

RAE

- 1. TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO AERONÁUTICO
- 2. TÍTULO:** PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS OPERACIONAL DE RUTAS PARA UNA AERONAVE CESSNA SERIE 400
- 3. AUTOR (ES):** Josué Linderman Castillo Gómez, Juan Sebastián Corredor Romero, Miguel Ángel Ramírez Achury.
- 4. LUGAR:** Bogotá. D.C
- 5. FECHA:** Junio de 2015
- 6. PALABRAS CLAVES:** Análisis operacional, análisis de rutas, AIP, Cartas de navegación, Matlab, POH, Aerovia, Puntos de notificación, VOR, Longitud de pista, Ascenso, Descenso, Crucero.
- 7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.** El objeto principal de este proyecto de grado es el de Desarrollar un programa en la plataforma Matlab para realizar el análisis operacional de cuatro rutas nacionales para la aeronave Cessna 402C, donde serán representados los parámetros de consumo de combustible, altura mínima de vuelo, longitud de pista, tiempo de vuelo de operación, peso máximo de despegue- aterrizaje y velocidades de vuelo, como resultado del proceso de investigación, diseño y cálculos matemáticos se presentara un cálculo programado realizado con la herramienta Matlab donde se podrá observar el análisis operacional de las cuatro rutas.
- 8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**
- 9. METODOLOGÍA:** Es de tipo correlacional y descriptiva, con un enfoque metodológico con base al análisis operacional de rutas nacionales mediante un software desarrollado en Matlab.
- 10. CONCLUSIONES:** Se determinó que a partir de las cartas de navegación proporcionadas por la aeronáutica civil colombiana, las altitudes mínimas de operación pueden ser modificadas por el piloto según sea su necesidad, siempre y cuando informe al controlador aéreo y este por su parte lo apruebe y autorice el cambio operación. Esto de acuerdo a lo que estable la OACI en variar las altitudes según el MORA (Minimum Off Route Altitude). A pesar que el ahorro de combustible es mínimo en cada trayectoria, si se tiene en cuenta que estas aeronaves tienen 5 o más operaciones al día, en el transcurso de un año una compañía podría estar ahorrando aproximadamente 2098.75 lb de combustible equivalentes a \$3, 427,958 COP por aeronave, una cifra considerable. Las rutas seleccionadas cuentan con aeropuertos que se encuentran a altitudes cercanas a la del nivel del mar, gracias a ello se concluyó que la mayoría de las longitudes de pista son muy cortas respecto a las longitudes verdaderas con la que se opera cada aeropuerto. Se espera que el programa sea operado especialmente por pilotos o por personal capacitado en el sector de análisis operacional, sin embargo el programa es tan amigable que cualquier persona con conocimiento del tema y ayuda del manual, estaría en la capacidad de operarlo.

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS OPERACIONAL DE
RUTAS PARA UNA AERONAVE CESSNA SERIE 400**

JOSUE CASTILLO GOMEZ

SEBASTIAN CORREDOR ROMERO

MIGUEL ANGEL RAMIREZ ACHURY

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AERONÁUTICA

BOGOTÁ

2015

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS OPERACIONAL DE
RUTAS PARA UNA AERONAVE CESSNA SERIE 400**

JOSUE CASTILLO GOMEZ

SEBASTIAN CORREDOR ROMERO

MIGUEL ANGEL RAMIREZ ACHURY

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Aeronáutico.

Asesor

Ing. ANDRES PARRA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AERONÁUTICA

BOGOTÁ

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma Del Presidente del Jurado.

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Asesor Metodológico.

DEDICATORIA.

A Dios, por iluminarme el camino y brindarme toda su protección y fortaleza ante todos los problemas presentes a lo largo de mi carrera.

A mis padres quienes nunca dejaron de luchar para que yo cumpliera una meta en mi vida, ser profesional. Por creer en mí, todo este esfuerzo tanto propio como de mis compañeros es para ustedes. Mi padre el cual lo dio todo para conseguir formarme como persona y profesional y mi madre, mi tesoro, quien siempre estuvo ahí cuando lo necesite brindándome consejos para nunca retroceder.

A mis hermanos quienes creyeron en mí, igualmente esto es para ustedes. Infinitas gracias por sus apoyos.

Josué Linderman Castillo Gómez

A mis padres que me dieron el sustento y apoyo constante que necesite a lo largo de mi carrera, además de apoyarme en aquellos momentos los cuales fueron difíciles y el confiar en que llegaría no un final si no al principio de una nueva etapa. De igual manera a Dios por darme esta oportunidad y las fuerzas en toda mi formación.

A mi hermana la cual me apoyo y creyó que se podía terminar este logro.

Juan Sebastián Corredor Romero

A mi padre quien gracias a su experiencia y desempeño profesional que ha obtenido a lo largo de su vida siempre estuvo dispuesto a apoyarme, a colaborar, a guiarme por un camino de sabiduría y a darme los recursos y lo más importante los mejores consejos para lograr cumplir mis diferentes metas a lo largo del trayecto de mi carrera y así obtener mi título de ingeniero.

A mi madre por su total compañía en mi proceso de formación personal y universitaria, por sus consejos hacia las decisiones correctas, por siempre creer en mí, y por su colaboración para el logro como profesional.

A mi hermana por ser uno de los motivos por el cual luche para ser un ingeniero.

Miguel Ángel Ramírez Achury

AGRADECIMIENTOS

Este espacio es para agradecer a todas las personas que siempre estuvieron conmigo, brindándome su apoyo para nunca retroceder. A mis padres que fueron un apoyo incondicional para mi desarrollo personal y profesional, mi familia quienes estuvieron ahí cuando más los necesitaba ofreciendo consejos cuando las situaciones son complejas y nublan las ideas propias.

A mis amigos de carrera, con quienes compartí muchas historias, y son parte de mi vida el día de hoy y quienes me enseñaron muchas cosas para bien, de las cuales aprendí a ser mejor persona. Y como dejar a un lado a los docentes e ingenieros que me formaron como profesional inculcando en mis conocimientos y lecciones de prácticas para mi vida profesional.

Josué Linderman Castillo Gómez

Quiero agradecer a mi familia la estuvo con su apoyo constante e hicieron que este gran logro fuera posible, a aquellas personas que por algún motivo pasaron por mi vida como los docentes, tutores e ingenieros que me dejaron grandes enseñanzas en el tiempo compartido, de igual manera a la universidad por permitirme ser parte de ellos y representarlos como un profesional con buenas bases, principios y valores inculcados por esta.

A mis compañeros de estudio que hoy son más que amigos los cuales en toda nuestra carrera nos apoyamos e hicimos que esta meta fuera posible.

Juan Sebastian Corredor Romero

Agradezco a mi familia por ser el apoyo más grande de la vida, por incentivar me a realizar más allá de lo necesario para cumplir mis metas y por apoyarme al estudiar esta fabulosa carrera.

A mis compañeros y amigos de la carrera con quienes compartí parte de mi vida y conocimientos a lo largo de estos estudios.

A los profesores e ingenieros del Programa de Ingeniería Aeronáutica por inculcarme grandes conocimientos, enseñarme a desenvolver dentro de un campo aeronáutico como un ingeniero y a ser mejor persona.

Miguel Ángel Ramírez Achury.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1	ANTECEDENTES.....	2
2.2	DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	4
2.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	6
2.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
2.5	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	6
2.5.1	ALCANCES.....	6
2.5.2	LIMITACIONES.....	7
3.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	8
4.	METODOLOGÍA.....	11
5.	DESARROLLO INGENIERIL.....	1
5.1	GUAYMARAL (SKGY) – VILLAVICENCIO (SKVV).....	3
5.1.1	DESPEGUE.....	4
5.1.2	ASCENSO.....	6
5.1.3	CRUCERO.....	16
5.1.4	DESCENSO.....	18
5.1.5	ATERRIZAJE.....	21
5.1.6	GRÁFICA.....	24
5.1.7	ALTERNO.....	25
5.1.8	ASCENSO.....	25
5.1.9	CRUCERO.....	26
5.1.10	DESCENSO.....	27
5.1.11	ATERRIZAJE.....	28
5.1.12	GRÁFICA.....	30
5.1.13	OPTIMIZACIÓN RUTA.....	31
5.1.14	OPTIMIZACIÓN ALTERNO.....	35
5.2	GUAYMARAL (SKGY)- BARRANCABERMEJA (SKEJ).....	39
5.2.1	DESPEGUE.....	40

5.2.2	ASCENSO	40
5.2.3	CRUCERO.....	41
5.2.4	DESCENSO.....	41
5.2.5	ATERRIZAJE.....	43
5.2.6	GRÁFICA	45
5.2.7	ALTERNO.....	46
5.2.8	ASCENSO	46
5.2.9	CRUCERO.....	47
5.2.10	DESCENSO.....	48
5.2.11	ATERRIZAJE.....	49
5.2.12	GRÁFICA	51
5.2.13	OPTIMIZACIÓN RUTA.....	52
5.2.14	OPTIMIZACION ALTERNO	56
5.3	GUAYMARAL (SKGY)- MEDELLIN (SKMD)	60
5.3.1	DESPEGUE	61
5.3.2	ASCENSO	61
5.3.3	CRUCERO.....	62
5.3.4	DESCENSO.....	63
5.3.5	ATERRIZAJE.....	65
5.3.6	GRÁFICA	67
5.3.7	ALTERNO.....	68
5.3.8	ASCENSO	68
5.3.9	CRUCERO.....	69
5.3.10	DESCENSO.....	69
5.3.11	ATERRIZAJE.....	71
5.3.12	GRÁFICA	73
5.3.13	OPTIMIZACIÓN RUTA.....	74
5.3.14	OPTIMIZACIÓN ALTERNO	78
5.4	GUAYMARAL (SKGY) – FLORENCIA (SKFL)	82
5.4.1	DESPEGUE	83
5.4.2	ASCENSO	83
5.4.3	CRUCERO.....	84
5.4.4	DESCENSO.....	85
5.4.5	ATERRIZAJE.....	87

5.4.6	GRÁFICA	¡Error! Marcador no definido.
5.4.7	ALTERNO	90
5.4.8	ASCENSO	90
5.4.9	CRUCERO.....	90
5.4.10	OPTIMIZACIÓN DE RUTA	95
5.4.11	OPTIMIZACIÓN ALTERNO	98
5.5	LENGUAJE DE PROGRAMACION Y DISEÑO DEL PROGRAMA.....	98
5.5.1	BOTON 1. INFORMACION DE LA AERONAVE.....	102
5.5.2	BOTON 2. AEROPUERTOS.....	103
5.5.3	BOTON 3. RUTA.....	105
5.5.4	BOTON 4. ESTADISTICAS.....	107
5.5.5	BOTON 5. TRAYECTORIA.....	120
5.5.6	DIAGRAMA DE FLUJO - SKYWAY.....	126
6.	RESULTADOS	126
7.	CONCLUSIONES.....	131
8.	Bibliografía.....	133
	ANEXOS	134

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. SKGY – SKVV – SKGI.....	134
Anexo 2. SKGY – SKVV – SKGI (Optimización).....	135
Anexo 3. SKGY – SKEJ – SKCC	136
Anexo 4. SKGY – SKEJ – SKCC (Optimización).....	137
Anexo 5. SKGY – SKMD – SKLP.....	138
Anexo 6. SKGY – SKMD – SKLP (Optimización).....	139
Anexo 7. SKGY – SKFL – SKNV	140
Anexo 8. SKGY – SKFL – SKNV (Optimización).....	141
Anexo 9. Diagrama de flujo SKYWAY.	142

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de vuelos realizados del 17-may-14 al 07-oct-14 (ltda., 2014).....	2
Tabla 2. Datos generales de aeropuertos (SKGY – SKVV).....	3
Tabla 3. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKVV).....	4
Tabla 4. Altitudes puntos de notificación (SKVV – SKGI).....	4
Tabla 5. (COMPANY, 1978) Distancia normal de despegue y aterrizaje.....	5
Tabla 6. Longitud de pista SKGY	5
Tabla 7. R/C 2600 RPM	10
Tabla 8. R/C @ 2450 rpm.....	11
Tabla 9. R/C @ 6850 lb.....	12
Tabla 10. R/C @ 6500 lb.....	12
Tabla 11. (COMPANY, 1978) <i>Cruise performance</i>	14
Tabla 12. Consumo de combustible @ Rpm	15
Tabla 13. Kias @ Rpm	17
Tabla 14. Rpm vs. Velocidad.....	18
Tabla 15. (COMPANY, 1978) <i>Time, fuel and distance to descend</i> ; Error! Marcador no definido.	
Tabla 16. Longitud de pista @ 6850.....	22
Tabla 17. Longitud de pista	22
Tabla 18. Datos operacionales ruta SKGY - SKVV.....	25
Tabla 19. Longitud de pista	28
Tabla 20. Longitud de pista	29
Tabla 21. Datos operacionales ruta SKVV - SKGI	31
Tabla 22. Datos operacionales ruta SKVV - SKGI	35
Tabla 23. Datos operacionales ruta SKVV – SKGI.....	38
Tabla 24. Datos generales de aeropuerto (SKGY – SKEJ)	39
Tabla 25. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKEJ)	39
Tabla 26. Altitudes puntos de notificación (SKEJ – SKCC).....	39
Tabla 27. Longitud de pista	43
Tabla 28. Longitud de pista @ 6850 lb.....	44
Tabla 29. Datos operacionales ruta SKGY – SKEJ.....	46
Tabla 30. Longitud de pista	49
Tabla 31. Longitud de pista @ 6850 lb.....	50
Tabla 32. Datos operacionales SKEJ – SKCC	52
Tabla 33. Datos operacionales SKGY – SKEJ optimizada	56
Tabla 34. Datos operacionales SKEJ – SKCC	59
Tabla 35. Datos generales de aeropuerto (SKGY – SKMD).....	60
Tabla 36. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKMD).....	60
Tabla 37. Altitudes puntos de notificación (SKMD – SKLC).....	60
Tabla 38. Longitud de pista	65
Tabla 39. Longitud de pista @ 6850 lb.....	65
Tabla 40. Datos operacionales SKGY - SKMD	67
Tabla 41. Longitud de pista	71
Tabla 42. Longitud de pista @ 6850 lb.....	72

Tabla 43. Datos operacionales ruta SKMD – SKLC	74
Tabla 44. Datos operacionales ruta SKGY – SKMD	78
Tabla 45. Datos operacionales ruta SKMD – SKLC	82
Tabla 46. Información general aeropuertos	82
Tabla 47. Altitudes puntos de notificación.	83
Tabla 48. Altitudes puntos de notificación alterno.	83
Tabla 49 Longitud de pista	87
Tabla 50. Longitud de pista @ 6850 lb.....	87
Tabla 51. Datos operacionales ruta SKGY - SKFL.....	89
Tabla 52. Longitud de pista	92
Tabla 53. Longitud de pista @ 6850 lb.....	92
Tabla 54. Datos operacionales ruta SKFL - SKNV.....	94
Tabla 55. Datos operacionales SKGY - SKFL.....	98
Tabla 56. Comandos básicos – lenguaje de programación Matlab.....	99
Tabla 57. Información general 1 Cessna 402c.....	126
Tabla 58. Información general 2 Cessna 402c.....	126
Tabla 59. Información general aeropuerto Vanguardia-Villavicencio	127
Tabla 60. Aerovía y distancia (Guaymaral – Villavicencio)	127
Tabla 61. Mínima longitud de pista requerida para un peso de 6850 lb.....	128
Tabla 62. Resultados parámetros Distancia-tiempo-combustible (Destino –Alterno).	128
Tabla 63. Resultado de parámetros por fases de vuelo para el ANEXO 1.	129
Tabla 64. Comparativa consumo de combustible Ruta estándar – Ruta optimizada.....	130

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje promedio de operación destinos nacionales.....	2
Gráfica 2. Componentes de velocidad.....	7
Gráfica 3. (COMPANY, 1978)Time fuel and distance to climb – máximo climb.....	10
Gráfica 4. (COMPANY, 1978)Time fuel and distance to climb – cruise climb.....	11
Gráfica 5. Rpm vs. R/C.....	12
Gráfica 6. Rpm vs. Consumo de combustible.....	15
Gráfica 7. Peso vs. Longitud de pista requerida.....	23
Gráfica 8. Ruta entre SKGY y SKVV.....	24
Gráfica 9. Ruta entre SKVV – SKGI.....	30
Gráfica 10. Ruta entre SKGY – SKVV optimizada.....	34
Gráfica 11. Ruta entre SKVV – SKGI optimizada.....	38
Gráfica 12. Peso vs. Longitud de pista requerida.....	44
Gráfica 13. Ruta entre SKGY – SKEJ.....	45
Gráfica 14. Peso vs. Longitud de pista requerida.....	50
Gráfica 15. Ruta SKEJ - SKCC.....	51
Gráfica 16. Ruta optimizada SKEJ - SKCC.....	55
Gráfica 17. Ruta SKEJ – SKCC optimizada.....	59
Gráfica 18. Peso vs Longitud de pista requerida.....	66
Gráfica 19. Ruta SKGY - SKMD.....	67
Gráfica 20. Peso vs. Longitud de pista requerida.....	72
Gráfica 21. Ruta SKMD - SKLC.....	73
Gráfica 22. Ruta SKGY – SKMD optimizada.....	77
Gráfica 23. Ruta SKMD – SKLC optimizada.....	81
Gráfica 24. Peso vs. Longitud de pista requerida.....	88
Gráfica 25. Ruta SKGY – SKFL.....	89
Gráfica 26. Peso vs longitud de pista requerida.....	93
Gráfica 27. Ruta SKFL - SKNV.....	94
Gráfica 28. Ruta SKGY – SKFL optimizada.....	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Información de la aeronave	102
Ilustración 2. Aeropuertos.....	103
Ilustración 3. Ruta.....	105
Ilustración 4. Estadística.....	107
Ilustración 5. Trayectoria.....	120

GLOSARIO

Aerovía: Área de control o parte de ella dispuesta en forma de corredor y equipada con radio ayudas para la navegación.

Aeropuerto: Todo aeródromo especialmente equipado y usado regularmente para pasajeros y/o carga y que a juicio de la UAEAC, posee instalaciones y servicios de infraestructura aeronáutica suficientes para ser operado en la aviación civil.

Altitud: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto de referencia, y el nivel medio del mar (MSL).

Carta aeronáutica: Representación de una porción de la tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea por parte de la Autoridad Aeronáutica.

Elevación: Distancia vertical entre un punto o un nivel de la superficie de la tierra, o unido a ella, y el nivel medio del mar. Elevación del aeródromo: La elevación del punto más alto del área de aterrizaje.

Ft: Pie (feet) Unidad de longitud.

IFR: Reglas de vuelos por instrumentos. (Instrument Flight Rules)

MEA: Altura mínima en ruta de reglas de vuelo por instrumentos. (Minimum on route IFR Altitude).

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

Publicación de información aeronáutica (AIP): La publicada por el Estado, o con su autorización que contiene información aeronáutica de carácter duradero, indispensable para la navegación aérea.

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

Punto de notificación: Lugar geográfico especificado, con referencia al cual puede notificarse la posición de una aeronave.

r.p.m: Revoluciones por minuto.

Ruta: Trayectoria entre dos puntos determinados. Para efectos comerciales hace referencia al servicio de transporte aéreo que se presta entre un origen y un destino.

Ruta ATS: Ruta especificada que se ha designado para canalizar la corriente del tránsito según sea necesario para proporcionar servicio de tránsito aéreo. La expresión ruta ATS se aplica según el caso, a aerovías, a rutas con asesoramiento, a ruta con o sin control, a rutas de llegada o salida, etc.

RWY: Pista. (Runway)

TKOF: Despegue. (Takeoff)

TMA: Área de control establecida generalmente en la confluencia de rutas ATS en las inmediaciones de uno o más aeródromos principales.

UAEAC: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

V1: Velocidad de decisión de despegue.

V2: Velocidad mínima para despegue seguro. Velocidad mínima de referencia obtenida después del despegue, en la cual el desempeño para una escala requerida con un motor inoperativo puede lograrse.

VFR: Reglas de vuelo visual. (Visual Flight Rules)

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de rutas para la navegación aérea conlleva a analizar todos aquellos parámetros de desempeño más sobresalientes en una operación aérea. La operación de una aeronave consiste en desplazarse y navegar de un punto a otro, que para este caso se habla de un aeropuerto de origen y uno de destino. Siempre se debe tener en cuenta que el aeropuerto de destino puede presentar inconvenientes en su operación por lo que llevaría a que la aeronave se desplazase a un aeropuerto alternativo. La trayectoria por la que navega la aeronave se le conoce con el nombre de aerovía.

El término de aerovías es definido como el camino que seguirán las aeronaves en su viaje las cuales están regidas por unas cartas de navegación en la cual se traza la ruta que se presume sea la más corta teniendo cuidado del sentido del tránsito en la aerovía, Posteriormente se suman las distancias en millas náuticas en cada tramo.

Una vez estimadas estas distancias se considera la de los aeropuertos alternos, a partir de los parámetros mencionados se puede realizar un peso y balance tanto en carga paga como la cantidad de combustible necesaria para cumplir la ruta con sus respectivos aeropuertos alternos.

En esta investigación se desarrolla un programa computacional para hacer el análisis operacional de cuatro rutas de una aeronave Cessna 400 series, donde serán representados los parámetros consumo de combustible, altura mínima de vuelo, longitud de pista, tiempo de vuelo de operación, peso máximo de despegue- aterrizaje y velocidades de vuelo.

Como resultado del proceso de investigación, diseño y cálculos matemáticos se presentara un cálculo programado realizado con la herramienta Matlab donde se podrá observar el análisis operacional de las cuatro rutas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

- Se basará en programas desarrollados por Embrear, el grupo de desarrollo de software, de la ingeniería de operaciones de vuelo. Básicamente poseen software de desempeño de las aeronaves en sus distintas fases de vuelo, y cuyas interfaces son amigables con el usuario, que en este caso son los pilotos. Los distintos programas desarrollados son de Performance, Análisis de pista, Análisis de ruta, Peso y balanceo, y de monitoreo del rendimiento de las aeronaves.
- El Runway Analysis Software, consiste básicamente en obtener el peso máximo de despegue en diferentes aeropuertos; además, este análisis incluye consideraciones tales como obstáculos, las respectivas condiciones atmosféricas y las distancias de las pistas. Ese programa brinda un informe detallado de velocidades, correcciones de QNH y anti-ice, correspondientes a las distintas temperaturas.
- Por otra parte, el Route Analysis Software, permite el cálculo del tiempo estimado de operación y el combustible necesario para determinada ruta. Además, este programa permite un completo entendimiento de los resultados, tales como el Fuel Tankering y la altitud de crucero. Igualmente posee una interfaz amigable con el usuario que permite compilar una base de rutas específicas e imprimir un archivo de salida en el formato de un plan de vuelo estandarizado.

- De igual manera, se tomarán en cuenta los requisitos establecidos por el RAC, parte 4, sección 4.15.2.19. Acerca de la aprobación de rutas para empresa de transporte público regular, donde se establece que la ruta es apta para ser operada entre los diferentes aeropuertos tanto regulares como alternativos y posteriormente brinden seguridad a la operación. Las rutas deben considerar, como necesario, la altura absoluta sobre el terreno, altura mínima de la ruta, las ayudas de navegación tanto en tierra como a bordo, la densidad del tráfico aéreo y los procedimientos del ATC (Air Traffic Control).
- Para la operación también se debe demostrar que la ruta dispone de suficientes aeropuertos con sus completos equipos, considerando obstáculos, iluminación, ayudas de navegación y a las comunicaciones. De igual manera para quien opere las rutas deben tener en cuenta: Aeropuertos, con sus respectivas instalaciones y ayudas de navegación; la pista, con sus dimensiones, superficie e iluminación; Umbrales desplazados, obstáculos, vuelos por instrumentos.
- Uno de los programas que se tiene en Colombia es el llamado AIR NAVIGATION PRO, el cual fue desarrollado teniendo en mente la aviación en general. Gracias a ello es un programa que fue rápidamente adoptado por pilotos de diferentes aeronaves incluyendo, parapentes, planeadores, ultraligeros, entre otros. AIR NAVIGATION PRO es un programa que permite el planeamiento de vuelos y la navegación en tiempo real. Este programa cuenta con tres versiones.
 - AIR NAVIGATION FREE.
 - AIR NAVIGATION STANDARD.
 - AIR NAVIGATION PRO.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los países desarrollados se han realizado programas computacionales para el análisis operacional de rutas en la navegación aérea, los cuales han permitido facilitar la operación para las aerolíneas y mejorar su rendimiento.

Las aerolíneas colombianas tienen que presentar un análisis operacional de rutas a la autoridad aeronáutica colombiana para poder operar, debido a esto se ve la necesidad de realizar el análisis operacional de rutas mediante un programa computacional que facilite y permita calcular completamente los parámetros necesario para realizar una óptima operación.

¿Cómo será el programa computacional para el análisis operacional de cuatro rutas nacionales para una aeronave Cessna serie 400?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de realizar un estudio de rutas aéreas, el desarrollo de este proyecto tiene como finalidad llevar a cabo el análisis de cuatro rutas nacionales comúnmente transitadas por la aeronave Cessna 400 series. Al tener cuenta el tipo de aeronave se puede hablar directamente de rutas establecidas probables para su tránsito, pues no es una aeronave con destinos a todos los lugares de Colombia. Por esta razón, se establecen 4 rutas frecuentes para la operación de dicha aeronave.

El análisis de rutas para cierta aeronave consiste no solamente en ubicar y localizar aeropuertos de origen y destino, además del aeropuerto alternativo, sino que de igual manera se tienen en cuenta aspectos como longitud de pista para despegue y aterrizaje, altitud de pista, servicios de rampa, pesos y balance de la aeronave, velocidad de vuelo en sus distintas fases, tiempo de vuelo y consumo de combustible.

Es de importancia conocer todos estos aspectos que involucran un análisis de ruta detallado para la operación de la aeronave ya que con ello los operadores tendrán una visión de cómo será el comportamiento del performance del Cessna. Es por esta razón que se plantea este proyecto para dar solución a un problema que quizás se presenta en el tránsito aéreo debido a que no se sabe a ciencia cierta cómo se comporta la aeronave cuando opera por primera vez a un lugar.

Además del análisis de ruta aérea para el Cessna 400 series, se pretende digitalizar todos estos datos correspondientes al performance de la aeronave a una interface la cual, tendrá todos los parámetros de rendimiento, solo introduciendo como valores de entrada el aeropuerto de salida y el de llegada, automáticamente se calculará la operación y que serán de fácil entendimiento para el operador.

El análisis de las 4 rutas para la aeronave Cessna 400 series puede ser de gran ayuda para empresas aéreas regulares que no tienen mucha experiencia en el campo aeronáutico por que puede dar una base y unos pasos a seguir para desarrollar sus propios análisis de rutas aéreas y ser presentados ante la autoridad aeronáutica colombiana para ser aprobados.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un programa en la plataforma de Matlab para realizar un análisis operacional de cuatro rutas para la aeronave Cessna serie 400.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar el análisis operacional de cuatro rutas del territorio nacional en físico con todos sus parámetros de ruta.
2. Desarrollar los algoritmos de cálculo pertinentes dentro de la plataforma Matlab para el desarrollo computacional del análisis de rutas.
3. Efectuar el programa del análisis de cuatro rutas para la aeronave Cessna serie 400 en Matlab.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 ALCANCES

1. Se entregará un informe con el análisis operacional de las cuatro rutas previamente seleccionadas, juntos con sus respectivas gráficas y tablas.
2. Se presentarán los algoritmos de cálculo usados para el desarrollo de la plataforma.
3. Se entregarán los diagramas de flujo realizados para el correcto funcionamiento del programa.
4. Los resultados entregados por el programa contendrán gráficas y tablas para su mejor entendimiento.

5. Se entregará el programa realizado en Matlab con su correcto funcionamiento de operación.

1.5.2 LIMITACIONES

1. El análisis operacional de la aeronave será solo para cuatro rutas nacionales.
2. El análisis se desarrollará con los parámetros operacionales de las aeronaves Cessna serie 400.
3. El programa será desarrollado en la plataforma Matlab debido a la practicidad en el manejo y el fácil acceso a sus licencias, no se utilizara ningún otro programa distinto a este para su desarrollo.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Una ruta aérea es la trayectoria entre dos puntos determinados. Para efectos comerciales hace referencia al servicio del transporte aéreo que se presta entre un origen y un destino; cuya definición está contenida en los reglamentos aeronáuticos de Colombia. (RAC Parte 1 - Definiciones)

(Polilibros)El análisis de una ruta aérea consta de definir la trayectoria por la que seguirá una aeronave en vuelo, sus velocidades, tasa de ascenso, consumo de combustible, tiempo de trayectoria, condiciones atmosféricas y meteorológicas y autorizaciones de vuelo.

Para regular el tránsito de aeronaves, se cuenta con una amplia red de rutas ATS (Air Traffic Service), bien sea para llegar o salir de aeródromos o aeropuertos tanto nacionales como internacionales.

La carta de navegación es una herramienta en la que se representa una porción de tierra con su relieve, diseñada para evaluar y satisfacer las necesidades que se requieren para poder navegar en el espacio aéreo.

A cualquiera de las denominaciones anteriores se les llama aerovías y se definen como el camino que seguirán las aeronaves en su viaje. Estas aerovías están definidas por radiales o ángulo con respecto al norte magnético, esto es fácilmente visible en un instrumento denominado VOR (Very High Omnidirectional Radio Range) que es una especie de brújula electrónica que facilita al piloto determinar el rumbo de la aeronave.

Identificando el origen y destino, y trazando según la carta de navegación cada tramo de la trayectoria se conocerá la distancia en millas náuticas. Posteriormente se suman las distancias en millas náuticas en cada tramo, para esto hay que recordar que las distancias marcadas son de VOR a VOR o por cada punto de notificación. En el caso de que la distancia no se encuentre indicada entre un punto y otro, bastará con utilizar la escala del margen izquierdo de la carta.

Una vez obtenida la distancia del origen al destino se debe de considerar la distancia del destino al aeropuerto alternativo. La obtención de estas distancias nos ayudará posteriormente para conocer la cantidad de combustible a bordo del avión.

