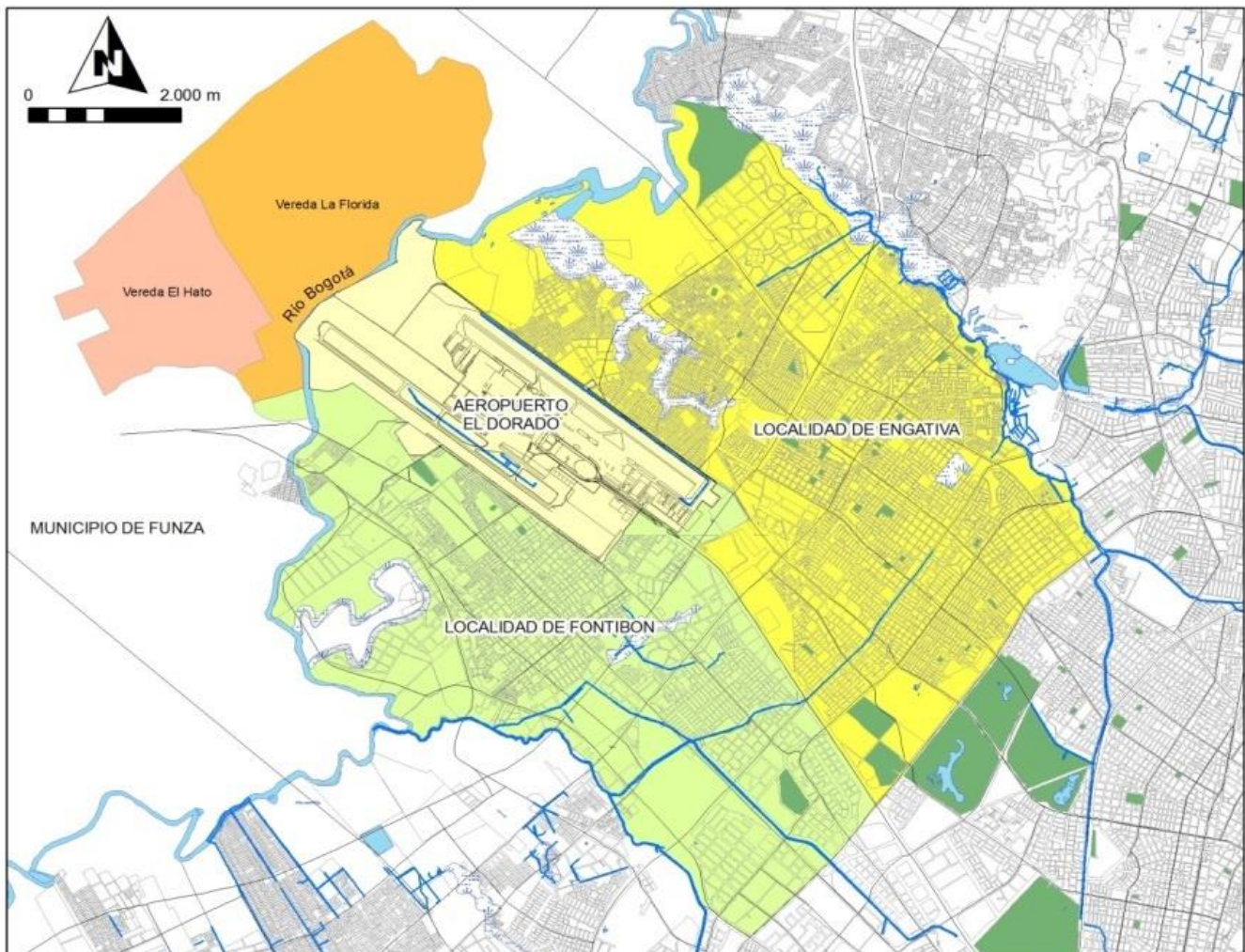


Figura 10 Ubicación del Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado. Fuente: Aerocivil.

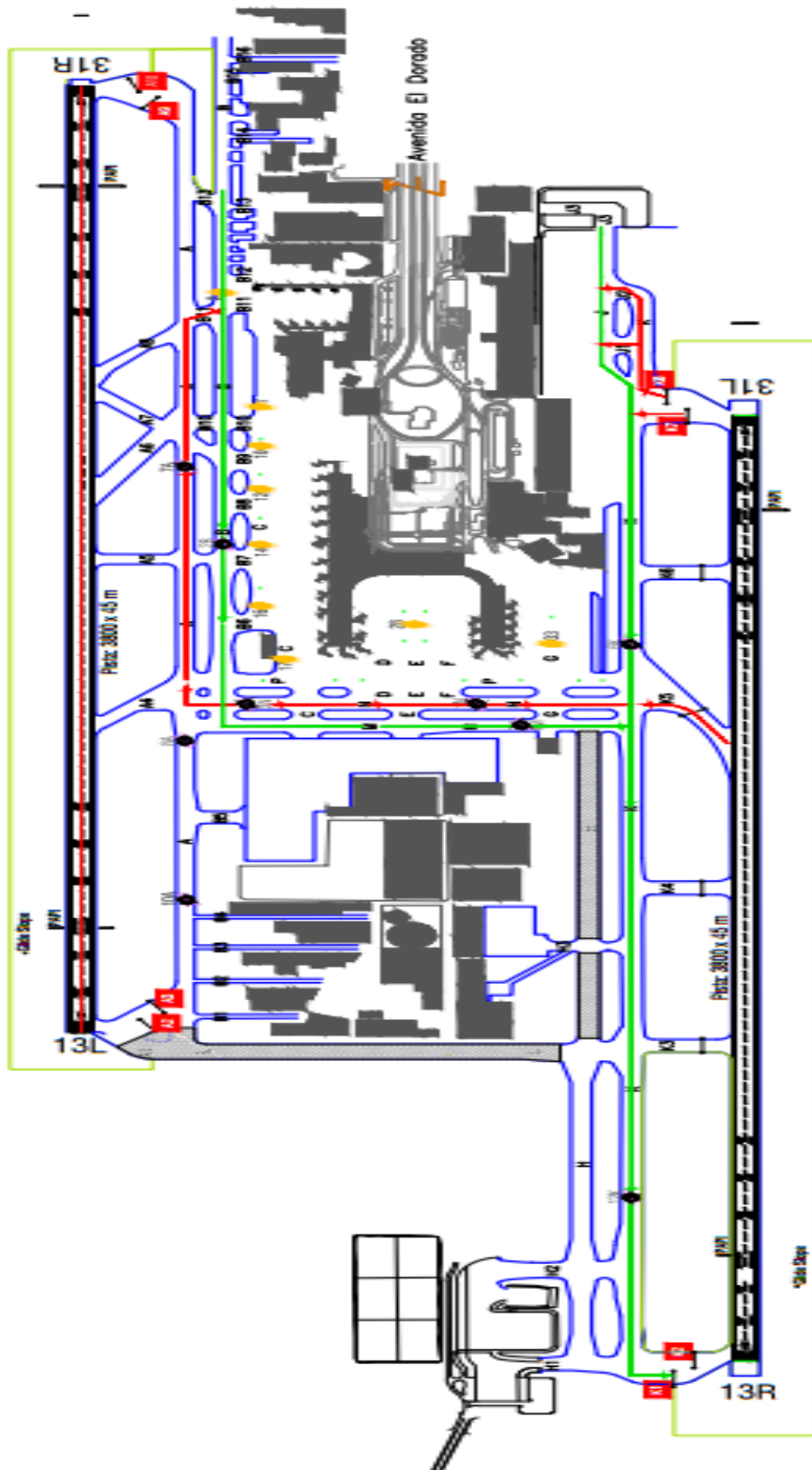


Figura 11 Plano del Aeropuerto Eldorado BOG. Fuente: Aerocivi.

5.2 Características Generales de BOG

La siguiente descripción presenta las particularidades generales de BOG, detalla aspectos como datos geográficos, área de movimiento y servicios de operación. Es imprescindible conocer las generalidades del aeropuerto con el fin de poder identificar sus principales fortalezas a nivel operativo y estructural, además poder conocer sus puntos débiles a mejorar basándonos en la investigación, la *Figura 12 y 13* ilustra la información.

INDICADOR DE LUGAR / NOMBRE DEL AERÓDROMO

SKBO - BOGOTA
El Dorado

DATOS GEOGRAFICOS Y DE ADMINISTRACION DEL AD

Coordenadas ARP: 04 42 05,76 N 074 08 49,00 W
Distancia y dirección a la ciudad: 12 KM
Elevación: 2548,16 m / 8.360 ft
Temperatura de referencia: 20 °C
Declinación magnética: 07° W (2017) / 00° 8.3' W anual
Administración: Sede Corporativa OPAIN S.A.
Dirección: Aeropuerto Internacional El Dorado Calle 26 # 103-09 - Bogotá Colombia
Teléfono: PBX 5950070 Ext. 505/105 TWR 2962615 - ARO 2962253
Fax: 4135104 - OPAIN S.A., PBX 4397070
AFS: SKBOYDYA - SKBOYDYX
E-mail: serviciosalcliente@eldorado.aero
Tránsito autorizado: Llegando IFR y saliendo IFR y VFR
Observaciones: Departamento Cundinamarca.
 Página web www.eldorado.aero

SERVICIOS. HORAS DE OPERACION

Aeropuerto: H24
Aduana e Inmigración: H24
Médicos y sanidad: H24
AIS/NOF: H24
AIS/ARO: H24
MET: H24
ATS: H24
Abastecimiento de combustible: H24
Seguridad: H24

Observaciones: NIL

SERVICIOS INSTALACIONES DE ASISTENCIA EN TIERRA

Instalaciones para el manejo de carga: A cargo de las empresas aéreas.

Tipos de combustible: JET A-1

Tipos de lubricantes: NO

Capacidad de reabastecimiento: Sistema de hidrantes de combustibles con capacidad de suministro de 100 galones por minuto, en plataforma nacional, internacional y carga.

Sistema de abastecimiento con vehículos cisterna, con capacidades 10000-9600-6000-5000-3000 y 2500 galones.
 Una (1) estación de carga de combustible.

Espacio disponible en hangar: NIL

Instalaciones para reparaciones: Empresas particulares, servicios menores y mayores

Observaciones: NIL

REMOCION DE OBSTACULOS

Equipos: No
Prioridad de limpieza: No
Observaciones: NIL

DETALLES DEL AREA DE MOVIMIENTO

Plataformas: **Superficie:** Concreto
Resistencia: PCN 61/R/D/W/T

Calles de rodaje: **Anchura:** A, A7, A5, B7, A4, P, K = 30 m
 K6, N, M, K4, K3, B6 = 39 m
 G, C = 44 m
 E = 65 m

Superficie: Asfalto y concreto
Resistencia: TWY A, A7, A5, B7, A4, P, A8, N
 M, G, E, C:
 PCN 80/F/C/W/T
 TWY M, N, P, U, V:
 TWY K, K7, K8, K6, K3, K2, K1:
 PCN 104/F/D/W/T

Calles de rodaje acceso a puesto de estacionamiento

Anchura: B1, B2, B3, B4 = 14 m
 J, H2 = 25 m
 J3, G = 36 m (Categoría C o inferior)
 B11 entre B y plataforma
 T2 = 36 m (Categoría C o inferior)
 C entre B6 y P = 36 m (Categoría C o inferior)
 E = 65 m (Categoría E o inferior)
 D, F entre N y plataforma
 T1 = 36 m (Categoría C o inferior)

Posiciones de comprobación:

VOR: NIL

INS: 04°42.1' N 074°09.0' W

Altimetro: Plataforma terminal, elevación 8.361 FT

Observaciones: * R Estructura rígida con pavimento flexible.

SISTEMAS Y SEÑALES DE GUIA DE RODAJE

Sistema de guía de rodaje: Tableros iluminados
Señalización de RWY: Ejes señalizados con pintura.
Señalización de TWY: Tableros iluminados

Observaciones: Luces indicadoras de barra de parada, Ver Circuitos de rodaje.

FIGURA 12 CARACTERISTICAS GENERALES 1 BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

INSTALACIONES PARA PASAJEROS

Hoteles: En la ciudad
Restaurantes: Sí
Transporte: Autobuses, taxis, colectivos, auto-pulmans de turismo y alquiler de autos.
Instalaciones médicas: Primeros auxilios y ambulancias.
Banco: Cajeros Automáticos
Oficina postal: Sí
Información turística: Sí
Observaciones: NIL

SERVICIO DE EXTINCIÓN DE INCENDIO Y SALVAMENTO

Categoría: 10
Equipo de salvamento: No
Capacidad para retirar aeronaves inutilizadas: A cargo de las empresas aéreas
Observaciones: 4 vehículos contra incendio con capacidad total de descarga 20.903 Lt/min, 1 vehículo de rescate, 1 equipo de respuesta hazmat nivel operacional.

OBSTACULOS

En áreas de aproximación y despegue: Sí
RWY: 31R
Obstáculo: Línea de energía
Localización: 600 m del umbral de RWY, elevación 10 m, rumbo 127°
Señalización: Iluminados

Observaciones: NIL

SERVICIO METEOROLÓGICO PROPORCIONADO

Oficina MET: IDEAM
Horario: H24
TAF/ Período de validez: 24 horas actualizado cada 6 horas
Pronóstico de aterrizaje: Según tendencia
Información: TAF, METAR, SPECI, SINOP, CLIMAT
Documento de vuelo: Carpeta completa
Idioma: Español, Inglés
Cartas: Mapas significativos provistos de altitud y de vientos máximos
Equipo suplementario: Radar Meteorológico, Imágenes Satelitales, LEADS en línea.
Dependencias ATS atendidas: ACC, APP, TWR, ARD
Información adicional: Oficina principal
Observaciones: NIL

FIGURA 13 CARACTERISTICAS GENERALES 2 BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Las anteriores características componen el papel general de estructura del Aeropuerto internacional de Bogotá EIDorado BOG tanto en lado tierra como lado aire. La *Figura 14* detalla la estructura de lado tierra componente del terminal de BOG, podremos visualizar y ubicar las cuatro (4) terminales operativas dentro del aeropuerto para distintos tipos de vuelos.

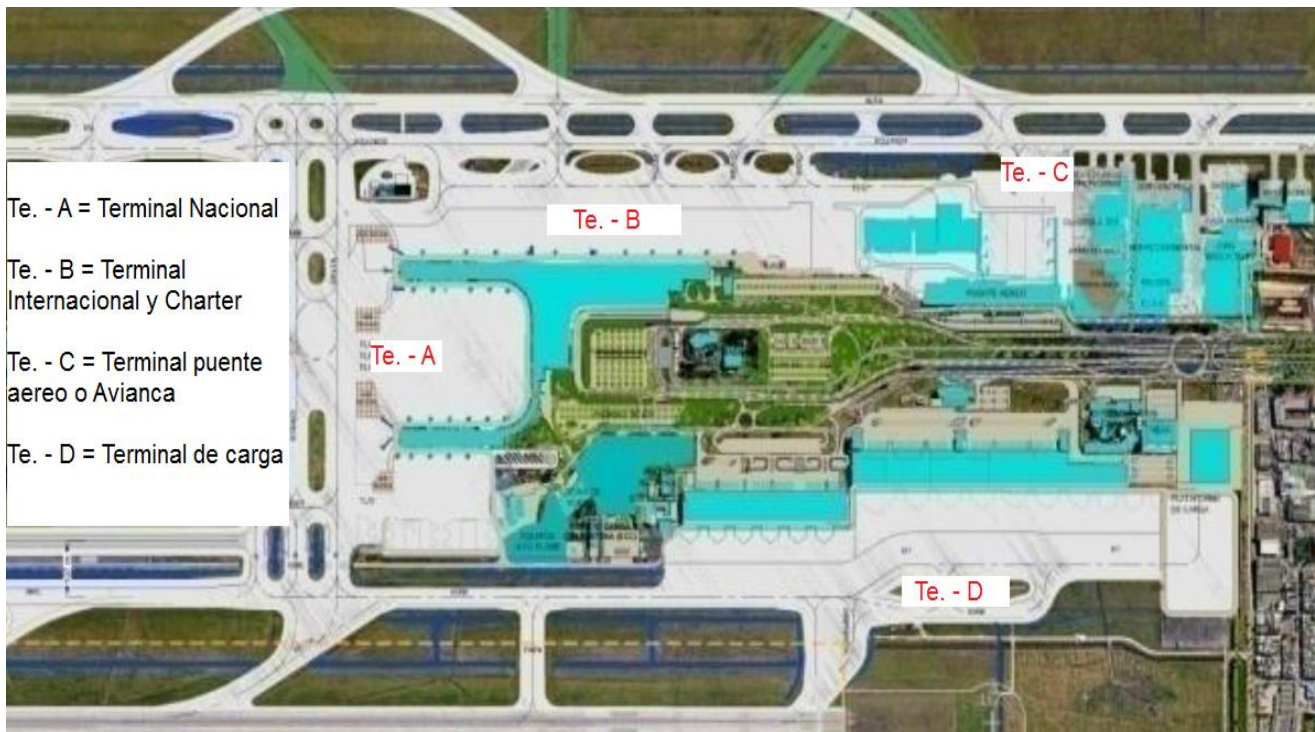


FIGURA 14 TERMINALES LADO TIERRA BOG. Fuente: INVESTIGADOR

5.2.1 Características Físicas de la Pista

La *Tabla 24* presenta las características físicas del sistema de pistas paralelo que tiene BOG, se identifica cada umbral de pista. Se exponen aspectos como dirección de pista, dimensiones, localización, elevación y superficie. El perfil longitudinal inferior denota las pendientes (grados de inclinación) de cada pista tanto para la 13L/31R = 4% como para 13R/31L = 3%, además se observa el trazado longitudinal de cada pista y la altura a la que se encuentran (m.s.n.m.).