Para determinar el aeropuerto alternativo se tienen en cuenta algunos criterios:

- ✓ Debe de ser de preferencia un aeropuerto a nivel del mar, debido a que al nivel del mar cualquier aeronave no tendría restricción al aterrizaje, ya que sus motores funcionarían en su rendimiento óptimo.
- ✓ Debe de ser un aeropuerto cercano al destino. Aunque esto en ocasiones es una desventaja dado que si se tuviera un mal tiempo en el aeropuerto de destino, lo más seguro es que estaría afectando también al alternativo. Entonces el aeropuerto alternativo puede llegar a ser también el más lejano desde que se notifica el punto crítico de decisión para proceder al alternativo.
- ✓ Debe de ser un aeropuerto que opere de preferencia las 24 horas. Esto es fácil saberlo consultando el AIP (Publicación de Información Aeronáutica).

DETERMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE A BORDO

Una vez obtenida la distancia de las cartas se procede a la determinación por medio de las gráficas del fabricante, de la cantidad de combustible de etapa, reserva y alternativo. Dichas gráficas se analizarán en el ejemplo del análisis de ruta.

Por otra parte, MATLAB es un software que utiliza un lenguaje de programación propio. Un programa de cálculo numérico que inicialmente fue diseñado para trabajar con matrices. Por tanto, su punto más eficiente es si se trabaja directamente con vectores y matrices.

Este software tiene las capacidades para el cálculo numérico, utilizando las funciones matemáticas para resolver problemas científicos y de ingeniería; analiza datos y visualiza, programar y desarrollar algoritmos y desarrollar aplicaciones.

Sus principales funciones son:

- Funciones matemáticas para álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtrado, optimización, integración numérica, y la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Construcción de gráficos para la visualización de datos.
- Herramientas para la creación de aplicaciones con interfaces gráficas.
- Funciones para integrar los algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones externas y lenguajes como C, Java, .NET y Microsoft[®] Excel[®].
- Lenguaje de alto nivel para el cálculo numérico, visualización y desarrollo de aplicaciones.

Cleve Moler un matemático y programador de computadores fue quien creó y fundó MATLAB en 1984 introduciendo la algebra lineal y el análisis numérico como lenguaje de programación. (Algebra lineal)

3. METODOLOGÍA

La metodología a desarrollar durante el proyecto será de tipo correlacional y descriptiva la cual se ve reflejada en cada una de las actividades y objetivos a realizar durante las diferentes fases del proyecto, a continuación se muestra cómo será la metodología que se llevara a cabo durante el proceso.

1. DESARROLLAR EL ANÁLISIS OPERACIONAL DE CUATRO RUTAS DEL TERRITORIO NACIONAL EN FÍSICO CON TODOS SUS PARÁMETROS DE RUTA

- Determinar las cuatro rutas nacionales a analizar.
- Adquirir las cartas de navegación para las rutas establecidas.
- Realizar el análisis para cada ruta con sus cálculos, gráficas y tablas pertinentes.
- Realizar un informe del análisis operacional de la aeronave Cessna 400 series.

AIP AEROCIVIL

JEPESEN



2. DESARROLLAR LOS ALGORITMOS DE CÁLCULO PERTINENTES DENTRO DE LA PLATAFORMA MATLAB PARA EL DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ANÁLISIS DE RUTAS

- Realizar una indagación a fondo de la plataforma Matlab.
- Establecer variables y parámetros.
- Realizar los diagramas de flujo requeridos para la programación.
- Adaptar los cálculos a un lenguaje de programación.

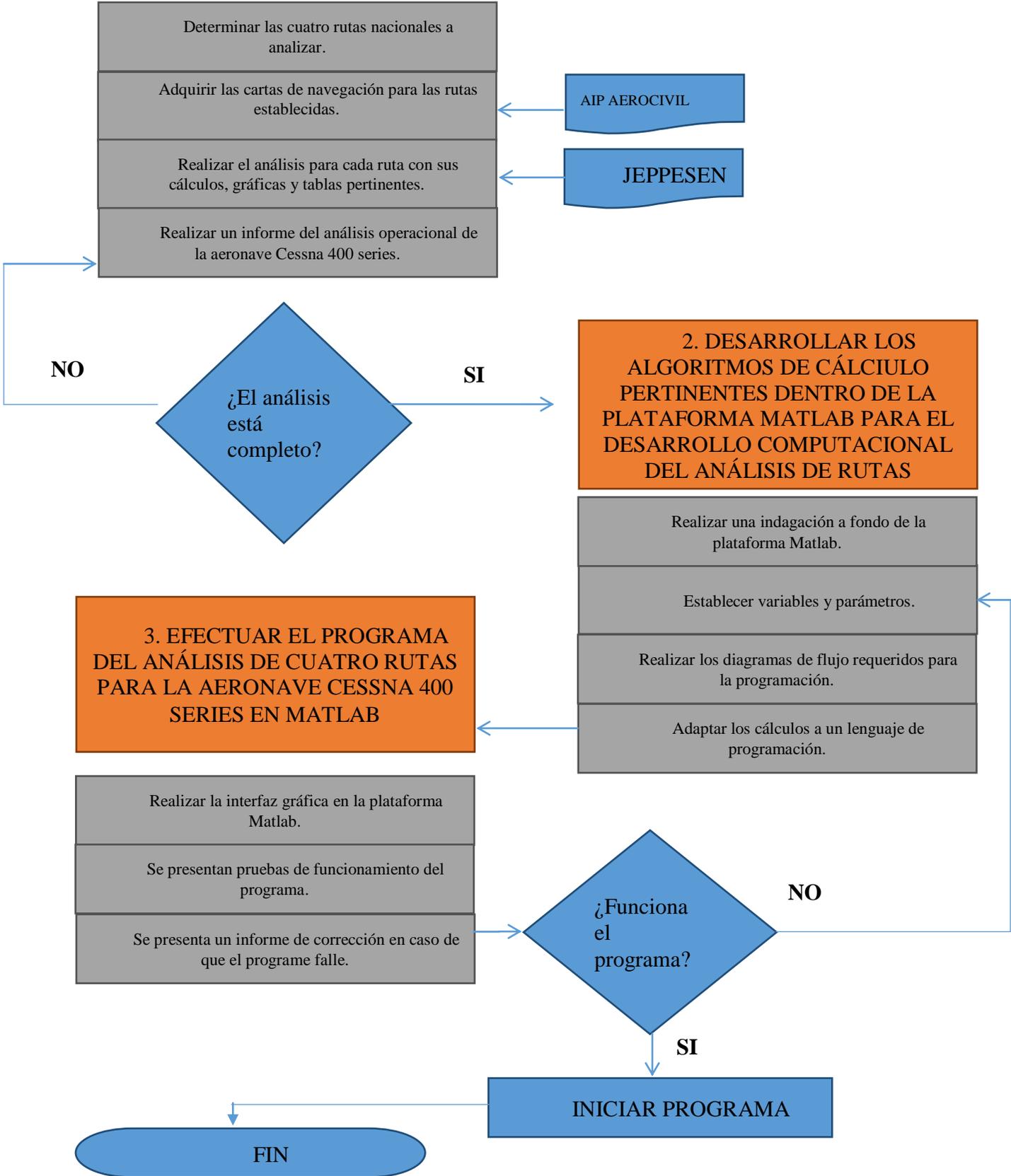
3. EFECTUAR EL PROGRAMA DEL ANÁLISIS DE CUATRO RUTAS PARA LA AERONAVE CESSNA 400 SERIES EN MATLAB

- Realizar la interfaz gráfica en la plataforma Matlab.
- Se presentan pruebas de funcionamiento del programa.
- Se presenta un informe de corrección en caso de que el programe falle.

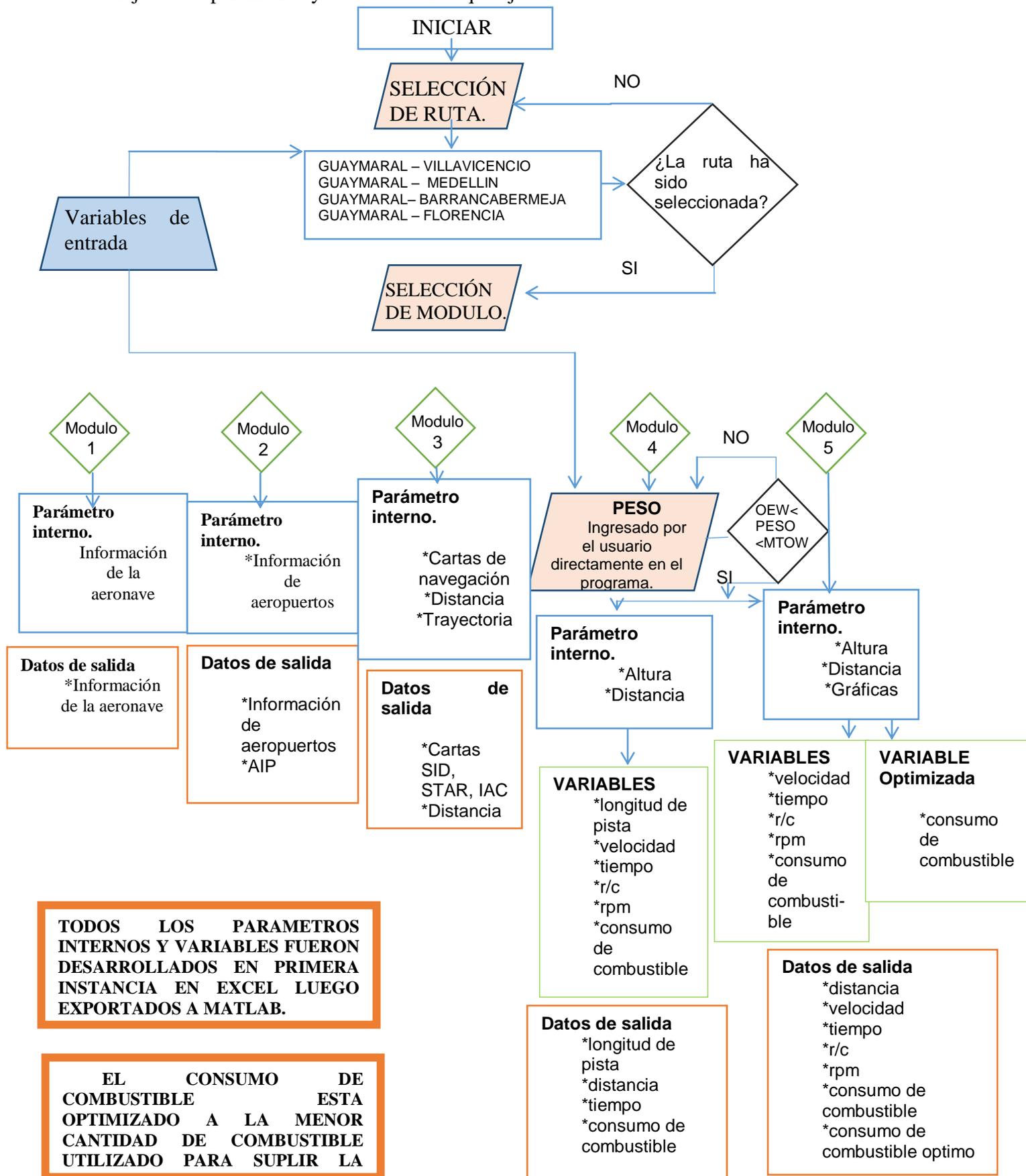


INICIAR PROGRAMA

FIN



Respecto a los algoritmos de cálculos efectuados por el programa, se presentara el diagrama de flujo de los parámetros y datos de salida que ejecutara este:



Los parámetros establecidos por el programa son valores que se encuentran internamente almacenados dentro de este como son:

- Información de la aeronave Cessna 402c, caracterizando velocidades de ascenso, crucero y descenso.
- Información de aeropuertos, caracterizando alturas, temperaturas, longitud y orientación de pistas.
- Cartas de Navegación, caracterizando distancias entre puntos de notificación ,VOR, alturas y nombres de las aerovías.

Por otra parte las variables establecidas son aquellas que permiten una modificación en los datos de salida efectuados a partir de un parámetro de entrada principal.

- Variable de entrada: PESO (rango entre OEW y MTOW)
- Variable de salida: Longitud de pista, tiempo, tasa de ascenso y descenso, rpm y consumo de combustible.

Como cálculos internos dentro del programa se puede evidenciar un kit de parámetros establecidos para dichas variables de salida definidas de la siguiente manera:

Longitud de pista: velocidad, temperatura y peso (ver tabla 5)

Tiempo: relación distancia y velocidad (ver Ecuación 1.)

Tasa de ascenso: relación diferencia de alturas y tiempo (ver Ecuación 2.)

Rpm: tasa de ascenso (ver Gráfica 4 y Ecuación 3)

Consumo de combustible: rpm y tiempo (ver Gráfica 5 y Ecuación 4)

4. DESARROLLO INGENIERIL

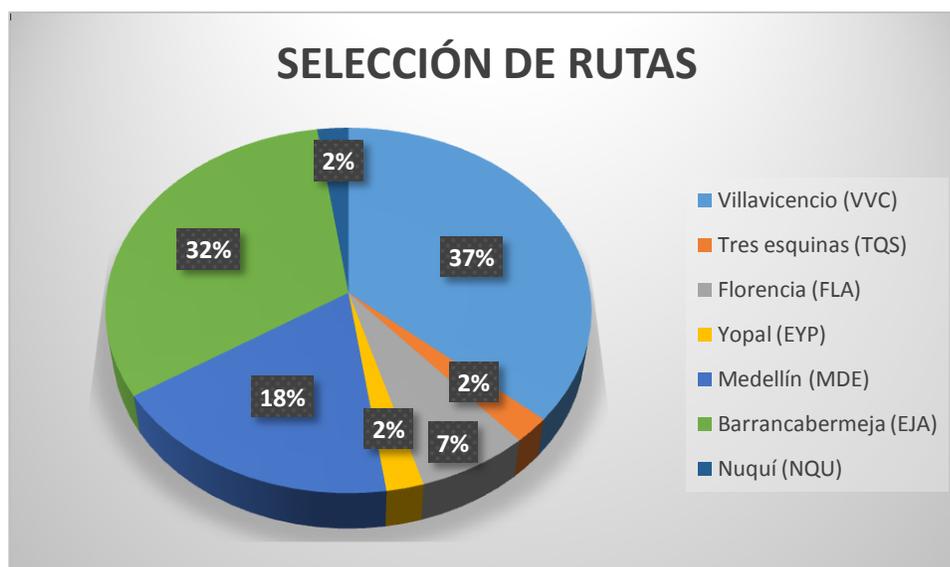
Para el desarrollo del presente proyecto es de importancia conocer las rutas nacionales más frecuentes sobre el territorio Colombiano.

Inicialmente se evalúa la cantidad de operaciones del Cessna 402C; la compañía Aviocharter Ltda suministró información de datos reales acerca de la operación de esta aeronave a destinos nacionales.

Rutas:

ORIGEN	DESTINO	Vuelos (Ciclos)	Porcentaje %
Guaymaral GYM	Villavicencio VVC	16	36
	Tres esquinas TQS	1	2
	Florencia FLA	3	7
	Yopal EYP	1	2
	Medellín MDE	8	18
	Barrancabermeja EJA	14	32
	Niquí NQU	1	2

Tabla 1. Promedio de vuelos realizados del 17-may-14 al 07-oct-14 (Itda., 2014).



Gráfica 1. Porcentaje promedio de operación destinos nacionales

Una vez establecidas las 4 rutas más transitadas por el Cessna 402 procedemos a realizar su correspondiente análisis de rutas.

Rutas nacionales seleccionadas según el ponderado anterior son:

1. Villavicencio SKVV
2. Barrancabermeja SKEJ
3. Medellín SKMD
4. Florencia SKFL

4.1 GUAYMARAL (SKGY) – VILLAVICENCIO (SKVV)

Para el análisis de la primer ruta, Guaymaral - Villavicencio se tiene que tener en cuenta la ruta a seguir y las altitudes mínimas en ruta que debe tener la aeronave, las cartas de navegación se pueden consultar en la página oficial de la UAEAC, a continuación se describe el trayecto de la ruta y sus altitudes.

Nivel De Crucero: 15.000 FT

Distancia Total: 115 NM

	NOMBRE	ELEVACION	LONGITUD DE PISTA	TEMP. DE REFERENCIA
Origen	Flaminio Suarez Camacho	8,390 ft	1,720 m x 20 m	14° C
Destino	Vanguardia	1,381 ft	1,940 m x 30 m	32° C
Alternativo	Santiago Vila	907 ft	1,600 m x 28 m	30 ° C

Tabla 2. Datos generales de aeropuertos (SKGY – SKVV)

Aerovía: SKGY- ROMEO 3 - W17- MAKTO- EGEPI 2A – IAC VOR A

Trayecto/ Espera	R (ROMEO)	SOA (SOACHA) VOR/DME	SOA – MAKTO	MAKTO- EGEPI	EGEPI- VVC (VILLA/O) VOR/DME

MEA	10,700 ft	14,000 ft	14,000 ft	15,000 ft	13,000 ft
------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 3. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKVV)

Alternativo: Girardot (SKGI)

Nivel De Crucero: 15,000 ft

Distancia Total: 106 NM

Aerovía alternativo: VVC - W44 - SALGU - DANSA - W18 - PAPAD - VOR Z

Trayecto/ Espera	VVC (VILLA/O) VOR/DME	VVC- SALGU	SALGU- DANSA	DANSA- PAPAD	PAPAD-GIR (GIRARDOT VOR/DME)
MEA	5,000 ft	12,000 ft	15,000 ft	15,000 ft	12,000 ft

Tabla 4. Altitudes puntos de notificación (SKVV – SKGI)

Está estipulado que el análisis operacional de una aeronave cuenta con 3 diferentes etapas de vuelo, conocidas con el nombre de Despegue, Crucero y Aterrizaje, gracias a esto se presentara para cada ruta el análisis, teniendo en cuenta los parámetros necesarios para cada etapa, por ejemplo altitudes, temperaturas y velocidades.

4.1.1 DESPEGUE

Para la etapa de despegue se pueden denotar 2 fases para cumplirla, como fase 1 se encuentra la mínima longitud de pista que requiere una aeronave para despegar y la fase de ascenso que será más adelante explicada.

A partir de lo anteriormente mencionado se puede determinar Mediante la tabla 5 la mínima longitud de pista que requiere la aeronave para despegar del aeropuerto de Guaymaral.

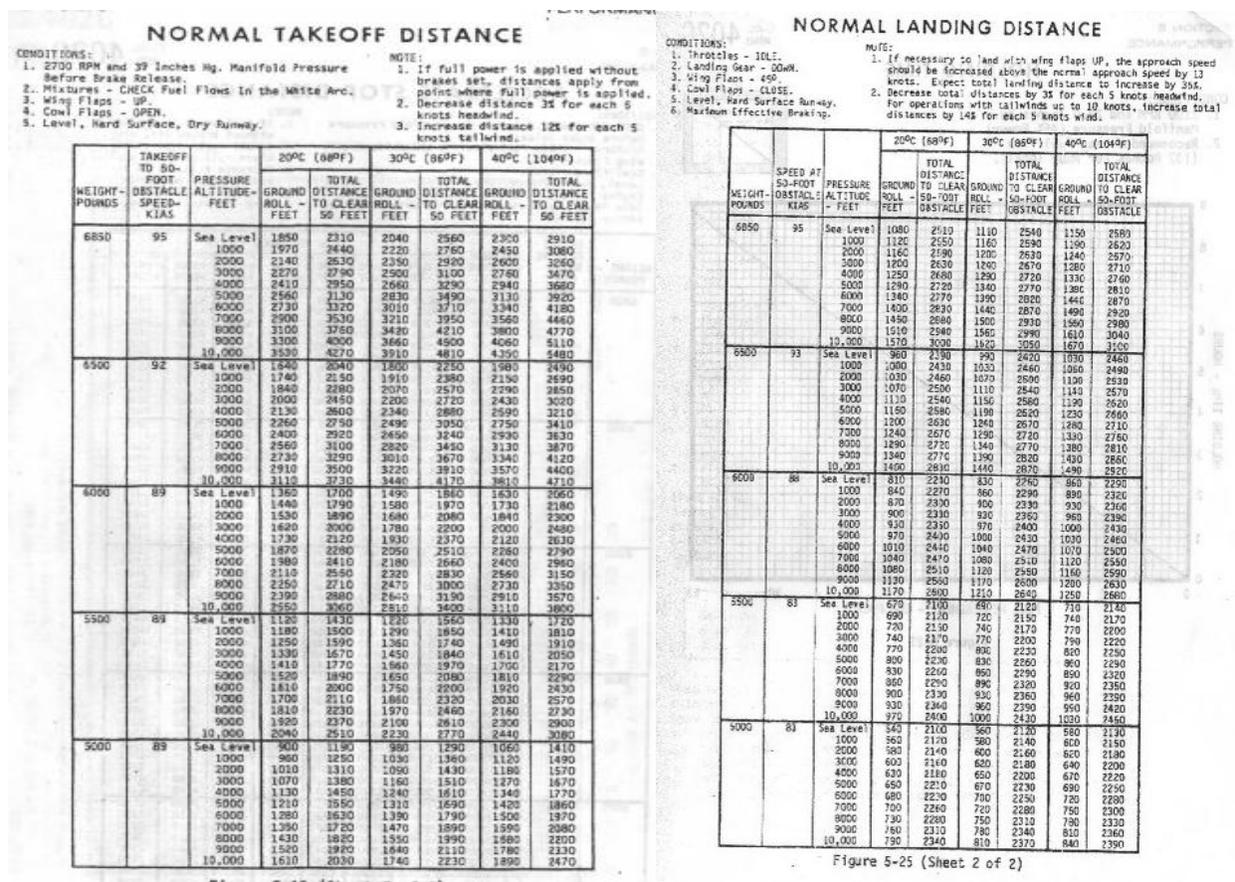


Tabla 5. (COMPANY, 1978) Distancia normal de despegue y aterrizaje

Al asumir una temperatura de referencia de 20°C y el MTOW, se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 6.

T=20°C W=6850	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
8000	3100
8390	3178
9000	3300

Tabla 6. Longitud de pista SKGY

La mínima longitud de pista que requiere la aeronave será de 3178 ft.

Una vez alcanzada esta distancia se pasa a una fase de ascenso donde se presentarán velocidades y distancias para: trayecto, altura, tiempo, tasa de ascenso, cantidad de RPMs y consumo de combustible.

4.1.2 ASCENSO

La U.A.E.A.C. tiene establecido mediante SID's (Standard Instrument Departure Chart) que son las cartas de navegación usadas para salir de un aeropuerto por IFR (Instrument Flight Rules), en ellas el piloto puede encontrar las coordenadas y altitudes a las cuales debe ascender para tener un vuelo seguro.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede calcular las tasas de ascenso de la aeronave según la altitud de cada coordenada y la distancia entre las mismas como se muestra en el SID [ROME3] (Aeronáutica Civil) (Esta carta de navegación se encuentra publicada en la página Web de la U.A.E.A.C.).

A continuación se muestran las distancias entre coordenadas y la altitud mínima que debe tener la aeronave en cada punto de ascenso hasta alcanzar la etapa de vuelo de crucero y nivelarse.

- a) PISTA – R.113 = 19.15 NM --- 9600 ft
- b) R.113° - ROMEO = 6.15 NM --- 10700 ft.
- c) ROMEO – SOA = 11.34 NM --- 15000 ft

Debido a que se maneja la información por puntos de notificación, en este caso de ascenso a, b, y c son los trayectos que se estipulan entre puntos, los cálculos y resultados que presentara el programa estarán de la misma forma especificados por trayectos y puntos de notificación.

Para encontrar la tasa de ascenso primero se debe hallar el tiempo que tarda la aeronave en cubrir este trayecto, para lo cual se aplica la siguiente ecuación.

$$t = \frac{x}{V_x} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde

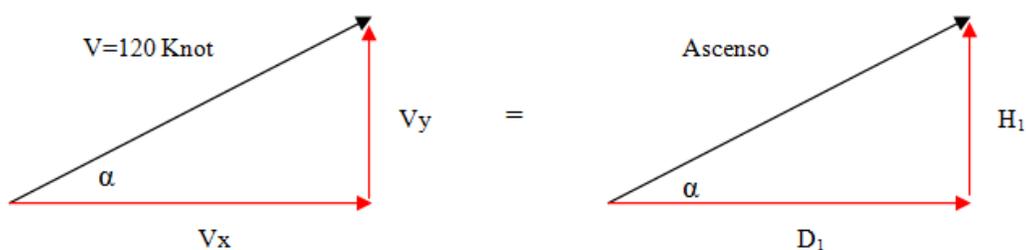
t = tiempo.

x = Distancia entre coordenadas.

V_x = Mejor velocidad de ascenso.

V_x La determina el fabricante (120 Knot) y es la velocidad a la cual la aeronave tendrá un mejor rango con un ascenso moderado, pasando esta velocidad a [Nm/Min] y reemplazamos en los tres tramos

La velocidad de ascenso tendrá 2 componentes una en el eje X y otra en el eje Y



Gráfica 2. Componentes de velocidad

Para la primera trayectoria (Pista - R.113) se tiene las distancias en el eje X y en el eje Y, mediante la función de Tangente se determinara el ángulo de ascenso para la aeronave. Las distancias se dejan en [Nm], para la altitud se tiene en cuenta la diferencia entre la inicial y la final.

$$\tan^{-1} = 19.15Nm/0.19914 Nm = 0.5957^\circ$$

Determinando el ángulo de ascenso se puede determinar las componentes de velocidad en X y Y de la aeronave.

$$V_x = 120 \text{ Knot} * \cos(0.5957^\circ) = 119.995514 \text{ Knot}$$

$$V_y = 120 \text{ Knot} * \sin(0.5957^\circ) = 1.24 \text{ Knot}$$

Teniendo en cuenta que la variación de la velocidad en los ejes es mínima se asumirá tanto para el ascenso como el descenso la velocidad neta en V_x ; se tendrá un error porcentual del 0.00224%.

Mediante la ecuación 1 se puede determinar el tiempo de la aeronave en cada trayecto, se hace la conversión de la velocidad de Knot a NM/min.

$$a) \quad t = \frac{19.15 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}/60} = 9.57 \text{ min}$$

$$b) \quad t = \frac{6.15 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}/60} = 3.07 \text{ min}$$

$$c) \quad t = \frac{11.34 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}/60} = 5.67 \text{ min}$$

Después de obtener los tiempos en cada trayecto se aplica la siguiente ecuación para hallar la tasa de ascenso.

$$R/C = \frac{H_2 - H_1}{t} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde

R/C = Tasa de ascenso.

H_1 = Altura inicial.

H_2 = Altura final.

t = tiempo.

Remplazando en cada uno de los trayectos tomados por los puntos de notificación anterior mente nombrados por medio de las letras (a, b, c) se obtiene la tasa de ascenso para cada caso.

$$a) \quad R/C = \frac{9600-8390}{9.57} = 126.327 \text{ ft/min}$$

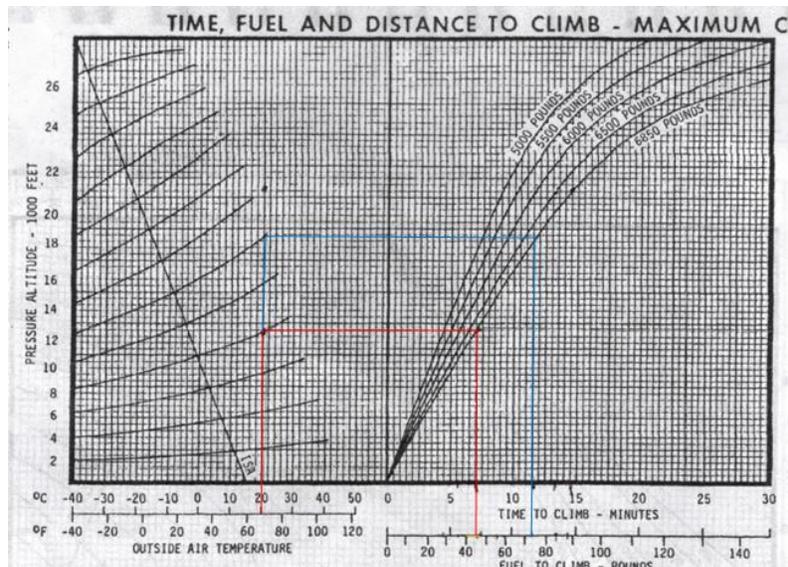
$$b) \quad R/C = \frac{10700 - 9600}{3.07} = 357.72 \text{ ft/min}$$

$$c) \quad R/C = \frac{15000-10700}{5.67} = 758.37 \text{ ft/min}$$

(COMPANY, 1978) Para hallar el consumo de combustible primero se debe obtener el régimen de RPM al que trabaja el motor dependiendo el ascenso de este, para esto es necesario obtener una ecuación a partir de las gráficas de *time, fuel and distance to climb – maximum climb* y *time, fuel and distance to climb – cruise climb*.

Para poder hallar las Rpm del motor y la ecuación necesaria se deben analizar dos gráficas. Primero se interpreta la gráfica 2. Que tiene como constante 2600 Rpm que es la máxima potencia que genera la aeronave, lo cual se ve afectado al momento de la ejecución del programa iniciara un análisis no superior a las 2600 RPMs debido a que es su máxima potencia.

En la gráfica 2 se toman dos altitudes, la primera será la altura promedio del aeropuerto del cual despegar la aeronave y la segunda será la altitud a la cual se quiere ascender, también se toma una temperatura de referencia del aeropuerto que en este caso serán 20°C y el peso de despegue de la aeronave, con estos datos vamos a la gráfica y se podrá saber cuánto será el combustible consumido y el tiempo que tardará en llegar a esa altitud.



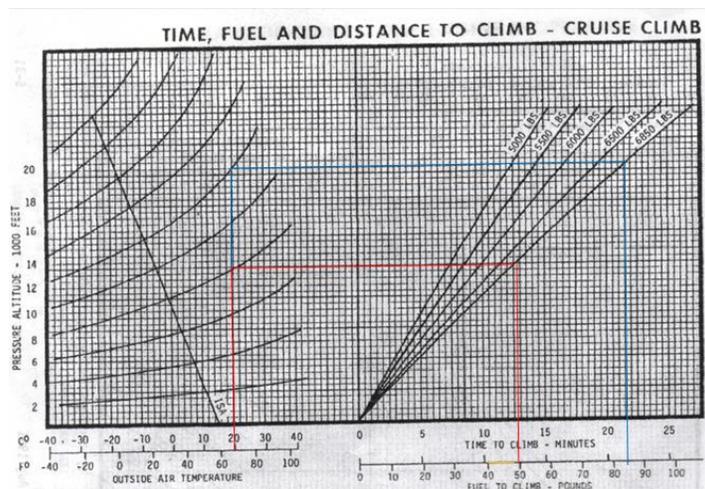
Gráfica 3. (COMPANY, 1978)Time fuel and distance to climb – máximo climb

De la gráfica 2 se obtienen dos resultados tanto de tiempo como de combustible estos se restan entre si y se obtendrá cuanto será el R/C y el combustible que tiene la aeronave a 2600 RPMs. Esto mismo se aplica para los diferentes pesos que se muestran en la tabla 7.

2600 RPM	
Peso (Lb)	R/C (Ft/min)
6850	869,5652174
6500	952,3809524
6000	1025,641026
5500	1250
5000	1428,571429

Tabla 7. R/C 2600 RPM

Como se puede observar el peso es inversamente proporcional al R/C de la aeronave, pero con solo esta tabla no se puede determinar las Rpm según el R/C, debido a esto es necesario basarse en la gráfica 3 para poder determinarlo.



Gráfica 4. (COMPANY, 1978)Time fuel and distance to climb – cruise climb

Igual como se hizo en la gráfica 2 se tabulan los ascensos y los pesos teniendo en cuenta que la gráfica 3 maneja parámetros de correlación entre las variables de entrada y salida en un régimen de 2450 Rpm.

2450 RPM	
Peso (Lb)	R/C (Ft/min)
6850	648,648649
6500	740,740741
6000	882,352941
5500	1016,94915
5000	1176,47059

Tabla 8. R/C @ 2450 rpm

Teniendo los datos de las tablas 7 y 8 se podrán determinar diferentes tasas de ascenso a distintos regímenes de RPM dependiendo del peso de la aeronave como se ve en la tabla 9.

6850 lb	
RPM	R/C (Ft/min)
2600	869,565217
2450	648,648649

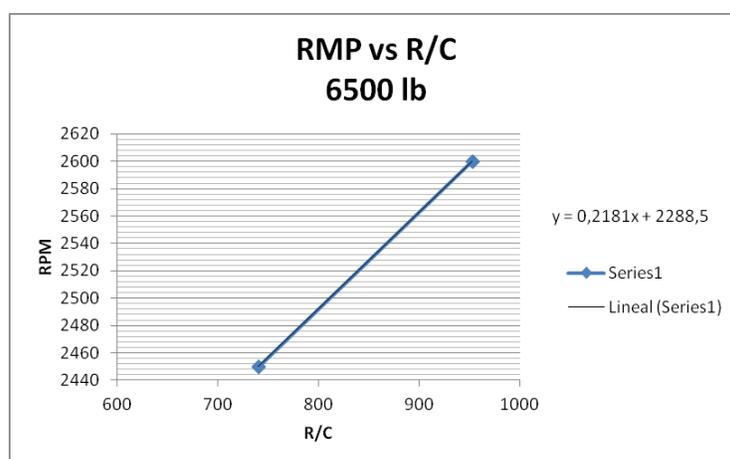
Tabla 9. R/C @ 6850 lb

De la misma forma que en la tabla 9 se tabula y se gráfica para cada uno de los pesos que son determinados por las gráficas 2 y 3 del POH, se asume que la función es lineal debido a los pocos datos que son obtenidos en las gráficas del POH. Se sigue el procedimiento para cada peso y se determina una ecuación lineal para cada uno, la cual es cotejada con cada uno de los datos de las tablas 9 y 10 para determinar el porcentaje de error que tiene cada ecuación.

6500 lb	
RPM	R/C (Ft/min)
2600	952,380952
2450	740,740741

Tabla 10. R/C @ 6500 lb

La ecuación lineal que tiene un menor porcentaje de error en comparación con las demás es la obtenida con la tabla 10, la cual arroja un error máximo del 4,6%; se debe tener en cuenta que la ecuación ya no dependerá del peso que lleve la aeronave en su fase de ascenso.

**Gráfica 5. Rpm vs. R/C**

Se asume la ecuación a partir de 2 puntos debido a que el POH de la aeronave solo se suministra 2 gráficas para el ascenso. A razón de esto se determinó la ecuación 3

$$RPM = (0,2181 * R/C) + 2288,5 \quad \text{Ecuación 3}$$

Mediante la ecuación 3 se puede hallar las Rpm del motor.

Donde

RPM = Revoluciones por minuto del motor

R/C = tasa de ascenso.

Remplazamos en cada uno de los casos

a) $RPM = (0,2181 * 126.327) + 2288,5 = 2316.06$

b) $RPM = (0,2181 * 357.72) + 2288,5 = 2366.51$

c) $RPM = (0,2181 * 758.37) + 2288,5 = 2453.9$

(COMPANY, 1978) Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante la siguiente ecuación que es sacada a partir de las tablas de *Cruise Performance*.

**CRUISE PERFORMANCE
WITH RECOMMENDED LEAN MIXTURE**

NOTE:

- At 10,000 Feet, increase speed by 5 KTAS for each 1000 pounds below 6850 pounds.
- At 15,000 Feet, increase speed by 5 KTAS for each 1000 pounds below 6850 pounds.
- Operations at peak EGT may be utilized with power settings within the boxes if the airplane is equipped with the optional EST system.

ALTITUDE	RPM	MP	-25°C (-13°F)			-5°C (STD TEMP) (23°F)			15°C (59°F)		
			PERCENT BHP	KTAS	TOTAL LB/HR	PERCENT BHP	KTAS	TOTAL LB/HR	PERCENT BHP	KTAS	TOTAL LB/HR
10,000 FEET	2450	29.5	76.5	191	229	72.0	190	216	67.5	188	203
	2450	27.0	68.8	182	207	64.7	181	195	60.7	180	183
	2450	25.0	62.8	175	189	59.1	174	178	55.5	172	167
	2450	23.0	56.9	168	172	53.6	166	162	50.2	162	152
	2300	30.3	76.5	191	229	72.0	190	216	67.5	188	203
	2300	28.0	69.4	183	209	65.3	182	197	61.3	181	184
	2300	26.0	63.5	176	191	59.8	175	180	56.0	173	169
	2300	24.0	57.6	169	174	54.2	167	164	50.8	163	154
	2300	22.0	51.3	159	155	48.3	156	146	45.3	150	137
	2200	30.3	72.1	186	216	67.8	185	204	63.6	183	191
	2200	28.0	65.8	178	198	61.9	178	186	58.1	176	175
	2200	26.0	60.4	172	182	56.8	171	171	53.3	168	161
2200	24.0	54.6	164	165	51.4	162	155	48.2	156	146	
2200	22.0	49.0	155	148	46.1	152	140	43.3	144	131	
2100	29.5	66.5	179	200	62.6	178	188	58.6	177	177	
2100	27.0	60.2	172	181	56.7	171	171	53.1	168	160	
2100	25.0	54.8	164	165	51.6	163	156	48.3	159	146	
2100	23.0	49.5	156	150	46.6	153	141	43.7	146	133	
2100	21.0	44.1	146	134	41.5	138	126	-----	-----	-----	
			-35°C (-30°F)			-15°C (STD TEMP) (6°F)			5°C (42°F)		
15,000 FEET	2450	29.5	76.5	199	229	72.0	198	216	67.5	197	203
	2450	27.0	68.8	190	207	64.7	190	195	60.7	187	183
	2450	25.0	62.8	183	189	59.1	181	178	55.5	178	167
	2450	23.0	56.9	174	172	53.6	172	162	50.2	166	152
	2300	30.3	76.5	199	229	72.0	198	216	67.5	197	203
	2300	28.0	69.4	191	209	65.3	190	197	61.3	188	184
	2300	26.0	63.5	184	191	59.8	182	180	56.0	179	169
	2300	24.0	57.6	175	174	54.2	173	164	50.8	168	154
	2300	22.0	51.3	165	155	48.3	160	146	45.3	149	137
	2200	30.3	72.1	194	216	67.8	193	204	63.6	192	191
	2200	28.0	65.8	187	198	61.9	186	186	58.1	183	175
	2200	26.0	60.4	180	182	56.8	178	171	53.3	174	161
2200	24.0	54.6	171	165	51.4	167	155	48.2	160	146	
2200	22.0	49.0	160	148	46.1	154	140	-----	-----	-----	
2100	29.5	66.5	187	200	62.6	187	188	58.6	184	177	
2100	27.0	60.2	179	181	56.7	178	171	53.1	173	160	
2100	25.0	54.8	171	165	51.6	168	156	48.3	161	146	
2100	23.0	49.5	161	150	46.6	155	141	-----	-----	-----	
2100	21.0	44.1	147	134	-----	-----	-----	-----	-----	-----	

Tabla 11. (COMPANY, 1978) Cruise performance

De la tabla 11 se puede concluir que independientemente de la altitud que maneje el Cessna siempre tendrá el mismo rendimiento, siempre y cuando se asuma que las condiciones climáticas sean ISA.

Para poder definir el consumo de la aeronave primero se asumirá que la aeronave siempre tendrá una presión de manifold de 28 in/hg durante el ascenso, se tabula el consumo de combustible según las Rpm que tenga la aeronave como se muestra en la tabla 12.

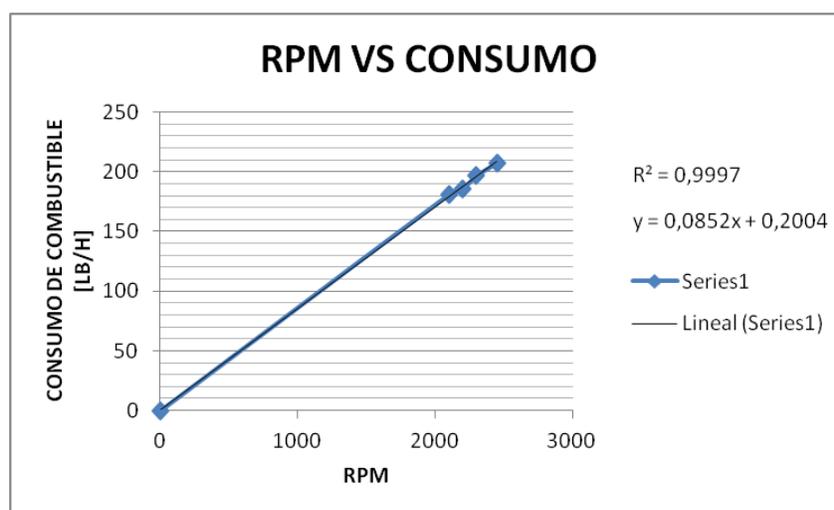
28 in Hg	
RPM	CONSUMO [Lb/H]

2450	207,6
2300	197
2200	186
2100	181,2
0	0

Tabla 12. Consumo de combustible @ Rpm

Antes de graficar es necesario hacer una corrección en la tabla, suministrando un dato adicional a los que se pueden obtener en las tablas de rendimiento del POH, suponiendo que el consumo de combustible será igual a cero cuando el régimen de RPM del motor llegue a cero.

Se grafica la tabla 12 y se sacan diferentes líneas de tendencia.



Gráfica 6. Rpm vs. Consumo de combustible

La línea de tendencia que más se asemeja a la gráfica es la lineal, como se muestra en la gráfica 5.

Esta ecuación obtenida de la gráfica 5 se multiplica por el tiempo [h] del trayecto.

$$Fuel = ((0,0852 * RPM) + 0,2004) * (t/60) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

Fuel = Combustible consumido

RPM = Revoluciones por minuto del motor.

R/C = Rata de ascenso.

t = Tiempo en minutos.

Reemplazando en cada uno de los casos

$$a) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2316.06) + 0,2004) * (9.57/60) = 31.52 \text{ lb}$$

$$b) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2366.51) + 0,2004) * (3.07/60) = 10.34 \text{ lb}$$

$$c) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2453.9) + 0,2004) * (5.67/60) = 19.77 \text{ lb}$$

4.1.3 CRUCERO

Teniendo en cuenta que la velocidad de la aeronave aumentará 5 nudos por cada 1000 lb por debajo del peso máximo de despegue (6850 lb) según el POH de la aeronave, se puede reescribir la Ecuación 1 de la siguiente forma.

$$t = \frac{X}{\left(\frac{(6850 - (6850 - W_{Fuel})) * 0,005}{60} + V\right)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

t = tiempo en minutos.

X = Distancia entre coordenadas.

V = Velocidad.

W_{Fuel} = Peso del combustible consumido

Asumiendo una velocidad de 180 Knots recomendada por el fabricante, reemplazamos para hallar el tiempo en crucero

$$d) \text{ } t = \frac{43}{\left(\frac{(6850 - (6850 - 61,64)) * 0,005}{60} + 180 \text{ Knot}\right)} = 46,03 \text{ min}$$

Para determinar el consumo de combustible primero se debe obtener el régimen de RPM al que trabaja el motor que dependerá de la velocidad que tenga la aeronave, basándose en las tablas de *Cruise Performance* Que proporciona el fabricante.

En la tabla 11 se puede encontrar las relaciones de velocidades y RPM con distintos regímenes de operación, en este caso se maneja los motores con 28 in/hg de maniful que es un régimen de operación normal. A continuación se muestra la relación entre RPM y Velocidad.

28 in Hg	
RPM	KIAS (Knots)
2450	186,4
2300	182
2200	178
2100	175,2
0	0

Tabla 13. Kias @ Rpm

Antes de graficar es necesario hacer una corrección en la tabla, suministrando un dato adicional a los que se pueden obtener en las tablas de rendimiento del POH, suponiendo que el consumo de combustible será igual a cero cuando la velocidad de la aeronave sea igual a cero.

Se grafica la tabla 13 y se sacan diferentes líneas de tendencia.

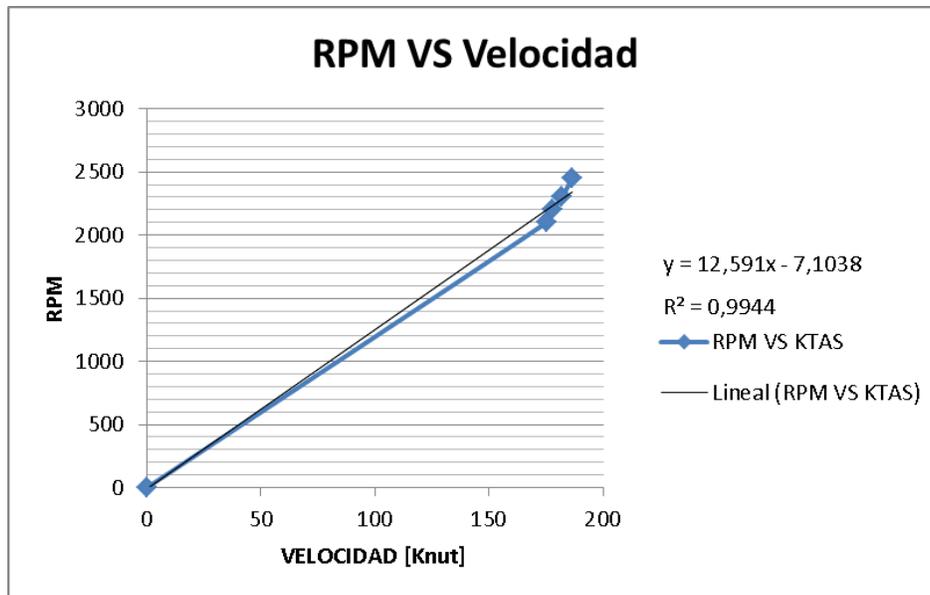


Tabla 14. Rpm vs. Velocidad

La línea de tendencia que más se asemejó a la gráfica es la lineal, como se muestra en la tabla 14.

$$RPM = (12,591 * V_C) - 7,1038 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

RPM = Revoluciones por minuto del motor

V_C = Velocidad de crucero en Nudos

Remplazamos

$$d) \quad RPM = (12,591 * 180) - 7,1038 = 2259.27$$

Teniendo las RPM del motor se puede calcular el consumo de combustible mediante la Ecuación

4

$$d) \quad RPM = ((0,0852 * 2259.27) + 0,2004) * (14.33/60) = 41.03$$

4.1.4 DESCENSO

Como se hizo en el punto 1.2 de igual forma se hallará las tasas de descenso, a continuación se muestran las distancias entre coordenadas y la altitud mínima que debe tener la aeronave según la

carta normalizada de entrada [EGEPI 2A] y la carta de aproximación [IAC VORA] de Villavicencio, estas cartas podrán ser consultadas en la página oficial de la UAEAC en la sección de AIP.

- d) EGEPI – 18DMG/VV = 2 NM --- 13.000 ft.
- e) 18DMG/VV – VVC/VOR = 18 NM --- 4.000 ft.
- f) VVC/VOR – MAPT = 12 NM --- 2.000 ft.
- g) MAPT – PISTA (SKVV) = 3 NM --- 1.381 ft.

Asumiendo una velocidad de descenso de 190 Knut según las recomendaciones del fabricante y de 120 de aproximación debido a que se debe disminuir la velocidad para el procedimiento de aproximación, aplicando la Ecuación 5 se encuentra el tiempo en cada trayectoria.

$$e) \quad t = \frac{2 \text{ NM}}{(((6850-(6850-107.67))*0,005)+ 190 \text{ Knot})/60} = 0,629 \text{ min}$$

$$f) \quad t = \frac{18 \text{ NM}}{(((6850-(6850-107.67))*0,005)+ 190 \text{ Knot})/60} = 5,66 \text{ min}$$

$$g) \quad t = \frac{12 \text{ NM}}{(((6850-(6850-107.67))*0,005)+ 120 \text{ Knot})/60} = 5,97 \text{ min}$$

$$h) \quad t = \frac{3 \text{ NM}}{(((6850-(6850-107.67))*0,005)+ 120 \text{ Knot})/60} = 1,49 \text{ min}$$

Después de obtener los tiempos en cada trayecto se aplica la siguiente ecuación para hallar la rata de descenso.

$$R/D = \frac{H_1 - H_2}{t} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde,

R/D = Rata de descenso.

H_1 = Altura inicial.

H_2 = Altura final.

t = tiempo.

Se reemplaza en cada uno de los trayectos y se obtiene la tasa de descenso para cada caso.

$$e) \quad \frac{15000-13000}{0.629} = 3175.63 \text{ ft/min}$$

$$f) \quad \frac{13000 - 4000}{5.66} = 1942.19 \text{ ft/min}$$

$$g) \quad \frac{4000-2000}{5.97} = 334.82 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad \frac{2000-1381}{1.49} = 414.51 \text{ ft/min}$$

(COMPANY, 1978) Para hallar el consumo de combustible primero se debe obtener el régimen de RPM al que trabaja el motor dependiendo de la tasa de descenso que tenga la aeronave, para esto se utiliza la siguiente ecuación que es tomada a partir de las gráficas de *time, fuel and distance to climb – maximum climb*; *time, fuel, distance to climb – cruise climb* y *time, fuel and distance to descend, fuel and distance to descent*.

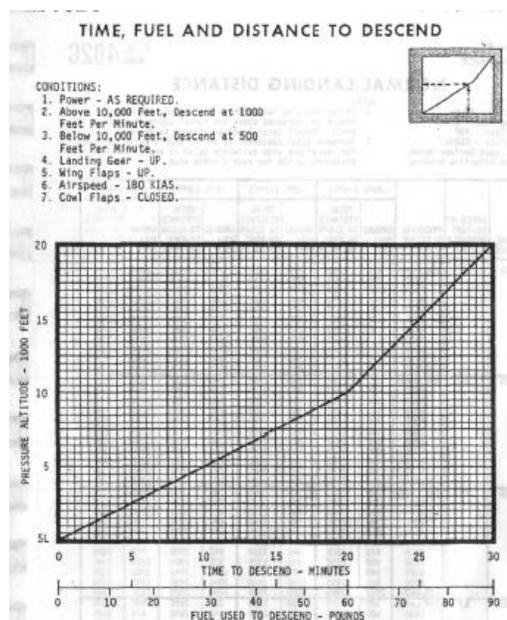


Tabla 15. (COMPANY, 1978) Time, fuel and distance to descend

La ecuación 3 de RPM para el ascenso puede ser utilizada de igual manera para el descenso con la diferencia que la tasa de descenso será negativa, esta ecuación es comparada con los datos de

la gráfica de *time, fuel and distance to descend* del POH de la aeronave, dando un porcentaje de error del 0,3745%. Verificada la ecuación puede ser utilizada en el análisis de descenso.

$$RPM = (0,2181 * (-R/D)) + 2288,5 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

RPM = Revoluciones por minuto del motor

R/D = Rata de ascenso.

Remplazando en cada uno de los casos

$$e) \quad RPM = (0,2181 * (-3175.63)) + 2288,5 = 1595.89$$

$$f) \quad RPM = (0,2181 * (-1942.19)) + 2288,5 = 1942,19$$

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-334.82)) + 2288,5 = 2215,47$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-414.51)) + 2288,5 = 2198,09$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4

$$e) \quad Fuel = ((0,0852 * 1595.89) + 0.2004) * (9.57/60) = 1.429 \text{ lb/min}$$

$$f) \quad Fuel = ((0,0852 * 1942,19) + 0.2004) * (3.07/60) = 15.651 \text{ lb/min}$$

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 2215,47) + 0.2004) * (5.67/60) = 18.81 \text{ lb/min}$$

$$h) \quad Fuel = ((0,0852 * 2198,09) + 0.2004) * (5.67/60) = 4.66 \text{ lb/min}$$

4.1.5 ATERRIZAJE

Mediante la tabla 5 se podrá determinar la mínima longitud de pista que requiere la aeronave para aterrizar en el aeropuerto de Villavicencio.

Se asumió una temperatura de referencia de 30°C y el peso máximo de aterrizaje, se interpola entre los dos valores que se encuentran mas cercanos a la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 16.

T=30°c W=6850	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
1000	1160
1381	1175,24
2000	1200

Tabla 16. Longitud de pista @ 6850

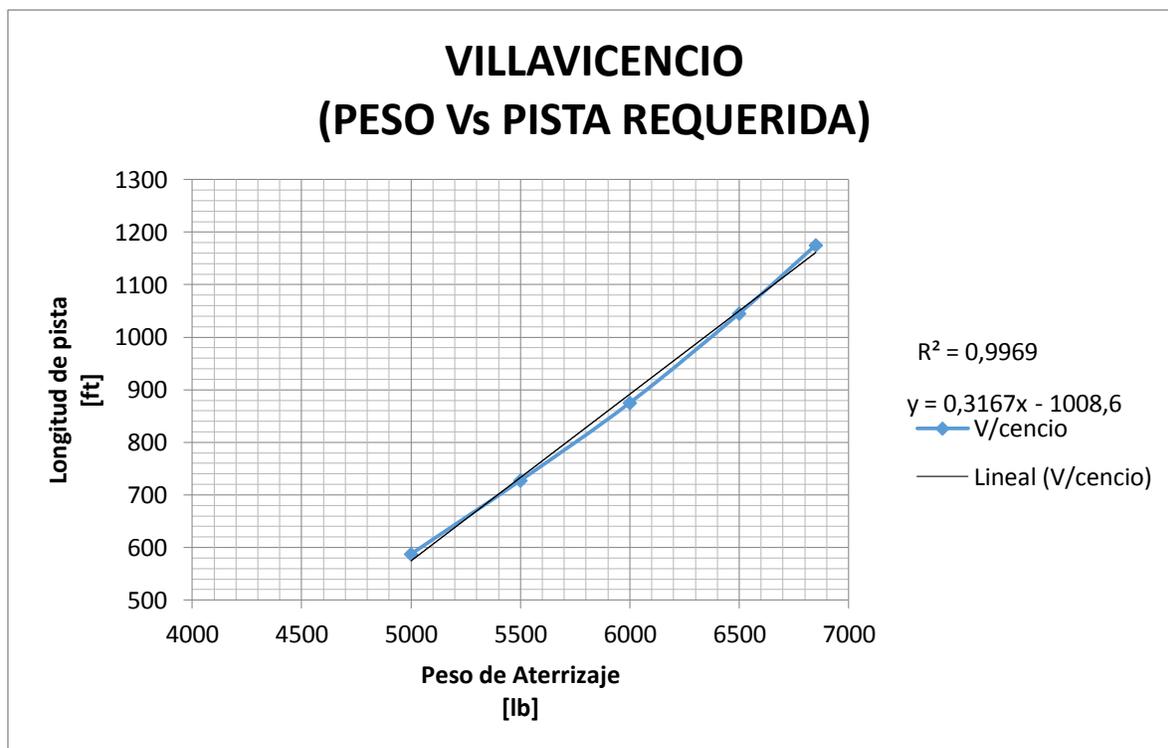
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso que con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto de la misma forma se interpola y calculan las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 15, luego tabulamos como se muestra en la tabla 17.

T= 30°c H= 1381 Ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1175,24
6500	1045,24
6000	875,24
5500	727,62
5000	587,62

Tabla 17. Longitud de pista

Gráficamente se obtiene una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 7. Peso vs. Longitud de pista requerida

$$l = (0.3167 * W) - 1008.6$$

Ecuación 9

Donde

l = Longitud de pista requerida

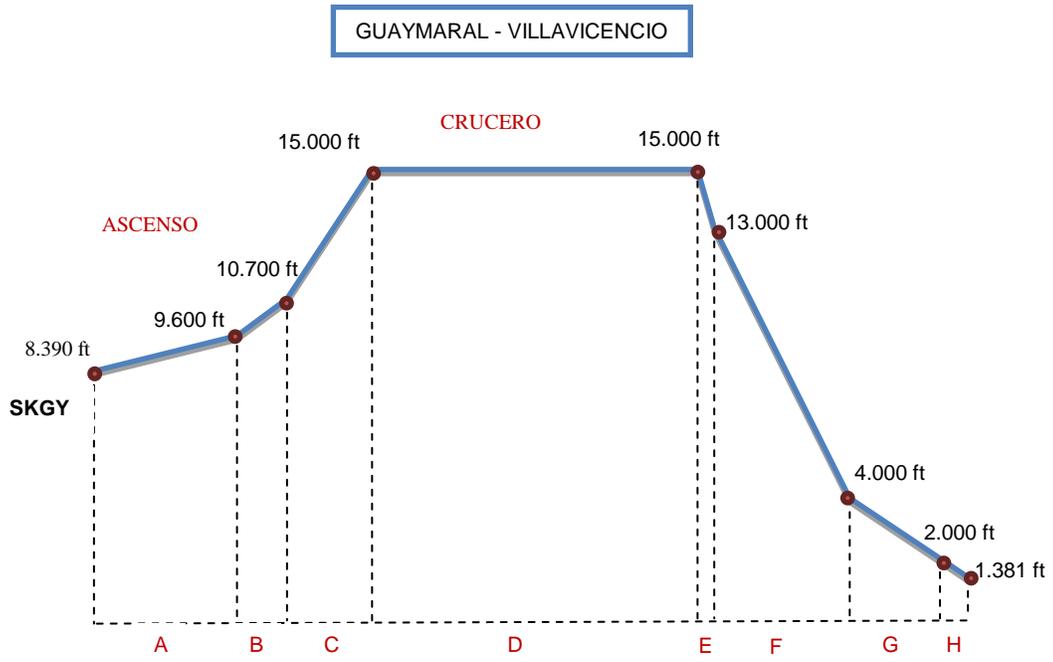
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Sabiendo que la aeronave consumió 148,9 lb de combustible en el trayecto se puede restar al peso total y saber cuánto es la longitud de pista

$$\text{i) } l = (0,3167 * (6850 - 148.23)) - 1008,6 = 1093.57 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitara una longitud mínima de pista de 1093.57 ft para poder aterrizar.

4.1.6 GRÁFICA



Gráfica 8. Ruta entre SKGY y SKVV

GUAYMARAL- VILLAVIENCIO									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
AEROPUERTO GUAYMARAL			0	8390	0	0	0	0	0
A	PISTA	R-113°	19,15	9600	120	9,575	126,371	2316,061	31,522
B	R-113°	ROMEO	6,15	10700	120	3,075	357,724	2366,520	10,344
C	ROMEO	SOA	11,34	15000	120	5,67	758,377	2453,902	19,776
					TOTAL A.	18,32		TOTAL A.	61,642
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
D	SOA	EGEPI	43	15000	180,31	14,309	N/A	2263,157	46,032
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
E	EGEPI	18DME/VVC	2	13000	190,54	0,6298	3175,64	1595,893	1,429
F	18DME/VVC	VVC -VOR	18	4000	190,54	5,668	1587,82	1942,197	15,651
G	VVC -VOR	MAPT	12	2000	120,54	5,973	334,829	2215,474	18,811
H	MAPT	PISTA	3	1381	120,54	1,493	414,518	2198,094	4,666
					TOTAL D.	13,764		TOTAL D.	40,558
					TOTAL	46,393		TOTAL	148,232

Tabla 18. Datos operacionales ruta SKGY - SKVV

4.1.7 ALTERNO

El alterno más lejano para hacer esta ruta será el aeropuerto Santiago Vila ubicado en la ciudad de Girardot, para lo cual, el peor de los casos sería que se reportara como cerrado el aeropuerto de Villavicencio, cuando la aeronave se encuentra cerca de VOR- VV o sobrepasándolo, en este caso sería la distancia más larga que necesitaría cubrir la aeronave para llegar al alterno.

4.1.8 ASCENSO

El ascenso se asume que empieza justo en el VOR – VV que se encuentra a 4000 ft de altura, A continuación se relaciona el ascenso hasta SALGU.

$$\text{VOR VV} - \text{SALGU} = 25 \text{ NM} \text{ --- } 15 \text{ ft}$$

Se asume una velocidad promedio de 120 Knot y con la Ecuación 5 se encuentra el tiempo.

$$i) \quad t = \frac{25 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 124.75)\right) * 0,005\right) + 120 \text{ Knot}\right) / 60} = 12.43 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 2. Se encuentra la tasa de ascenso:

$$R/C = \frac{1500 - 4000}{12.43} = 884.57 \text{ ft/min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa tasa de ascenso, mediante Ecuación 3

$$i) \quad \text{RPM} = (0,2181 * 884.57) + 2288,5 = 2481.42$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$i) \quad \text{Fuel} = \left(\left(0,0852 * 2481.42\right) + 0,2004\right) * (12.43/60) = 43.85 \text{ lb/min}$$

4.1.9 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knot y Aplicando la Ecuación 5. Se puede encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$j) \quad \frac{42 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 168,61)\right) * 0,005\right) + 180 \text{ Knot}\right) / 60} = 13.93 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de Rpm a la que trabaja el motor con esa velocidad, mediante Ecuación 6

$$j) \quad \text{RPM} = (12,591 * 180,84) - 7,1038 = 2269.89$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$j) \quad \text{Fuel} = \left(\left(0,0852 * 2269.89\right) + 0,2004\right) * (13.93/60) = 44.96 \text{ lb/min}$$

4.1.10 DESCENSO

A continuación se relacionan las alturas y las distancias entre puntos para el descenso.

k) PAPAN – GIR-VOR = 25 NM --- 5.000 ft.

l) GIR-VOR – 5-DME = 4,15 NM --- 4.000 ft.

m) 5-DME – MAPT = 8,15 NM --- 2.160 ft.

n) MAPT – PISTA (SKGI) = 2,4 NM --- 902 ft.