RWY	Dirección GEO/MAG	DIM (m)	Localización THR	Elevación THR (m/FT)	Dimensiones (m)					Superficie Resistencia - ACN/PCN
					SWY	CWY	Franja	RESA	OFZ	
13L	NIL 134	3800 x 45	04 42 48,21 N 074 09 07,42 W	2546,90 8356	No	150	3920 x 300	NIL	NIL	Asfalto PCN 104/F/D/W/T
31R	NIL 314	3800 x 45	04 41 33,74 N 074 07 29,01 W	2548,16 8360	No	150				
13R	NIL 134	3800 x 45	04 42 37,78 N 074 10 08,97 W	2542,72 8352	60	300	4400 x 300	NIL	NIL	Asfalto PCN 80/F/C/W/T
31L	NIL 314	3800 x 45	04 41 23,28 N 074 08 30,60 W	2546,94 8356	60	300				

Observaciones: NIL

Perfil:

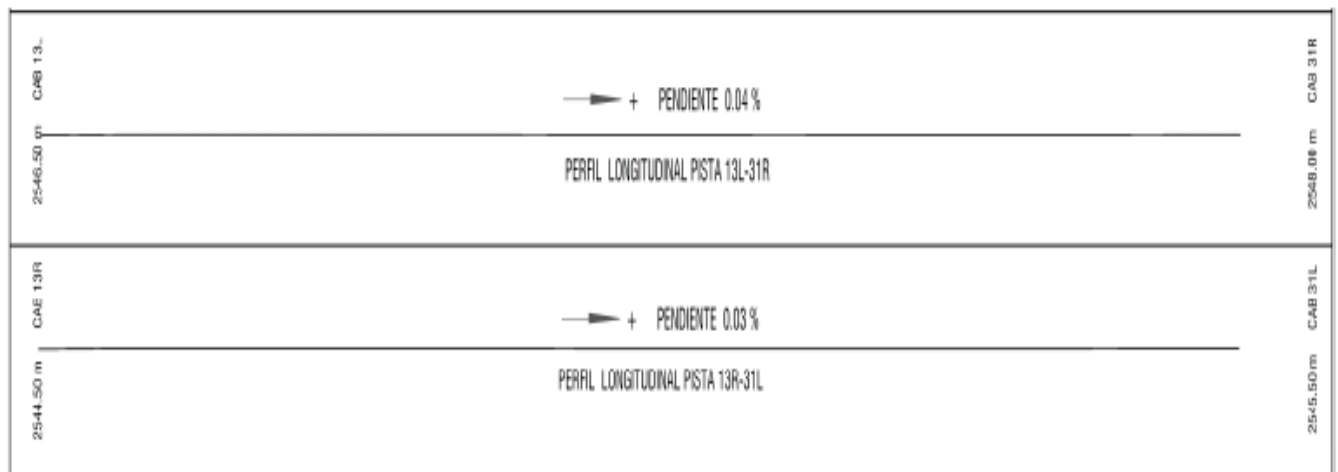


TABLA 24 CARACTERISTICAS FISICAS PISTA BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

5.2.2 Distancias Declaradas de Pistas

En la *Tabla 25* se identifican las distancias declaradas para las pistas de BOG, las medidas se diferencian en el alcance de tramo de pista que toma. Las distancias *TORA* y *LDA* son la distancia de toda la franja de pista hasta el umbral (THR), *ASDA* es la distancia de “*Aceleración y parada*”, es la medida *TORA* + *SWY* (franja adicional de pista utilizada en casos de emergencia) la pista 13L/31R no posee *SWY* y la distancia *TODA* es la medida *ASDA* + *CWY* (espacio o franja de tierra de seguridad sin obstáculo, para que la aeronave alcance su altitud mínima) todos los umbrales tiene *CWY*.

RWY	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
13L	3800	3950	3800	3800
31R	3800	3950	3800	3800
13R	3800	4100	3860	3800
31L	3800	4100	3860	3800

Observaciones: NIL

TABLA 25 DISTANCIAS DECLARADAS BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

En las *Figuras 15* y *16* se observa los tramos de pista para cada umbral tanto 13L/31R y 13R/31L y sus respectivas distancias. Podemos observar que ninguna de las pistas tiene umbral desplazado por tal motivo las distancias *TORA* y *LDA* son iguales. La pista 13L/13R no posee *SWY* en ninguna de sus franjas, por esta razón la medida *ASDA* es similar a las especificadas anteriormente. La medida *TODA* es la suma de *ASDA* + *CWY* (para esta pista *CWY* = 150m). Estas distancias son estandarizadas internacionalmente y se declaran por parte de la entidad encargada en el aeropuerto, con fin informativo para procedimientos operativos realizados por Aerovivil.

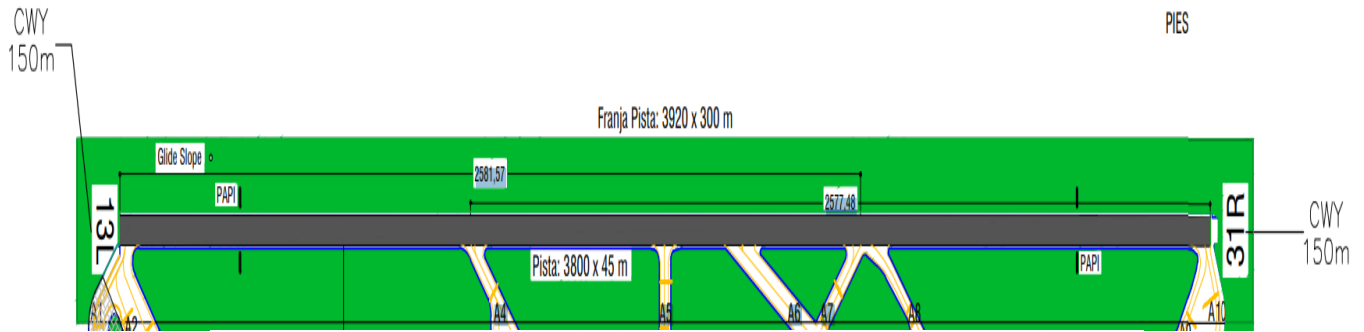


FIGURA 15 Distancias declaradas Pista 13L/31R BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

La pista 13R/31L posee SWY (para esta pista SWY = 60m) en sus dos franjas por lo que la medida ASDA es diferente de las TORA y LDA. La distancia TODA para esta pista sería ASDA + CWY (para esta pista CWY = 150m). La Figura 16 ilustra la pista con los umbrales 13R/31L.

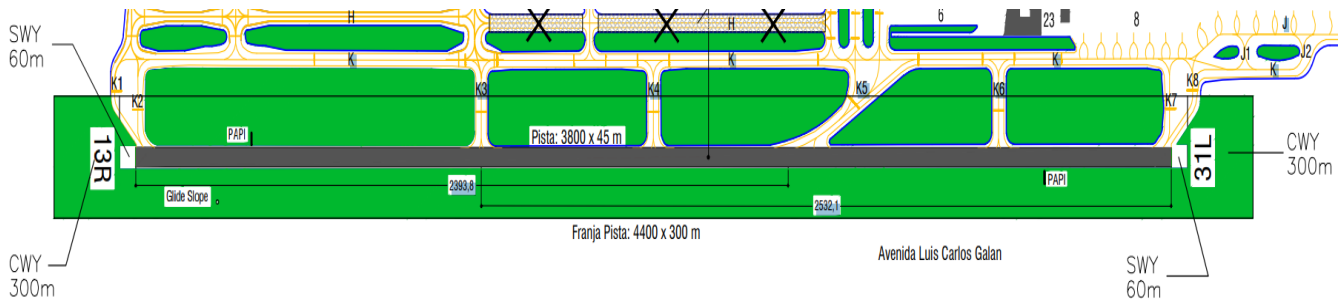


FIGURA 16 Distancias declaradas Pista 13R/31L BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

5.2.3 Radio ayudas para la navegación y aterrizaje

La Tabla 26 identifica todas las “radio ayuda” para la navegación y aterrizaje de las aeronaves en sus operaciones aéreas. Estos instrumentos son sistemas de control que permite que el avión sea guiado con precisión para maniobras en condiciones instrumentales (IMC) no visuales cuando la aeronave entra en proceso de aproximación. En la tabla podemos identificar el tipo de instrumento, identificación, frecuencia, horario de servicio, localización, elevación y algunas observaciones relevantes.

Instalación (VAR)	ID	FREQ	HR	Localización	Elevación	Observaciones
VOR	BOG	113,9 MHz	H24	04 50 48 N 074 19 24 W	9.906 FT	Cobertura 100 NM
DME	BOG	CH 86 X	H24	04 50 48 N 074 19 24 W	9.906 FT	Cobertura 150 NM
NDB	R	274 KHz	H24	04 40 34 N 074 06 09 W	8.445 FT	Cobertura 25 NM
VOR	SOA	108,6 MHz	H24	04 36 11 N 074 16 23 W	8.069 FT	
DME	SOA	23-X	H24	04 36 11 N 074 16 23 W	8.108 FT	Cobertura 150 NM
ILS/LLZ	IEDR	111,3 MHz	H24	04 41 28,150 N 074 07 21,655 W		Categoría 1, pista 13L
ILS/GP		332,3 MHz	H24	04 42 44,981 N 074 08 57,049 W		Pista 13L, GP 3°
ILS/DME		CH 50 X	H24	04 42 44,981 N 074 08 57,049 W		Pista 13L
OM		75 MHz	H24	04 45 53,814 N 074 13 12,539 W		Pista 13L
MM		75 MHz	H24	04 43 07,806 N 074 09 33,328 W		Pista 13L
LO	ED	244 KHz	H24	04 45 54,823 N 074 13 13,726 W	8.355 FT	Cobertura 25 NM, rumbo 307°, a 5.1 NM
ILS/LLZ	IADO	110,7 MHz	H24	04 41 15,733 N 074 08 20,651 W		Categoría 3, pista 13R
ILS/GP		330,2 MHz	H24	04 42 29,178 N 074 10 03,378 W		Pista 13R, GP 3°
ILS/DME		CH 44 X	H24	04 42 29,178 N 074 10 03,378 W		Pista 13R
MM	AD	75 MHz	H24	04 42 58,369 N 074 10 36,189 W		Pista 13R
IM	DO	75 MHz	H24	04 42 45,775 N 074 10 19,258 W		Pista 13R

TABLA 26 Radio ayudas para navegación y aterrizaje BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Estas herramientas ayudan a que la aeronave inicialmente tenga una proyección de planeo en dirección al aeropuerto y además proporciona orientación al eje central de la pista en maniobra de aterrizaje y la desviación respecto al mismo. BOG cuenta con ayudas a la radio navegación como los instrumentos (ILS) en pistas 13L y 13 R (Cat III), cuenta con radares como OM y VOR que ayudan a la ubicación y proyección de las aeronaves.

En la *Figura 17* se visualiza una carta de navegación para operación de aterrizaje en umbral 13R en condiciones instrumentales, se visualiza el rango de campo del radar BOG-VOR de 20 NM (millas náuticas) ubicado en la sabana bogotana a una distancia prudencial del aeropuerto. Se observa los instrumentos ILS o LLZ ayudan a la aproximación desde 10NM y hasta aproximadamente 200ps (pies) de altura, se ubica a una distancia reglamentaria cerca al umbral.

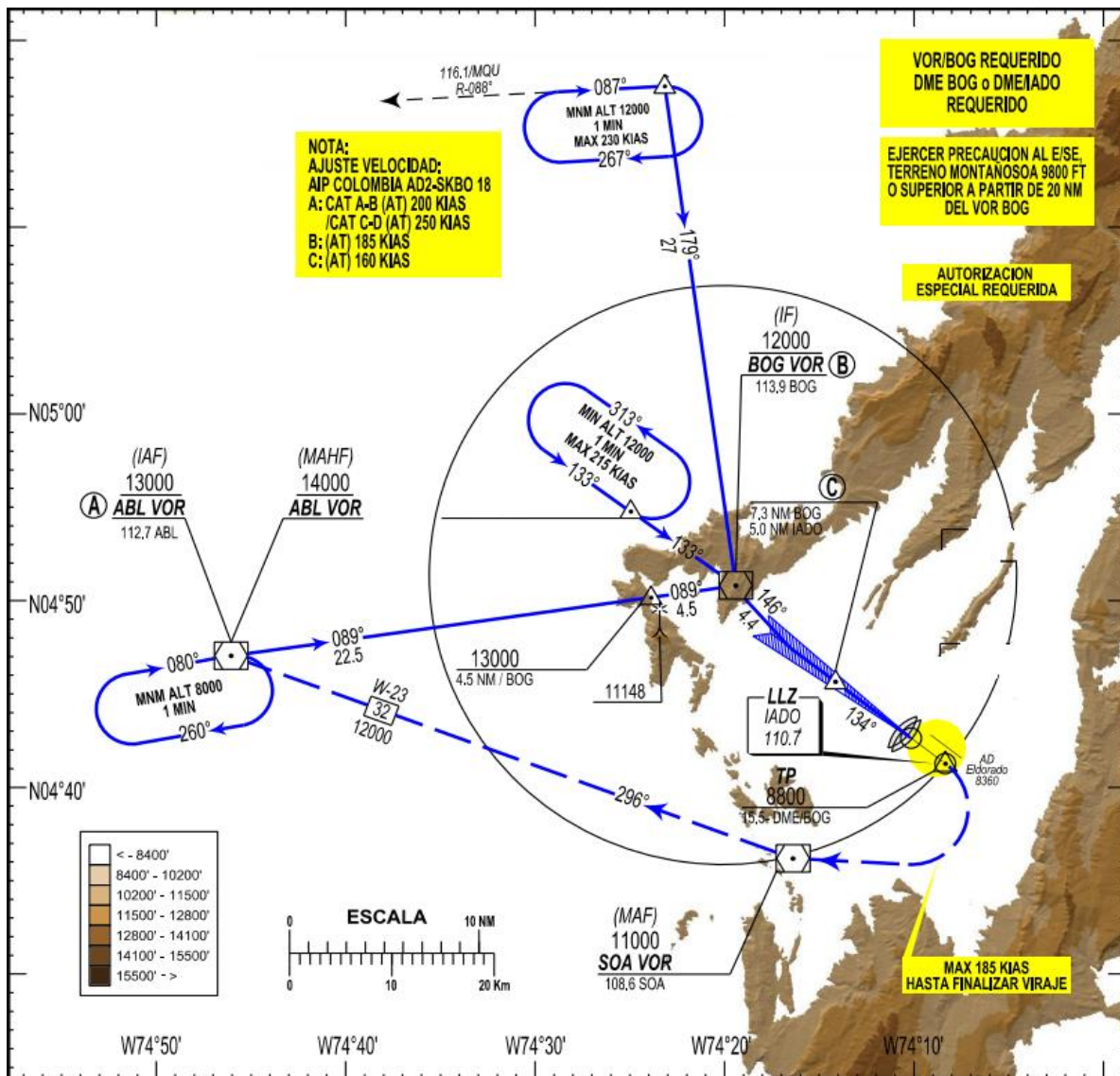


FIGURA 17 ILS y VOR carta de navegación BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Estas ayudas se complementan con sistemas de comunicación de voz de redes móviles y fijas de comunicación por radio, servicio brindado por Control de tráfico aéreo (Aerocivil) y todas las frecuencias e instalaciones que tiene BOG se ilustran en la *Tabla 27*. Es importante denotar que estos instrumentos de ayuda necesitan su estricto protocolo de control y mantenimiento, asegurando que en todo momento los instrumentos están listos para la operación. El servicio de tráfico de control aéreo se realiza en las frecuencias inscritas en la *Tabla 27*, además características como su horario, distintivo de llamada y tipo de servicio que brinda.

Servicio	Distintivo de llamada	Frecuencia	HR	Observaciones
TWR	El Dorado TWR Norte	118,1 MHz	H24	Pista 13L/31R
		118,35 MHz	H24	Frecuencia alterna
	El Dorado TWR Sur	118,25 MHz	H24	Pista 13R/31L
		118,35 MHz	H24	Frecuencia alterna
	El Dorado Superficie Norte	121,8 MHz	H24	SMC 13L/31R
		122,4 MHz	H24	Frecuencia alterna
	El Dorado Superficie Sur	122,75 MHz	H24	SMC 13R/31L
		122,4 MHz	H24	Frecuencia alterna
	El Dorado Autorizaciones	121,6 MHz	H24	Autorizaciones El Dorado
		122,9 MHz	H24	Frecuencia alterna
APP	Bogotá Llegadas	119,5 MHz	H24	Sector Bogotá Llegadas
		119,05 MHz	H24	Frecuencia alterna
	Terminal Oeste	119,95 MHz	H24	Sector Terminal Oeste
		120,95 MHz	H24	Frecuencia alterna
	Terminal Sur	119,65 MHz	H24	Sector Terminal Sur
		120,65 MHz	H24	Frecuencia alterna
	Terminal Norte	121,3 MHz	H24	Sector Terminal Norte
		120,3 MHz	H24	Frecuencia alterna

TABLA 27 Instalaciones de comunicaciones ATS BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

La *Figura 18* ilustra un sistema de ayuda VOR (Radiofaro Omnidireccional) para operaciones aéreas, principalmente usado en maniobras de aproximación al aeropuerto o aterrizaje. Esta herramienta hace parte del grupo de radares para control aéreo al servicio de Aerocivil Colombia.



FIGURA 18 VOR Colombia Aerocivil. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

5.2.4 Luces de Aproximación y de Pista

La *Tabla 28* nos muestra todo el sistema de luces de iluminación y luces de aproximación que tiene BOG. Por cada umbral de pista se ilustra los diferentes tipos de luces que posee, luces de iluminación como los ubicados sobre la pista identificadores de fin de pista, umbral de pista, zona toma de contacto, eje de pista, borde de pista y extremo de pista. BOG cuenta con luces de aproximación PAPI y APAPI en todos los umbrales, estos instrumentos son luces indicadoras de pendiente sobre la horizontal de la pista, usada para maniobra de aproximación principalmente. También cuenta con luces de aproximación ALS categorías I y II, se ubican en la parte anterior del umbral, ayudan a las aeronaves a orientar el aeropuerto y también el eje de pista en procedimiento de aproximación. Se identifica información para cada umbral particular del sistema de pistas que posee BOG, como 13L/31R y 13R/31L.