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knot y aproximación 120 Knot, aplicando la Ecuación 5 se encuentra el tiempo en cada trayectoria.

$$k) \quad t = \frac{25 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 213,57)\right) * 0,005\right) + 190 \text{ Knot}\right) / 60} = 7.85 \text{ min}$$

$$l) \quad t = \frac{4,15 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 213,57)\right) * 0,005\right) + 120 \text{ Knot}\right) / 60} = 2.057 \text{ min}$$

$$m) \quad t = \frac{8,15 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 213,57)\right) * 0,005\right) + 120 \text{ Knot}\right) / 60} = 4.03 \text{ min}$$

$$n) \quad t = \frac{2,4 \text{ NM}}{\left(\left(\left(6850 - (6850 - 213,57)\right) * 0,005\right) + 120 \text{ Knot}\right) / 60} = 1.18 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 7. Se puede encontrar la Tasa de Descenso

$$k) \quad R/D = \frac{15000 - 5000}{7.85} = 1273.78 \text{ ft/min}$$

$$l) \quad R/D: \frac{5000 - 4000}{2.057} = 486.21 \text{ ft/min}$$

$$m) \quad R/D = \frac{4000 - 2160}{4.03} = 455.55 \text{ ft/min}$$

$$n) \quad R/D = \frac{2160 - 902}{1.18} = 1057.66 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de Rpm del motor.

$$k) \quad RPM = (0,2181 * (-1273.78)) + 2288,5 = 2010.68$$

$$l) \quad RPM = (0,2181 * (-486.21)) + 2288,5 = 2182.45$$

$$m) \quad RPM = (0,2181 * (-455.55)) + 2288,5 = 2189.14$$

$$n) \text{ RPM} = (0,2181 * (-1057.66)) + 2288,5 = 2057.82$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$i) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2010.68) + 0.2004) * (7.85/60) = 22.44 \text{ lb/min}$$

$$j) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2182.45) + 0.2004) * (2.05/60) = 6.38 \text{ lb/min}$$

$$k) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2189.14) + 0.2004) * (4.03/60) = 12.52 \text{ lb/min}$$

$$l) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2057.82) + 0.2004) * (1.18/60) = 3.48 \text{ lb/min}$$

4.1.11 ATERRIZAJE

Mediante la tabla 12 se podrá determinar la mínima longitud de pista que requiere la aeronave para aterrizar en el aeropuerto de Girardot.

Asumiendo una temperatura de referencia de 30°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 19.

T=30°C W=6850	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
0	1110
902	1155,1
1000	1160

Tabla 19. Longitud de pista

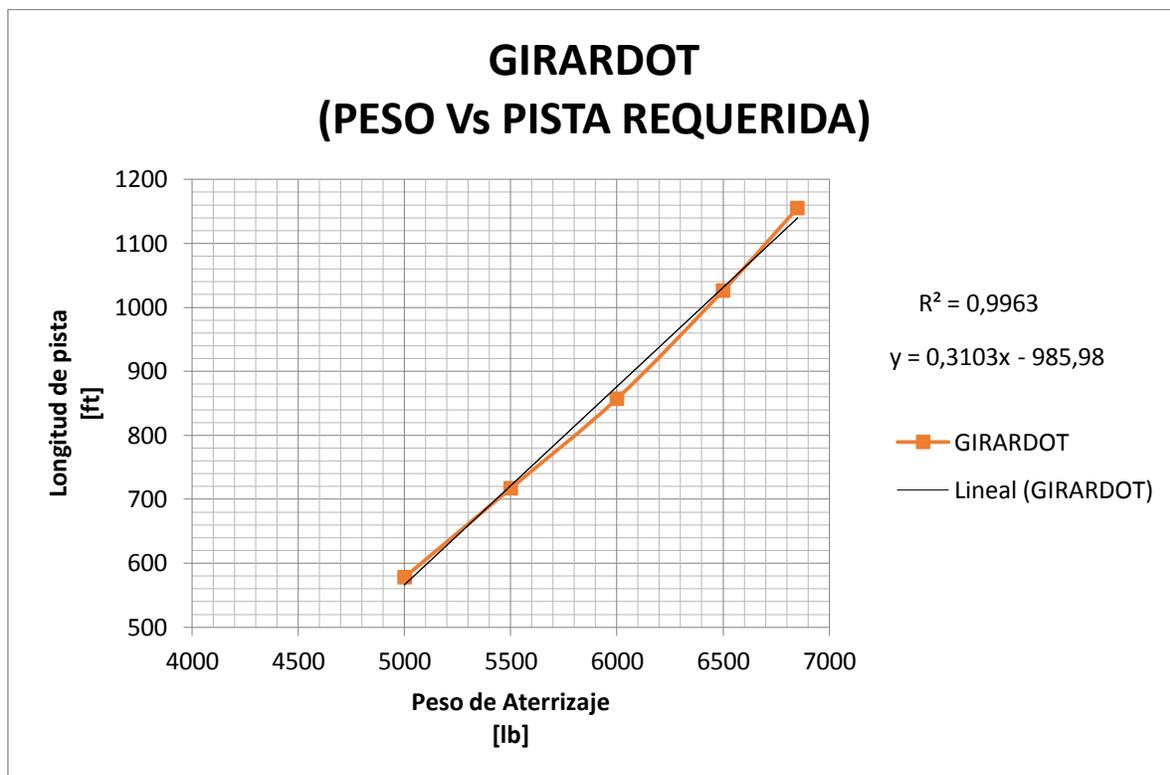
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso que con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto de la misma forma se realiza interpolación calculando así las longitudes de pista para los diferentes pesos de la tabla 18, luego se tabula como se muestra en la tabla 20.

T= 30°C H= 1381 Ft	
Peso (Lb)	Longitud (Ft)
6850	1155,1
6500	1026,08
6000	857,06
5500	717,06
5000	578,04

Tabla 20. Longitud de pista

Gráficando se obtenemos una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 10. Peso vs. Longitud de pista requerida

$$l = (0.3103 * W) - 985,98$$

Ecuación 10

Donde

l = Longitud de pista requerida

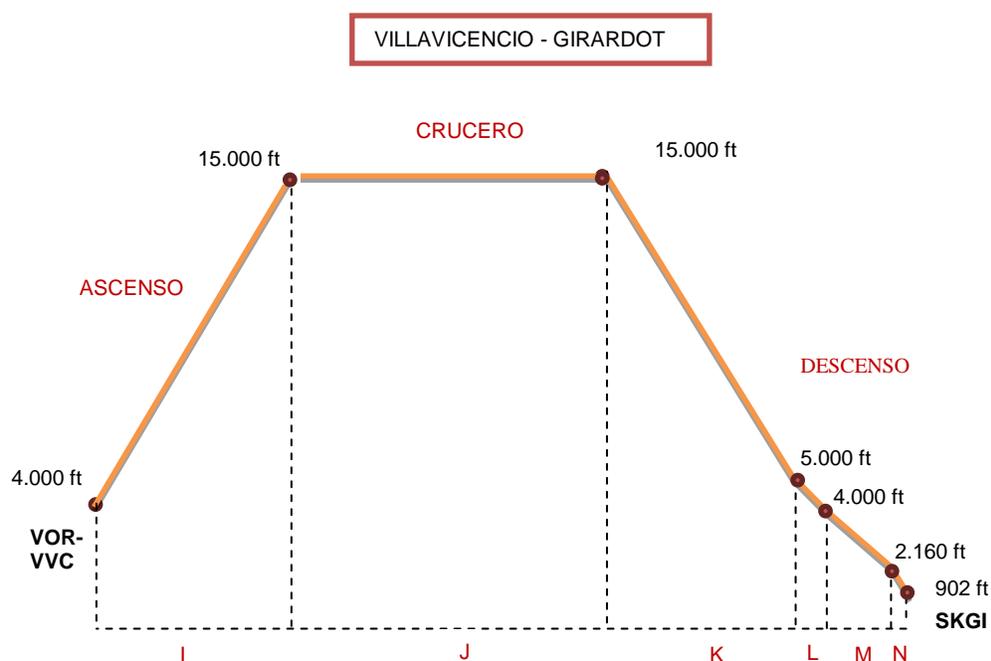
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Sabiendo que la aeronave consumió 148,9 Lb de combustible en el trayecto se puede restar al peso total y saber cuánto es la longitud de pista

$$a) l = (0,3103 * (6850 - 262.26)) - 985.98 = 1058.19 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitara una longitud mínima de pista de 1058.19 ft para poder aterrizar.

4.1.12 GRÁFICA



Gráfica 9. Ruta entre SKVV – SKGI

ALTERNO (VILLAVICENCIO- GIRARDOT)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	VVC-VOR		0	4000	0	0	0	0	0
I	VOR VV	SALGU	25	15000	120,624	12,435	884,574	2481,426	43,859
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
J	SALGU	PAPAD	42	15000	180,84	13,9347	N/A	2269,891	44,9616
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
K	PAPAD	GIR-VOR	25	5000	191,07	7,851	1273,78	2010,687	22,441
L	GIR-VOR	5-DME	4,15	4000	121,07	2,057	486,216	2182,456	6,381
M	5-DME	MAPT	8,15	2160	121,07	4,039	455,552	2189,144	12,569
N	MAPT	PISTA	2,4	902	121,07	1,189	1057,66	2057,824	3,480
					TOTAL ALT	41,5		TOTAL ALT	133,691

Tabla 21. Datos operacionales ruta SKVV - SKGI

Nota: gráfica origen-destino-alterno se encuentra en el anexo 4.

4.1.13 OPTIMIZACIÓN RUTA

4.1.13.1 ASCENSO CONSTANTE

Para tener una optimización del tiempo de ascenso de la aeronave y un mejor consumo de combustible se sugiere que esta tenga un ascenso constante siempre y cuando esté por encima de los niveles mínimos en ruta.

El ascenso constante de la aeronave se podrá calcular de la misma forma que se hallaron los ascensos anteriores, en vez de seccionar el ascenso se toma como uno solo trayecto.

PISTA – SOA = 36.64 NM --- 15000 ft

Se asume una velocidad promedio de 120 Knot y con la Ecuación 1 se encuentra el tiempo.

$$a) \quad t = \frac{36 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}} = 18.32 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 2.se encuentra la tasa de ascenso.

$$a) R/C = \frac{1500-4000}{18.32} = 360.66 \text{ ft/min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de la aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa tasa de ascenso, mediante Ecuación 3

$$a) RPM = (0,2181 * 360.66) + 2288,5 = 2360.66$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$a) Fuel = ((0,0852 * 2360.66) + 0,2004) * (18.32/60) = 61.47 \text{ lb/min}$$

4.1.13.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knot y Aplicando la Ecuación 5. Se puede encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$b) \frac{43 \text{ NM}}{(((6850-61.47)*0,005)+ 180 \text{ Knot})/60} = 14.309 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de la aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa velocidad, mediante Ecuación 6

$$b) RPM = (12,591 * 180,37) - 7,1038 = 2263.14$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$b) Fuel = ((0,0852 * 2263.14) + 0,2004) * (14.309/60) = 46.032 \text{ lb}$$

4.1.13.3 DESCENSO CONSTANTE

Para tener una optimización del tiempo de descenso de la aeronave y un mejor consumo de combustible se sugiere que esta tenga un descenso constante siempre y cuando esté por encima de los niveles mínimos en ruta o tenga una autorización previa del T.C.

El descenso constante de la aeronave se podrá calcular de la misma forma que se hallaron los descensos anteriores, en vez de seccionar el descenso se toma como uno solo trayecto.

- EGEPI – VVC-VOR = 20 NM --- 4000 ft
- VVC-VOR - PISTA = 15 NM --- 1381 ft

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knot y aproximación 120 Knot, aplicando la Ecuación 5 se encuentra el tiempo en cada trayectoria.

$$c) \quad t = \frac{20 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 107.504)) * 0,005) + 190 \text{ Knot}) / 60} = 6.29 \text{ min}$$

$$d) \quad t = \frac{15 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 107.504)) * 0,005) + 120 \text{ Knot}) / 60} = 7.46 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 7. Se puede encontrar la tasa de Descenso

$$c) \quad R/D = \frac{15000 - 4000}{6.29} = 1746.59 \text{ ft/min}$$

$$d) \quad R/D: \frac{4000 - 1381}{7.46} = 350.76 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de Rpm del motor.

$$c) \quad RPM = (0,2181 * (-1746.59)) + 2288,5 = 1273.76$$

$$d) \quad RPM = (0,2181 * (-350.76)) + 2288,5 = 562.49$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$m) \quad Fuel = ((0,0852 * 1273.76) + 0.2004) * (7.85/60) = 22.18 \text{ lb}$$

$$n) \quad Fuel = ((0,0852 * 562.49) + 0.2004) * (7.28/60) = 22.32 \text{ lb}$$

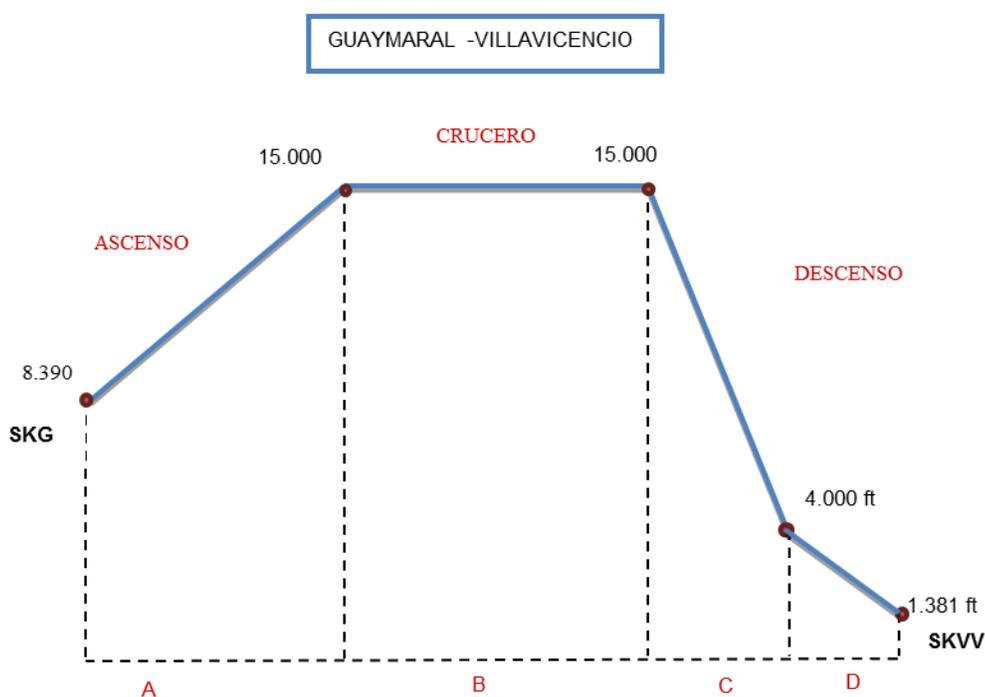
4.1.13.4 ATERRIZAJE

Para determinar la longitud de pista mínima que requiere la aeronave se puede utilizar Ecuación 9.

$$a) l = (0,3167 * (6850 - 147.88)) - 1008,6 = 1113.96 \text{ Ft}$$

La aeronave requiere de 1113.96 Ft de pista para poder aterrizar

4.1.13.5 GRÁFICA OPTIMIZADA



Gráfica 10. Ruta entre SKGY – SKVV optimizada

RUTA OPTIMIZADA (GUAYMARAL- VILLAVICENCIO)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
A	PISTA	SOA	36,64	15000	120	18,32	360,808	2360,662	61,472
CRUSERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
B	SOA	EGEPI	43	15000	180,307	14,309	N/A	2263,146	46,032
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
C	EGEPI	VVC-VOR	20	4000	190,538	6,298	1746,594	1876,478	16,803
D	VVC-VOR	PISTA	15	1381	120,538	7,467	350,764	2205,755	23,411
								TOTAL	147,718

Tabla 22. Datos operacionales ruta SKVV - SKGI

4.1.14 OPTIMIZACIÓN ALTERNO

4.1.14.1 ASCENSO CONSTANTE

El ascenso se asume que empieza justo en el VOR – VV que se encuentra a 4000 ft de altura, A continuación se relaciona el ascenso hasta SALGU.

$$\text{VOR VV} - \text{SALGU} = 25 \text{ NM} \text{ --- } 15 \text{ ft}$$

Se asume una velocidad promedio de 120 Knot y con la Ecuación 5 se encuentra el tiempo.

$$e) \quad t = \frac{25 \text{ NM}}{\left(\frac{(6850-124.3) \cdot 0,005}{60} + 120 \text{ Knot}\right)} = 12.43 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 2. Se encuentra la tasa de ascenso:

$$R/C = \frac{1500-4000}{12.43} = 884.55 \text{ ft/min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de la aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa tasa de ascenso, mediante Ecuación 3

$$e) \quad \text{RPM} = (0,2181 * 884.55) + 2288,5 = 2465.41$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$e) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2481.42) + 0,2004) * (12.43/60) = 43.57 \text{ lb}$$

4.1.14.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knots y Aplicando la Ecuación 5. Se podrá encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$f) \frac{42 \text{ NM}}{(((6850-167,88)*0,005)+ 180 \text{ Knot})/60} = 13.93 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de la aeronave primero es necesario hallar el régimen de Rpm a la que trabaja el motor con esa velocidad, mediante Ecuación 6

$$f) \text{ RPM} = (12,591 * 180,84) - 7,1038 = 2269.84$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$f) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2269.84) + 0,2004) * (13.93/60) = 44.96 \text{ lb}$$

4.1.14.3 DESCENSO CONSTANTE

El descenso constante de la aeronave se podrá calcular de la misma forma que se hallaron los descensos anteriores, en vez de seccionar el descenso se toma como uno solo trayecto.

PAPAD – VOR - GIR = 25 NM --- 5000 ft

VVC-VOR - PISTA = 14.7 NM --- 902 ft

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knot y aproximación 120 Knot, aplicando la Ecuación 5 encontramos el tiempo en cada trayectoria.

$$g) \quad t = \frac{25 \text{ NM}}{(((6850-(6850-105.34))*0,005)+ 190 \text{ Knot})/60} = 7.85 \text{ min}$$

$$h) \quad t = \frac{14.7 \text{ NM}}{(((6850-(6850-105.34))*0,005)+ 120 \text{ Knot})/60} = 7.28 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 7. Se puede encontrar la tasa de Descenso

$$g) \quad R/D = \frac{15000-5000}{7.85} = 1273.76 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D: \frac{5000-902}{7.28} = 562.49 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de Rpm del motor.

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-1273.76)) + 2288,5 = 1876.47$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-562.49)) + 2288,5 = 2205.75$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 1876.47) + 0.2004) * (6.29/60) = 16.802 \text{ lb}$$

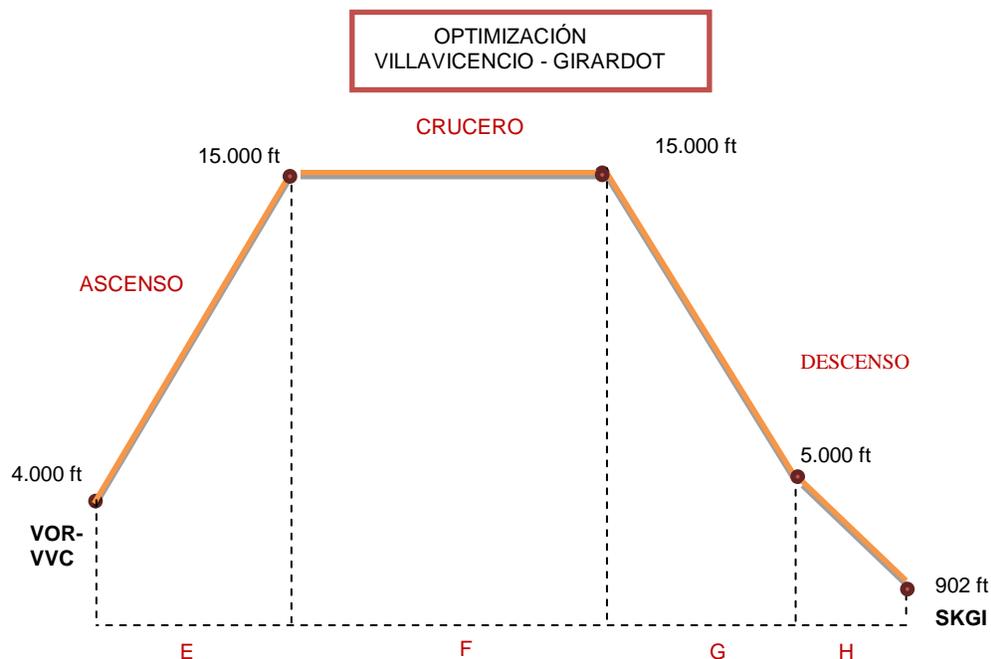
$$h) \quad Fuel = ((0,0852 * 2205.75) + 0.2004) * (7.46/60) = 23.41 \text{ lb}$$

4.1.14.4 ATERRIZAJE

Para determinar la longitud de pista mínima que requiere la aeronave se puede utilizar Ecuación 10.

$$a) \quad l = (0,3103 * (6850 - 258.51)) - 985.98 = 1059.35 \text{ Ft}$$

La aeronave requiere de 1059.35 Ft de pista para poder aterrizar



OPTIMIZACIÓN ALTERNO (VILLAVICENCIO- GIRARDOT)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	VOR VV		0	4000	0	0	0		
E	VOR VV	SALGU	25	15000	120,622	12,436	884,558	2465,412	43,577
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
F	SALGU	PAPAD	42	15000	180,839	13,935		2269,845	44,962
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
G	PAPAD	GIR-VOR	25	5000	191,064	7,851	1273,762	1988,02	22,189
H	GIR-VOR	PISTA	14,7	902	121,064	7,285	562,496	2155,80	22,327
TOTAL									133,054244

Tabla 23. Datos operacionales ruta SKVV – SKGI

4.2 GUAYMARAL (SKGY)- BARRANCABERMEJA (SKEJ)

Nivel de crucero: 15,000 ft

Distancia Total: 161 NM

	NOMBRE	ELEVACION	LONGITUD	TEMP. ½
Origen	Flaminio Suarez Camacho	8,390 ft	1,720 m x 20 m	14° C
Destino	Yariguies	397 ft	1,800 m x 45 m	36° C
Alterno	Camilo Daza	1,098 ft	2,320 x 45 m	34° C

Tabla 24. Datos generales de aeropuerto (SKGY – SKEJ)

Aerovía: SKGY- ROMEO 3 – W44 – ZIP - BUV – G431/W44- ESLOT - ASANO – ARMIR –
VOR Z – SKEJ

Trayecto/ Espera	R (ROMEO)	SOA (SOACHA) VOR/DME	SOA- ZIP (ZIPA) VOR/DME	ZIP- BUV (BUVIS) VOR/DM E	BUV- ESLOT	ESLOT - ASANO	ASANO - ARMIR	ARMIR – EJA (B/BERMEJA VOR/DME
MEA	10,700 ft	14,000 ft	14,000 ft	15,000 ft	13,000 ft	13,000 ft	11,000 ft	3,000 ft

Tabla 25. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKEJ)

Alterno: CUCUTA (SKCC)

Nivel de crucero: 16,000 ft

Distancia Total: 109 NM

Aerovía alternativo: VOR Z – G431 – OSAMA – MOXIN – ESITU – ESITU 1A – ILS – CUC -
SKCC

Trayecto/ Espera	EJA (B/BERMEJA) VOR/DME	EJA- OSAMA	OSAMA - MOXIN	MOXIN - ESITU	ESITU – CUC (CUCUTA) VOR/DME
MEA	3,000 ft	7,000 ft	15,000 ft	16,000 ft	6,000 ft

Tabla 26. Altitudes puntos de notificación (SKEJ – SKCC)

4.2.1 DESPEGUE

La mínima longitud de pista que requiere la aeronave será de 3,178 Ft.

4.2.2 ASCENSO

Para calcular las tasas de ascenso de la aeronave se tienen en cuenta la altitud y distancia entre cada punto de notificación según se define en la carta de salida normalizada SID [ROMEO3].

ALTURA DE GUAYMARAL = 8390 ft.

- d) PISTA – R.113 = 19.15 NM --- 9,600 ft
- e) R.113° - ROMEO = 6.15 NM --- 10,700 ft.
- f) ROMEO – SOA = 11.34 NM --- 15,000 ft

Hallando el tiempo se puede calcular la tasa de ascenso que tiene la aeronave para cubrir cada tramo del trayecto hasta alcanzar la altitud de crucero. Entonces de la Ecuación 1:

- a) $t = \frac{19.15 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 9.57 \text{ min}$
- b) $t = \frac{6.15 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 3.075 \text{ min}$
- c) $t = \frac{11.34 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 5.67 \text{ min}$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la Ecuación 2, R/C

- a) $R/C = \frac{9600-8390}{9.57} = 126.37 \text{ ft/min}$
- b) $R/C = \frac{10700 - 9600}{3.075} = 357.72 \text{ ft/min}$
- c) $R/C = \frac{15000-10700}{5.67} = 758.37 \text{ ft/min}$

Para calcular las RPM del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3 una vez calculado el R/C:

$$a) \text{ RPM} = (0,2181 * 126.327) + 2288,5 = 2316.06$$

$$b) \text{ RPM} = (0,2181 * 357.72) + 2288,5 = 2366.51$$

$$c) \text{ RPM} = (0,2181 * 758.37) + 2288,5 = 2453.9$$

Una vez calculado las RPM se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$a) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2316.06) + 0,2004) * (9.57/60) = 31.52 \text{ lb}$$

$$b) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2366.51) + 0,2004) * (3.07/60) = 10.34 \text{ lb}$$

$$c) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2443.9) + 0,2004) * (5.67/60) = 19.77 \text{ lb}$$

4.2.3 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de crucero de 180 Knots nuevamente empleando la ecuación 5 para encontrar el tiempo en el que la aeronave va a estar en la fase de crucero, entonces:

- DISTANCIA = 62 NM – 15,000 ft

$$d) t = \frac{62}{((6850 - (6850 - 61.64) * 0.005) + 180) / 60} = 20.6 \text{ min}$$

En crucero las RPM del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$d) \text{ RPM} = (12,591 * 180.31) - 7,1038 = 2263.15$$

Y el consumo estará dado según las RPM entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4

$$d) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2263.15) + 0,2004) * (20.6/60) = 66.37 \text{ lb}$$

4.2.4 DESCENSO

Igualmente se tiene en cuenta las distancias y altitudes referentes a cada punto de notificación que serán los tramos sobre el trayecto de descenso.

La aeronave descenderá a 190 Knots antes del VOR para optimizar su tasa de descenso.

- g) BUV – ESLOT = 30 NM --- 13,000 ft.
- h) ESLOT – ASANO = 9 NM --- 13,000 ft.
- i) ASANO – ARMIR = 17 NM ---11,000 ft.
- j) ARMIR – EJA (SKEJ) = 34 NM --- 3,000 ft.

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- k) EJA – PISTA = 9 NM --- 1,798 ft.

El procedimiento vuelve a ser el mismo como en el ascenso, tratándose entonces de calcular primero el tiempo en el que la aeronave va a demorar en descender esa cantidad de distancia.

$$e) \quad t = \frac{39 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 128.01) * 0.005) + 190) / 60} = 12.3 \text{ min}$$

$$f) \quad t = \frac{17 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 128.01) * 0.005) + 190) / 60} = 5.4 \text{ min}$$

$$g) \quad t = \frac{34 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 128.01) * 0.005) + 190) / 60} = 10.7 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$h) \quad t = \frac{5 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 128.01) * 0.005) + 190) / 60} = 4.5 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$e) \quad R/D = \frac{15000 - 13000}{12.3} = 162.94 \text{ ft/min}$$

$$f) \quad R/D = \frac{13000 - 11000}{5.4} = 373.8 \text{ ft/min}$$

$$g) \quad R/D = \frac{11000 - 3000}{10.7} = 747.6 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D = \frac{3000 - 397}{4.5} = 581.52 \text{ ft/min}$$

Según las gráficas antes analizadas acerca de los regímenes de Rpm con los que trabaja el motor, se emplea la ecuación 8 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$e) RPM = (0,2181 * (-162.94) + 2288,5 = 2252.96$$

$$f) RPM = (0,2181 * (-373.8) + 2288,5 = 2206.97$$

$$g) RPM = (0,2181 * (-747.6) + 2288,5 = 2125.44$$

$$h) RPM = (0,2181 * (-581.52) + 2288,5 = 2161.66$$

Se procede a evaluar el consumo del combustible una vez calculada las RPM del motor para ese descenso con la ecuación 4:

$$i) Fuel = ((0,0852 * 2252.96) + 0.2004) * (12.3/60) = 39.3 lb$$

$$j) Fuel = ((0,0852 * 2206.97) + 0.2004) * (5.4/60) = 16.78 lb$$

$$k) Fuel = ((0,0852 * 2125.44) + 0.2004) * (10.7/60) = 32.33 lb$$

$$l) Fuel = ((0,0852 * 2161.66) + 0.2004) * (4.5/60) = 13.75 lb$$

4.2.5 ATERRIZAJE

Se asume una temperatura de referencia de 40°C e interpolando entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 27.

T=40°C W=6850 V= 95 Kias	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
0	1150
397	1165.88
1000	1190

Tabla 27. Longitud de pista

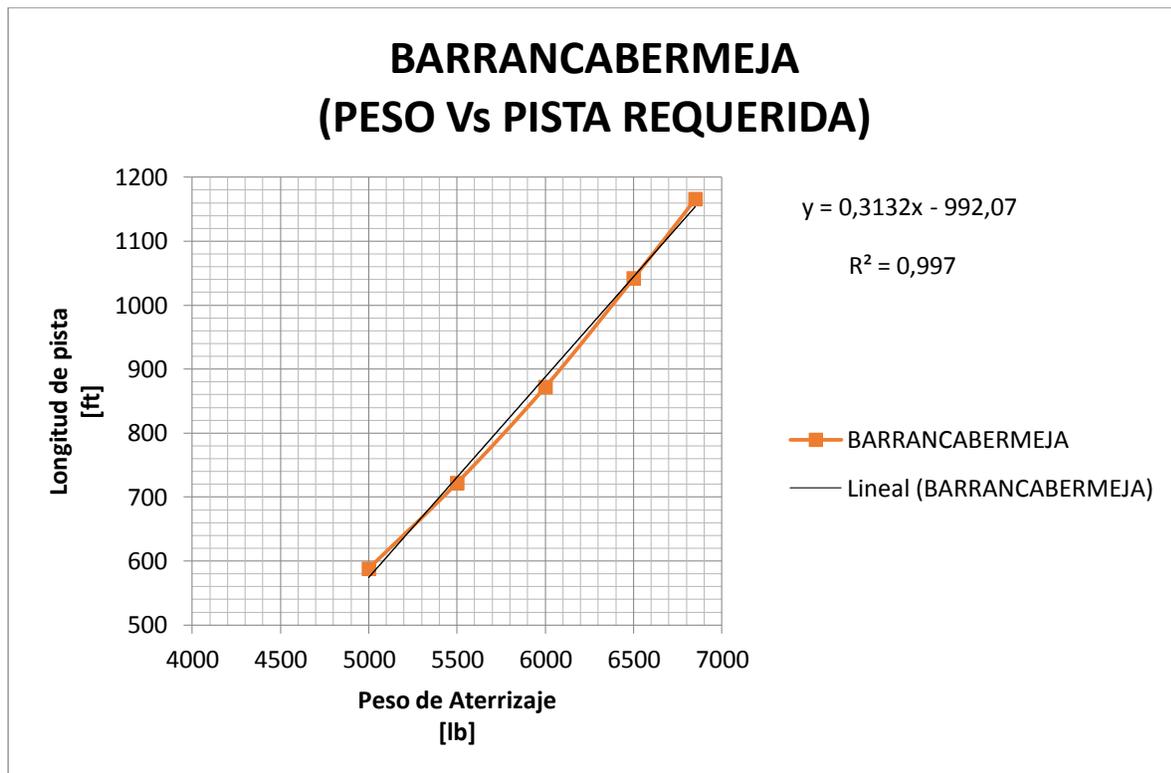
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso que con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto, se interpola y se obtiene las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 10, luego se tabula como se muestra en la tabla 28.

T= 30°c H= 397 Ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1165.88
6500	1041.91
6000	871.91
5500	721.91
5000	587.94

Tabla 28. Longitud de pista @ 6850 lb

Gráficando se obtiene una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 12. Peso vs. Longitud de pista requerida.

$$l = (0,3132 * W) - 992.07$$

Ecuación 11

Donde,

l = Longitud de pista requerida

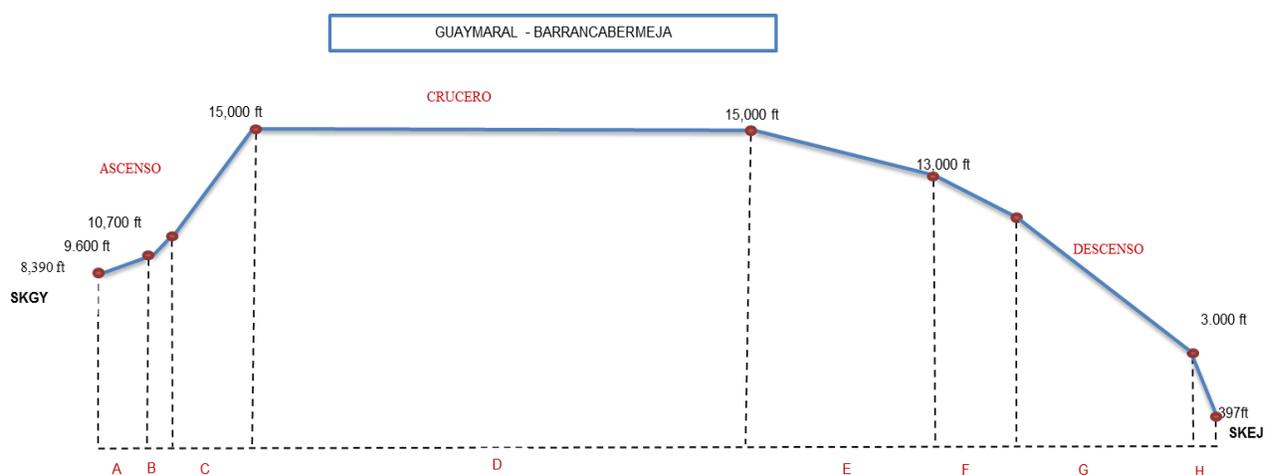
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 230.19 lb de combustible en todo el trayecto de SKGY a SKMD Reemplazando en la ecuación 11.

$$a) l = (0.3132 * (6850 - 230.19)) - 992.07 = 1081.25 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1081.25 ft.

4.2.6 GRÁFICA



Gráfica 13. Ruta entre SKGY – SKEJ

GUAYMARAL- BARRANCABERMEJA									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
AEROPUERTO GUAYMARAL			0	8,390	0	0	0	0	0
A	PISTA	R-113º	19.15	9,600	120	9.58	126.370757	2316.061462	31.52231017
B	R-113º	ROMEO	6.15	10,700	120	3.08	357.723577	2366.519512	10.34367795
C	ROMEO	SOA	11.34	15,000	120	5.67	758.377425	2453.902116	19.7762853
					TOTAL A.	18.32		TOTAL A.	61.64227342
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
D	SOA-ZIP	ZIP-BUV	62	15,000	180.31	20.6	N/A	2263.156889	66.37149058
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
E	BUV-ESLOT	ESLOT-ASANO	39	13,000	190.64	12.3	162.94023	2252.962736	39.30947059
F	ASANO	ARMIR	17	11,000	190.64	5.4	373.804057	2206.973335	16.78549005
G	ARMIR	EJA	34	3,000	190.64	10.7	747.608113	2125.446671	32.33217211
H	EJA	PISTA	9	397	120.64	4.5	581.529813	2161.668348	13.75472432
					TOTAL	71.8		TOTAL	230.1956211

Tabla 29. Datos operacionales ruta SKGY – SKEJ

4.2.7 ALTERNO

El aeropuerto Camilo Daza situado en la ciudad de Cúcuta, capital de norte de Santander, es el aeropuerto alternativo de la ruta SKGY – SKEJ en el caso en el que la aeronave antes o sobrepasando el VOR notifiquen de cierre por causas externas al aeropuerto de destino.

4.2.8 ASCENSO

Al tomar las altitudes y las distancias entre los puntos de notificación se puede calcular el tiempo, la tasa de ascenso, las RPM y el consumo de combustible.

Al igual que el ascenso de la pista hasta el nivel de crucero, el alternativo se evalúa desde el punto más crítico que para el caso son los VOR; entonces se entiende que no se asciende desde la pista.

VOR Z SKEJ = 3,000 ft

- VOR Z SKEJ – OSAMA = 21 NM – 7,000 ft
- OSAMA – MOXIN = 20 NM – 16,000 ft

Calculando el tiempo, entonces con la ecuación 5 debido al consumo de combustible la aeronave va con menos peso:

$$k) t = \frac{21}{((6850 - (6850 - 216.44) * 0.005) + 120) / 60} = 10.4 \text{ min}$$

$$l) t = \frac{20}{((6850 - (6850 - 216.44) * 0.005) + 120) / 60} = 9.9 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo en el que la aeronave alcanza su nivel de crucero, es de importar a que tasa de ascenso alcanzo dichas altitudes, por ende se emplea la ecuación 2:

$$k) R/C = \frac{7000 - 3000}{10.4} = 384.38 \text{ ft/min}$$

$$l) R/C = \frac{16000 - 7000}{9.9} = 908.11 \text{ ft/min}$$

Para el R/C calculado previamente, el motor trabaja con unas RPM, las cuales son:

$$k) RPM = (0,2181 * 384.38) + 2288,5 = 2372.33$$

$$l) RPM = (0,2181 * 908.11) + 2288,5 = 2486.56$$

Cuyo consumo de combustible está dado por la ecuación 4, teniendo en cuenta las RPM del motor en ese tramo.

$$k) Fuel = ((0,0852 * 2372.33) + 0.2004) * (10.4/60) = 35.09 \text{ lb}$$

$$l) Fuel = ((0,0852 * 2475.56) + 0.2004) * (9.9/60) = 35.02 \text{ lb}$$

4.2.9 CRUCERO

- DISTANCIA = 26 NM – 16,000 ft

Una vez nivelada la aeronave y alcanza su altitud de crucero, se calcula el tiempo que demora para comenzar su descenso. Este tiempo se calcula dependiendo la distancia entre puntos de notificación y como lo denota la ecuación 5:

$$m) t = \frac{26 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 286.55) * 0.005) + 120) / 60} = 8.6 \text{ min}$$

Trabajando el motor a las siguientes RPM:

$$m) \text{ RPM} = (12,591 * 181.43) - 7,1038 = 2277.31$$

Y con un consumo de combustible definido por la ecuación 4.

$$m) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2277.31) + 0,2004) * (8.6/60) = 27.83 \text{ lb}$$

4.2.10 DESCENSO

$$l) \text{ ESITU} - \text{CUC} = 27 \text{ NM} \text{ --- } 6,000 \text{ ft.}$$

$$m) \text{ CUC} - \text{FAP} = 8.5 \text{ NM} \text{ -- } 2,900 \text{ ft.}$$

$$n) \text{ FAP} - \text{VDP} = 4 \text{ NM} \text{ --- } 1,628 \text{ ft.}$$

$$o) \text{ VDP} - \text{PISTA} = 2 \text{ NM} \text{ --- } 1,098 \text{ ft.}$$

Para encontrar el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar al VOR. Con la ecuación 5:

$$n) t = \frac{27 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 314.39) * 0.005) + 190) / 60} = 8.6 \text{ min}$$

Hasta el VOR, para luego aproximar con una velocidad de 120 Knots

$$o) t = \frac{8.5 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 314.39) * 0.005) + 120) / 60} = 4.3 \text{ min}$$

$$p) t = \frac{4 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 314.39) * 0.005) + 120) / 60} = 2 \text{ min}$$

$$q) t = \frac{2 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 314.39) * 0.005) + 120) / 60} = 1 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$n) R/D = \frac{16000 - 13000}{8.6} = 2630.66 \text{ ft/min}$$

$$o) R/D = \frac{13000 - 6000}{4.3} = 725.81 \text{ ft/min}$$

$$p) \quad R/D = \frac{6000-2900}{2} = 632.86 \text{ ft/min}$$

$$q) \quad R/D = \frac{6600 - 4200}{1} = 527.38 \text{ ft/min}$$

Se emplea la ecuación 8 para hallar las RPM a las que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$n) \quad RPM = (0,2181 * (-2630.66) + 2288,5 = 4003.25$$

$$o) \quad RPM = (0,2181 * (-725.81) + 2288,5 = 2130.20$$

$$p) \quad RPM = (0,2181 * (-632.86) + 2288,5 = 2150.47$$

$$q) \quad RPM = (0,2181 * (-527.38) + 2288,5 = 2173.47$$

El consumo del combustible para ese descenso se define con la ecuación 4, debido a que se conocen las RPM según lo anterior, entonces:

$$n) \quad Fuel = ((0,0852 * 4003.25) + 0.2004) * (8.6/60) = 24.72 \text{ lb}$$

$$o) \quad Fuel = ((0,0852 * 2130.20) + 0.2004) * (4.3/60) = 12.93 \text{ lb}$$

$$p) \quad Fuel = ((0,0852 * 2150.47) + 0.2004) * (2/60) = 6.14 \text{ lb}$$

$$q) \quad Fuel = ((0,0852 * 2173.47) + 0.2004) * (1/60) = 3.1 \text{ lb}$$

4.2.11 ATERRIZAJE

Al asumir una temperatura de referencia de 40°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 30.

T=40°C W=6850 V=95 Kias	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
0	1190
1.098	1190.0549
1000	1240

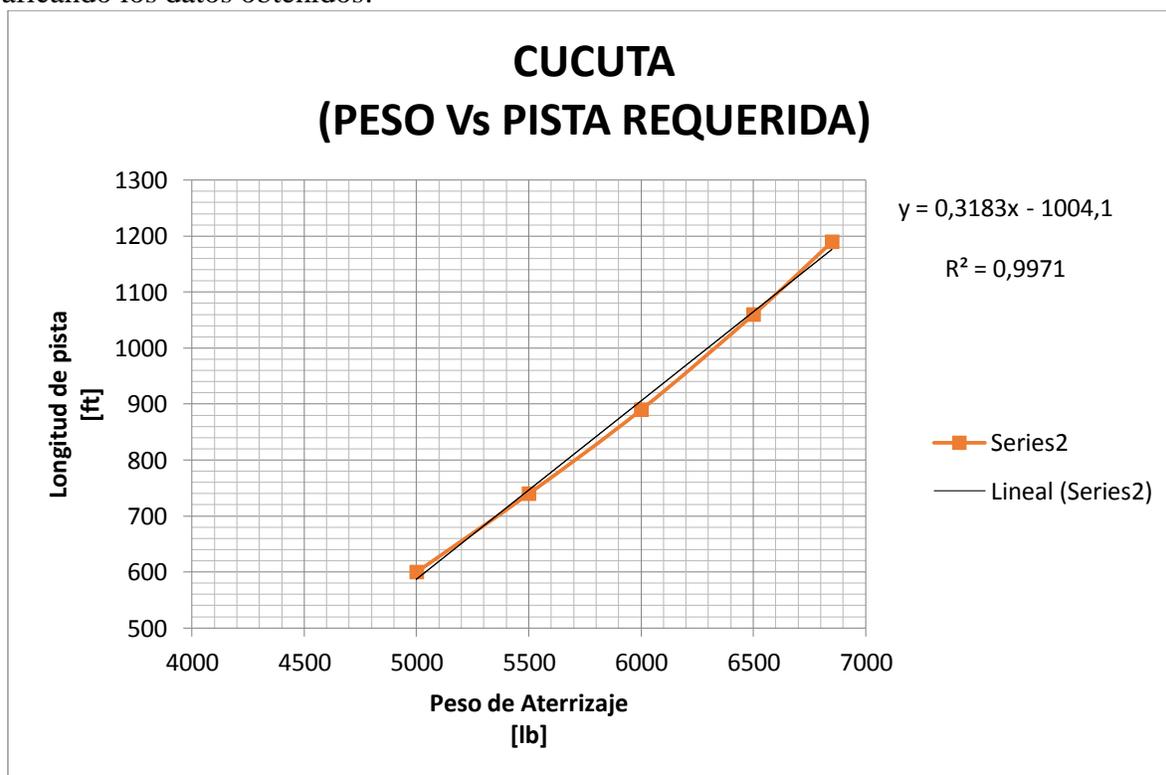
Tabla 30. Longitud de pista

Debido a que la aeronave ha consumido cierta parte de combustible, su peso no es el mismo y es necesario encontrar la fórmula que relacione las variables y así encontrar la longitud de pista requerida para el aterrizaje. Para esto de la misma forma se interpola y calcula de nuevo las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 12, luego tabula como se muestra en la tabla 31.

T= 30°c H= 1098 ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1190.0549
6500	1060.04392
6000	890.04392
5500	740.03294
5000	600.02196

Tabla 31. Longitud de pista @ 6850 lb

Gráficando los datos obtenidos:



Gráfica 14. Peso vs. Longitud de pista requerida

$$l = (0,3183 * W) - 1004.1$$

Ecuación 12

Donde,

l = Longitud de pista requerida

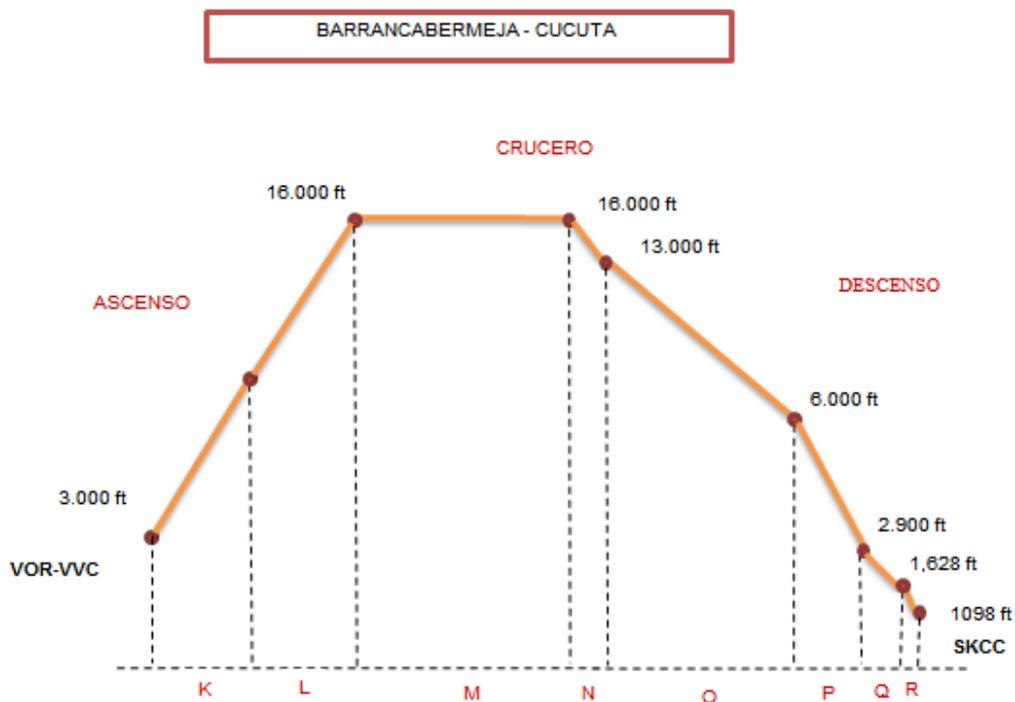
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 361.3 lb de combustible en todo el trayecto de SKMD a SKLC Reemplazando en la ecuación 12.

$$a) \quad l = (0.3183 * (6850 - 361.3)) - 1004.1 = 1061.25$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1061.25 ft.

4.2.12 GRÁFICA



Gráfica 15. Ruta SKEJ - SKCC

ALTERNO (BARRANCABERMEJA - CUCUTA)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	VOR Z		0	3,000	0	0	0	0	0
K	EJA	OSAMA	21	7,000	121.08	10.4	384.38	2372.33	35.09
L	OSAMA	MOXIN	20	16,000	121.08	9.9	908.11	2486.56	35.02
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
M	MOXIN	ESITU	26	16,000	181.4327885	8.6	N/A	2277.31	27.83
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
N	ESITU	21- DME/CUC	6	13,000	189.41	1.9	1578.39	1944.25	5.25
O	21- DME/CUC	VOR CUC	21	6,000	189.41	6.7	1052.26	2059	19.47
P	VOR CUC	FAP	8.5	2,900	119.41	4.3	725.81	2130.20	12.93
Q	FAP	VDP	4	1,628	119.41	2.0	632.86	2150.47	6.14
R	VDP	PISTA	2	1,098	119.41	1.0	527.38	2173.47	3.10
								TOTAL ALT	144.85

Tabla 32. Datos operacionales SKEJ – SKCC

4.2.13 OPTIMIZACIÓN RUTA

4.2.13.1 ASCENSO CONSTANTE

Evaluando directamente el punto de notificación en pista y el punto de notificación en la altitud a nivel de crucero se pueden optimizar el ascenso debido a que va a ser un solo tramo más no seccionado como se define en una carta de navegación.

p) PISTA – SOA = 36.64 NM --- 15,000 ft

Calculando el tiempo se puede hallar la tasa de ascenso que tiene la aeronave para ese tramo hasta alcanzar la altitud de crucero, entonces de la ecuación 1,

$$a) \quad t = \frac{36.64 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 18.32 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la ecuación 2, R/C

$$a) R/C = \frac{15000-8390}{18.32} = 360.8 \text{ ft/min}$$

Para calcular las RPM del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3 una vez calculado el R/C:

$$a) RPM = (0,2181 * 361.3) + 2288,5 = 2360.66$$

Una vez calculado las RPM se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$a) Fuel = ((0,0852 * 2360.76) + 0,2004) * (18.32/60) = 61.47 \text{ lb}$$

4.2.13.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de crucero de 180 Knots nuevamente empleando la ecuación 5 para encontrar el tiempo, entonces:

- DISTANCIA = 62 NM – 15,000 ft

$$e) t = \frac{62}{((6850-(6850-61.47)*0.005)+ 180)/60} = 20.6 \text{ min}$$

En crucero las RPM del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$b) RPM = (12,591 * 180.3) - 7,1038 = 2263.16$$

Y el consumo estará dado según las RPM entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4

$$b) Fuel = ((0,0852 * 2263.16) + 0,2004) * (20.6/60) = 66.37 \text{ lb}$$

4.2.13.3 DESCENSO

La aeronave descenderá a 190 Knots antes del VOR para optimizar su tasa de descenso,

- BUV – VOR EJA = 90 NM --- 3,000 ft.

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- VOR EJA – PISTA = 9 NM --- 397 ft.

Como bien se ha repasado, la primera variable a encontrar es el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar su punto crítico en dado caso de llegar a necesitar desviarse al alterno, nos referimos al VOR. Con la ecuación 5:

$$c) \quad t = \frac{90}{((6850 - (6850 - 127.84) * 0.005) + 180) / 60} = 28.3 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$d) \quad t = \frac{9}{((6850 - (6850 - 127.84) * 0.005) + 180) / 60} = 4.5 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$c) \quad R/D = \frac{15000 - 3000}{28.3} = 423.64 \text{ ft/min}$$

$$d) \quad R/D = \frac{3000 - 397}{4.5} = 581.52 \text{ ft/min}$$

Según las gráficas antes analizadas acerca de los regímenes de Rpm con los que trabaja el motor, se emplea la ecuación 8 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$c) \quad RPM = (0,2181 * (-423.64) + 2288,5) = 2188.56$$

$$d) \quad RPM = (0,2181 * (-581.52) + 2288,5) = 2161.66$$

Una vez calculada las Rpm del motor se procede a evaluar el consumo del combustible para ese descenso con la ecuación 4:

$$c) \quad Fuel = ((0,0852 * 2188.56) + 0.2004) * (28.3/60) = 88.12 \text{ lb}$$

$$d) \quad Fuel = ((0,0852 * 2161.66) + 0.2004) * (4.5/60) = 13.75 \text{ lb}$$

4.2.13.4 ATERRIZAJE

Debido al cambio de peso en el trayecto de la aeronave la ecuación 11 anteriormente utilizada para la longitud mínima de pista queda denotada así:

$$l = (0,3132 * W) - 992.07 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

l = Longitud de pista requerida

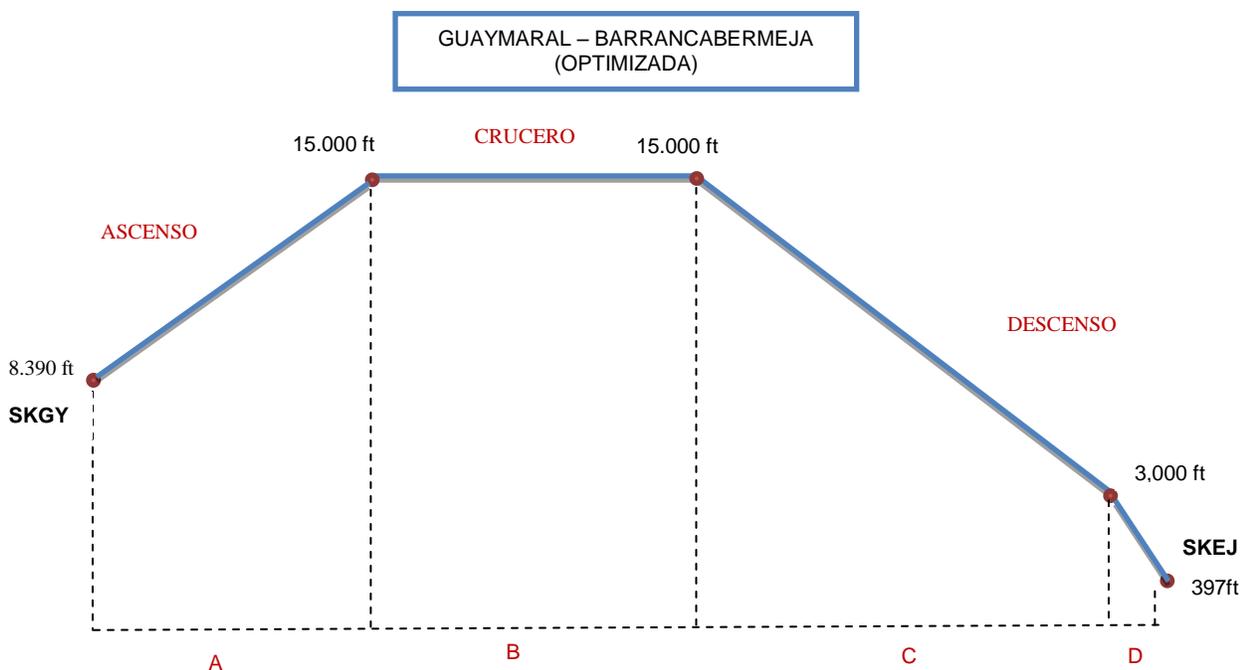
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Teniendo en cuenta que el Cessna consumió 230.19 lb de combustible en todo el trayecto de SKGY a SKMD Reemplazando en la ecuación 11.

$$d) \quad l = (0.3132 * (6850 - 229.72)) - 992.07 = 1081.4 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1081.4 ft.

4.2.13.5 GRÁFICA



Gráfica 16. Ruta optimizada SKEJ - SKCC

GUAYMARAL- BARRANCABERMEJA									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	AEROPUERTO GUAYMARAL		0	8,390	0	0	0	0	0
A	PISTA	SOA	36.64	15,000	120	18.32	360.80786	2360.66157	61.4723832
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
B	SOA- ZIP	ZIP- BUV	62	15,000	180.3073619	20.6	N/A	2263.14619	66.37148992
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
C	BUV	EJA	90	3,000	190.6392194	28.3	423.64271	2188.56268	88.12423132
D	EJA	PISTA	9	397	120.6392194	4.5	581.525719	2161.66924	13.75482685
								TOTAL	229.7229313

Tabla 33. Datos operacionales SKGY – SKEJ optimizada

4.2.14 OPTIMIZACIÓN ALTERNO

4.2.14.1 ASCENSO CONSTANTE

- VOR EJA – MOXIN = 41 NM --- 16,000 ft

Hallando el tiempo se puede calcular la rata de ascenso que tiene la aeronave para ese tramo hasta alcanzar la altitud de crucero, entonces de la ecuación 5:

$$e) t = \frac{41 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 215.96) * 0.005) + 120) / 60} = 20.3 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la ecuación 2, R/C

$$R/C = \frac{16000 - 3000}{20.3} = 639.85 \text{ ft/min}$$

Una vez calculado el R/C, para calcular las RPM del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3:

$$e) \text{ RPM} = (0,2181 * 639.85) + 2288,5 = 2416.47$$

Se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$e) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2416.47) + 0,2004) * (20.3/60) = 67.78 \text{ lb}$$

4.2.14.2 CRUCERO

Con una velocidad de crucero de 180 Knots se toma la ecuación 5 para encontrar el tiempo en el que la aeronave va a estar en la fase de crucero, entonces:

- DISTANCIA = 26 NM – 16,000 ft

$$f) \ t = \frac{26}{((6850 - (6850 - 285.75) * 0.005) + 180) / 60} = 8.6 \text{ min}$$

En crucero las Rpm del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$f) \ \text{RPM} = (12,591 * 181.42) - 7,1038 = 2277.26$$

Y el consumo estará dado según las Rpm entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4

$$f) \ \text{Fuel} = ((0,0852 * 2277.26) + 0,2004) * (8.6/60) = 27.83 \text{ lb}$$

4.2.14.3 DESCENSO

La velocidad de descenso se asume de 190 Knots igualmente antes de contactar con VOR o inmediatamente luego de sobrepasar.

- ESITU – VOR CUC = 27 NM --- 6,000 ft

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- VOR CUC – PISTA = 14.5 NM --- 1,098 ft.

La primera variable a encontrar es el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar su punto de notificación VOR, con la ecuación 5:

$$g) \ t = \frac{27}{((6850 - (6850 - 313.58) * 0.005) + 190) / 60} = 8.4 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$h) \quad t = \frac{14.5}{((6850 - (6850 - 313.58) * 0.005) + 120) / 60} = 7.1 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende se tiene en cuenta el tiempo como una variable, previamente calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$g) \quad R/D = \frac{16000 - 6000}{8.4} = 1186.46 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D = \frac{6000 - 1098}{7.1} = 685.65 \text{ ft/min}$$

Se emplea la ecuación 8 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-1186.46) + 2288,5) = 2008.61$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-685.65) + 2288,5) = 2126.75$$

Conociendo las RPM con las que desciende la aeronave, se emplea la ecuación 4 para calcular el consumo de combustible:

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 2008.61) + 0.2004) * (8.4/60) = 24.06 \text{ lb}$$

$$h) \quad Fuel = ((0,0852 * 2126.75) + 0.2004) * (7.1/60) = 21.61 \text{ lb}$$

4.2.14.4 ATERRIZAJE

Debido al consumo de combustible entre el trayecto de origen y destino y posteriormente al alternativo, la aeronave llega a la fase de aterrizaje con un peso mucho menor, por lo cual:

$$l = (0,3183 * W) - 1004.1 \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

l = Longitud de pista requerida

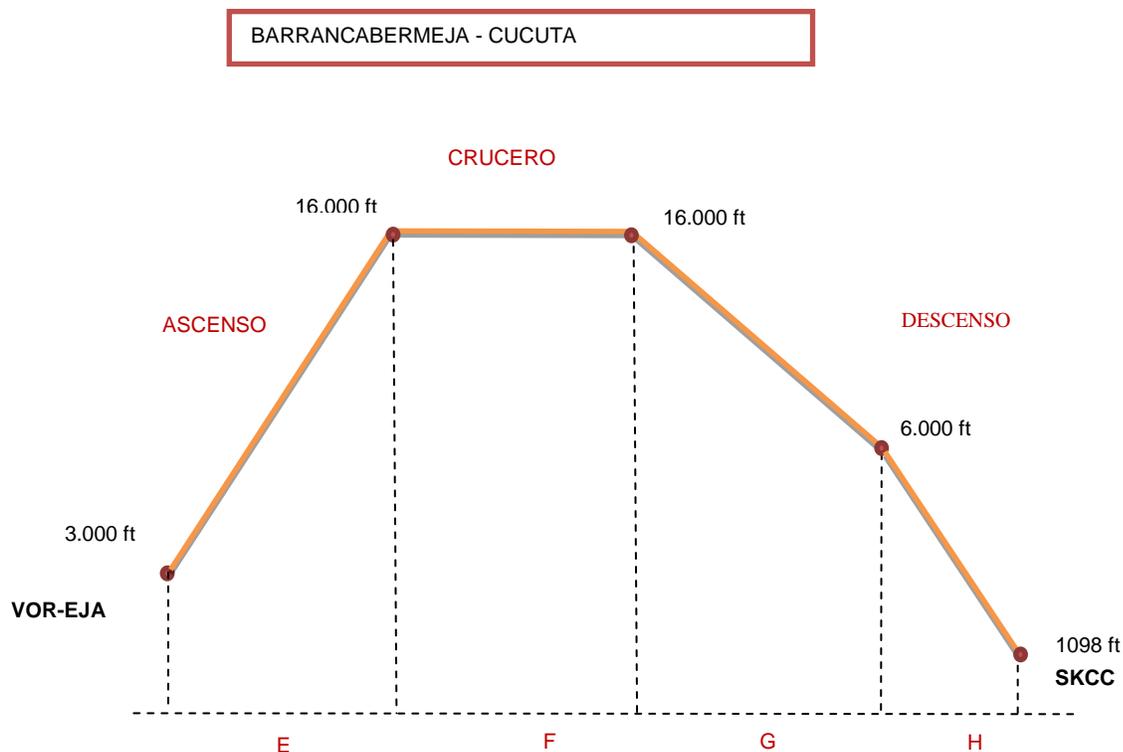
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 359.26 lb de combustible en todo el trayecto de SKMD a SKLC Reemplazando en la ecuación 12.

$$h) l = (0.3183 * (6850 - 359.26) - 1004.1 = 1061.9$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1061.9 ft.