RWY	APCH	PAPI ⁽¹⁾ APAPI ⁽²⁾	REIL Identificadoras de fin de pista	RTHL Umbral de pista	RTZL Zona toma de contacto	RCLL Eje de pista	REDL Borde pista	RENL Extremo pista	STWL Zona de parada
13L	ALS CAT 1	(1) 3º MEHT 71 ft (1) 5,24 %*	No	Verde	Blancas	Blancas**	Blancas y Amarillas	Rojas	No
31R		(1) 3º MEHT 81 ft (1) 5,24 %*	No	Verde	Blancas	Blancas**	Blancas y Amarillas	Rojas	No
13R	ALS CAT 2	(1) 3º MEHT 72 ft (1) 5,24 %	Si	Verde	Blancas	Blancas	Blancas y Amarillas	Rojas	No
31L		(1) 3º MEHT 81 ft (1) 5,24 %	No	Verde	Blancas	Blancas	Blancas y Amarillas	Rojas	No

Observaciones: * PAPI pista 13L/31R distribuidas a ambos lados del eje
** RCLL pista 13L/31R No utilizables

TABLA 28 LUCES APROXIMACION Y PISTA BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

La *Figura 19* ilustra el umbral de pista 13L de BOG con su sistema de iluminación de pista y luces de aproximación como PAPI en ambos costados de la pista, además se puede visualizar en la parte inferior de la imagen el sistema ALS categoría uno (CAT 1) con el que cuenta este umbral. BOG cuenta con luces de aproximación que ayudan a la mayoría de aeronaves dentro del sistema internacional de clasificación hasta aeronaves de categorías E y F.



FIGURA 19 LUCES APROXIMACION Y PISTA 13L BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Luces de aproximación como ALS (Se utilizan para ayudar al piloto visualmente a ubicar el aeropuerto y así mismo el eje de pista) ubicados en pistas 13L y 13R, en la *Figura 20* se puede visualizar un perfil longitudinal de un sistema ALS de la pista 13R usualmente utilizados en maniobras de aproximación. Este umbral cuenta con un sistema ALS Categoría dos (CAT 2), permite mayor alcance y es usado por mayor clasificación de aeronaves. La secuencia de luces le indican al piloto visualmente si está en la trayectoria adecuada respecto al eje de pista, así mismo la desviación respecto al eje para que el piloto modifique la posición.

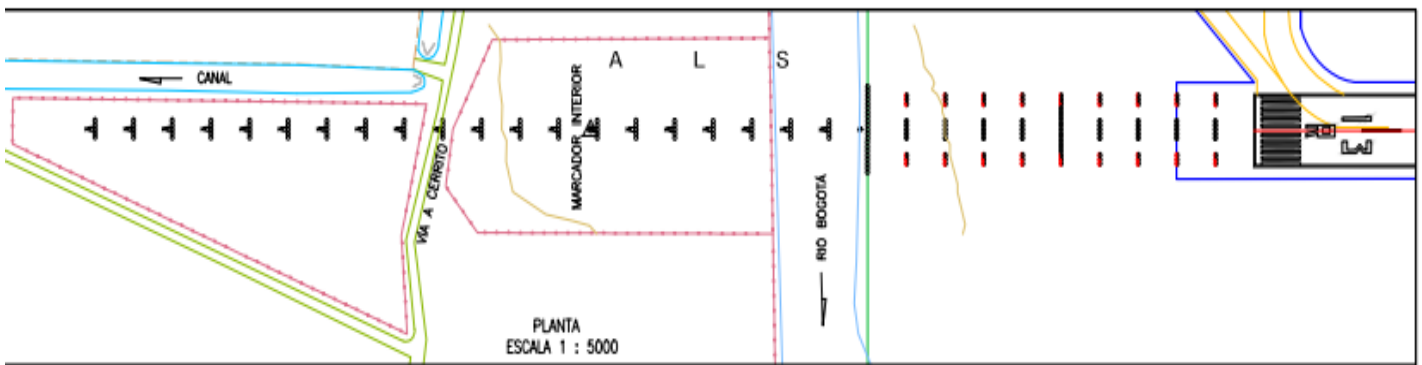


FIGURA 20 Luces aproximación ALS umbral 13R BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

6 VARIABLES QUE INTERVIENEN O ALTERAN EL ESTADO DE LA CAPACIDAD DE PISTA DE BOG

BOG es un sistema operacional que comprende un esquema de infraestructura, instalaciones, equipos, sistemas y personal, los cuales, colectivamente, proporcionan un servicio a un cliente principal (aerolíneas / pasajeros y carga). BOG posee instalación de transferencia inter-modal entre transporte terrestre y transporte aéreo. Los elementos primordiales son los siguientes:

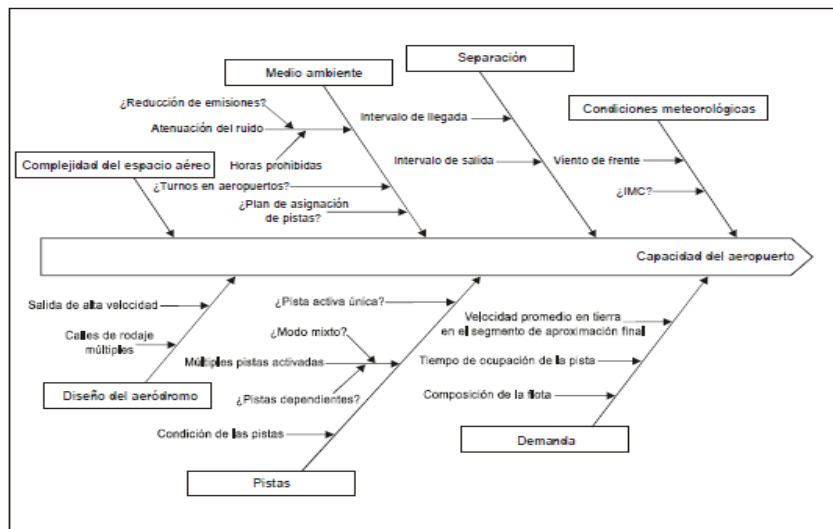
Lado aire > Área o subsistema de movimiento de aeronaves:

- Campos de vuelo: Pistas, calles de rodaje, franjas, ayudas.
- Plataforma: Zona de espera, seguridad y estacionamiento.
- Viales y aparcamientos de vehículos de servicio.
- Instalaciones para equipos y vehículos de servicio.

Lado tierra > Área o subsistema de actividades aeroportuarias, gestión de pasajeros, carga, y otros agentes proveedores de servicios al aeropuerto y a empresas dentro del aeropuerto.

Dentro del ámbito del espacio aéreo (campos de vuelo) y área de operaciones aeronáuticas, se relacionan todos los aspectos primordiales de las operaciones aéreas. La Gestión de Tráfico Aéreo es una rama importante de aviación general, en esta área se involucra el Control de Tráfico Aéreo (Aerocivil) espacio donde opera y se desarrolla la capacidad aeroportuaria y a su vez la Capacidad de Pista.

La capacidad de pista de BOG está relacionada específicamente con su infraestructura, la meteorología reinante, las configuraciones operativas, el modo de operación de las dependencias ATC (Control de Tráfico Aéreo) y las características operacionales de los operadores aéreos. Estos son factores que pueden conducir a incrementos o reducciones en los valores de la capacidad de pista. En la *Grafica 1* se clasifican los factores más relevantes que a nivel general inciden directamente en la capacidad de pista de BOG.



GRAFICA 1 FACTORES RELEVANTES CAPACIDAD PISTA BOG. Fuente: OACI

6.1 Variables referentes a la particularidad de BOG

Cada aeropuerto es único y particular dentro de su funcionamiento y forma de operar, además cada uno tiene sus propias características esenciales y específicas. El Aeropuerto Internacional Éldorado (BOG) por consiguiente tiene su propia singularidad que se describe a continuación, y que en contraposición puede influir en incrementos o reducciones de la *Capacidad de Pista* de BOG.

6.1.1 Infraestructura Aérea: A continuación se detalla la infraestructura aérea disponible para BOG. Cuenta con un sistema de pistas paralelas, con dos (2) pistas estructurales y cuatro (4) pistas operativas. Tiene una capacidad oficial de 82 operaciones por hora (42 aterrizajes y 40 despegues). La plataforma y terminal cuentan con 111 posiciones (22 internacional, 34 nacional e internacional, 12 puente aéreo, 26 carga y 17 remotas) entre de contacto y remotas para las aeronaves, se ejecutan operaciones mixtas en cuatro (4) terminales de vuelos comerciales, aviación general y de estado. La *Tabla 29* ilustra las características principales del sistema de pistas en paralelo que posee BOG.

PISTAS			
DIRECCION	DIMENSIONES		SUPERFICIE
	<i>metros</i>	<i>pies</i>	
13L/31R	3800 x 45	12467 x 148	Asfalto alta resistencia
13R/31R	3800 x 45	12467 x 148	Asfalto alta resistencia

TABLA 29 DESCRIPCION SISTEMA PISTAS BOG. Fuente: Investigador

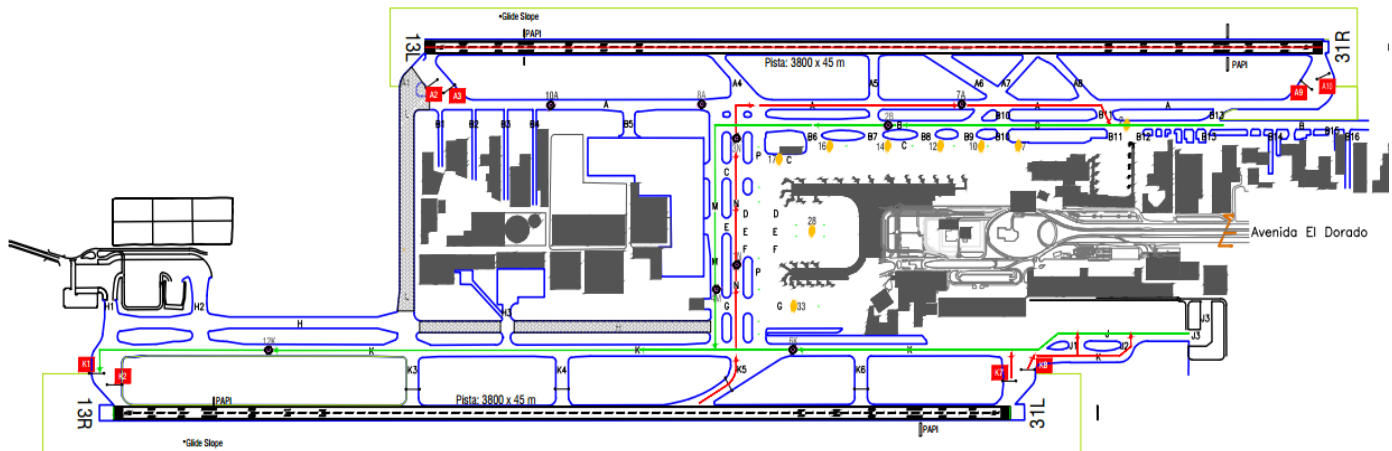


FIGURA 21 Sistema de pistas BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogota

En la *Figura 21* se visualiza el sistema de pistas de BOG y el número, ubicación y orientación de salidas y salidas rápidas dentro del sistema. Tiene varias calles de rodaje las dos (2) principales son las calles K (Kilo) y A (Alpha) que su orientación es longitudinal o paralelo a las pistas, hay otras calles de rodaje como M (Mike), N (November) y P (Papa) que su trayectoria es transversal a las pistas. Es importante tener presente los cuatro (8) puntos de espera situados cerca de cada umbral de pista, disponibles para la mayoría de categorías de aeronaves. BOG cuenta con 1.100 hectáreas de terreno neto, comprende sistema de pistas, plataforma y área de terminal. Muelle internacional tiene una superficie de 107.819 m² y nacional cuenta con un área de 65.218 m².

Dentro del ámbito de la eficiencia operacional se evalúan varios aspectos a la estructura aérea para determinar su comportamiento algunos son:

- La geometría, orientación y número de pistas existentes.
- El número, ubicación y características de las calles de salida y salidas rápidas de la pista.
- El número y características de las calles de rodadura y apartaderos de espera para acceso a pista o plataforma.
- Disponibilidad de pistas por exposición al ruido de aeronaves, viento, limitaciones de visibilidad o meteorología.

La deficiencia de estructura aérea o de campo de vuelo, específicamente, su sistema de pistas, inciden negativamente en la gestión de la capacidad de la pista y del aeropuerto en general.

- La pista 13L/31R posee cuatro (4) salidas rápidas (30° y 45° inclinación) y tres (3) salidas (90° inclinación). La *Figura 22* detalla el perfil longitudinal y estructural del umbral. Se visualiza calle de rodaje A (Alpha) y los cuatro (4) puntos de espera correspondiente para cada umbral de la pista. Se puede visualizar la conexión de las salidas con la calle de rodaje y así mismo esta con la plataforma.

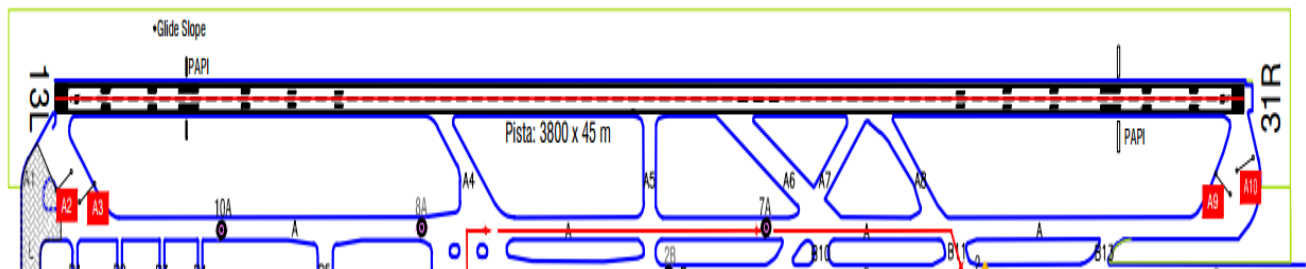


FIGURA 22 Pistas 13L/31R BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

- La pista 13R/31L tiene una (1) salida rápida (30° inclinación) principalmente para aterrizajes por umbral 13R y cinco (5) salidas (90° inclinación) en orientación para ambos umbrales. Se visualiza calle de rodaje K (Kilo). Es importante denotar que la salida rápida que posee este umbral, está diseñada para cualquier tipo de aeronave según clasificación internacional hasta categoría (E y F). Se visualiza los cuatro (4) puntos de espera correspondiente para cada umbral de la pista se denotan de color rojo en la *Figura 23*.

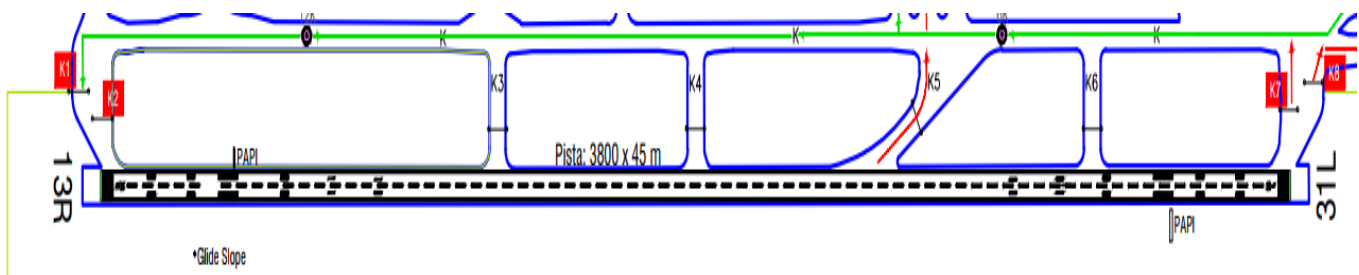
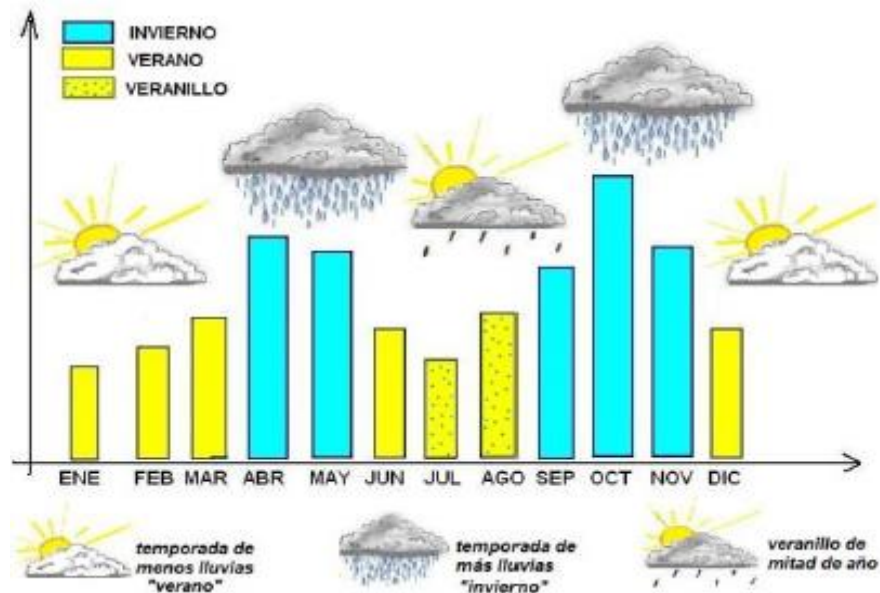


FIGURA 23 Pistas 13R/31L BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

6.1.2 Condiciones de Entorno: El eje principal de este numeral es identificar y conocer el comportamiento de las variables climáticas y su posible incidencia en el desarrollo y operación de BOG. La zona donde se ubica el aeropuerto pertenece a la cuenca del río bogota, desde el punto de vista climático este sector se involucra con el particular entorno de la sabana bogotana, por su cercanía a los cerros orientales y en proximidades del valle del magdalena y sumapaz. Todos los países ubicados sobre el ecuador geográfico como Colombia, incluyendo también Bogota tienen un clima determinado por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCI).