4.2.14.5 GRÁFICA



Gráfica 17. Ruta SKEJ – SKCC optimizada

ALTERNO (BARRANCABERMEJA - CUCUTA)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	VOR Z		0	3,000	0	0	0	0	0
E	EJA	MOXIN	41	16,000	121.0798405	20.3	639.852816	2416.47056	69.78396515
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
F	MOXIN	ESITU	26	16,000	181.4287603	8.6	N/A	2277.26572	27.83356628
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
G	ESITU	VOR CUC	27	6,000	192.2071475	8.4	1186.46387	2008.61317	24.06791111
H	21-DME/CUC	VOR CUC	14.5	1,098	121.6882677	7.1	685.650446	2126.75506	21.61505829
								TOTAL D.	45.6829694
								TOTAL	143.3005008

Tabla 34. Datos operacionales SKEJ – SKCC

4.3 GUAYMARAL (SKGY)- MEDELLIN (SKMD)

Nivel de crucero: 16,000 ft

Distancia Total: 121 NM

	NOMBRE	ELEVACION	LONGITUD	TEMP. ½
Origen	Flaminio Suarez Camacho	8,390 ft	1,720 m x 20 m	14° C
Destino	Olaya Herrera	4,921 ft	1,800 m x 38 m	29° C
Alterno	Antonio Roldan Betancourt	46 ft	2,180 m x 30 m	34° C

Tabla 35. Datos generales de aeropuerto (SKGY – SKMD)

Aerovía: SKGY- ROMEO 3 - W23 - GEPKI- ABL-W36- VASIL- W36 - NIRSO- W25 –
GUARNE 1A

Trayecto/ Espera	R (ROMEO)	SOA (SOACHA) VOR/DME	SOA- GEPKI	GEPKI- ABL (AMBALEMA) VOR/DME	ABL- VASIL	VASIL- NIRSO	NIRSO- RNG (RIONEGR O VOR/DME
MEA	10,700 ft	14,000 ft	12,000 ft	8,000 ft	16,000 ft	16,000 ft	14,000 ft

Tabla 36. Altitudes puntos de notificación (SKGY – SKMD)

Alterno: Carepa (SKLC)

Nivel de crucero: 15,000 ft

Distancia Total: 135 NM

Aerovía alternativo: GUARNE 1A- B689- OPMEL-REMUK 1

Trayecto/ Espera	RNG (RIONEGRO VOR/DME	RNG- OPMEL	OPMEL- REMUK	REMUK- LCE (LOS CEDROS VOR/DME)
MEA	14,000 ft	13,000 ft	14,000 ft	9,000 ft

Tabla 37. Altitudes puntos de notificación (SKMD – SKLC)

4.3.1 DESPEGUE

La mínima longitud de pista que requiere la aeronave será de 3,178 Ft.

4.3.2 ASCENSO

Para calcular las tasas de ascenso de la aeronave se tienen en cuenta la altitud y distancia entre cada punto de notificación según se define en la carta de salida normalizada SID [ROMEo3].

- q) PISTA – R.113 = 19.15 NM --- 9,600 ft
- r) R.113° - ROMEO = 6.15 NM --- 10,700 ft.
- s) ROMEO – SOA = 11.34 NM --- 16,000 ft

Calculando el tiempo se puede hallar la tasa de ascenso que tiene la aeronave para ese tramo hasta alcanzar la altitud de crucero, entonces de la ecuación 1, t :

- d) $t = \frac{19.15 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 9.57 \text{ min}$
- e) $t = \frac{6.15 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 3.075 \text{ min}$
- f) $t = \frac{11.34 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 5.67 \text{ min}$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la ecuación 2, R/C

- a) $R/C = \frac{9600-8390}{9.57} = 126.37 \text{ ft/min}$
- b) $R/C = \frac{10700 - 9600}{3.075} = 357.72 \text{ ft/min}$
- c) $R/C = \frac{16000-10700}{5.67} = 934.74 \text{ ft/min}$

El consumo de combustible va a estar directamente relacionado a las Rpm con las que el motor trabaje para las distintas fases de vuelo, que para este caso serán evaluadas en el ascenso. Las Rpm máximas del motor según los datos operacionales del motor no exceden las 2,600 RPM.

Para calcular las Rpm del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3 una vez calculado el R/C:

$$a) \text{ RPM} = (0,2181 * 126.327) + 2288,5 = 2316.06$$

$$b) \text{ RPM} = (0,2181 * 357.72) + 2288,5 = 2366.51$$

$$c) \text{ RPM} = (0,2181 * 934.74) + 2288,5 = 2492.36$$

Una vez calculado las Rpm se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$a) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2316.06) + 0,2004) * (9.57/60) = 31.52 \text{ lb}$$

$$b) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2366.51) + 0,2004) * (3.07/60) = 10.34 \text{ lb}$$

$$c) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2492.36) + 0,2004) * (5.67/60) = 20.08 \text{ lb}$$

4.3.3 CRUCERO

Al asumir una velocidad de crucero de 180 Knots nuevamente empleando la ecuación 5 para encontrar el tiempo en el que la aeronave va a estar en la fase de crucero, entonces:

- DISTANCIA = 83 NM – 16,000 ft

$$d) t = \frac{83}{((6850 - (6850 - 61.75) * 0.005) + 180) / 60} = 27.62 \text{ min}$$

En crucero las RPM del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$d) \text{ RPM} = (12,591 * 180.31) - 7,1038 = 2259.27$$

Y el consumo estará dado según las RPM entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4.

$$d) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2259.67) + 0,2004) * (27.67/60) = 88.85 \text{ lb}$$

4.3.4 DESCENSO

Al igual que en el ascenso, se toman en cuenta las altitudes y las distancias entre los puntos de notificación según están definidos en la carta de navegación.

La aeronave descenderá a 190 Knots antes del VOR para optimizar su rata de descenso,

- NIRSO – 24-DME = 14 NM --- 14,000 ft.
- 24-DME – 12-DME = 12 NM --- 12,000 ft.
- 12-DME – 5-DME = 7 NM --- 11,000 ft.
- 5-DME – RIO NEGRO VOR = 5 NM --- 10,000 ft.

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- RIO NEGRO VOR – GUARNE 17-DME = 17 NM --- 9,500 ft.
- GUARNE 17-DME – PISTA = 20 NM --- 4,921ft.

Como bien hemos repasado, la primera variable a encontrar es el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar su punto crítico en dado caso de llegar a necesitar desviarse al alterno, nos referimos al VOR. Con la ecuación 5:

$$e) \quad t = \frac{14 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 190) / 60} = 4.40 \text{ min}$$

$$f) \quad t = \frac{12 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 190) / 60} = 3.77 \text{ min}$$

$$g) \quad t = \frac{7 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 190) / 60} = 2.20 \text{ min}$$

$$h) \quad t = \frac{5 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 190) / 60} = 1.57 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$e) \quad t = \frac{17 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 120) / 60} = 8.45 \text{ min}$$

$$f) \quad t = \frac{20 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 150.8) * 0.005) + 120) / 60} = 9.94 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$e) \quad R/D = \frac{16000-14000}{4.40} = 454.18 \text{ ft/min}$$

$$f) \quad R/D = \frac{14000-12000}{3.77} = 529.87 \text{ ft/min}$$

$$g) \quad R/D = \frac{12000-11000}{2.20} = 454.18 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D = \frac{11000-10000}{1.57} = 635.85 \text{ ft/min}$$

$$i) \quad R/D = \frac{10000-9500}{8.45} = 59.19 \text{ ft/min}$$

$$j) \quad R/D = \frac{9500-4921}{9.94} = 460.78 \text{ ft/min}$$

Según las gráficas antes analizadas acerca de los regímenes de Rpm con los que trabaja el motor, empleamos la ecuación 8 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$e) \quad RPM = (0,2181 * (-445.18) + 2288,5 = 2189.44$$

$$f) \quad RPM = (0,2181 * (-529.87) + 2288,5 = 2172.93$$

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-454.18) + 2288,5 = 2189.44$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-635.85) + 2288,5 = 2149.82$$

$$i) \quad RPM = (0,2181 * (-59.19) + 2288,5 = 2275.59$$

$$j) \quad RPM = (0,2181 * (-460.78) + 2288,5 = 2188$$

Una vez calculada las RPM del motor se procede a evaluar el consumo del combustible para ese descenso con la ecuación 4:

$$e) \quad Fuel = ((0,0852 * 2189.44) + 0.2004) * (4.42/60) = 13.71 \text{ lb}$$

$$f) \quad Fuel = ((0,0852 * 2149.82) + 0.2004) * (3.78/60) = 11.66 \text{ lb}$$

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 2189.44) + 0.2004) * (2.21/60) = 6.85 \text{ lb}$$

$$h) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2149.82) + 0.2004) * (1.57/60) = 4.81 \text{ lb}$$

$$i) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2275.59) + 0.2004) * (8.5/60) = 27.32 \text{ lb}$$

$$j) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 21884) + 0.2004) * (10/60) = 30.91 \text{ lb}$$

4.3.5 ATERRIZAJE

Al asumir una temperatura de referencia de 30°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 38.

T=30°C W=6850 V= 95 Kias	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
4000	1290
4895	1334.75
5000	1340

Tabla 38. Longitud de pista

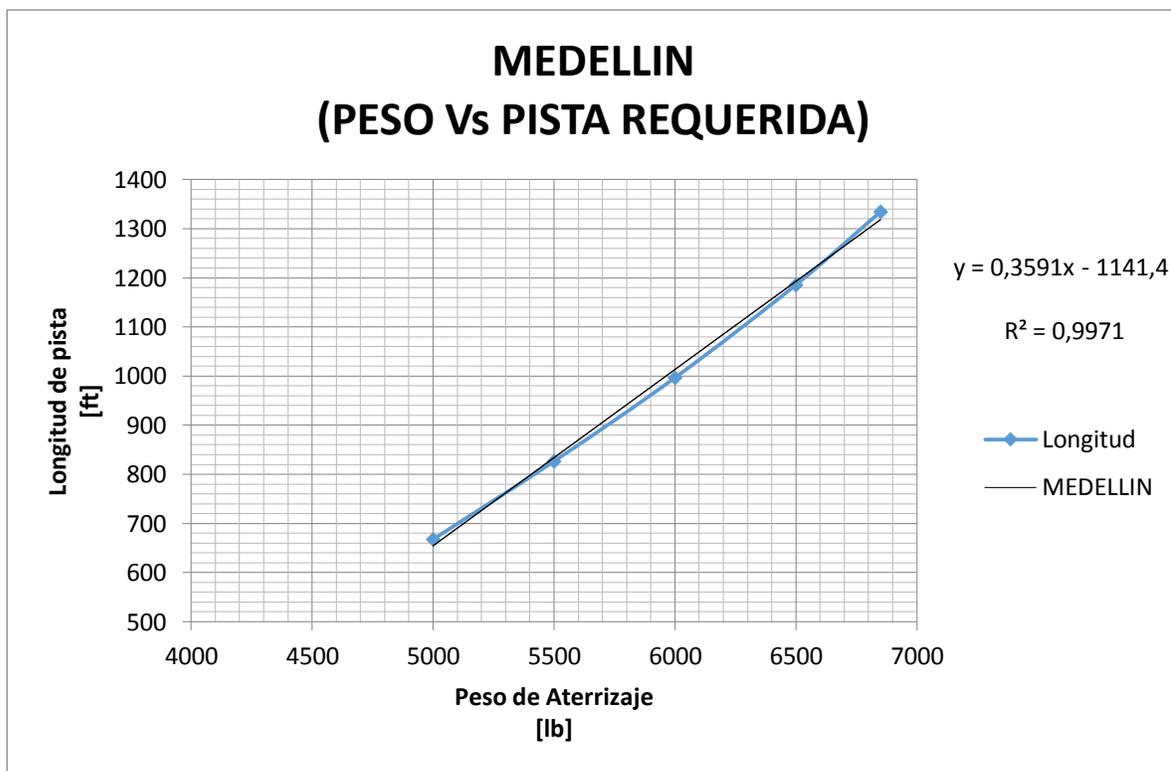
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso que con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto de la misma forma interpolamos y sacamos las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 12, luego tabulamos como se muestra en la tabla 39.

T= 30°C H= 4895 Ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1334.75
6500	1185.8
6000	996.85
5500	826.85
5000	667.9

Tabla 39. Longitud de pista @ 6850 lb

Se graficó y obtuvo una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 18. Peso vs Longitud de pista requerida

$$l = (0,3591 * W) - 1141.4$$

Ecuación 13

Donde,

l = Longitud de pista requerida

W = Peso de aterrizaje de la aeronave

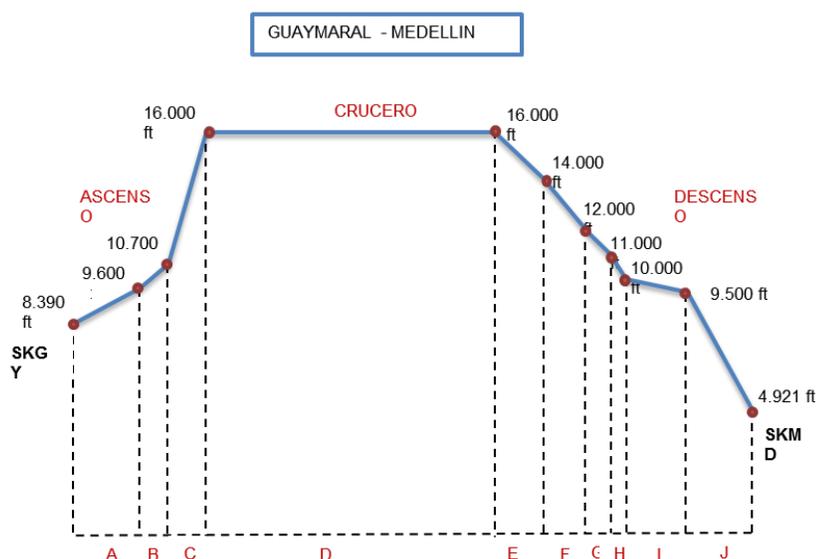
Tomando como referencia la tabla 12 se procede a determinar la longitud mínima de pista para aterrizar.

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 246.05 lb de combustible en todo el trayecto de SKGY a SKMD Reemplazando en la ecuación 13.

$$j) \quad l = (0.3591 * (6850 - 246.05)) - 1141.4 = 1230.07 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1230.07 ft.

4.3.6 GRÁFICA



Gráfica 19. Ruta SKGY - SKMD

GUAYMARAL- MEDELLIN								
ASCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	AEROPUERTO GUAYMARAL	0	8390	0	0	0		
A	PISTA R-113º	19.15	9600	120	9.58	126.37	2316.06	31.52
B	R-113º ROMEO	6.15	10700	120	3.08	357.72	2366.52	10.34
C	ROMEO SOA	11.34	16000	120	5.67	934.74	2492.37	20.09
CRUCERO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
D	SOA NIRSO	83	16000	180.31	27.62	N/A	2263.18	88.852
DESCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
E	NIRSO 24-DME	14	14000	190.75	4.40	454.18	2189.44	13.71
F	24-DME 12-DME	12	12000	190.75	3.77	529.87	2172.93	11.66
G	12-DME 5-DME	7	11000	190.75	2.20	454.18	2189.44	6.85
H	5-DME RIO NEGRO-VOR	5	10000	190.75	1.57	635.85	2149.82	4.81
I	RIO NEGRO-VOR GUARNE 17-DME	17	9500	120.75	8.45	59.19	2275.59	27.32
J	GUARNE 17-DME PISTA	20	4921	120.75	9.94	460.78	2188.00	30.91
TOTAL								246.0596622

Tabla 40. Datos operacionales SKGY - SKMD

4.3.7 ALTERNO

El aeropuerto Antonio Roldan Betancourt situado en el municipio de Carepa, es el aeropuerto alternativo de la ruta SKGY – SKMD debido a que es la distancia más lejana en el caso que la aeronave tenga que solicitar alternativo por razones climáticas o externas que impidan la culminación de la operación normal. Este punto crítico es cercando al VOR.

4.3.8 ASCENSO

Al igual que en el ascenso de la pista hasta alcanzar la altitud de crucero, se tiene en cuenta las altitudes y distancias entre los puntos que para este caso empezarían desde el VOR donde se notifica la anomalía y emprende el ascenso nuevamente mas no directamente de la pista de destino.

- VOR RIO NEGRO = 10,000 ft.
- GUARNE 17-DME = 17 NM --- 14,000 ft

Calculando el tiempo, entonces con la ecuación 5 debido al consumo de combustible la aeronave va con menos peso:

$$k) t = \frac{17}{((6850 - (6850 - 215.15) * 0.005) + 120) / 60} = 8.42 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo en el que la aeronave alcanza su nivel de crucero, es de importar a que tasa de ascenso alcanzo dichas altitudes, por ende se emplea la ecuación 2:

$$k) R/C = \frac{14000 - 9500}{8.42} = 534.16 \text{ ft/min}$$

Para el R/C calculado previamente, el motor trabaja con unas RPM:

$$k) RPM = (0,2181 * 534.16) + 2288,5 = 2405$$

Cuyo consumo de combustible está dado por la ecuación 4, teniendo en cuenta las RPM del motor en ese tramo.

$$k) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2,405) + 0,2004) * (8,42/60) = 28,8 \text{ lb}$$

4.3.9 CRUCERO

Cuando la aeronave alcanza la altitud de crucero y nivela su vuelo, se calcula el tiempo que demora para comenzar su descenso. Este tiempo se calcula dependiendo la distancia entre puntos de notificación y como lo denota la ecuación 5:

$$l) \ t = \frac{91 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 243,94) * 0,005) + 120) / 60} = 30,13 \text{ min}$$

Trabajando el motor a las siguientes RPM:

$$l) \ \text{RPM} = (12,591 * 181,22) - 7,1038 = 2274,63$$

Y con un consumo de combustible definido por la ecuación 4.

$$l) \ \text{Fuel} = ((0,0852 * 2274,63) + 0,2004) * (30,13/60) = 97,42 \text{ lb}$$

4.3.10 DESCENSO

- REMUK – 30-DME = 14 NM --- 12,000 ft.
- 30-DME – 24-DME = 6 NM --- 9,000 ft.
- 24-DME – 19-DME = 5 NM --- 6,600 ft.
- 19-DME – 14-DME = 5 NM --- 4,200 ft.
- 14-DME – VOR-LC = 5 NM --- 3,200 ft.
- VOR-LC – 5-DME = 5 NM --- 1,300 ft.
- 5-DME – PISTA = 5 NM --- 46 ft.

Para encontrar el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar al VOR. Con la ecuación 5:

$$m) \ t = \frac{14 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341,367) * 0,005) + 190) / 60} = 4,38 \text{ min}$$

$$n) \quad t = \frac{6 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 190) / 60} = 1.88 \text{ min}$$

$$o) \quad t = \frac{5 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 190) / 60} = 1.56 \text{ min}$$

$$p) \quad t = \frac{5 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 190) / 60} = 1.56 \text{ min}$$

$$q) \quad t = \frac{6 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 190) / 60} = 1.88 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior de 120 Knots

$$r) \quad t = \frac{3 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 120) / 60} = 1.48 \text{ min}$$

$$s) \quad t = \frac{3 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 341.367) * 0.005) + 120) / 60} = 1.48 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$m) \quad R/D = \frac{14000 - 12000}{4.38} = 546.44 \text{ ft/min}$$

$$n) \quad R/D = \frac{13000 - 9000}{1.88} = 1597.56 \text{ ft/min}$$

$$o) \quad R/D = \frac{9000 - 6600}{1.56} = 1533.65 \text{ ft/min}$$

$$p) \quad R/D = \frac{6600 - 4200}{1.56} = 1533.65 \text{ ft/min}$$

$$q) \quad R/D = \frac{4200 - 3000}{1.88} = 639.02 \text{ ft/min}$$

$$r) \quad R/D = \frac{3000 - 1300}{1.48} = 1149.45 \text{ ft/min}$$

$$s) \quad R/D = \frac{1300 - 46}{1.48} = 847.89 \text{ ft/min}$$

Se emplea la ecuación 3 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$m) \quad RPM = (0,2181 * (-546.44) + 2288,5 = 2188.95$$

$$n) RPM = (0,2181 * (-1597.56) + 2288,5 = 1940.07$$

$$o) RPM = (0,2181 * (-1533.65) + 2288,5 = 1954.01$$

$$p) RPM = (0,2181 * (-1533.65) + 2288,5 = 1954.01$$

$$q) RPM = (0,2181 * (-639.02) + 2288,5 = 2149.13$$

$$r) RPM = (0,2181 * (-1149.45) + 2288,5 = 2037.80$$

$$s) RPM = (0,2181 * (-847.89) + 2288,5 = 2103.57$$

Se procede a evaluar el consumo del combustible para ese descenso con la ecuación 4, debido a que se conocen las RPM según lo anterior, entonces:

$$m) Fuel = ((0,0852 * 2188.95) + 0.2004) * (4.38/60) = 13.63 lb$$

$$n) Fuel = ((0,0852 * 1940.07) + 0.2004) * (1.88/60) = 5.18 lb$$

$$o) Fuel = ((0,0852 * 1954.01) + 0.2004) * (1.56/60) = 4.35 lb$$

$$p) Fuel = ((0,0852 * 1954.01) + 0.2004) * (1.56/60) = 4.35 lb$$

$$q) Fuel = ((0,0852 * 2149.13) + 0.2004) * (1.88/60) = 5.74 lb$$

$$r) Fuel = ((0,0852 * 2037.80) + 0.2004) * (1.48/60) = 4.28 lb$$

$$s) Fuel = ((0,0852 * 2103.57) + 0.2004) * (1.48/60) = 4.42 lb$$

4.3.11 ATERRIZAJE

Al asumir una temperatura de referencia de 30°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 41.

T=30°C W=6850 V= 95 Kias	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
0	1110
46	1112.3
1000	1160

Tabla 41. Longitud de pista

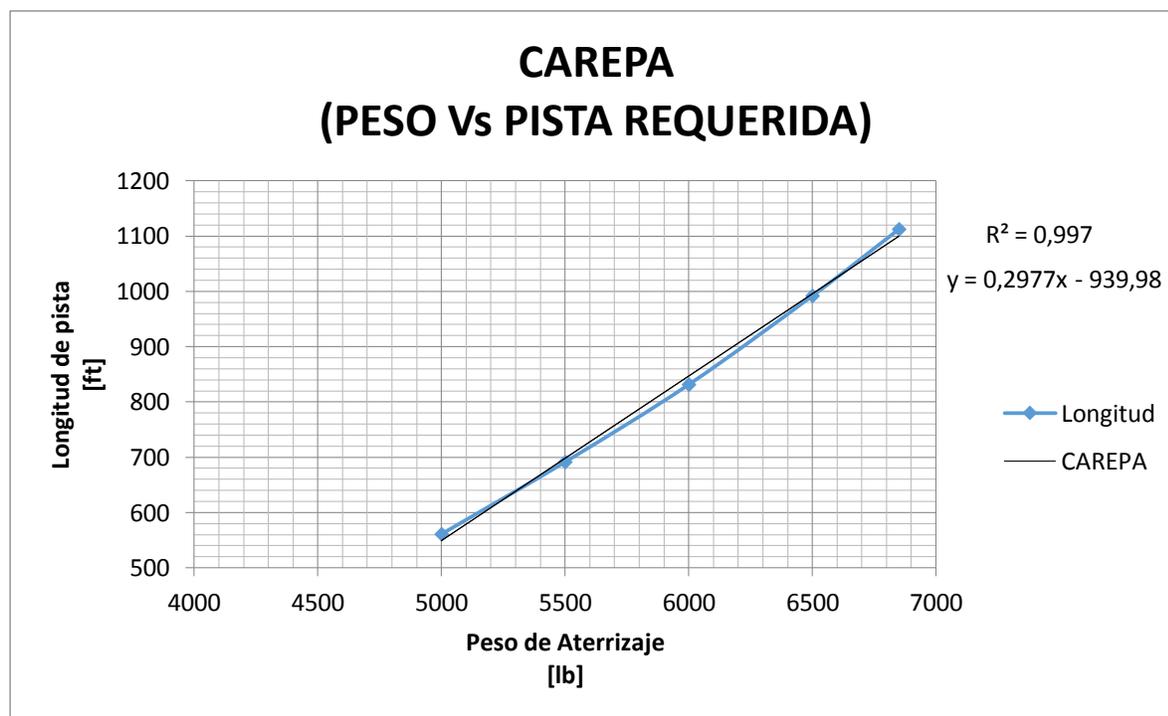
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso que con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto de la misma forma interpolamos y sacamos las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 12, luego tabulamos como se muestra en la tabla 42.

T= 30°c H= 46 ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1112.3
6500	991.84
6000	831.38
5500	691.38
5000	560.92

Tabla 42. Longitud de pista @ 6850 lb

Gráficando los datos obtenidos:



Gráfica 20. Peso vs. Longitud de pista requerida

$$l = (0,2977 * W) - 939.98$$

Ecuación 14

Donde,

l = Longitud de pista requerida

W = Peso de aterrizaje de la aeronave

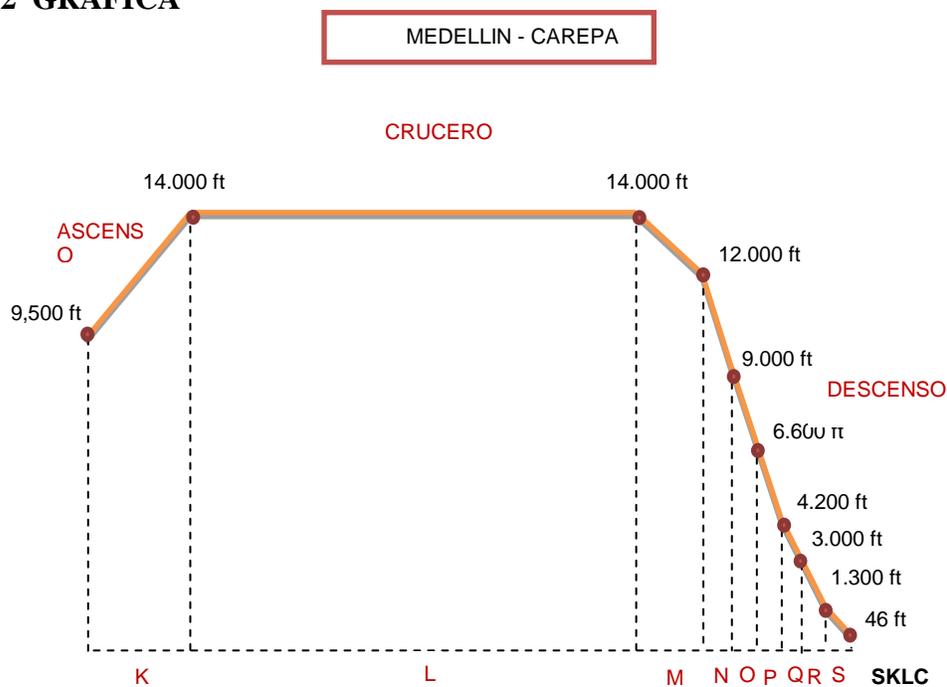
Tomando como referencia la tabla 12 se procede a determinar la longitud mínima de pista para aterrizar.

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 383.32lb de combustible en todo el trayecto de SKMD a SKLC Reemplazando en la ecuación 14.

$$s) \quad l = (0.2977 * (6850 - 383.32) - 939.98 = 985.15 \text{ ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 985.15 ft.