BOG por estar en esta zona tiene un comportamiento "bimodal", es decir, dos temporadas que mas llueve ("inviernos") y dos de menos lluvias ("veranos"). La *Grafica 2* detalla el comportamiento climático anual de BOG. Los meses de abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre presentan temporada invierno y el resto del año señales de verano.



GRAFICA 2 Comportamiento Climático Anual BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

La oficina de IDEAM del Aeropuerto (BOG), es la entidad encargada de informar en todo momento Control de Tráfico Aéreo (ATC-Aerocivil) sobre la situación y comportamiento del clima en el aeropuerto y toda la información meteorológica relevante.

Esta corporación permite saber al órgano ATC información sobre estados de tiempos, datos meteorológicos, precipitación, temperatura, brillo solar, régimen de viento etc. Se detallaran las particularidades climáticas de BOG.

6.1.2.1 Reporte Pronóstico Estado del Tiempo BOG

BOG está en la obligación de tener estricto control en la información meteorológica presente en cada momento, ya que es un factor de gran importancia dentro de la capacidad de pista específicamente. La *Figura 24* nos ilustra un reporte del pronóstico del tiempo, emitido por *meteorología aeronáutica* de BOG. La información del pronóstico contiene cifras como dirección del viento, velocidad de viento, temperatura, visibilidad, techo nubes etc.

La información climática se mide y reporta por medio de instrumentos climáticos especializados que colaboran con la gestión aeronáutica y el control de tráfico aéreo, se detalla información sobre umbrales de pista 13L y 31R.

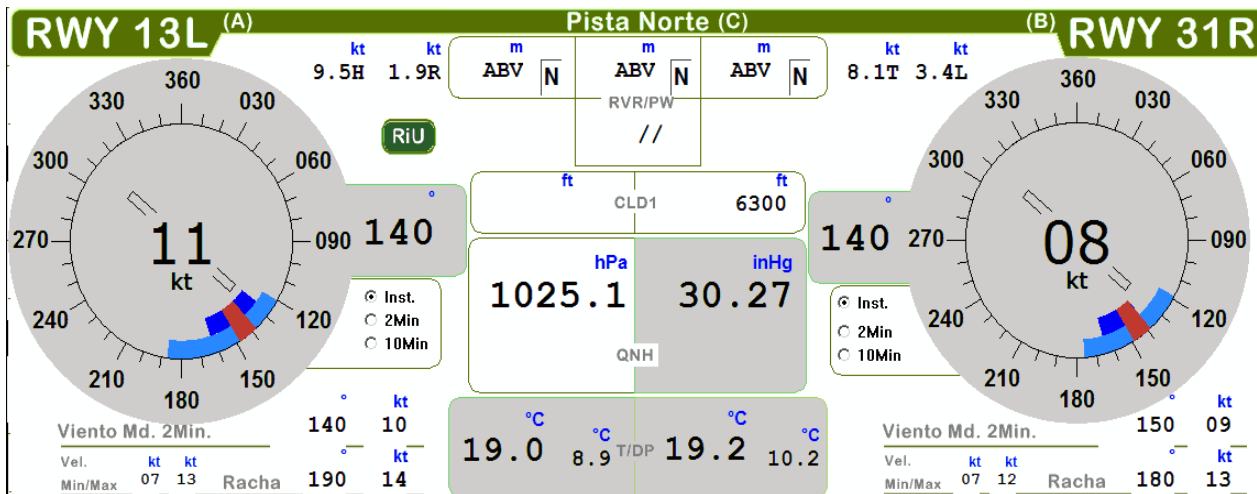


FIGURA 24 Reporte Pronostico Estado Tiempo BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

A continuación, se presenta en la *Tabla 30* el resumen del pronóstico de tiempo de BOG para la pista norte por cada umbral 13L y 31R. Se detalla información de temperatura este factor incide en la disponibilidad de pista, a temperaturas extremas el uso de la pista puede verse afectado.

Temperatura de 19°C para BOG es estándar dentro de la media, usualmente se mantiene dentro de la media anual no presenta grandes cambios. La dirección del viento es igual para ambos umbrales 140°0'00'', este valor nos indica que es optima la dirección del viento para operaciones aéreas en BOG, porque van en dirección similar (viento a favor) al sentido de las pistas (13L /31R). Los vientos en contra o transversales y velocidades de viento desfavorables (según RAC Vientos frontales > 20Kt, Vientos de cola > 5kt, vientos críticos), usualmente vientos de costado o de cola, interfieren en las operaciones aéreas y en la capacidad de pista de BOG.

Aeropuerto Internacional elDorado BOG					
Latitud. 04°43' N Longitud. 74° 09' W Altitud. 2.547m					
Umbral	Temperatura (c°)	Direccion viento (g°)	Velocidad viento (kt)	Techo nubes (ft)	Visibilidad (km)
13L	19	140	11	-	> 10
31R	19.2	140	8	6300	> 10

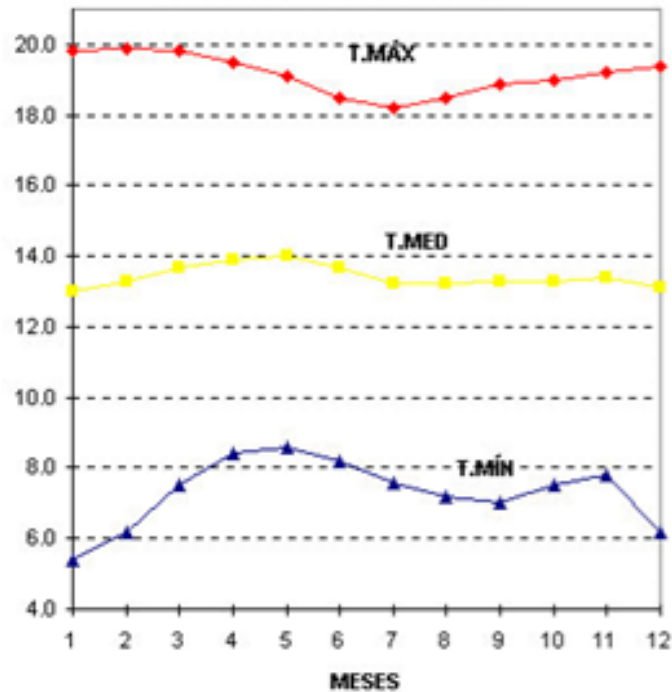
TABLA 30 Resumen Reporte Pronostico Estado Tiempo BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

Las variables de visibilidad y techo de nubes son dos parámetros meteorológicos que se tienen que cumplir para poder proceder a ejecutar una operación en BOG en condiciones visuales (VMC). Según norma colombiana RAC mínimos para operaciones VMC visibilidad > 8 Km y altura techo de nubes > a 1500 Ft. Si alguno de los anteriores parámetros no se cumple, se procede a operar en condiciones instrumentales (IMC) por seguridad operativa.

6.1.2.2 Meteorología BOG

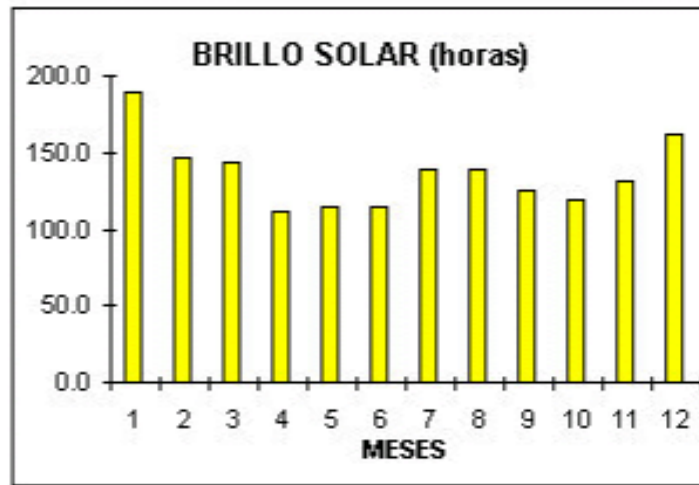
Los aspectos de meteorología para un aeropuerto como BOG tiene una gran relevancia e importancia en el ámbito de gestión aeroportuaria. La variable del clima es muy voluble e inestable, puede modificar su comportamiento con gran facilidad. Situaciones comunes como cambios de operación de VMC a IMC en cuestión de instantes en una misma operación pueden ser producidos por situaciones climáticas adversas inesperadas. El factor clima incide en gran medida en la *Capacidad de Pista* de BOG.

6.1.2.2.1 Temperatura BOG: En la *Grafica 3* podemos visualizar la tendencia de la temperatura (C°) en función del tiempo (meses), para los picos máximos, mínimos y medios de temperatura anual para BOG. Se identifica un pico máximo de 20°C mes de febrero, un pico mínimo de 5°C mes de enero y media de 14°C en el transcurso del año. Con temperaturas muy extremas este factor puede perjudicar las aeronaves mecánicamente (refrigeración), disponibilidad de pista y en general la *Capacidad de Pista* de BOG.



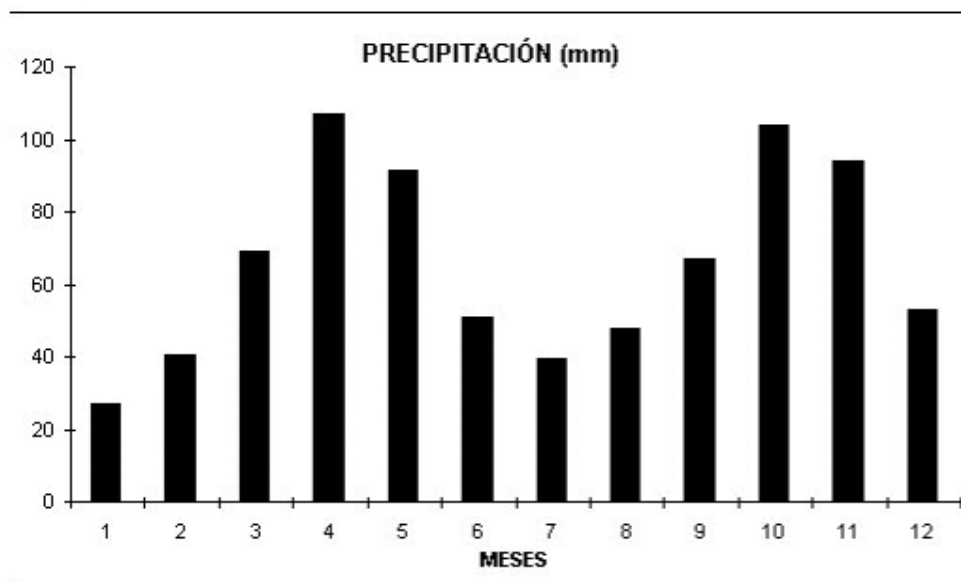
GRAFICA 3 Temperatura Medias (C°) BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

6.1.2.2.2 Brillo Solar BOG (insolación): La insolación o brillo solar es un dato relevante para saber las condiciones favorables de tiempo en las cuales opera BOG, tener *Capacidad de Pista* estable para BOG, poder predecir y planear un buen uso de pista en función del buen pronóstico presentado. Es importante saber qué meses del año BOG opera con óptimas condiciones climáticas. La *Grafica 4* muestra gráficamente la insolación (en horas) en función del tiempo (en meses) para la particularidad de BOG. Se puede detallar en la figura que los meses enero, febrero y diciembre tiene el pico de horas de insolación anual. El brillo solar o insolación viene dado por horas/mensual *Grafica 4*.

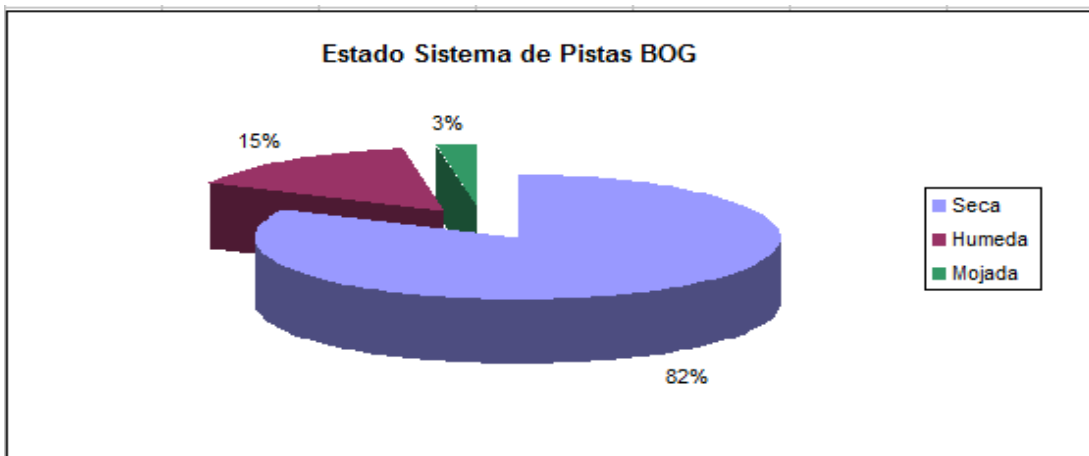


GRAFICA 4 Brillo Solar (insolación) BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

6.1.2.2.3 Precipitación BOG: La precipitación concurrente en BOG es de los parámetros meteorológicos más relevantes, porque cuando ocurre este fenómeno el estado del sistema de pistas se altera (entre seco-húmedo-mojado) y principalmente el nivel de seguridad disminuye y se procese a tomar medidas de seguridad adicionales y procesos operativos alternos como IMC. Este fenómeno reduce en gran medida la *Capacidad de Pista* de BOG. La *Grafica 5* describe principalmente los meses con precipitación más altas en BOG donde las operaciones disminuyen y la *Capacidad de Pista* se ve afectada, los meses de abril, mayo, octubre y noviembre son los más críticos con más 80 mm de precipitación mensual.



GRAFICA 5 Precipitación Mensual BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica



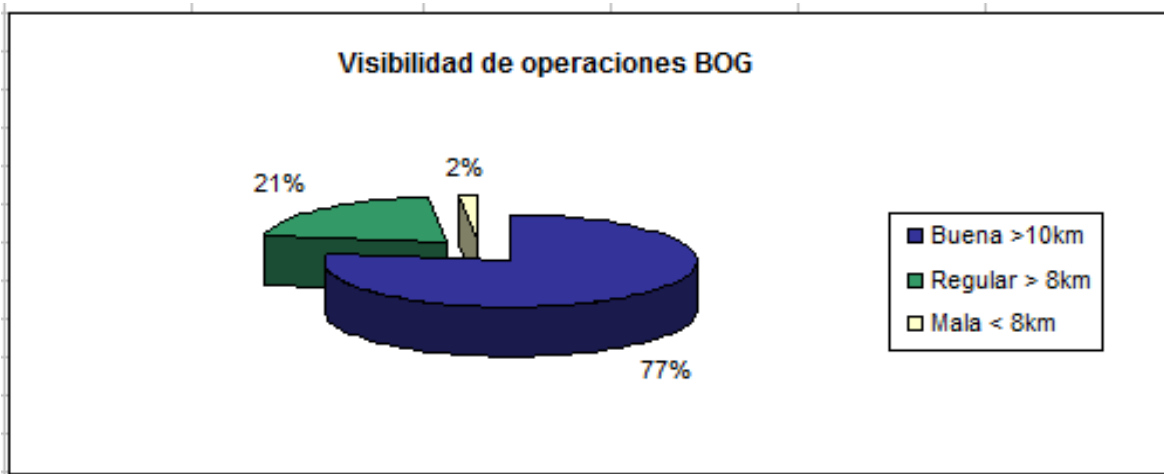
GRAFICA 6 Estado Sistema de Pistas BOG. Fuente: INVESTIGADOR.

La *Grafica 6* describe el estado de las pistas de BOG, los datos fuente de este diagrama son BBDD tomadas por investigadores. En general BOG opera con el 82% de las pistas en buen estado climático o pistas secas para la ejecución de operaciones aéreas. Se detalla un 18% (húmeda + mojada) en el cual BOG desarrolla las operaciones principalmente en condiciones instrumentales IMC, esto implica mayores controles de seguridad y reduce la *Capacidad de Pista*. En aspectos generales se analiza que el factor precipitación para BOG, aunque tiene un valor considerable y se recomiendan las medidas de seguridad necesarias en estas condiciones, no representa en gran medida un perjuicio para el sistema de pistas de BOG.

6.1.2.2.4 Visibilidad y Techo de nubes BOG: Las variables de este numeral son requisitos imprescindibles para las operaciones en condiciones visuales VMC. En el numeral (4.4) se ilustra la *Tabla 18*, mínimos de condiciones techo y visibilidad según normativa colombiana. Según norma colombiana RAC mínimos para operaciones VMC visibilidad > 8 Km y altura techo de nubes > a 1500 Ft. Si alguno de los anteriores parámetros no se cumple, se procede a operar en condiciones instrumentales (IMC) por seguridad operativa.