4.3.12 GRÁFICA



Gráfica 21. Ruta SKMD - SKLC

ALTERNO (MEDELLIN- CAREPA)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	GUARNE 17DME		0	9500	0	0	0		
K	GUARNE 17DME	RIO NEGRO VOR	17	14000	121.075754	8.42	534.16	2405.00	28.80
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
L	RIO NEGRO VOR	REMUJ	91	14000	181.22	30.13		2274.63	97.42
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
M	REMUJ	30-DME	14	12000	191.71	4.38	456.44	2188.95	13.63
N	30-DME	24-DME	6	9000	191.71	1.88	1597.56	1940.07	5.18
O	24-DME	19-DME	5	6600	191.71	1.56	1533.65	1954.01	4.35
P	19-DME	14-DME	5	4200	191.71	1.56	1533.65	1954.01	4.35
Q	14-DME	VOR-LC	6	3000	191.71	1.88	639.02	2149.13	5.74
R	VOR-LC	5-DME	3	1300	121.71	1.48	1149.45	2037.80	4.28
S	5-DME	PISTA	3	46	121.71	1.48	847.89	2103.57	4.42
TOTAL ALT						52.8		TOTAL ALT	168.1687309

Tabla 43. Datos operacionales ruta SKMD – SKLC

4.3.13 OPTIMIZACIÓN RUTA

4.3.13.1 ASCENSO CONSTANTE

Para optimizar el ascenso se analiza la ruta desde los puntos en el que despegamos hasta que alcanza el nivel de crucero directamente, sin pasar por los demás puntos de notificación que se convertirían en pequeños tramos para conseguir el ascenso. Ese ascenso directo es válido siempre y cuando se cumplan las altitudes mínimas de operación establecidas en las cartas de navegación.

t) PISTA – SOA = 36.64 NM --- 16,000 ft

Calculando el tiempo se puede hallar la tasa de ascenso que tiene la aeronave para ese tramo hasta alcanzar la altitud de crucero, entonces de la ecuación 1, t

$$b) t = \frac{36.64 \text{ NM}}{(120 \text{ Knots})/60} = 18.32 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la ecuación 2, R/C

$$b) R/C = \frac{16000-8390}{18.32} = 415.39 \text{ ft/min}$$

Para calcular las RPM del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3 una vez calculado el R/C:

$$b) RPM = (0,2181 * 415.39) + 2288,5 = 2371.57$$

Una vez calculado las RPM se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$b) Fuel = ((0,0852 * 2371.57) + 0,2004) * (18.32/60) = 61.75 \text{ lb}$$

4.3.13.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de crucero de 180 Knots nuevamente empleando la ecuación 5 para encontrar el tiempo en el que la aeronave va a estar en la fase de crucero, entonces:

- DISTANCIA = 83 NM – 16,000 ft

$$b) t = \frac{83}{((6850-(6850-61.75)*0.005)+ 180)/60} = 27.62 \text{ min}$$

En crucero las RPM del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$b) RPM = (12,591 * 180.3) - 7,1038 = 2263.16$$

Y el consumo estará dado según las RPM entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4

$$b) Fuel = ((0,0852 * 2263.16) + 0,2004) * (27.62/60) = 88.85 \text{ lb}$$

4.3.13.3 DESCENSO

La aeronave descenderá a 190 Knots antes del VOR para optimizar su rata de descenso,

- NIRSO – RIONEGRO VOR = 38 NM --- 9,500 ft.

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- RIO NEGRO VOR PISTA = 37 NM --- 4,921 ft.

Como bien hemos repasado, la primera variable a encontrar es el tiempo en el que la aeronave se tomará para alcanzar su punto crítico en dado caso de llegar a necesitar desviarse al alterno, nos referimos al VOR. Con la ecuación 5:

$$e) \quad t = \frac{38}{((6850 - (6850 - 150.60) * 0.005) + 180) / 60} = 11.95 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$f) \quad t = \frac{37}{((6850 - (6850 - 150.60) * 0.005) + 180) / 60} = 18.38 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$e) \quad R/D = \frac{16000 - 9500}{11.95} = 543.81 \text{ ft/min}$$

$$f) \quad R/D = \frac{9500 - 4921}{18.35} = 249.44 \text{ ft/min}$$

Según las gráficas antes analizadas acerca de los regímenes de RPM con los que trabaja el motor, empleamos la ecuación 3 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$e) \quad RPM = (0,2181 * (-543.81) + 2288,5) = 2160.21$$

$$f) \quad RPM = (0,2181 * (-249.44) + 2288,5) = 2229.65$$

Una vez calculada las RPM del motor se procede a evaluar el consumo del combustible para ese descenso con la ecuación 4:

$$e) \quad Fuel = ((0,0852 * 2160.21) + 0.2004) * (11.95/60) = 36.7 \text{ lb/min}$$

$$f) \quad Fuel = ((0,0852 * 2229.65) + 0.2004) * (18.35/60) = 58.18 \text{ lb/min}$$

4.3.13.4 ATERRIZAJE

Debido al cambio de peso en el trayecto de la aeronave la ecuación 10 anteriormente utilizada para la longitud mínima de pista queda denotada así:

$$l = (0,3591 * W) - 1141.4 \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

l = Longitud de pista requerida

W = Peso de aterrizaje de la aeronave

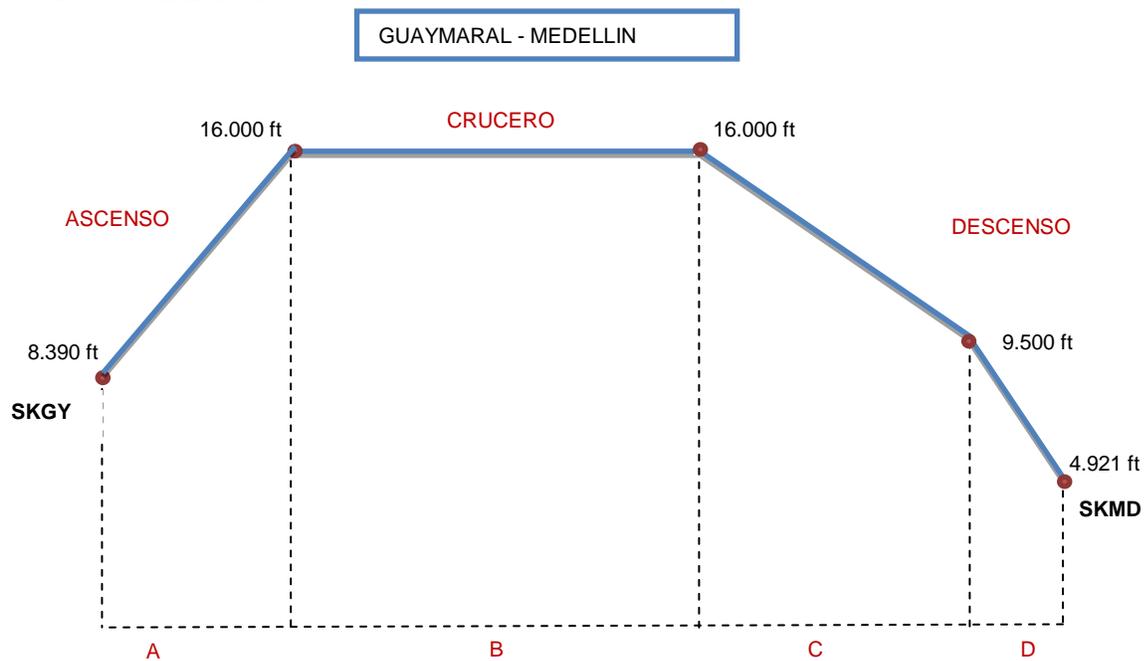
Tomando como referencia la tabla 12 se procede a determinar la longitud mínima de pista para aterrizar.

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 245.58 lb de combustible en todo el trayecto de SKGY a SKMD Reemplazando en la ecuación 12.

$$d) \quad l = (0.3591 * (6850 - 245.58) - 1141.4 = 1230.24 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 1230.24 ft.

4.3.13.5 GRÁFICA



Gráfica 22. Ruta SKGY – SKMD optimizada

GUAYMARAL- MEDELLIN								
ASCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
	AEROPUERTO GUAYMARAL	0	8390	0	0	0		
A	PISTA SOA	36.64	16000	120	18.32	415.393013	2371.5786	61.7563832
CRUSERO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
B	SOA NIRSO	83	16000	180.308782	27.62		2263.16407	88.85215733
Descenso		Distancia (nm)	Altura (ft)	Velocidad (knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
C	NIRSO RIONEGRO	38	9500	190.753043	11.9526272	543.813499	2160.2144	36.70465869
D	RIONEGRO PISTA	37	4921	120.936566	18.3567309	249.445286	2229.65586	58.18076498
							TOTAL	245.4939642

Tabla 44. Datos operacionales ruta SKGY – SKMD

4.3.14 OPTIMIZACIÓN ALTERNO

4.3.14.1 ASCENSO CONSTANTE

u) GUARNE 17DME – RIONEGRO = 17 NM --- 14,000 ft

Calculando el tiempo se puede hallar la rata de ascenso que tiene la aeronave para ese tramo hasta alcanzar la altitud de crucero, entonces de la ecuación 5, t

$$e) t = \frac{17 \text{ NM}}{((6850 - (6850 - 214.64) * 0.005) + 120) / 60} = 8.42 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo se emplea ahora la ecuación 2, R/C

$$e) R/C = \frac{9500 - 14000}{8.42} = 534.14 \text{ ft/min}$$

Para calcular las RPM del motor básicamente se reemplaza en la ecuación 3 una vez calculado el

R/C:

$$e) \text{ RPM} = (0,2181 * 534.14) + 2288,5 = 2395.32$$

Una vez calculado las RPM se calcula el consumo de combustible para cada punto en el ascenso utilizando la ecuación 4:

$$e) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2395.32) + 0,2004) * (8.42/60) = 28.68 \text{ lb}$$

4.3.14.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de crucero de 180 Knots nuevamente empleando la ecuación 5 para encontrar el tiempo en el que la aeronave va a estar en la fase de crucero, entonces:

- DISTANCIA = 91 NM – 14,000 ft

$$f) \text{ } t = \frac{91}{((6850 - (6850 - 243.32) * 0.005) + 180) / 60} = 30.12 \text{ min}$$

En crucero las RPM del motor estarán dadas por la ecuación 6, donde

$$f) \text{ RPM} = (12,591 * 181.21) - 7,1038 = 2274.59$$

Y el consumo estará dado según las RPM entregadas por el motor en la fase de crucero como se muestra en la ecuación 4:

$$f) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2274.59) + 0,2004) * (30.12/60) = 97.41 \text{ lb}$$

4.3.14.3 DESCENSO

La aeronave descenderá a 190 Knots antes del VOR para optimizar su rata de descenso,

- REMUK – VOR LC = 36 NM --- 3,000 ft.

Y en la aproximación se nivela a una velocidad de 120 Knots hasta la pista.

- VOR LC – PISTA = 6 NM --- 46 ft.

Con la ecuación 5, encontramos la primera variable con la cual calculamos la tasa de descenso, se hace referencia al tiempo:

$$g) \text{ } t = \frac{36}{((6850 - (6850 - 340.74) * 0.005) + 190) / 60} = 11.26 \text{ min}$$

Posteriormente luego de notificar al VOR y comenzar su aproximación, nuevamente se reemplaza en la ecuación 5 pero con una velocidad inferior

$$h) \quad t = \frac{36}{((6850 - (6850 - 340.74) * 0.005) + 120) / 60} = 2.95 \text{ min}$$

Para calcular la tasa a la que la aeronave desciende tomando el tiempo como una variable ya calculada, se procede a calcular entonces con la ecuación 7:

$$g) \quad R/D = \frac{14000 - 3000}{11.26} = 976.26 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D = \frac{3000 - 46}{2.95} = 998.64 \text{ ft/min}$$

Según las gráficas antes analizadas acerca de los regímenes de RPM con los que trabaja el motor, empleamos la ecuación 8 para hallar la cantidad de revoluciones por minuto al que la aeronave está descendiendo para cada tramo.

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-976.26) + 2288,5) = 2058.19$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-998.64) + 2288,5) = 2052.91$$

Una vez calculada las RPM del motor se procede a evaluar el consumo del combustible para ese descenso con la ecuación 4:

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 2058.19) + 0.2004) * (11.95/60) = 32.96 \text{ lb}$$

$$h) \quad Fuel = ((0,0852 * 2052.91) + 0.2004) * (18.35/60) = 8.63 \text{ lb}$$

4.3.14.4 ATERRIZAJE

Debido al cambio de peso en el trayecto de la aeronave la ecuación 13 anteriormente utilizada para la longitud mínima de pista queda denotada así:

$$l = (0,2977 * W) - 939.98 \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

l = Longitud de pista requerida

W = Peso de aterrizaje de la aeronave

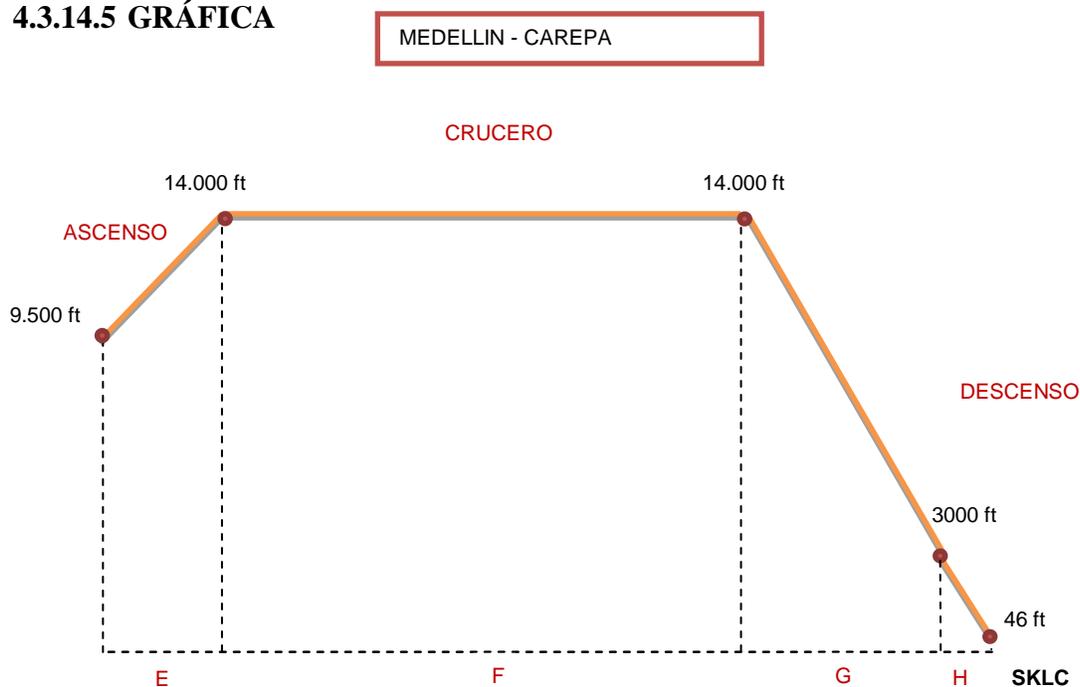
Tomando como referencia la tabla 12 se procede a determinar la longitud mínima de pista para aterrizar.

Teniendo en cuenta que la aeronave consumió 382.34lb de combustible en todo el trayecto de SKMD a SKLC optimizado reemplazando en la ecuación 13.

$$h) l = (0.2977 * (6850 - 382.34) - 939.98 = 985.44 \text{ ft}$$

La aeronave necesitará para ese peso de aterrizaje una longitud de pista de 985.44 ft.

4.3.14.5 GRÁFICA



Gráfica 23. Ruta SKMD – SKLC optimizada

ALTERNO (MEDELLIN- CAREPA)									
ASCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
	GUARNE 17DME	0	9500	0	0	0			
E	GUARNE 17DME	RIO NEGRO VOR	17	14000	121.073181	8.42465679	534.146388	2395.32928	28.6834928
CRUCERO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
F	RIO NEGRO VOR	REMUJ	91	14000	181.216599	30.1296903		2274.5944	97.41724425
DESCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
G	REMUJ	VOR-LC	36	3000	191.703685	11.267389	976.268767	2058.1982	32.96817122
H	VOR-LC	PISTA	6	46	121.703685	2.9580041	998.646349	2052.91933	8.632891921
TOTAL								167.7018002	

Tabla 45. Datos operacionales ruta SKMD – SKLC

4.4 GUAYMARAL (SKGY) – FLORENCIA (SKFL)

- Nivel De Crucero: 14.000 ft
- Distancia Total: 251 NM

	NOMBRE	ELEVACION	LONGITUD DE PISTA	TEMP. DE REFERENCIA
Origen	Flaminio Suarez Camacho	8,390 ft	1,720 m x 20 m	14°C
Destino	Gustavo Artunduaga Paredes	805 Ft	1,440 m x 30 m	33°C
Alterno	Benito Salas	1,464 Ft	1,688 m x 40 m	35°C

Tabla 46. Información general aeropuertos

Ruta: ROMEO 3 – W 22 – BOGUS - LIXAG – TOMEX – NVA – W 16

GAXAP2C – VOR-CIRCULAR

Trayecto/ Espera	R (ROMEO)	SOA - BOGUS	BOGUS - LIXAG	LIXAG - TOMEX	TOMEX - NVA	NVA - GAXAP
MEA (ft)	12,000	12,000	12,000	9,000	9,000	13,000

Tabla 47. Altitudes puntos de notificación.

Alternativo: NEIVA (SKNV)

Nivel De Crucero: 13,000 ft.

Distancia Total: 138 NM

Ruta alternativo: FLA – W 15- SVC – OPTIL – NVA – VOR Z

Trayecto/ Espera	FLA - SVC	SVC - OPTIL	OPTIL – NVA
MEA (ft)	9,000	13,000	13,000

Tabla 48. Altitudes puntos de notificación alternativo.

4.4.1 DESPEGUE

La mínima longitud de pista mínima que requiere la aeronave será de 3,178 Ft.

4.4.2 ASCENSO

A continuación se muestran las distancias entre coordenadas y la altitud mínima que debe tener la aeronave en ese punto.

- PISTA – R.113 = 19.15 NM --- 9,600 ft
- R.113° - ROMEO = 6.15 NM --- 10,700 ft.
- ROMEO – SOA = 11.34 NM --- 14000 ft

Asumiendo una velocidad promedio de 120 Knots y aplicando la Ecuación 1. Se puede encontrar el tiempo que tardara la aeronave entre coordenadas.

$$a) \quad t = \frac{19.15 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}/60} = 9.6 \text{ min}$$

$$b) \quad t = \frac{6.15 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}/60} = 3.1 \text{ min}$$

$$c) \quad t = \frac{11.34 \text{ NM}}{\frac{120 \text{ Knot}}{60}} = 5.7 \text{ min}$$

Aplicamos la Ecuación 2. En cada tramo para obtener la rata de ascenso.

$$a) \quad R/C = \frac{9600-8390}{9.6} = 126.37 \text{ ft}$$

$$b) \quad R/C = \frac{10700-9600}{3.1} = 357.72 \text{ ft}$$

$$c) \quad R/C = \frac{15000-10700}{5.7} = 582.01 \text{ ft}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de Rpm a la que trabaja el motor con esa rata de ascenso, mediante Ecuación 3

$$a) \quad RPM = (0,2181 * 126.37) + 2288,5 = 2316.06$$

$$b) \quad RPM = (0,2181 * 357.72) + 2288,5 = 2366.51$$

$$c) \quad RPM = (0,2181 * 582.01) + 2288,5 = 2415.43$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$a) \quad Fuel = ((0,0852 * 2316.06) + 0,2004) * (9.6/60) = 31.52 \text{ lb/min}$$

$$b) \quad Fuel = ((0,0852 * 2366.51) + 0,2004) * (3.1/60) = 10.34 \text{ lb/min}$$

$$c) \quad Fuel = ((0,0852 * 2415.43) + 0,2004) * (5.7/60) = 19.46 \text{ lb/min}$$

4.4.3 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knots y Aplicando la Ecuación 5. Se puede encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$d) \quad t = \frac{109 \text{ NM}}{(((6850-(6850-61.33))*0,005)+ 180 \text{ Knot})/60} = 36.3 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible del Cessna 402C primero es necesario hallar el régimen de Rpm a la que trabaja el motor con esa rata de ascenso, mediante Ecuación 6

$$d) RPM = (12,591 * 180,31) - 7,1038 = 2263.13$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$d) Fuel = ((0,0852 * 2263.13) + 0,2004) * (36.3/60) = 116.68 lb$$

4.4.4 DESCENSO

A continuación se muestran las distancias entre coordenadas y la altitud mínima que debe tener la aeronave en ese punto.

$$e) NVA - GAXAP = 71 NM --- 13.000 ft.$$

$$f) GAXAP - 10DME/FL= 9 NM --- 10.000 ft.$$

$$g) 10DME/FLA - FLA/VOR = 10 NM --- 7.000 ft.$$

$$h) FLA/VOR - 10DME/FLA = 12.6 NM --- 3.500 ft.$$

$$i) 10DME/FLA - 8 DME/FLA = 2 NM --- 3.000 ft.$$

$$j) 8 DME/FLA - PISTA (SKFL) = 8 NM --- 850 ft.$$

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knots y aproximación 120 Knots, aplicando la Ecuación 5 encontramos el tiempo en cada trayectoria.

$$e) t = \frac{71 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 190 Knot) / 60} = 22.3 min$$

$$f) t = \frac{9 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 190 Knot) / 60} = 2.8 min$$

$$g) t = \frac{10 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 190 Knot) / 60} = 3.1 min$$

$$h) t = \frac{12.6 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 120 Knot) / 60} = 6.3 min$$

$$i) t = \frac{2 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 120 Knot) / 60} = 1 min$$

$$j) t = \frac{8 NM}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 120 Knot) / 60} = 4 min$$

Después de obtener los tiempos en cada trayecto aplicamos la Ecuación 7 para hallar la rata de descenso.

$$e) \quad R/D = \frac{14000-13000}{22.3} = 44.809 \text{ ft/min}$$

$$f) \quad R/D = \frac{13000-10000}{2.8} = 1060.5 \text{ ft/min}$$

$$g) \quad R/D = \frac{10000-7000}{3.1} = 954.45 \text{ ft/min}$$

$$h) \quad R/D = \frac{7000-3500}{6.3} = 559.67 \text{ ft/min}$$

$$i) \quad R/D = \frac{3500-3000}{1} = 503.7 \text{ ft/min}$$

$$j) \quad R/D = \frac{3000-850}{4} = 541.48 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de RPMs del motor.

$$e) \quad RPM = (0,2181 * (-44.809)) + 2288,5 = 2278.72$$

$$f) \quad RPM = (0,2181 * (-1060.5)) + 2288,5 = 2057.2$$

$$g) \quad RPM = (0,2181 * (-954.45)) + 2288,5 = 2080.33$$

$$h) \quad RPM = (0,2181 * (-559.67)) + 2288,5 = 2166.43$$

$$i) \quad RPM = (0,2181 * (-503.7)) + 2288,5 = 2178.64$$

$$j) \quad RPM = (0,2181 * (-541.48)) + 2288,5 = 2170.4$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$e) \quad Fuel = ((0,0852 * 2278.72) + 0.2004) * (7.85/60) = 72.28 \text{ lb/min}$$

$$f) \quad Fuel = ((0,0852 * 2057.2) + 0.2004) * (2.05/60) = 8.27 \text{ lb/min}$$

$$g) \quad Fuel = ((0,0852 * 2080.33) + 0.2004) * (4.03/60) = 9.29 \text{ lb/min}$$

$$h) \quad Fuel = ((0,0852 * 2166.43) + 0.2004) * (1.18/60) = 19.25 \text{ lb/min}$$

$$i) \quad Fuel = ((0,0852 * 2178.64) + 0.2004) * (1.18/60) = 3.07 \text{ lb/min}$$

$$j) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2170.4) + 0.2004) * (1.18/60) = 12.25 \text{ lb/min}$$

4.4.5 ATERRIZAJE

Mediante la tabla 12 podremos determinar la mínima longitud de pista que requiere la aeronave para aterrizar en el aeropuerto de Florencia.

Al asumir una temperatura de referencia de 30°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 49.

T=30°C W=6850	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
0	1110
805	1150,25
1000	1160

Tabla 49 Longitud de pista

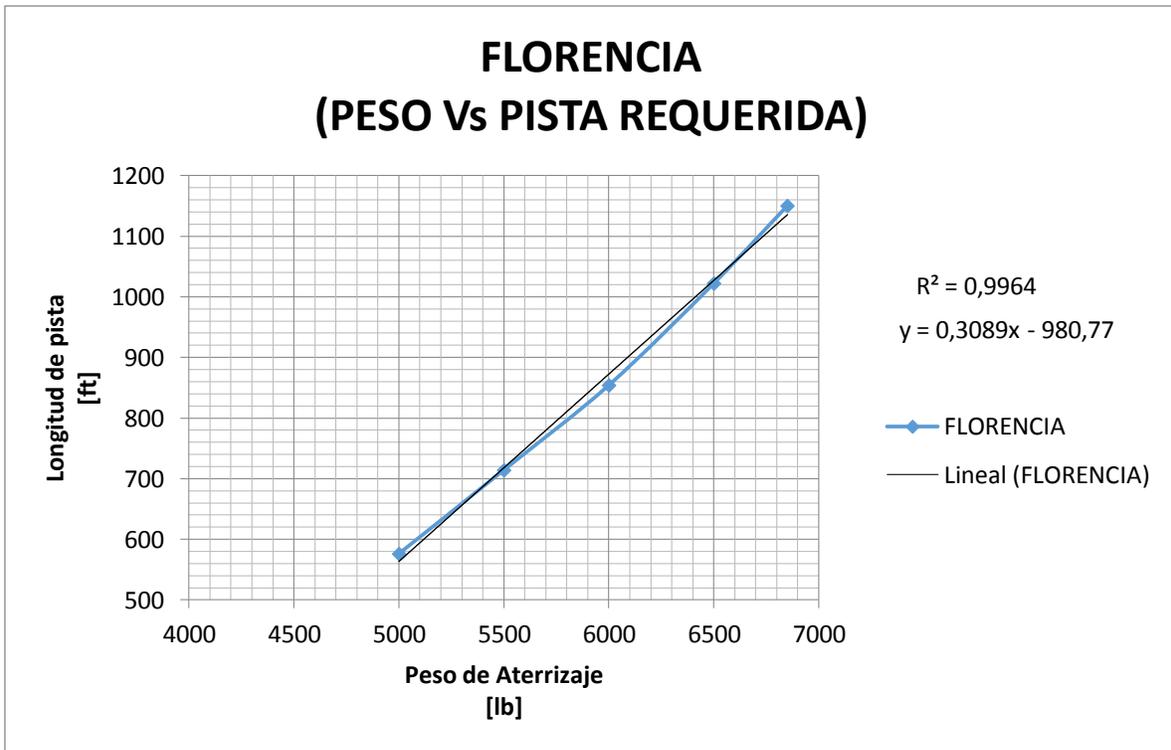
Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

Para esto de la misma forma interpolamos y sacamos las longitudes de pista para los diferentes pesos que nos da la tabla 45, luego tabulamos como se muestra en la tabla 50.

T= 30°C H= 805 Ft	
PESO (Lb)	LONGITUD (Ft)
6850	1150,25
6500	1022,2
6000	854,15
5500	714,15
5000	576,1

Tabla 50. Longitud de pista @ 6850 lb

Se graficó y obtenemos una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 24. Peso vs. Longitud de pista requerida

$$l = (0.3089 * W) - 980,77$$

Ecuación 14

Donde

l = Longitud de pista requerida

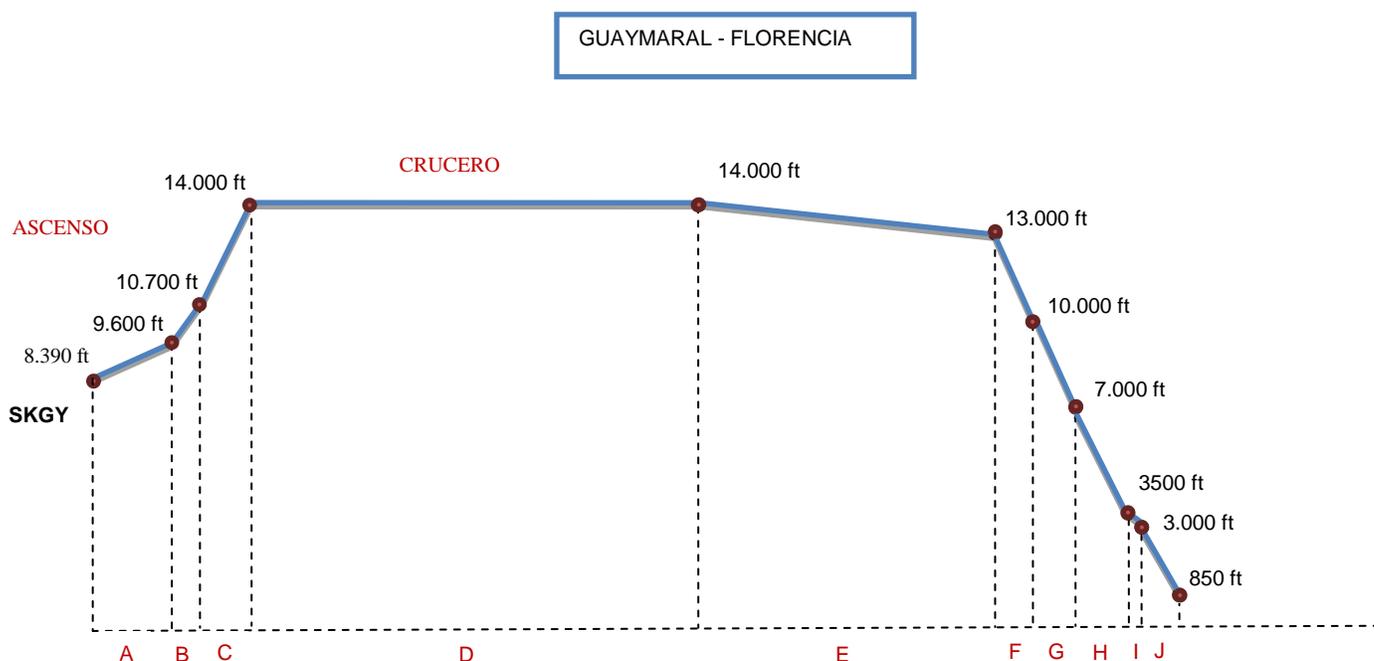
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Sabiendo que la aeronave consumió 302.45 Lb de combustible en el trayecto se puede restar al peso total y saber cuánto es la longitud de pista

$$c) \quad l = (0,3089 * (6850 - 302.45)) + 980.77 = 1041.76 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitara una longitud mínima de pista de 1041.76 ft para poder aterrizar.