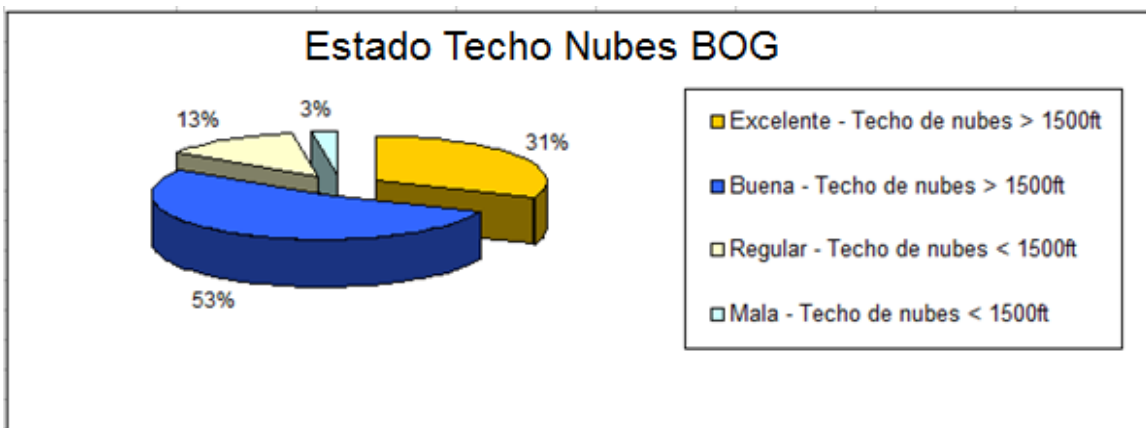
La *Grafica 7* ilustra el estado de visibilidad de las pistas de BOG en operaciones tomadas en distintos periodos del día durante aproximadamente un año. La tendencia general del factor visibilidad es de condiciones favorables, visibilidad (Buena > 10km) con un 77% en las operaciones registradas, esto indica que tan solo el 23% de las operaciones se realizaron en condiciones

instrumentales IMC que genera un buen síntoma a la *Capacidad de Pista* de BOG. Entre menos operaciones instrumentales disminuyen los protocolos de seguridad y más operaciones visuales se ejecutaran por consiguiente la capacidad aumentara significativamente. La altura de techo de nubes es un parámetro también de relevancia, el IDEAM entidad encargada en compañía de Meteorología Aeronáutica de informar las condiciones de entorno para BOG dentro de las cuales el parámetro de techo de nubes también es medido y controlado.



GRAFICA 7 Visibilidad Operaciones BOG. Fuente: INVESTIGADOR.

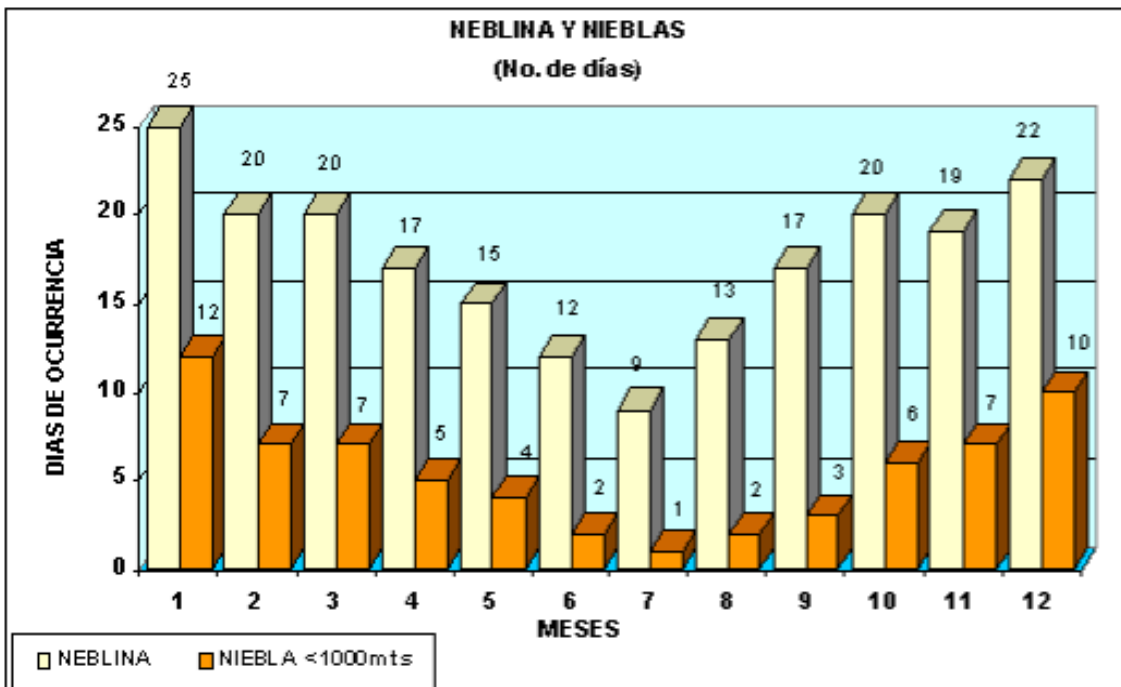
La *Grafica 8* muestra las condiciones del estado del factor techo nubes para las operaciones registradas, estos datos se pueden relacionar con el factor de techo de nubes como un indicativo. Se analiza que posiblemente más del 84% de las operaciones se realizaron bajo óptimas condiciones climáticas concordando con buena altura de techo de nubes.



GRAFICA 8 Estado Techo Nubes Operaciones BOG. Fuente: INVESTIGADOR.

El 16% de las operaciones registradas se realizaron bajo condiciones instrumentales IMC para ejecutar su operación, un valor indicativo bajo para la tendencia mostrada, se induce que el factor techo de nubes podría no influir; pero por concepto de seguridad operacional la altura de techo de nubes es un dato indispensable en la planeación y control de operaciones aéreas, así el valor presente sea bajo siempre tendrá una relevancia importante y seguirá afectando considerablemente la *Capacidad de pista* de BOG.

La *Grafica 9* ilustra una tendencia histórica de neblina y niebla en BOG, estos parámetros son importantes para determinar el comportamiento del factor techo de nubes. El análisis de la gráfica pronostica el comportamiento del clima en neblina (>1.000m altura) y niebla (<1.000m altura) mensualmente. Los meses de enero y diciembre con picos máximos de niebla (más 10 días/mes), son críticos para las operaciones aéreas porque la niebla es más concentrada en composición (menor visibilidad) y se produce a <1000m de altura, zona donde se ejecutan las operaciones aéreas. La altura topográfica del aeropuerto incide en que este fenómeno tenga mayor relevancia para BOG, se analiza que el factor techo de nubes es un gran determinante para la Capacidad de Pista de BOG.



GRAFICA 9 Neblina y Niebla Histórica BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

6.1.2.2.5 Vientos BOG: El factor viento incide en la *Capacidad de Pista* de BOG, la velocidad y dirección del viento son aspectos relevantes dentro de las operaciones aéreas especialmente maniobras de aproximación. Lo ideal será siempre tener viento a favor, o que la operación aérea se ejecute en similar dirección al viento. Los vientos en contra o transversales y velocidades de viento desfavorables (según RAC Vientos frontales > 20Kt, Vientos de cola > 5kt, vientos críticos), usualmente vientos de costado o de cola, interfieren en las operaciones aéreas y en la capacidad.

La *Figura 25* evidencia la tendencia de los vientos históricamente en BOG, conglomerando registros de 19 años. Podemos visualizar el resumen de direcciones de viento predominantes *Dirección NE* con 19%, le sigue *Dirección E* con 14%. El sistema de pistas paralelas de BOG umbrales 13/31, se diseñó teniendo en cuenta este factor predominante de dirección para que las operaciones aéreas se ejecutaran con vientos a favor. Los registros divisan velocidades dentro y fuera de los límites permitidos por los RAC, picos máximos de 18 m/seg (34kt). La variable de viento es relevante y de presente atención para la *Capacidad de Pista* de BOG, además la altura topográfica de ubicación del aeropuerto aumenta la incertidumbre respecto a los vientos (posible cizalladura de viento).

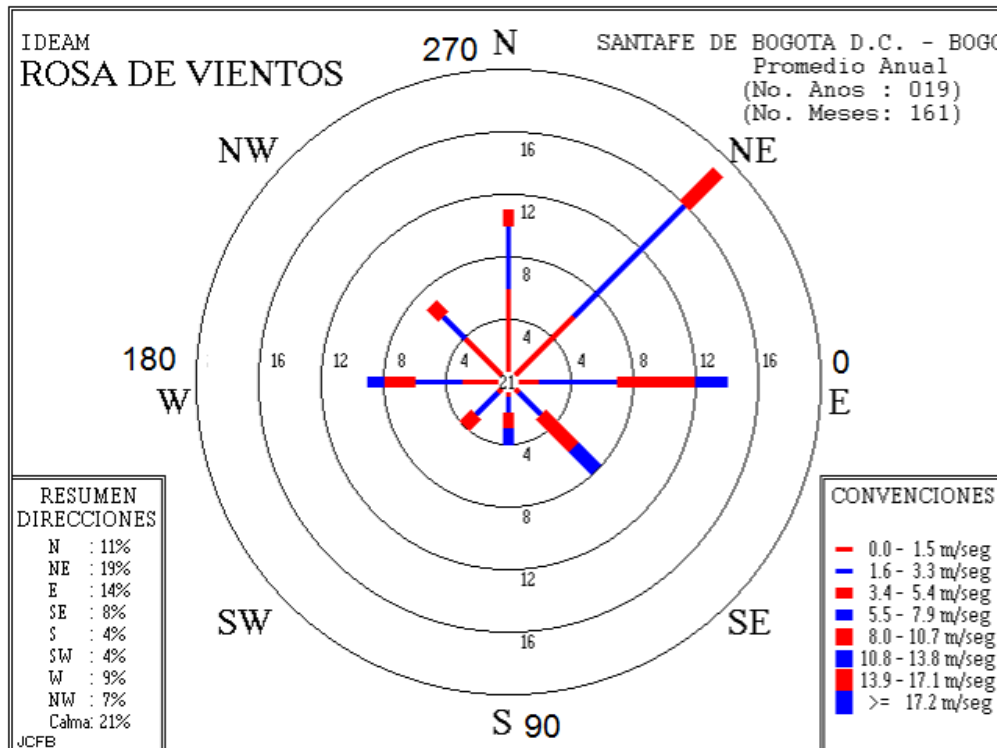


FIGURA 25 Rosa de vientos BOG. Fuente: IDEAM Meteorología Aeronáutica

6.1.3 Modo de operación ATC (Control de Tráfico Aéreo): El siguiente numeral pretende dar un conocimiento descriptivo a groso modo de la actualidad del "*Modus - Operandi*" o modo de operación del órgano de control aéreo para BOG, entidad encargada Aerocivil. Principalmente se acogerán espacios como condiciones de control de tráfico aéreo, la forma o gestión de utilización del sistema de pistas, los sistemas de navegación y control, procedimientos de aproximación y despegue (especialmente si existen restricciones para operar, medioambiental, ruido etc.) e interferencias de espacios aéreos con aeropuertos próximos.

6.1.3.1 Condiciones de control de tráfico aéreo (ATC)

Las condiciones de control de tráfico aéreo, afectan de manera importante la *Capacidad de Pista* de BOG. Las reglas de navegación aérea Colombianas RAC fijan, por motivos de seguridad, que en el proceso de aproximación (VMC y IMC en vuelo hacia el aeropuerto) las aeronaves guarden unas separaciones mínimas obligatorias, según RAC para BOG en condiciones Visuales VHF e Instrumentales IMC al menos 2 mn (3,76 km). A continuación se identifican una serie de factores que se involucran con el órgano ATC y que indirectamente pueden afectar la *Capacidad de Pista* de BOG.

6.1.3.1.1 Demanda característica (mix de despegues y aterrizajes)

La mezcla o mix de aeronaves tiene gran importancia en la gestión de la *Capacidad de Pista* de BOG. El papel del radiocontrolador es indispensable en cuanto puede equilibrar la combinación aeronaves en secuencia, si la mezcla es homogénea, las entradas son más regulares y fluidas; en cambio si se alternan aviones grandes y pequeños obliga a separaciones mayores, ya que los torbellinos que los grandes aviones generan afectan a la estabilidad de los pequeños aviones (si éstos les siguen en turno).

6.1.3.1.2 Tipo de operación (razón aterrizajes/despegues)

Las separaciones entre movimientos dependen de los tipos de operaciones abarcadas, o sea, un aterrizaje que sucede a un despegue necesita de separación diferente de, por ejemplo, un despegue sucediendo otro

despegue. La *Capacidad de Pista* de BOG varía con la relación entre las cantidades de aterrizajes y despegues ejecutados.

6.1.3.1.3 Calidad y desempeño de los sistemas de navegación y control

Sistemas confiables y con buena precisión permiten disminuir la separación entre las aeronaves aumentando la *Capacidad de Pista* de BOG. La utilización de software de soporte a la decisión que auxilie al controlador confiere seguridad y racionalidad a las operaciones. El estado de todas las ayudas de radio navegación y ayudas visuales para la operación, necesitan tener protocolos de supervisión y mantenimiento frecuentemente, por seguridad operativa y control de *Capacidad de Pista* es necesario tener todos los equipos en perfectas condiciones para operar.

6.1.3.1.4 Performance de controladores y pilotos

Los controladores y pilotos con mayor experiencia proporcionan mayor agilidad a las operaciones. Es importante la preparación y capacitación del personal humano para un buen desempeño de funciones de planeación, control y ejecución de operaciones aéreas. Un buen desempeño es donde los controladores utilizan las dos pistas para aterrizajes y despegues. Pilotos con buena pericia y experiencia permiten tiempos de ocupación de pistas menores aumentando así la *Capacidad de Pista*.

6.1.3.1.5 Condiciones meteorológicas

Bajo condiciones meteorológicas adversas (techo y visibilidad bajos) pilotos y controladores pasan a trabajar con “mayor cautela” y las separaciones son más ampliadas, con consecuente baja de la *Capacidad de Pista* de BOG.

6.1.3.1.6 El concepto carga de trabajo

Es necesario analizar la incidencia de la “carga de trabajo” del controlador dentro de las funciones que desempeña. Personal laboral que desempeñe actividades sin los máximos niveles de seguridad, con horarios recargados y con muchas horas laborales pueden inducir en riesgos de seguridad operativa. La precisión de las ayudas disponibles influye también en la habilidad y rapidez de reflejos

del controlador aéreo, seleccionando en cada momento el tipo secuencial de entradas (por velocidades, tamaños, etc.) y reduciendo segundos en las operaciones, esto incide en la *Capacidad de Pista*.

6.1.3.2 La forma o gestión de utilización del sistema de pistas: Las pistas aéreas o en el caso de BOG un sistema de pistas paralelas, como cualquier estructura de movilidad aérea necesita una buena operación o utilización mas conveniente para optimizar la *Capacidad de Pista*. La forma de utilizar las pistas es una variable importante a tener presente, aspectos como si una pista se usa para despegues y la otra para aterrizajes, o se usan para operaciones combinadas, afecta de cierto modo la capacidad de pista. Otro factor relevante es la ruta operativa asignada dentro del aeropuerto, cuando se desplazan de la pista a plataforma y viceversa. A continuación se detalla el reglamento local para la operación de cada pista (sistema de pistas paralelo) dentro de BOG *Figuras 26 y 27*.

<p>1. Pista 13L/31R:</p> <p>Entre las 1100-0459 sin restricción. Entre las 0500-1059 para aterrizaje Pista 13L y para despegue Pista 31R.</p> <p>RWY 13L: Circuito de transito de aeródromo con virajes a la izquierda (Norte)</p> <p>RWY 31R: Circuito de transito de aeródromo preferente con virajes a la derecha (Norte)</p>

FIGURA 26 Reglamentación pista 13L/31R BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

<p>2. Pista 13R/31L:</p> <p>Entre las 1100-0300 sin restricción. Entre las 0301-0459 para aterrizajes Pista 13R. Entre las 0500-1059 para aterrizaje Pista 13R y para despegue Pista 31L.</p> <p>RWY 13R Circuito de transito de aeródromo con virajes a la derecha (Sur)</p> <p>RWY 31L Circuito de transito de aeródromo preferente con virajes a la izquierda (Sur)</p>

FIGURA 27 Reglamentación pista 13R/31L BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

La *Figura 28* enumera una serie de reglamentos o disposiciones dirigidos a la gestión o utilización del sistema de pistas paralelas que posee BOG. Estas directrices son emitidas por Aerocivil Colombia e informadas en el documento oficial AIP COLOMBIA BOG 2018.

<p>NOTA 1: De acuerdo a las fechas y horas descritas durante las horas de restricción por mantenimiento de la infraestructura aeroportuaria, la capacidad del Aeropuerto Internacional El Dorado se verá afectada en un valor del cincuenta por ciento (50%), por lo que se insta a los usuarios a que realicen con la debida antelación la coordinación respectiva de cada uno de los vuelos ante la oficina de coordinación de slot.</p> <p>3. Está prohibida la operación de aeronaves a pistón</p> <p>4. Está prohibida la operación de vuelos de instrucción.</p> <p>5. Está prohibida la llegada de vuelos de ala fija con plan de vuelo VFR</p> <p>La configuración ENFRENTADA tendrá preferencia sobre las configuraciones ORIENTE y OCCIDENTE entre las 0300 y las 1100 UTC por razones medioambientales o cuando la componente de Viento de cola sea superior a 5kt</p>	<p>7. Las aeronaves clasificadas en el numeral 6 podrán efectuar despegues durante las horas diurnas, siempre y cuando las condiciones de visibilidad y techo reportadas sean iguales o superiores a las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visibilidad horizontal: 8000 M - Techo de nubes: 1500 FT AGL <p>En horas nocturnas o en caso de que las condiciones meteorológicas sean inferiores a los parámetros anteriores, no se autorizará la salida de estas aeronaves.</p> <p>14. PISTAS PREFERENTES</p> <p>Configuración ORIENTE Llegadas pistas 13L/13R Salidas pistas 13L/13R</p> <p>Configuración OCCIDENTE Llegadas pistas 31R/31L Salidas pista 31L/31R</p> <p>Configuración ENFRENTADA Llegadas pistas 13L/13R Salidas pistas 31R/31L</p>
--	---

FIGURA 28 Reglamentación pista 13R/31L BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Siguiendo con el propósito de describir e informar la situación de BOG en cuando a la gestión del uso del sistema de pistas paralelo, se describe en la *Tabla 31* las llegadas autorizadas por configuración, categoría de aeronave y umbrales de pistas particulares. Su posible distancia de umbral para la salida rápida y la identificación calle de salida también se describe. Esta metodología, gestión o tipo de uso de pista oficial para BOG para el sistema de pistas que posee, incide en reducciones o aumentos en la Capacidad de Pista.

Configuración ORIENTE

Pista	Calle de rodaje SALIDA	Aeronave	Distancia desde umbral (m)
13L	A5	Turbo hélices/ligeras	1900
	A6	Jet y pesadas	2650
13R	K4	Ligeras	1900
	K5	JET/PESADAS	2500

Configuración OCCIDENTE

Pista	Calle de rodaje SALIDA	Aeronave	Distancia desde umbral (m)
31R	A5	Turbo hélices/ligeras	1900
	A4	Jet y pesadas	2600
31L	K4	Turbo hélices/ligeras	1900
	K3	JET/PESADAS	2500

TABLA 31 Llegadas Oficiales BOG. Fuente: AIP Colombia SKBO / Bogotá

Teniendo en cuenta los aspectos relevantes dentro de la forma o gestión de utilización del sistema de pistas que tiene BOG, se identifica un factor importante que es la ruta operativa asignada dentro del aeropuerto, cuando las aeronaves se desplazan de la pista a plataforma y viceversa, pasando por las calles de rodaje. La ruta es asignada y controlada por el órgano de Control de Tráfico Aéreo (ATC) de BOG, por este motivo se encuentra dentro de este numeral y es una particularidad importante a tener presente dentro de la *Capacidad de Pista* de BOG. La *Figura 29* describe la ruta operativa de una aeronave dentro del aeropuerto BOG. Podemos visualizar que categoría de avión es, el destino del viaje nacional o internacional, la procedencia de plataforma y la ruta tomada (la aeronave procedió de plataforma nacional cruzando por *Mike*, tomo calle rodaje *Kilo* en dirección a umbral 13R para despegue, tomo salida *Kilo 2* hacia pista y despegue por pista 13R dirección oriente).

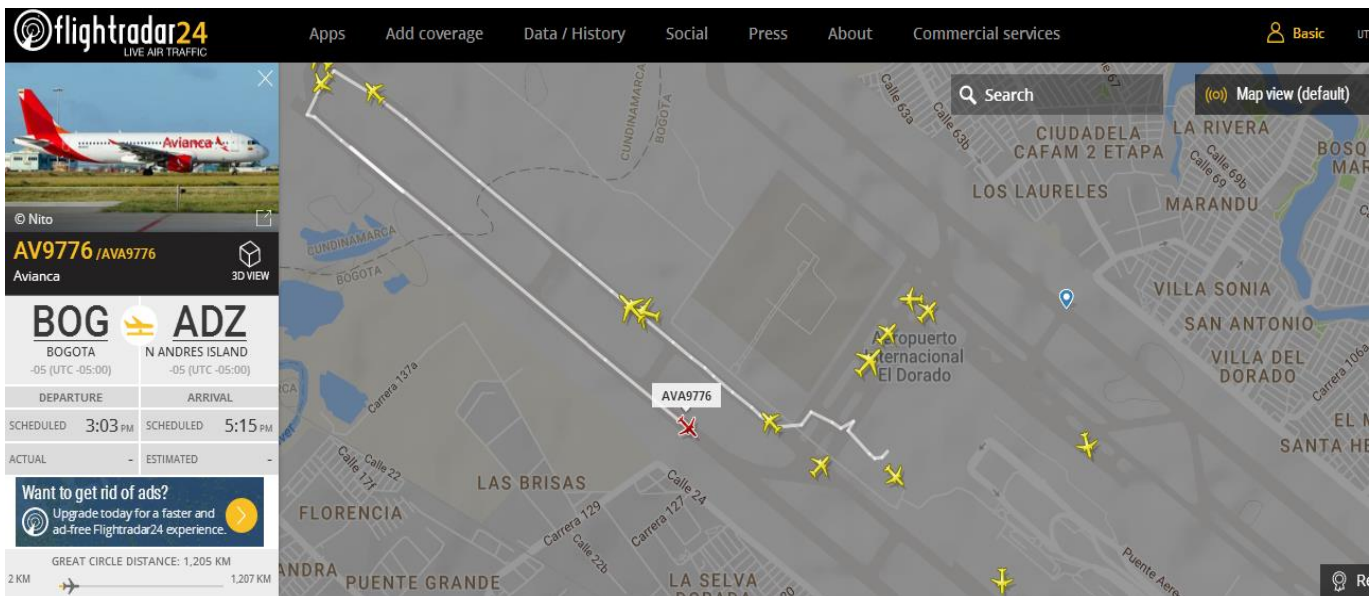


FIGURA 29 Visual Ruta Operativa BOG. Fuente: Flight Radar24/Data Airports

Con este tipo de herramientas podemos realizar estudios sobre la viabilidad de rutas operativas dentro del aeropuerto BOG, concepto relevante dentro de la *Capacidad de Pista* y que incide en reducciones o aumentos de la misma. El órgano de Control de Tráfico Aéreo (ATC) servicio brindado por aerocivil, es el encargado de planear y diseñar las rutas operativas dentro de BOG por cada umbral y para cada tipo de operación (aterrizaje y despegue).

6.1.4 Características operacionales de aerolíneas: El aspecto importante del numeral es tener la certeza de las condiciones básicas necesarias de operatividad desarrolladas por las aerolíneas prestadoras de servicios en BOG, con el fin de equilibrar y controlar la *Capacidad de Pista* respecto a la operación de aerolíneas. Así mismo tener presente que este numeral como factor de vulnerabilidad para la capacidad de pista del aeropuerto, será un actor dentro de los focos relacionados de disminución o aumento de la capacidad. BOG cuenta con 27 aerolíneas prestadoras de servicios y conexiones, además destinos a todos los continentes del planeta.

Las aerolíneas principalmente operan el lado tierra del aeropuerto gestiones de pasajeros, check-in, equipaje, abordajes, etc. El lado aire lo controla y maneja Aerocivil y el operador Opain en BOG. La asignación del SLOT antiguamente cada aerolínea tenía autoridad y planeaba sus espacios de tiempo para las operaciones, hoy en día BOG es un aeropuerto coordinado (para facilitar las actividades de las empresas de servicios aéreos comerciales que allí operan o proponen operar, se ha establecido una oficina de coordinación y asignación de SLOT).

L A D O T I E R R A	ÁREA TERMINAL	TERMINAL PASAJEROS	VENTA DE BILLETES FACTURACIÓN Y EMBARQUE RESTAURACIÓN Y TIENDAS INMIGRACIÓN Y ADUANAS	
		TERMINAL DE CARGA		
		OTROS EDIFICIOS		
	URBANIZACIÓN.	VÍAS DE ACCESO		APARCAMIENTOS DE COCHES PARADAS DE TAXIS Y BUS
		APARCAMIENTOS		TERMINALES DE CARGA HANGARES DE MANTENIMIENTO EMPRESAS DE CATERING
	ZONA INDUSTRIAL			

FIGURA 30 Lado Tierra operativa BOG. Fuente: Manual OACI

La *Figura 30* ilustra el lado tierra del aeropuerto donde generalmente operan las aerolíneas y se detallan las principales actividades que se realizan. Es de denotar que las características operativas de las aerolíneas que operan en BOG influyen indirectamente en modificaciones del valor de la *Capacidad de Pista*.

7 APLICACIÓN DEL METODO

Bajo la jurisdicción Colombiana y sobre el espacio nacional se entiende a los **RAC** (Reglamentos Aeronáuticos Colombianos), como base de funcionamiento de las normas y controles aéreos usualmente realizados por Aerocivil. El Cálculo de Capacidad de Pista es un proceso investigativo, realizado para ser usado por parte de Aerocivil como base para procesos de Control de Tráfico Aéreo. Bajo el concepto anterior, se asume y entiende la normativa colombiana para proceder a realizar y obtener el *Cálculo de Capacidad de Pista para el Aeropuerto internacional EIDorado*, con base en la metodología de cálculo colombiana (**punto 4.5**). El fin principal es realizar un proyecto investigativo bajo las normas estandarizadas por el estado Colombiano.

7.1 Desarrollo de la Metodología Colombiana RAC

Para obtener la capacidad de pista se valoran los siguientes factores y se asumen como condiciones básicas necesarias los *factores de planificación* con el fin de simplificar el proceso de cálculo:

7.1.1 Factores de planificación

- Condiciones óptimas de secuencia miento y coordinación de tránsito aéreo.
- Ayudas a la navegación aérea (visual y no visual), técnica y operacionalmente sin restricciones.
- Equipos de comunicaciones (VHF/telefonía) en funcionamiento y operación.

7.1.2 Factores relacionados con las operaciones de aterrizaje y despegue

- Tiempo medio de ocupación de pista.
- Mezcla de aeronaves.
- Porcentaje de utilización de pista.
- Longitud del segmento de aproximación final.
- Separación requerida por estela turbulenta.
- Separación mínima radar reglamentaria y Vel. de Aproximación.

El método de cálculo de capacidad de pista colombiano consideró la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos logrando mantener las separaciones mínimas reglamentarias descritas anteriormente, esta capacidad de pista es calculada para un intervalo de 1 hora (60 minutos), en función del tiempo promedio de ocupación de pista.

7.1.3 Obtención de datos

El presente proyecto investigativo tiene aprobación de la Universidad Santo Tomas (USTA) en todo el desarrollo del mismo y tuvo aceptación y colaboración por parte de Aerocivil. Durante el transcurso del proyecto se realizaron visitas técnicas de campo por parte del investigador, la mayoría de ocasiones en compañía del director de proyecto y funcionarios de la entidad. El propósito de las visitas era la toma de datos para el cálculo y solución de inquietudes del proyecto, se tuvo gran colaboración por parte de los pasantes de grado (*Pasantías*) adscritos a la U. Santo Tomas (USTA) y trabajando en Aerocivil.

Se tuvo acceso a todos los datos necesarios y equipos requeridos (Instrumentos de medición aérea, radares aeronáuticos) por parte del investigador para la solución del proyecto, también información como bases de datos históricas, bases de datos operacionales, planos, datos de control aéreo, (BBDD), etc. Con el objeto de obtener una mayor precisión, la toma de datos fue efectuada en la hora pico, visto que en estos horarios la afluencia de tránsito aéreo tiene mayor fluidez, reduciendo el tiempo de ocupación de la pista.

Todos los datos del presente proyecto son fieles y leales a la realidad del Aeropuerto Internacional El Dorado (BOG). Los datos y bases de datos tuvieron un tratamiento de datos estadístico y probabilístico, con ayuda de software computarizado con el propósito de filtrar los datos y poder trabajarlos dentro del cálculo. Se trataron bases de datos de operaciones aéreas de todo el año 2017 con más de 320.000 operaciones, se filtraron datos de control tráfico aéreo con más 1.700 operaciones registradas en todo el año 2017 y parte del 2018. Dentro de los anexos del presente proyecto están las bases de datos relacionadas anteriormente.

7.1.4 Consideraciones Generales

Para la comprensión de este documento, se entiende necesario resaltar algunas consideraciones de carácter general que están enmarcadas dentro del propósito de este documento y del cálculo de *Capacidad de Pista* de BOG. La finalidad de la Gestión de Tráfico Aéreo (ATFM) servicio brindado por Aerocivil Colombia, es lograr un equilibrio entre la demanda del tráfico aéreo y la capacidad del sistema (o Capacidad de pista), a fin de garantizar un óptimo y eficiente uso del espacio aéreo del sistema, mediante el equilibrio entre demanda y capacidad declarada por los proveedores de servicios de tránsito aéreo apropiados para dar cabida a un número máximo de vuelos en un concepto puerta a puerta.

Para poder gestionar este equilibrio entre la demanda y la capacidad es necesario conocer cuál es la demanda actual (BBDD operaciones aéreas 2017), establecer una línea base de *Capacidad de Pista* para BOG en base a un cálculo analítico, analizar las consecuencias que la demanda esperada tendrá sobre la *Capacidad de Pista* actual en BOG, identificar las limitaciones del sistema actual y las posibles mejoras previo análisis costo beneficio de las mismas, identificar las prioridades y desarrollar un plan de mejoramiento de la capacidad.

7.2 Calculo

Esta metodología se basa en un modelo matemático que se desarrolla luego de varias recolecciones de datos específicos (por parte del investigador y pasantes) y tras varias visitas de campo técnicas dentro del Aeropuerto Internacional ElDorado BOG. Para mayor entendimiento de cada proceso metodológico hay que denotar que la normativa colombiana **RAC** para el cálculo de capacidad de pista toma como referencia la normativa Internacional **OACI (punto 4.3)**. Para proceder a hallar u obtener la *Capacidad de Pista* de BOG, se tuvo como referencia el pasado concepto, por lo anterior tener presente y como guía lo informado. El proceso realizado se presenta a continuación:

7.2.1 Tiempos de ocupación de pista (TOP)

Para la determinación del TOP se recolectaron datos por cronometraje en la torre de control, con información radar y por categoría de aeronaves. Se emplearon los formatos de las *Tablas 1 y 2*, para tiempos de ocupación de pista en despegue (TOPD) y aterrizajes (TOPA). Se recolectaron datos de *tiempos de ocupación de pista* por más de un (1) año, por parte de investigadores pasantes y se complementó con información adicional de BBDD de operaciones aéreas brindadas por Aerocivil. La *Figura 31* nos detalla una visual de las BBDD de operaciones aéreas y de toma de datos de control de tráfico aéreo usadas para el cálculo de *Capacidad de Pista* de BOG en este proyecto investigativo. Es importante denotar que las BBDD originales se identificaron y adjuntaron como anexo dentro del presente trabajo.

CATEGORIA AERONAVE	VISIBILIDAD	ESTADO DE LA PISTA	METEO	AEROLINEA	N°VUELO	DIA	HORA LOCAL	TIEMPO	PISTA	tiempo[s]
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA9793	20/06/2017	10:25	15:25	2:13 13L	0:56
C	BUENA	seca	REGULAR	AVA	AVA9711	20/06/2017	12:18	17:18	2:18 13L	1:01
C	BUENA	seca	REGULAR	AVA	AVA8507	20/06/2017	13:55	18:55	2:18 13L	0:59
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA9292	21/06/2017	8:42	13:42	2:00 13R	0:57
C	BUENA	seca	REGULAR	AVA	AVA9521	21/06/2017	9:43	14:43	1:53 13R	0:57
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA9222	21/06/2017	16:10	21:10	1:56 13R	0:41
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA8587	27/06/2017	8:42	13:42	2:13 13L	0:59
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA9402	27/06/2017	9:59	14:59	2:14 13L	0:57
C	REGULAR	seca	REGULAR	AVA	AVA9793	27/06/2017	10:28	15:28	2:15 13L	1:00
C	REGULAR	húmeda	REGULAR	AVA	AVA8507	27/06/2017	13:47	18:47	2:10 13L	0:52
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9846	29/06/2017	7:04	12:04	3:04 13R	1:01
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9202	29/06/2017	7:44	12:44	2:02 13R	1:02
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9521	29/06/2017	9:42	14:42	1:57 13R	0:50
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9723	05/07/2017	11:59	16:59	2:18 13L	1:00
C	BUENA	húmeda	BUENA	AVA	AVA9202	07/07/2017	7:16	12:16	1:58 13R	0:52
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA8553	12/07/2017	23:34	4:33	2:15 13L	1:06
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA5000	12/07/2017	23:53	4:52	3:03 13L	0:57
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA093	17/07/2017	19:13	0:13	2:10 13R	1:25
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA263	17/07/2017	20:43	1:43	2:08 13R	1:05
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9767	18/07/2017	17:54	22:54	2:09 13L	1:04
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA8598	18/07/2017	18:26	23:26	1:59 13L	1:07
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA8581	18/07/2017	18:59	23:59	2:14 13L	1:14
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA8591	24/07/2017	13:32	18:32	1:57 13L	0:45
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9202	25/07/2017	7:23	12:23	2:01 13R	0:54
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9208	25/07/2017	11:54	16:54	1:58 13R	1:07
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9711	25/07/2017	12:06	17:06	1:45 13R	0:51
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9402	01/08/2017	9:51	14:51	2:22 13L	1:00
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9793	01/08/2017	10:28	15:28	2:05 13L	0:58
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9765	16/08/2017	15:11	20:11	2:10 13L	1:11
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9473	16/08/2017	17:43	22:43	2:02 13L	1:06
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA263	16/08/2017	20:58	1:58	2:06 13L	1:01
C	BUENA	seca	EXCELENTE	AVA	AVA9785	17/08/2017	15:23	20:23	1:56 13R	0:51
C	BUENA	mojada	REGULAR	AVA	AVA9473	17/08/2017	17:37	22:37	1:43 13R	0:51
C	BUENA	húmeda	BUENA	AVA	AVA9765	25/08/2017	15:04	20:04	2:17 13L	1:13
C	BUENA	seca	BUENA	AVA	AVA9399	25/08/2017	16:58	21:58	2:05 13L	0:54

FIGURA 31 Visual BBDD operaciones BOG. Fuente: Aerocivil

7.2.2 Media aritmética de los tiempos de ocupación de pista

Los tiempos de ocupación de pista recolectados, tanto en despegue como en aterrizaje, se deberán clasificar por categoría de aeronaves para luego calcular la media aritmética de esos tiempos (MTOPD y MTOPA) por categoría. Se presentaran los datos por cada pista operativa de BOG, es decir por los cuatro (4) umbrales existentes; BOG posee un sistema de pistas paralelo con dos (2) pistas estructurales y cuatro (4) pistas operativas. Los datos son inscritos según la normativa *Tablas 6 y 7 (punto 4.3.3)*.

Todos los datos tomados para la obtención del tiempo de ocupación de pista son para los cuatro (4) umbrales existentes (13L/31R y 13R/31L), se realizaron bajo la guía y control de la normativa nacional y siguieron el procedimiento de toma de tiempo adecuado y correspondiente para cada operación (Aterrizajes y Despegues) y así mismo para cada umbral. Cada umbral posee sus propios tiempos particulares ver *Tabla 32*.

MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORIA DE AERONAVES (MTOPA)		
AERODROMO: PISTA LIBRE		PISTA: 13L
$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	59
	B	61
	C	62
	D	64
MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORIA DE AERONAVES (MTOPD)		
$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	69
	B	70
	C	71
	D	72
MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)		
$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTOPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	64
	B	65
	C	66
	D	68

TABLA 32 Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 13L. Fuente: investigador.

A continuación se ilustraran la media de los tiempos de ocupación de pista por categoría para cada umbral, *Tabla 33* umbral 13R, *Tabla 34* umbral 31R y *Tabla 35* umbral 31L respectivamente. Para obtener los resultados de la media para los tiempos se filtraron todos los datos recolectados en la *BBDD – Datos Control Tráfico Aéreo* por Aerocivil y los pasantes, además para mayor precisión al filtrar los datos de los tiempos se usaron algunos software computarizados como (R y Excel) asegurando siempre la mayor calidad de investigación posible.

MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)		
AERODROMO: PISTA LIBRE		PISTA: 13R
$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	62
	B	64
	C	63
	D	65
MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACIÓN DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPD)		
$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	68
	B	71
	C	71
	D	72
MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)		
$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTOPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	65
	B	67
	C	67
	D	68

TABLA 33 Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 13R. Fuente: investigador.

MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORÍA DE AERONAVES (MTOPA)		
AERODROMO: PISTA LIBRE		PISTA: 31R
$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	63
	B	63
	C	66
	D	67
MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORIA DE AERONAVES (MTOPD)		
$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	69
	B	68
	C	70
	D	71
MEDIA ARITMÉTICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)		
$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTOPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	66
	B	65
	C	68
	D	69

TABLA 34 Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 31R. Fuente: investigador.

MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL ATERRIZAJE POR CATEGORIA DE AERONAVES (MTOPA)		
AERODROMO: PISTA LIBRE		PISTA: 31L
$\Sigma TOPA_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	61
	B	64
	C	66
	D	69
MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA DURANTE EL DESPEGUE POR CATEGORIA DE AERONAVES (MTOPD)		
$\Sigma TOPD_{CAT X} / N^{\circ} ACFT_{CAT X}$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	69
	B	69
	C	70
	D	71
MEDIA ARITMETICA DE LOS TIEMPOS DE OCUPACION DE PISTA POR CATEGORIA DE AERONAVES (MATOP)		
$(\Sigma MTOPA + \Sigma MTOPD) / 2$	CAT	TIEMPO (seg.)
	A	65
	B	66
	C	68
	D	70

TABLA 35 Media Tiempos Ocupación Pista BOG - 31L. Fuente: investigador.

7.2.3 Calculo del Mix de Aeronaves

En este numeral para obtener el mix de aeronaves se trabajo con *la BBDD – Operaciones Aéreas año 2017*, se procedió a realizar un análisis de datos estadísticos con todas las operaciones de la base de datos, en el año 2017 BOG reporto mas de 320.000 operaciones. Se procede según **(punto 4.3.4)** para obtención del mix de aeronaves para BOG.

Inicialmente se totalizo como (100%) el número total de operaciones reportadas (aterrizajes y despegues) en el año 2017, posteriormente se filtraron datos de todos los umbrales de pista de BOG (13L/31R y 13R/31L) y se finaliza filtrando por cada categoría de aeronave. Con el proceso anterior podremos saber que porcentaje particular de operaciones reporta cada categoría de aeronave por todos los umbrales de pista al compararlo con el total del 100% de operaciones reportadas para todo el año 2017. El porcentaje particular de categoría se reportara en la *Tabla 36* como el mix de aeronaves para BOG.

MIX Aeronaves BOG	
CATEGORIA	UTILIZACION (%)
A	5.3
B	38.8
C	46.2
D	9.7
TOTAL	100%

TABLA 36 Mix Aeronaves BOG. Fuente: investigador.

7.2.4 Cálculo del Tiempo Medio de Ocupación de Pista (TMOP)

Para el cálculo de este numeral se procede según (punto 4.3.5), el primer paso es tener los valores de la media aritmética de los tiempos de ocupación por cada umbral de pista (punto 7.2.2) y el mix de aeronaves de BOG (punto 7.2.3), los cuales se usaran para la obtención del tiempo medio de ocupación de pista (TMOP) por categoría para cada umbral particular. Se procede a multiplicar el mix general de BOG por cada tiempo de ocupación por umbral, ver *Tablas 37 - 40*:

- PISTA 13L

Tiempo Medio de Ocupacion de Pista TMOP - 13L			
CATEGORIA	MATOP (Seg.)	UTILIZACION (%)	TMOP (Seg.)
A	64	5.3	339.2
B	65	38.8	2522
C	66	46.2	3049.2
D	68	9.7	659.6

TABLA 37 Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 13L. Fuente: investigador.

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP (13L) = 65 \text{ seg.}$$

- PISTA 13R

Tiempo Medio de Ocupacion de Pista TMOP - 13R			
CATEGORIA	MATOP (Seg.)	UTILIZACION (%)	TMOP (Seg.)
A	65	5.3	344.5
B	67	38.8	2599.6
C	67	46.2	3095.4
D	68	9.7	659.6

TABLA 38 Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 13R. Fuente: investigador.

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP (13R) = 66 \text{ seg.}$$

- PISTA 31R

Tiempo Medio de Ocupacion de Pista TMOP - 31R			
CATEGORIA	MATOP (Seg.)	UTILIZACION (%)	TMOP (Seg.)
A	66	5.3	349.8
B	65	38.8	2522
C	68	46.2	3141.6
D	69	9.7	669.3

TABLA 39 Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 31R. Fuente: investigador.

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP (31R) = 66 \text{ seg.}$$

- PISTA 31L

Tiempo Medio de Ocupacion de Pista TMOP - 31L			
CATEGORIA	MATOP (Seg.)	UTILIZACION (%)	TMOP (Seg.)
A	65	5.3	344.5
B	66	38.8	2560.8
C	68	46.2	3141.6
D	70	9.7	679

TABLA 40 Tiempo Medio Ocupación Pista BOG – 31L. Fuente: investigador.

$$TMOP = \sum (MATOP_{CATX} \cdot MIX_{CATX}) / 100$$

$$TMOP (31L) = 67 \text{ seg.}$$

7.2.5 Cálculo de la Capacidad Física POR Pista (CFP)

Se realizara una división entre el intervalo de una hora (1h – 3600seg) y el tiempo medio de ocupación (TMOP) (**punto 7.2.4**) de cada umbral de pista para obtener la CFP. Proceso basado según (**punto 4.3.6**), este valor de capacidad para cada umbral de pista es un indicativo inicial o base, toma en cuenta principalmente el tiempo de ocupación de pista y el mix de aeronaves.

A continuación se presentaran los valores de la capacidad física de pista (CFP) para BOG por cada umbral de pista en operaciones por hora (ope/h). El valor de esta capacidad tendrá sustento posteriormente para otro cálculo y en la zona de análisis de resultados para BOG.

PISTA 13L

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP = 3600 / 65$$

$$CFP (13L) = 56 \text{ ope/h}$$

PISTA 13R

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP = 3600 / 66$$

$$CFP (13R) = 55 \text{ ope/h}$$

PISTA 31R

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP = 3600 / 66$$

$$CFP (31R) = 55 \text{ ope/h}$$

PISTA 31L

$$CFP = 3600 / TMOP$$

$$CFP = 3600 / 67$$

$$CFP (31L) = 53 \text{ ope/h}$$

7.2.6 Cálculo del porcentaje de Utilización de Pista (PU)

Este índice es calculado a partir del movimiento total de operaciones aéreas que registró BOG en el transcurso del año 2017, este numeral tomo como referencia (punto 4.3.7). Se filtraron datos de la BBDD – Operaciones Aéreas año 2017 por mas de 320.000 operaciones registradas. Los porcentuales son ponderados para cada umbral de pista particular (13L/31R y 13R/31L). Las Tablas 41 y 42 siguientes evidencian el porcentual de utilización de pista (PU) para BOG.

Movimiento Mensual Operaciones año 2017					
MES	PISTA 13L	PISTA 13R	PISTA 31L	PISTA 31R	MOV. MENSUAL
ENERO	11357	12831	1014	2213	27415
FEBRERO	10489	11009	945	2980	25423
MARZO	11648	12329	885	2939	27801
ABRIL	11298	13059	849	2013	27219
MAYO	12931	12654	945	1154	27684
JUNIO	12049	11758	1103	2398	27308
JULIO	13607	11917	1171	1522	28217
AGOSTO	12834	11664	910	2807	28215
SEPTIEMBRE	11049	12156	776	1403	25384
OCTUBRE	10185	11228	892	1214	23519
NOVIEMBRE	11607	11549	856	1076	25088
DICIEMBRE	12176	13568	1003	2101	28848
TOTAL	141230	145722	11349	23820	322121

TABLA 41 Movimiento Mensual Operaciones BOG 2017. Fuente: investigador.

UMBRAL	% DE UTILIZACIÓN (PU)
13L	43,84
13R	45,25
31L	3,52
31R	7,39
TOTAL	100

TABLA 42 Porcentaje Utilización Pistas BOG. Fuente: investigador.

7.2.7 Calculo Capacidad Física de BOG (o conjunto de pistas)

A partir de los valores porcentuales de utilización de las medias anuales por pista o umbral para BOG (**punto 7.2.6**), y sus respectivos valores de Capacidad Física (CFP) (**punto 7.2.5**), se efectúa la ponderación de esos datos para la obtención de la Capacidad Física del Aeródromo (CFA) respectiva para BOG, conforme dispuesto en el (**punto 4.3.8**) y a continuación se presentan los valores correspondientes a BOG ver *Tabla 43*.

CFP		X	%DE UTILIZACIÓN PISTA		=	CAPACIDAD FÍSICA DEL AERÓDROMO
PISTA A	PISTA B		% PISTA A	% PISTA B		
$CFA = \sum (CFP_{PISTAX} \cdot \%UTIL_{PISTAX}) / 100$						
Pista	Umbral	(CFP) Capacidad Física Pista (ope/h)	% de Utilizacion	CFA		
A	13L	56	43.84	57.230		
	31R	55	7.39			
B	13R	55	45.25	53.506		
	31L	53	3.52			

TABLA 43 Capacidad Física BOG. Fuente: investigador.

$$CFA = \sum (CFP_{PISTAX} \cdot \%UTIL_{PISTAX}) / 100$$

$$CFA_{(pista A)} = 57.230 \quad , \quad CFA_{(pista B)} = 53.506$$

$$CFA_{(BOG)} = CFA_{(pista A)} + CFA_{(pista B)}$$

$$\text{-----}>> \quad CFA_{(BOG)} = 111 \text{ operaciones / hora}$$

Este valor de Capacidad Física de BOG es un indicativo estándar inicial donde solo se toma en cuenta el tiempo de ocupación de pista, mix de aeronaves y utilización de pista. Esta medida es aceptable para aeropuertos donde todavía no se hallan generado demoras en las operaciones aéreas y donde la demanda este lejos de alcanzar a la capacidad.

BOG es una aeropuerto internacional y uno de los mas importantes de la región, por ser tan concurrido usualmente hay "pequeñas" demoras existentes; según el anterior concepto la capacidad apropiada para BOG es una mas rigurosa y que tenga en cuenta los aspectos normativos (*la separación reglamentaria aplicable entre aeronaves, así como los factores de planificación y los factores relativos a las operaciones de aterrizaje y despegue del aeródromo*) para las maniobras aéreas dentro del espacio colombiano. A continuación se procede a obtener la capacidad teórica de pista (ctp) para BOG.

7.2.8 Capacidad Teórica de Pista (CTP) de BOG

Capacidad de pista calculada, para un intervalo de sesenta minutos, en función del tiempo de ocupación de pista (**TOP**) amparado por la legislación o normativa local vigente Colombiana RAC, además se utilizaron datos referentes al Tiempo de Ocupación de Pista, el MIX de las Aeronaves y el Tiempo de Ocupación Medio de Pista utilizados durante el cálculo de Capacidad Física de Pista (**punto 7.2.7**).

Adicionalmente se recolectaron datos de control aéreo y efectuaron una serie de cálculos basados en información relacionada con el segmento de aproximación final y se tomó en cuenta los reglamentos colombianos RAC para las distancias reglamentarias de aeronaves en proceso de aproximación. La capacidad teórica de pista CTP se destina a los aeródromos como BOG donde la demanda de tránsito aéreo ha alcanzado o tiende a alcanzar niveles de congestión, induciendo además que la demanda está cerca de la capacidad de pista real existente en BOG. Por tratarse de un proceso complejo, toma en cuenta diversas variables, siendo la más importante el modo de operación.

7.2.8.1 Tiempos de Vuelo aproximación entre el OM y la THR

Deberán ser recolectados en las *Tablas 4 y 5* indicadas según **(punto 4.3.2)**, los tiempos de vuelo del segmento de aproximación final o entre el marcador externo OM (punto aproximación) y la THR (umbral) dentro del sistema de pistas paralelas (13L/31R y 13R/31L) existentes y considerando las diversas categorías de aeronaves que operan en BOG. Según procesos normativos de Aerocivil se establece una distancia de **5 MN** (cinco millas náuticas) entre el OM y THR o segmento de aproximación final.

Tras la toma de tiempos se calcula media aritmética de los tiempos por categoría posibilitando por intermedio de esos valores, el cálculo de las velocidades medias en la aproximación final para todos los umbrales.

7.2.8.2 Tiempo Medio de Vuelo de aproximación (TMA)

A continuación se presentan los datos filtrados de tiempos de vuelo de aproximación entre el OM y THR para BOG, ver *Tabla 44*.

- *Segmento de Aproximación final* ----- Distancia entre OM y THR = 5 MN

Categoría	TMA Tiempo Medio de Aproximacion (seg.)
A	132
B	130
C	122
D	115

TABLA 44 Tiempo Medio aproximación TMA BOG. Fuente: investigador.

7.2.8.3 Cálculo de Velocidad de Aproximación (VA)

Esta velocidad es el resultado de la división de la longitud del segmento de aproximación final (5 NM) entre el tiempo medio de vuelo (TMA) y a continuación se ilustran los valores:

$$Vel = Distancia / Tiempo$$

$$VA_A = 5MN / TMA_A$$

$$VA_A = 5 / 132$$

$$VA_A = 0.0378 \text{ mn / seg}$$

$$VA_B = 5MN / TMA_B$$

$$VA_B = 5 / 130$$

$$VA_B = 0.0384 \text{ mn / seg}$$

$$VA_c = 5MN / TMAc$$

$$VA_c = 5 / 122$$

$$VA_c = 0.0409 \text{ mn / seg}$$

$$VA_D = 5MN / TMA_D$$

$$VA_D = 5 / 115$$

$$VA_D = 0.0434 \text{ mn / seg}$$

Se ilustra en la *Tabla 45* el resumen de las velocidades de aproximación final por categoría en las diferentes medidas de velocidad.

Categoría	VA (kt)	VA (km/h)	VA (nm/min)	VA (nm/seg)
A	136.08	244.944	2.268	0.0378
B	138.24	248.832	2.304	0.0384
C	147.24	265.032	2.454	0.0409
D	156.24	281.232	2.604	0.0434

TABLA 45 Velocidad de Aproximación VA BOG. Fuente: investigador.

7.2.8.4 Cálculo de Velocidad Media de Aproximación final (VM)

Con los datos de velocidad de aproximación de la *Tabla 45* y en consideración con el MIX de aeronaves (**punto 7.2.3**), se calcula la velocidad media de aproximación final (VM). La *Ecuacion 2* ilustra el proceso para obtener la velocidad media final y en la *Tabla 46* se describe el valor de la velocidad final (VM).

$VM = \frac{MIX_A \times VAA + MIX_B \times VAB + MIX_C \times VAC + MIX_D \times VAD + MIX_E \times VAE}{100}$		
Categoría	MIX Utilizacion (%)	VA Velocidad Aproximacion (nm /seg)
A	5.3	0.0378
B	38.8	0.0384
C	46.2	0.0409
D	9.7	0.0434
Vel. Aproximacion final (VM)		0.0400

TABLA 46 Velocidad Media de Aproximación Final VM BOG. Fuente: investigador.

- Velocidad Media Aproximación Final (VM)
 -----> **0.0400 nm / seg** -----> **144 kt** -----> **259 km / h**

7.2.8.5 Cálculo de la Separación de Seguridad (SS)

Según el método (**punto 4.3.11**), prevé la posibilidad de ocurrir un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, pero sin herir la separación mínima reglamentar (SMR), que en Colombia está establecida en los *Reglamentos Aeronáuticos Colombianos (RAC)*, en su *Capítulo Sexto (6) Gestión de Tránsito Aéreo*, entre las aeronaves que aterrizan y despegan. Separación Mínima Reglamentaria (**SMR**) general según RAC – 6, entre cualquier tipo de aeronave en proceso de aproximación es de al menos **5 mn (9 km)**.

- Separación Mínima Reglamentaria (**SMR**) = **5 MN**

Para obtener la separación de Seguridad (SS) se debe multiplicar la velocidad media ponderada (VM – **punto 7.2.8.4**) con el tiempo medio de ocupación de pista (TMOP - **punto 7.2.4**) ponderado para BOG, se debe realizar una media aritmética de los TMOP por todos los umbrales. Se identificara en el proceso a continuación un solo tiempo por los 4 umbrales (13L/31R y 13R/31L) para claridad del mismo cálculo, al final del proceso en (**punto 7.2.8.10**) se ilustraran los valores de *Capacidad de Teórica* por cada umbral correspondiente según cada TMOP, ver *Ecuación 3*.

$$\boxed{SS = VM \times TMOP}$$

ECUACION 3 Separacion Seguridad (SS) Fuente: OACI

Donde:

- $VM = 0.0400 \text{ mn/seg}$
- **Pista 1:** TMOP (13L) = 65 seg.
TMOP (31R) = 66 seg.
- **Pista 2:** TMOP (13R) = 66 seg.
TMOP (31L) = 67 seg.
- Ponderado TMOP = $(68 + 69 + 70 + 71) / 4 = 66 \text{ seg.}$
- Separación de Seguridad (SS) = $VM * TMOP$
 $SS = 0.0400 * 66$
SS = 2.02 MN

7.2.8.6 Cálculo de Separación Total entre dos aterrizajes (ST)

Se determina la separación total (ST), resulta de sumar la separación de seguridad (SS – punto 7.2.8.5) y la separación mínima reglamentaria (SMR). BOG es un aeropuerto en cual su configuración de uso del sistema pistas paralelas es un modo de operación con *Operaciones Paralelas Segregadas* (una pista solo para llegadas y otra solo para salidas), esto traduce que no todos los umbrales trabajan con aterrizajes; pero aun así, por concepto investigativo se generaliza un valor para todos los umbrales pero se informa la particularidad, ver *Ecuación 4*.

$$ST = SS + SMR$$

ECUACION 4 Separacion Total (ST) Fuente: OACI

- Separación Total (ST) = SS + SMR
ST = 2.02 MN + 5 MN
ST = 7.02 MN

7.2.8.7 Cálculo del Tiempo Medio Ponderado entre dos aterrizajes Consecutivos (TMST)

Luego de determinar la separación total entre dos aterrizajes se calcula el tiempo medio ponderado requerido para recorrer la distancia de separación total (ST) entre dos aterrizajes consecutivos, el cual se obtiene al dividir la distancia de la separación total (ST – punto 7.2.8.6) entre la velocidad media ponderada (VM – punto 7.2.8.4), ver *Ecuación 5*.

$$TMST = ST / VM$$

ECUACION 5 Tiempo Medio Entre dos Aterrizajes(TMST) Fuente: OACI

- Tiempo Medio (TMST) = ST / VMP
TMST = 7.02 MN / 0.0400 MN/SEG
TMST = 175 seg.

7.2.8.8 Cálculo de Número de Aterrizajes (A) en una hora (1h)

El resultado obtenido en segundos del tiempo medio ponderado (**punto 7.2.8.7**) necesario para recorrer la separación total (ST) entre dos aterrizajes consecutivos, será el divisor del intervalo de una hora (1h – 3600seg.) para obtener el número de aterrizajes posibles con la separación propuesta, ver *Ecuación 8*.

$$3600 / TMST = N^{\circ} \text{ DE ATERRIZAJES}$$

ECUACION 8 Nro. Aterrizajes (A) BOG Fuente: OACI

- # Aterrizajes (A) = 3600 seg. / TMST
A = 3600 / 175
A = 21 Aterrizajes / hora

7.2.8.9 Cálculo de Número de Despegues (D) en una hora (1h)

Dado que la determinación de la separación total (ST) tiene por objeto hacer posible un despegue entre dos aterrizajes consecutivos, sin infringir la separación mínima reglamentaria, se resta una aeronave del total de aterrizajes (**punto 7.2.8.8**), para obtener el número de despegues posibles, en una hora, ver *Ecuación 9*.

$$N^{\circ} \text{ DE ATERRIZAJES} - 1 = N^{\circ} \text{ DE DESPEGUES}$$

ECUACION 9 Nro. Despegues (D) BOG Fuente: OACI

- # Despegues (D) = A - 1
D = 19 - 1
D = 20 Despegues / hora

7.2.8.10 Calculo de la Capacidad Teórica de BOG (CTP)

Para determinar la Capacidad Teórica de BOG, se suma el número de aterrizajes (**punto 7.2.8.8**) encontrado con el número de despegues (**punto 7.2.8.9**). A continuación se ilustraran los valores correspondientes de Capacidad Teórica para cada umbral del sistema de pistas paralelas que posee BOG ver *Tabla 47*. Desde el **punto 7.2.8.5** se pondero un solo valor de TMOP para todos los umbrales por claridad del proceso, se deberá realizar similar proceso cuatro (4) veces, una por cada umbral ver *Ecuación 10*.

$$\text{CAPACIDAD TEÓRICA DE PISTA} = \text{N}^{\circ} \text{ DE ATER} + \text{N}^{\circ} \text{ DE DESP}$$

ECUACION 10 Capacidad Teorica (CTP) BOG Fuente: OACI

Resultado de valores correspondientes a la *Capacidad Teorica de Pista* para BOG, se identifica cada umbral de pista particular (13L/31R y 13R/31L) ademas de su correspondiente CTP, ver *Tabla 47*.

CAPACIDAD TEORICA DE PISTA (CTP) - BOG		
PISTA	UMBRAL	VALOR
A	13L	43 (A-D)
	31R	39 (A-D)
B	13R	41 (A-D)
	31L	39 (A-D)

TABLA 47 Capacidad Teórica Pista BOG. Fuente: investigador.

7.2.8.11 Determinación de la Capacidad Declarada del Conjunto de Pistas (CDP) de BOG

Según proceso (**punto 4.3.17**) se calcula la capacidad declarada considerando el porcentual anual de utilización de cada pista (**punto 7.2.6**) y la capacidad teórica de pista por cada umbral (**punto 7.2.8.10**). La Capacidad declarada del conjunto de pistas es la capacidad plenamente sostenible del punto de vista operacional, la *Figura 32* ilustra la ecuación de obtención CDP.

$$CDP = \frac{PU_{AX}CTP_A + PU_{BX}CTP_B + \dots + PU_{NX}CTP_N}{PU_A + PU_B + \dots + PU_N}$$

FIGURA 32 Capacidad Declarada BOG. Fuente: investigador.

Donde, *Tabla 48* detalla proceso de cálculo para capacidad CDP de BOG.

CAPACIDAD DECLARADA DE PISTA (CDP) - BOG				
Pista	Umbral	CTP	% de Utilizacion	CDP
A	13L	43	43.84	43.667
	31R	39	7.39	
B	13R	41	45.25	40.970
	31L	39	3.52	

TABLA 48 Capacidad Declarada Oficial BOG. Fuente: investigador.

$$CDP = \frac{PU_{AX}CTP_A + PU_{BX}CTP_B + PU_{NX}CTP_N}{PU_A + PU_B + \dots + PU_N}$$

$$CDP_{(pista A)} = 43.667 \quad , \quad CDP_{(pista B)} = 40.970$$

$$CDP_{(BOG)} = CDP_{(pista A)} + CDP_{(pista B)}$$

- **Capacidad Declarada de pista BOG (CDP)**

$$CDP_{(BOG)} = 85 \text{ operaciones / hora}$$

8 ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS

Este numeral pretende analizar y evaluar los resultados de los valores de *Capacidad de Pista* de BOG producidos en este proyecto investigativo. Inicialmente se realizara y evaluara un comparativo entre los valores oficiales de BOG informados por Aerocivil Colombia, con los resultados nuevos obtenidos de capacidad y posteriormente se evaluaran los valores de capacidad de pista de BOG en términos de *Demanda/Capacidad*.

8.1 Análisis Comparativo entre valores de Capacidad BOG: A continuación se ilustra en las *Tablas 49 y 50* los comparativos entre las capacidades oficiales y las nuevas producidas por el presente proyecto investigativo.

SKBO - BOG		
CAPACIDAD TEORICA DE PISTA (CTP)		
PISTA	OFICIAL	NUEVO
	VALOR	
13L	41	43
13R	41	41
31R	38	39
31L	38	39

TABLA 49 Comparativo Capacidad Teórica Pista BOG. Fuente: investigador.

SKBO - BOG		
CAPACIDAD DECLARADA DE PISTA (CDP)		
OFICIAL		NUEVO
VALOR		
82		85

TABLA 50 Comparativo Capacidad Declarada Pista BOG. Fuente: investigador.

- Se generó un aumento en el valor de CDP tras el empleo del método de cálculo, inicialmente se puede inducir que tras haber basado y trabajado la investigación con datos fieles, reales y actuales a la situación de BOG ajusta los resultados en buenos términos.

- Se usaron BBDD construidas a partir de datos de campo reales tomados a lo largo del año 2017 y parte del 2018, esta información fue recolectada por investigadores capacitados dedicados a esta labor particular con el fin de reducir al mínimo el valor de incertidumbre y generar resultados ajustados a la realidad de BOG.
- Aumento en el valor general de capacidad teórica de pista (CTP) en todos los umbrales. BOG han generado ciertas mejoras en la capacidad estructural aérea o sistema de pistas (nuevas salidas rápidas pista norte y calles de rodaje nuevas) desde el año 2013 (año oficial de declaración de capacidad) al año actual 2018, este concepto sustenta el aumento del valor de capacidad CTP, ya que los datos usados en la investigación son bajo la realidad actual de BOG.
- El umbral de pista 13L genero un aumento significativo en la capacidad CTP, se analiza que la construcción y puesta en marcha operativa de la nueva salida rápida (A6) diseñada para aproximaciones, reduce los tiempos de ocupación de pista (TOP) en gran medida y esto en reacción aumenta el valor de capacidad de pista.
- El umbral de pista 13R presenta un comportamiento de capacidad CTP igual al oficial, 5 años atrás. Se analiza que el umbral de pista 13R no tuvo remodelaciones o mejoras estructurales en su sistema de pista tras los últimos tiempos, es indispensable para optimizar operativamente este umbral la puesta en marcha de la calle de rodaje paralela (H). Además se recomienda la construcción de una nueva salida rápida (única salida rápida (K5)) para este umbral, ya que maneja el 45 % de operaciones en BOG.
- Se generó un aumento del 4% en la capacidad de pista general de BOG (CDP ----> 82 ope/h ---- 85 ope/h), esto se traduce en más operaciones aéreas y más beneficios económicos para BOG al oficializar este valor de capacidad. El aumento del valor de CDP de tres (3) operaciones / hora, significaría un aumento de capacidad y generaría alrededor de 30.000 operaciones anuales adicionales para BOG.

8.2 Análisis Demanda / Capacidad BOG: A continuación se ilustra en la *Tabla 51* la capacidad de pista actual de BOG y la demanda real efectuada en el año 2017 por el Aeropuerto.

ANALISIS	
Capacidad Actual	Demanda 2017
85 ope/h	39 ope/h

TABLA 51 Demanda / Capacidad BOG. Fuente: investigador.

- El año 2017 BOG proceso más 320.000 operaciones aéreas, esto se traduce en una media de 39 ope / h, demanda real efectuada del aeropuerto. La capacidad de pista actual de BOG es de 85 ope /h, se analiza que en términos generales la demanda utiliza entre el 50 y 60% de la capacidad máxima de BOG.
- Se denoto que el valor de demanda es promedio, por lo que no se debe pasar por alto la importancia necesaria a la demanda (aunque se pensara que la demanda está lejos de la capacidad), hubo horas pico reales en toda la demanda del año 2017 donde el nivel de operaciones alcanzaba el margen entre 60 a 70 ope / h.
- Se analiza que la demanda esta distante de la capacidad real, y se podría dar una parte de tranquilidad, pero es importante tener presente las adecuaciones estructurales periódicas al sistema de pistas, ya que la demanda en BOG viene presentando aumentos constantes considerables en los últimos años.
- Cuando la demanda está cerca de la capacidad se generan demoras, y usualmente el factor más vulnerable es la capacidad de la estructura aérea (sistema de pistas). BOG presenta demoras constantes y los datos indican que la demanda promedio no esta cerca de la capacidad real. El anterior concepto traduciría que posiblemente la estructura aérea no solamente es la razón de las demoras, por lo que se aconseja especial control y supervisión de las otras variables que afectan la capacidad de pista como condiciones de entorno (**punto 6.1.2**) y modo operación ATC (**punto 6.1.3**) principalmente.

9 CONCLUSIONES

- Se concluye que operar el aeropuerto ElDorado (BOG) con los nuevos valores de Capacidad de Pista posibilitara lograr una gestión óptima y eficiente de la pista (o sistema de pistas, como es el caso de BOG), además ayudara a reducir congestiones y retrasos de operaciones aéreas, porque Aerocivil planificaría y controlaría la gestión de tráfico aéreo con datos fieles y actualizados a la realidad operativa de BOG.
- Aerocivil podrá declarar oficialmente un nuevo valor de Capacidad de Pista para BOG, a fin de ser utilizado para los fines correspondientes a la prestación de servicio de Control de Tráfico Aéreo y como medida referencia para la aplicación de medidas de gestión de flujo de tránsito aéreo, además podrá planificar el uso de la capacidad en infraestructura (sistema de pistas) con mayor margen de operación y garantizando en todo momento una obligada y estricta seguridad operacional.
- Se detalló y explico todas las variables tanto directas como indirectas que afectan la capacidad de pista de BOG, con el fin de tener presente todas las posibles injerencias que afectan la capacidad y así mismo poder identificar los puntos más vulnerables para la capacidad y operatividad de BOG.
- Se generó y obtuvo la Capacidad de Pista actual para BOG valor de capital importancia dentro de la gestión de tráfico aéreo. El valor de capacidad tendrá importancia dentro del modo de operación ATC optimizando la operatividad de BOG, generando mayores beneficios económicos al aeropuerto y ofreciendo el mejor servicio a los usuarios del mismo.
- El análisis demanda/capacidad pretende informar la situación real de BOG y orientar al órgano de control de tráfico aéreo (ATC – Aerocivil), con el fin de buscar e identificar que mejoras, si existiesen, pueden ser necesarias para atender la demanda actual y futura.

10 BIBLIOGRAFIA

OACI (Organización de aviación civil internacional), Apunte Calculo de la Capacidad de Pista en Aeródromos, realizado por el COMANDO DE AERONÁUTICA - CENTRO DE GESTIÓN DE NAVEGACIÓN AÉREA, en 2011.

FAA (Administración Federal de Aviación), Escrito de Capacidad y Demora en Aeropuertos, fabricado por el DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE AMERICANO, en 1983.

FMU – COLOMBIA (Unidad de Gestión de Afluencia de Transito Aéreo – Colombia) Apunte Organización de la Afluencia de Transito Aéreo/ AIP – Colombia ENR 1.9, en 2013.

RAC – AEROCIVL (Aeronáutica Civil / Unidad Administrativa Especial), Reglamentos Aeronáuticos de Colombia - RAC 6 - Gestión de Transito Aéreo, 2017.

USTA (Universidad Santo Tomas - Colombia), Unidad 3 - Capacidad del Área de Movimiento, Ingeniería de Aeropuertos, Prof. Dr. Ing. Oscar Díaz Olariaga, Ph.D., 2017.

Gustavo Nombela, Modelos de capacidad de infraestructuras de transporte, modelos de capacidad en aeropuertos, Ministerio de fomento español – Centro de estudios y experimentación de obras publicas, en 2009.

Aeronáutica Civil Colombiana, Informe capacidad de aeropuerto “eldorado”, Dirección de servicios a la navegación aérea – Unidad de gestión de afluencia de transito aéreo FMU COLOMBIA, en 2011.

Roberto Arca Jaurena, Análisis Demanda/Capacidad Aeropuerto “El Dorado” aplicado en Colombia, aplicacion método estándar de la FAA para la determinación de capacidad aeroportuaria, en 2009.

OACI (Organización de aviación civil internacional), Manual de gestión colaborativa de afluencia de transito aéreo, gestión de la afluencia del tránsito aéreo (atfm) - Capacidad, demanda y fases ATFM, en 2014.

OACI (Organización de aviación civil internacional), Guía para la aplicación de una metodología común para el cálculo de capacidad de aeropuerto, Proyecto OACI, en 2009.

Andrej Grebenšek¹, Tadej Kosel – Universidad de Ljubljana (Eslovenia), facultad de ingeniería, *efecto de la extensión de salida rápida en la capacidad de la pista en el aeropuerto jože pučnik* - Ljubljana (Eslovenia), en 2014.

Megan S. Ryerson, Amber Woodburn - Departamento de Planificación regional Pennsylvania (EE.UU.), revista de la Asociación Americana de Planificación, *Construir capacidad del aeropuerto o Administrar la demanda de vuelo*, en 2014.

Proyecto Regional: OACI RLA/06/901, Modelo de Cálculo para la Capacidad de Sectores ATC aplicado en Brasil, en 2009.

Eckhard Urbatzka, Dieter Wilken - Centro Aeroespacial Alemán (DLR) Instituto de Investigación del Transporte de Cologne (Alemania), *futura utilización de capacidad aeroportuaria en Alemania*, en 2004.

Claudia María Giraldo, Amanda Stella Valderrama, Sandra Zapata Aguirre – Universidad de Medellín (Colombia), revista Ingenierías, *las infraestructuras aeroportuarias: tipo de propiedad y su relación con la eficiencia*, en 2015.

Orlando Sánchez López, María Eloísa Gurruchaga Rodríguez – Universidad federal de santa Catalina (Brasil), revista iberoamericana de ingeniería, *alternativas de solución de capacidad aeroportuaria del ‘aeropuerto internacional ciudad de México’*, en 2014.

Yanshuo Sun, Paul M. Schonfeld - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Maryland, College Park (EE. UU.), *Modelo de capacidad para estructuras aeroportuarias bajo demanda*, 2016.

Milan Janic - Universidad Tecnológica de Delf (Holanda), Departamento de Transporte y Planificación de la Facultad de Ingeniería Civil y Geociencias, *Una investigación de los posibles efectos de soluciones para aumentar la capacidad del sistema de pistas del Aeropuerto Internacional (DXB) de Dubai*, en 2015.

AEROCIVL (Aeronáutica Civil / Unidad Administrativa Especial), AIP COLOMBIA Bogota EIDorado (SKBO), AD 2 – SKBO 1, 2018.

11 ANEXOS

Se adjuntara mediante CD o USB archivos digitales de los anexos aquí mencionados para la entrega del presente proyecto investigativo.

- **ANEXO 1** FMU – (RAC) Reglamentos Aeronáuticos Colombianos 2013.
- **ANEXO 2** FAA – Administración Federal de Aviación 1983.
- **ANEXO 3** OACI – Organización de Aviación Civil Internacional 2011.
- **ANEXO 4** AEROCIVIL – BBDD Operaciones aéreas año 2017.
- **ANEXO 5** AEROCIVIL – BBDD Control tráfico aéreo año 2017/2018.