4.4.6 GRÁFICA



Gráfica 25. Ruta SKGY – SKFL

GUAYMARAL - FLORENCIA									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
AEROPUERTO GUAYMARAL			0	8390	0	0	0	0	0
A	PISTA	R-113°	19,15	9600	120	9,6	126,371	2316,1	31,52231017
B	R-113°	ROMEO	6,15	10700	120	3,1	357,724	2366,5	10,34367795
C	ROMEO	SOA	11,34	14000	120	5,7	582,011	2415,4	19,4665833
CRUCERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
D	SOA	NVA	109	14000	180,31	36,3	N/A	2263,1	116,6853604
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
E	NVA	GAXAP	71	13000	190,89	22,3	44,8099	2278,7	72,28611806
F	GAXAP	10DME/FL	9	10000	190,89	2,8	1060,5	2057,2	8,27318105
G	10DME/FL	FLA/VOR	10	7000	190,89	3,1	954,45	2080,3	9,295657389
H	FLA/VOR	10DME/FL	12,6	3500	120,89	6,3	559,676	2166,4	19,25911303
I	10DME/FL	8 DME/FL	2	3000	120,89	1,0	503,709	2178,6	3,074207735
J	8 DME/FL	PISTA(SKFL)	8	850	120,89	4,0	541,487	2170,4	12,25037564
TOTAL									302,4565847

Tabla 51. Datos operacionales ruta SKGY - SKFL

4.4.7 ALTERNO

El alterno más lejano para hacer esta ruta será el aeropuerto Benito Salas ubicado en la ciudad de Neiva, para lo cual el peor de los casos sería que se reportara como cerrado el aeropuerto de Florencia cuando la aeronave se encuentra cerca de VOR- FL o sobrepasándolo, en este caso sería la distancia más larga que necesitaría cubrir la aeronave para llegar al alterno.

4.4.8 ASCENSO

El ascenso se asume que empieza justo en el VOR – FL que se encuentra a 4000 ft de altura, A continuación se relaciona el ascenso hasta VOR - SVC.

$$1) \quad \text{VOR FL} - \text{VOR SVC} = 59 \text{ NM} \text{ --- } 13,000 \text{ ft}$$

Se asume una velocidad promedio de 120 Knot y con la Ecuación 5 encontramos el tiempo.

$$1) \quad t = \frac{59 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 168,61)) * 0,005) + 120 \text{ Knot}) / 60} = 29.2 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 2. Encontramos la rata de ascenso:

$$1) \quad R/C = \frac{1300 - 7000}{29.2} = 205.66 \text{ ft/min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa rata de ascenso, mediante Ecuación 3

$$1) \quad RPM = (0,2181 * 205.66) + 2288,5 = 2333$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$1) \quad Fuel = ((0,0852 * 2333) + 0,2004) * (29.2 / 60) = 96,76 \text{ lb}$$

4.4.9 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knot y Aplicando la Ecuación 5. Se puede encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$m) \frac{31 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 168,61)) * 0,005) + 180 \text{ Knot}) / 60} = 10.2 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de Rpm a la que trabaja el motor con esa velocidad, mediante Ecuación 6.

$$m) \text{ RPM} = (12,591 * 181.82) - 7,1038 = 2282$$

Teniendo el régimen de Rpm a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$m) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2282) + 0,2004) * (10.2/60) = 96.76 \text{ lb}$$

4.1.1. DESCENSO

A continuación se relacionan las alturas y las distancias entre puntos para el descenso.

$$n) \text{ OPTIL} - \text{VOR NVA} = 31 \text{ NM} \text{ --- } 4.000 \text{ ft.}$$

$$o) \text{ VOR NVA} - \text{SKNV} = 11.5 \text{ NM} \text{ --- } 1464 \text{ ft.}$$

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knots y aproximación 120 Knots, aplicando la Ecuación 5 encontramos el tiempo en cada trayectoria.

$$n) \quad t = \frac{31 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 190 \text{ Knot}) / 60} = 9.7 \text{ min}$$

$$o) \quad t = \frac{11,5 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 213,57)) * 0,005) + 120 \text{ Knot}) / 60} = 5.7 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 7. Se puede encontrar la Rata de Descenso

$$n) \text{ R/D} = \frac{13000 - 4000}{9.7} = 998.98 \text{ ft/min}$$

$$o) \text{ R/D} = \frac{4000 - 1464}{5.7} = 448.35 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de RPMs del motor.

$$n) \text{ RPM} = (0,2181 * (-998.98)) + 2288,5 = 2086,89$$

$$o) \text{ RPM} = (0,2181 * (-448.35)) + 2288,5 = 2191,71$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$n) \text{Fuel} = ((0,0852 * 2086,89) + 0.2004) * (9.7/60) = 28.72 \text{ lb}$$

$$o) \text{Fuel} = ((0,0852 * 2191,71) + 0.2004) * (5.7/60) = 17.61 \text{ lb}$$

4.1.2. ATERRIZAJE

Mediante la tabla 12 podremos determinar la mínima longitud de pista que requiere la aeronave para aterrizar en el aeropuerto de Neiva.

Al asumir una temperatura de referencia de 30°C se interpola entre los dos valores que se encuentra la altura del aeropuerto como se muestra en la tabla 52.

T=30°C W=6850 V= 95	
Kias	
Altitud (Ft)	longitud (Ft)
1000	1160
1464	1178,56
2000	1200

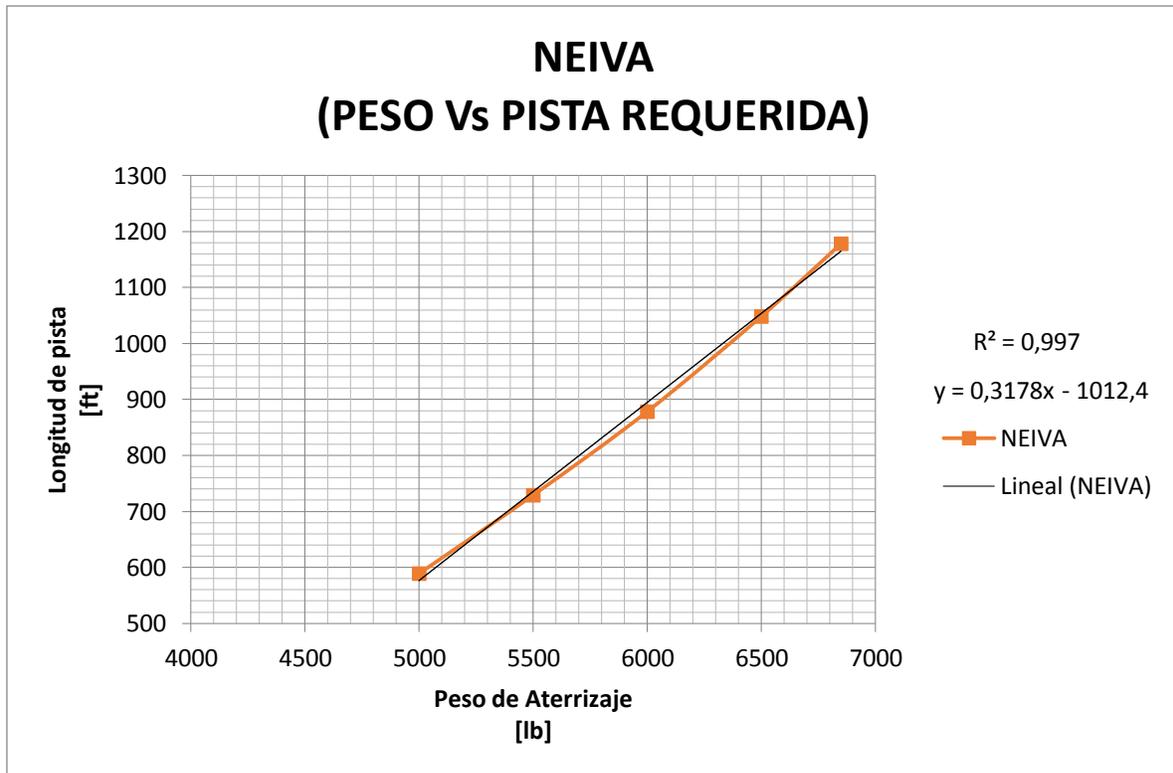
Tabla 52. Longitud de pista

Pero como la aeronave no tendrá el mismo peso con el que salió es necesario determinar una fórmula para poder hallar la longitud de pista requerida en función del peso.

53.T= 30°C H= 1464 Ft	
PESO (LB)	LONGITUD (Ft)
6850	1178,56
6500	1048,56
6000	878,56
5500	729,28
5000	589,28

Tabla 53. Longitud de pista @ 6850 lb

Se graficó y obtenemos una ecuación lineal de la pista en función del peso de la aeronave.



Gráfica 26. Peso vs longitud de pista requerida

$$l = (0.3178 * W) - 1012.4$$

Ecuación 15

Donde

l = Longitud de pista requerida

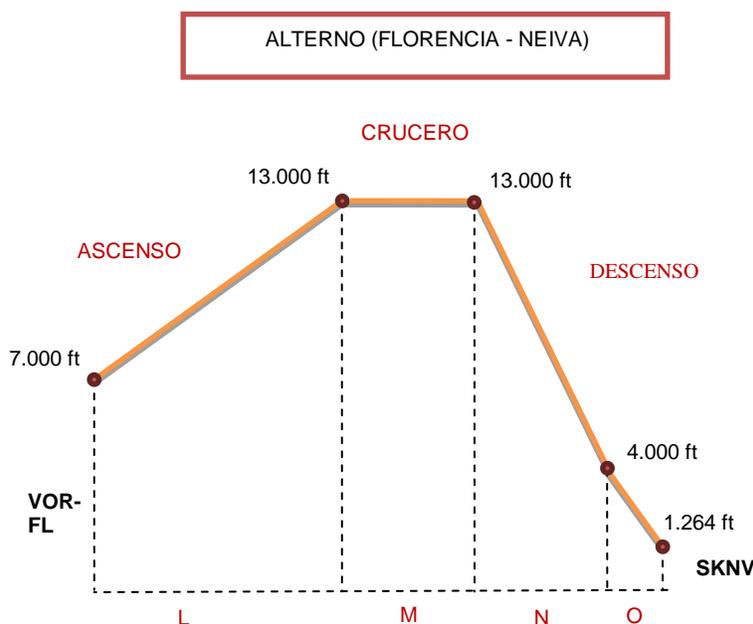
W = Peso de aterrizaje de la aeronave

Sabiendo que la aeronave consumió 444.16 Lb de combustible en el trayecto se puede restar al peso total y saber cuánto es la longitud de pista

$$d) \quad l = (0,318 * (6850 - 444.16)) - 1012.4 = 1001.75 \text{ Ft}$$

La aeronave necesitara una longitud mínima de pista de 1001.75 ft para poder aterrizar.

4.1.3. GRÁFICA



ALTERNO (FLORENCIA - NEIVA)									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
L	VOR FL	SVC	59	13000	121,339364	29,2	205,66	2333,354	96,76274239
CRUSERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
M	SVC	OPTIL	31	13000	181,82	10,2	N/A	2282,232	33,18632524
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
N	OPTIL	VOR NVA	31	4000	191,99	9,7	928,98	2085,89	28,72800392
O	VOR NVA	SKNV	11,5	1464	121,99	5,7	448,354	2190,714	17,61440948
								total	176,291481

Tabla 54. Datos operacionales ruta SKFL - SKNV

Nota: gráfica origen-destino-alterno se encuentra en el anexo 4.

4.4.10 OPTIMIZACIÓN DE RUTA

4.4.10.1 ASCENSO CONSTANTE

El ascenso constante de la aeronave se podrá calcular de la misma forma que se hallaron los ascensos anteriores, en vez de seccionar el ascenso se toma como uno solo trayecto.

PISTA – SOA = 36.64 NM --- 14,000 ft

Se asume una velocidad promedio de 120 Knots y con la Ecuación 1 encontramos el tiempo.

$$a) t = \frac{36.64 \text{ NM}}{120 \text{ Knot}} = 18.32 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 2. Encontramos la rata de ascenso.

$$a) R/C = \frac{14000-8390}{18.32} = 306.22 \text{ ft/min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de nuestra aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa rata de ascenso, mediante Ecuación 3

$$b) RPM = (0,2181 * 306.22) + 2288,5 = 2349.74$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$b) Fuel = ((0,0852 * 2349.74) + 0,2004) * (18.32/60) = 61.18 \text{ lb}$$

4.4.10.2 CRUCERO

Asumiendo una velocidad de 180 Knots y Aplicando la Ecuación 5. Se puede encontrar el tiempo total de crucero de la aeronave.

$$c) \frac{109 \text{ NM}}{(((6850-61.47)*0,005)+ 180 \text{ Knot})/60} = 36.3 \text{ min}$$

Para poder establecer el consumo de combustible de la aeronave primero es necesario hallar el régimen de RPMs a la que trabaja el motor con esa velocidad, mediante Ecuación 6

$$b) RPM = (12,591 * 180,30) - 7,1038 = 2263.128$$

Teniendo el régimen de RPMs a la que trabaja el motor se puede establecer el combustible consumido por la aeronave mediante la Ecuación 4

$$c) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2263.128) + 0,2004) * (36.3/60) = 116.68 \text{ lb}$$

4.4.10.3 DESCENSO

El descenso constante de la aeronave se podrá calcular de la misma forma que se hallaron los descensos anteriores, en vez de seccionar el descenso se toma como uno solo trayecto de igual forma en la aproximación de la aeronave se toma como una sola trayectoria.

$$\text{VOR NVA} - \text{VOR FL} = 87 \text{ Nm} \text{ --- } 7000 \text{ ft}$$

$$\text{VOR FL} - \text{SKFL} = 22.6 \text{ NM} \text{ --- } 850 \text{ ft}$$

Asumiendo una velocidad descenso de 190 Knot y aproximación 120 Knot, aplicando la Ecuación 5 encontramos el tiempo en cada trayectoria.

$$d) t = \frac{90 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 107.504)) * 0,005) + 190 \text{ Knot}) / 60} = 28.3 \text{ min}$$

$$e) t = \frac{22.6 \text{ NM}}{(((6850 - (6850 - 107.504)) * 0,005) + 120 \text{ Knot}) / 60} = 11.2 \text{ min}$$

Mediante la Ecuación 7. Se puede encontrar la Rata de Descenso

$$c) R/D = \frac{14000 - 7000}{28.3} = 247.44 \text{ ft/min}$$

$$d) R/D = \frac{7000 - 850}{11.2} = 548,28 \text{ ft/min}$$

Mediante el Ecuación 8 se puede encontrar el régimen de rpm del motor.

$$e) \text{ RPM} = (0,2181 * (-247.44)) + 2288,5 = 2230.12$$

$$f) \text{ RPM} = (0,2181 * (-548,28)) + 2288,5 = 2159.16$$

Teniendo las RPM del motor se puede hallar en consumo de combustible mediante Ecuación 4.

$$c) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2230.12) + 0.2004) * (28.3/60) = 89.67 \text{ lb/min}$$

$$d) \text{ Fuel} = ((0,0852 * 2159.16) + 0.2004) * (11.2/60) = 34.42 \text{ lb/min}$$

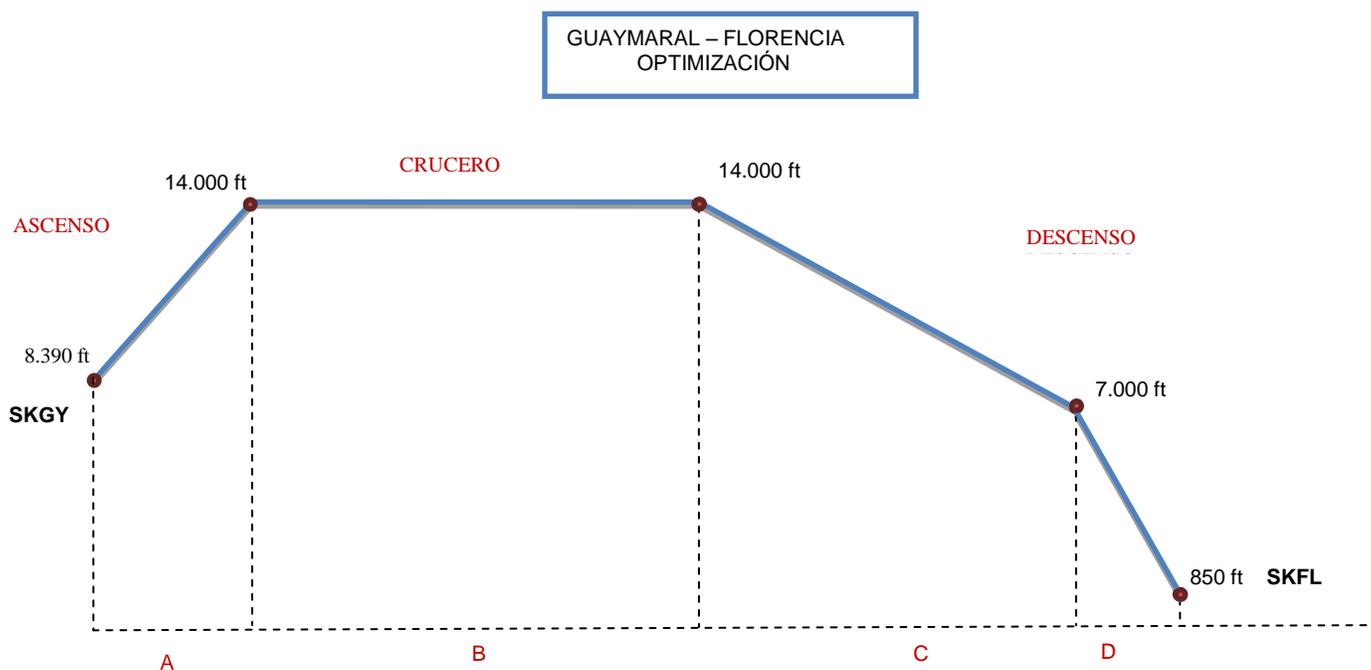
4.4.10.4 ATERRIZAJE

Para determinar la longitud de pista mínima que requiere la aeronave se puede utilizar Ecuación 14.

$$d) l = (0,3089 * (6850 - 301.98)) + 980.77 = 1041.91 \text{ Ft}$$

La aeronave requiere de 1041.91 Ft de pista para poder aterrizar

4.4.10.5 GRÁFICA OPTIMIZADA



Gráfica 28. Ruta SKGY – SKFL optimizada

OPTIMIZACION GUAYMARAL - FLORENCIA									
ASCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
A	PISTA	SOA	36,64	14000	120	18,3	306,222707	2349,74454	61,1883832
CRUSERO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
B	SOA	NVA	109	14000	180,305942	36,3	N/A	2263,12831	116,6853594
DESCENSO			Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (Knots)	Tiempo (min)	R/D (ft/min)	RPM	Combustible (lb)
C	NVA	FLA/VOR	90	7000	190,889369	28,3	247,449182	2230,12674	89,67837205
D	FLA/VOR	10DME/FL	22,6	850	120,889369	11,2	548,281429	2159,16041	34,42846661
								TOTAL	301,9805812

Tabla 55. Datos operacionales SKGY - SKFL

4.4.11 OPTIMIZACIÓN ALTERNO

En el caso de esta ruta no es posible optimizar sus trayectos ya que el ascenso y descenso tienen trayectorias uniformes

4.5 LENGUAJE DE PROGRAMACION Y DISEÑO DEL PROGRAMA.

Comandos básicos utilizados por matlab.

SYNTAX	DESCRIPCIÓN
guide	Es el nombre que se le da a la interfaz gráfica
Imread	Lee una imagen desde el archivo que se desee especificado por su nombre.
imshow	Muestra la imagen cargada en una interfaz o en un axes.
axes	Crea los ejes de tamaño para una imagen.
global	Declara variables globales entre las interfaces.
popupmenu	Es un botón desplegable que permite seleccionar diferentes casos.
switch	Condiciona que permite seleccionar diferentes casos.
case	Evalúa una expresión y ejecuta un grupo de sentencias según cada caso.
If, elseif	Evalúa una expresión y ejecuta un grupo de sentencias cuando la expresión es verdadera.
pushbutton	Es un botón directo que calcula o permite abrir otra guide.
Size	Dimensiona la matriz de la imagen para proporcionar el tamaño deseado
String	Esta función crea una matriz de caracteres, o cadena.
Open(.PDF)	Permite abrir cualquier archivo.PDF incorporado en la carpeta.
Zoom on	Permite realizar zoom sobre una imagen.
Warndlg	Muestra una ventana con un mensaje de aviso
Errordlg	Muestra una ventana con un mensaje de error

Tabla 56. Comandos básicos – lenguaje de programación Matlab.

- **SKYWAY**

SKYWAY es un software pensado en el sector de análisis operacional y personal capacitado como lo son pilotos, el cual tiene como función facilitar el análisis de cuatro rutas aéreas del territorio nacional para la aeronave Cessna 402C.

Se encuentra dividido en 5 módulos principales donde se observará :

Módulo 1 : información de la aeronave más relevante y útil para el operario.

Módulo 2: información de los aeropuertos por los que tendrá que pasar la aeronave para su determinada ruta, establecido en los más necesario y el AIP (Aeronautical Information Publication) de cada uno de ellos.

Modulo 3. Aerovía con sus respectivos puntos de notificación, radio ayudas y distancias, incluyendo las cartas de navegación necesarias para salida, llegada y aterrizaje.(SID-STAR-IAC)

Modulo 4. Longitud de pista para aeropuerto de origen, destino y alternativo, con la posibilidad de variación del peso, y con la obtención de datos como distancia recorrida, tiempo del trayecto y consumo de combustible.

Para el inicio del programa se manejó una interfaz gráfica que consta de cinco botones principales y un botón desplegable que permite seleccionar la ruta que se desea analizar.

Para esta interfaz se manejó una imagen de fondo y cinco imágenes prediseñadas en cada botón leídos y mostrados de la siguiente forma:

```
fondo = imread('CESSNA.jpg');
imshow(fondo);

[a,map]=imread('menu1.JPG');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/100);
y=ceil(c/120);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton5,'CData',g);

[a,map]=imread('menu4.JPG');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/120);
y=ceil(c/140);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton7,'CData',g);

[a,map]=imread('menu3.JPG');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/100);
y=ceil(c/120);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton8,'CData',g);
```

```

[a,map]=imread('menu5.JPG');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/100);
y=ceil(c/120);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton9,'CData',g);

[a,map]=imread('menu2.JPG');
[r,c,d]=size(a);
x=ceil(r/100);
y=ceil(c/120);
g=a(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton10,'CData',g);

```

Lo que realiza el comando, set (handles.) es mostrar la imagen cargada sobre el espacio deseado, en este caso sobre los botones.

Para el popupmenu se manejó cuatro casos específicos, cada uno para cada ruta, para que este procedimiento se pueda leer en todas las interfaz que se conectan con ella se usó el comando global.

```

function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global carta
global a
carta=get(handles.popupmenu2,'value');
switch carta
case 1
    e=errordlg('No a seleccionado ninguna ruta','error');
case 2
    a=1;
case 3
    a=2;
case 4
    a=3;
case 5
    a=4;
end

```

Como se puede ver en el case 1 el mensaje de errordlg, es un mensaje de error que muestra el programa, el cual hace referencia que no se ha seleccionado ninguna ruta por ende el programa

no ejecutará, la palabra end, es un parámetro muy importante para estos casos debido a que si no se usa el comando queda abierto y el ciclo no tendría final.

Para llamar otra interfaz gráfica con un botón, se debe colocar el nombre tal como aparece guardado en la otra interfaz, debajo de la función del botón que quiere que realice esta opción, por ejemplo:

```
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
AEROPUERTOS
```

4.5.1 BOTON 1. INFORMACION DE LA AERONAVE.



Ilustración 1. Información de la aeronave

Para esta interfaz se manejaron dos axes donde se mostrará la imagen de la aeronave y una tabla con los datos principales de la aeronave, la demás información se presentará en forma escrita usando recuadros de editores de texto.

```
Axes(handles.axes1);
path = '\TESIS\MATLAB\CESNA.JPG';
imag = imread(path);
imshow(imag);
axis off;

axes(handles.axes2);
path = '\TESIS\MATLAB\informacion1.JPG';
imag = imread(path);
imshow(imag);
axis off;

set(handles.a,'String','Longitud: 36 ft 5 pulg');
set(handles.b,'String','Envergadura : 44 ft 2 pulg');
set(handles.c,'String','Superficie Alar: 225.8 ft^2');
set(handles.d,'String','Perfil: NACA 20018 (root) NACA 23015 (punta)');
set(handles.e,'String','Velocidad Maxima : 230 Kn – 428 km/h');
set(handles.f,'String','Rango: 1.273 NM');
set(handles.g,'String','Techo de Servicio: 26.90 pies');
```

```
set(handles.h,'String','Carga Alar : 30.3 lb/ft^2');
set(handles.i,'String','Potencia/Masa : 10.5 lb/hp');
```

Los editores de texto se manejan con la función `set(handles.a,'String', 'se escribe la información que se quiere mostrar'` y la letra que aparece es la ubicación o el número del editor de texto donde se mostrara la información.

4.5.2 BOTON 2. AEROPUERTOS.



Ilustración 2. Aeropuertos

En esta interfaz se manejan tres botones en forma de imagen, cada uno correspondiente a los aeropuertos de cada ruta, de la misma forma como se realizaron los botones del menú se realizaron para esta interfaz.

```
global a
global f
f=a
if f==1
[t,map]=imread('guaymaral.JPG');
[r,c,d]=size(t);
x=ceil(r/500);
y=ceil(c/600);
g=t(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton1,'CData',g);
[t,map]=imread('vanguardia.JPG');
[r,c,d]=size(t);
x=ceil(r/500);
y=ceil(c/600);
g=t(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton2,'CData',g);
[t,map]=imread('girardot.JPG');
[r,c,d]=size(t);
x=ceil(r/500);
```

```

y=ceil(c/600);
g=t(1:x:end,1:y:end,:);
g(g==255)=5.5*225;
set(handles.pushbutton3,'CData',g);

```

De la misma forma se colocaron los respectivos nombres por medio de la función de los editores de texto expresados como:

```

set(handles.airp1,'String','SKGY - Aerodromo Flamingo Suárez Camacho
(GUAYMARAL)');
set(handles.airp2,'String','SKVV - Aerodromo Vanguardia (VILLAVICENCIO)');
set(handles.airp3,'String','SKGI - Aerodromo Santiago Vila

```

Cada imagen la cual representa un botón abre una nueva ventana donde se encuentra la información principal del aeropuerto presentada por editores de texto.

```

set(handles.a,'String','NOMBRE AEROPUERTO: Flamingo Suárez Camacho');
set(handles.b,'String','CIUDAD: Guaymaral');
set(handles.c,'String','CLASE DE PISTA: C');
set(handles.d,'String','LONGITUD DISPONIBLE (Rwy Length): 5.642 ft ');
set(handles.e,'String','ORIENTACION DE PISTA: 11 - 29*');
set(handles.f,'String','ELEVACION: 8.390 ft');
set(handles.g,'String','TEMPERATURA: 14 °C');
set(handles.h,'String','OBSTACULOS: NO');
set(handles.i,'String','PBMO (Peso Bruto Maximo Operacional del
Aeropuerto):15.435 lb ');

```

Esta nueva ventana cuenta con un botón llamado AIP que permite llamar el archivo AIP de cada aeropuerto guardado en formato pdf presentado por la función:

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
open ('SKGY.PDF');

```

Estos mismos comandos de programación se repiten para las tres rutas restantes cambiando únicamente la información que se desea mostrar y los archivos PDFs correspondientes a cada aeropuerto teniendo en cuenta el comando IF dependiendo el caso y sin olvidar el cierre de la acción con el comando END.

4.5.3 BOTON 3. RUTA.



Ilustración 3. Ruta

El botón RUTA controla todo lo que hace referencia a las cartas de navegación y la ruta aérea que debe tomar la aeronave para cumplir con todas las condiciones dadas por las UAEAC.

Lo principal que maneja esta interfaz es la carta de navegación con su trayectoria presentada en un axes, demarcada con su trayectoria para cada ruta y con la opción de hacer zoom sobre esta gráfica, junto a ello la ruta define la distancia en los editores de texto presentados en comando de matlab de la siguiente forma:

```
zoom on;
global a
c=a
if c==1
    axes(handles.axes1);
    Im_RGB=imread('CARTAGVG.jpg');
    [m,n,p]=size(Im_RGB);
    m=600;
    n=800;
    p=3;
    imshow(Im_RGB);
    set(handles.ruta,'String','SKGY- ROMEO 3 - W17- MAKTO- EGEPI 2A – IAC
VOR A');
    set(handles.alterno,'String','VVC - W44 - SALGU - DANSA - W18 - PAPAD -
VOR Z');
    set(handles.Dod,'String','114.64');
    set(handles.Dda,'String','106.7');
```

Esta interfaz también cuenta con 5 botones que permiten visualizar las cartas más importantes para una ruta aérea que son:

SID: Salida Normalizada Por Instrumentos.

STAR: Llegada Normalizada Por Instrumentos.

IAC: Aproximación Por Instrumentos.

Teniendo en cuenta que las rutas cuentan con aeropuerto alterno se manejan dos cartas más que sería el STAR para alterno y IAC para el alterno. Se crean las 5 interfaces para las cartas y son llamadas con el comando.

```

global a
c=a
if c==1

    open ('star.fig')
    x=imread('starVV.jpg');
    image(x)
    axis off
    zoom on

elseif c==2
    open ('star.fig')
    x=imread('starMD.jpg');
    image(x)
    axis off
    zoom on

elseif c==3
    warndlg('Lo sentimos este aeropuerto no cuenta con carta de Llegada Normalizada
por Instrumentos','AVISO');

elseif c==4
    open ('star.fig')
    x=imread('starFL.jpg');
    image(x)
    axis off
    zoom on
end

```

Este comando se repetirá para cada una de las 4 cartas restantes. Dentro de este comando se encuentra el warndlg, el cual es un comando de aviso que notifica en este caso si algún aeropuerto cuenta o no con alguna de estas cartas.

4.5.4 BOTON 4. ESTADISTICAS.



Ilustración 4. Estadística

Este botón permite abrir una interfaz gráfica donde en primera instancia se puede ingresar el valor del MTOW de la aeronave en libras, para realizar los cálculos pertinentes a razón de esta variable, se debe tener en cuenta que se presentará un mensaje de error en caso de que el peso sea menor al OEW o mayor al MTOW, se encontrará con la longitud de la pista mínima requerida para despegar, y aterrizar en cada aeropuerto.

Se presentan 3 imágenes donde sobre cada una de ellas aparecerá el valor de la longitud de la pista.

```
axes(handles.axes1);
path = '\TESIS\MATLAB\takeoff.JPG';
imag = imread(path);
imshow(imag);
axis off;
axes(handles.axes2);
path = '\TESIS\MATLAB\landing.JPG';
imag = imread(path);
imshow(imag);
axis off;

axes(handles.axes3);
path = '\TESIS\MATLAB\landing.JPG';
imag = imread(path);
imshow(imag);
axis off;
```

Incluye datos de distancia, tiempo y combustible para la ruta sin alterno y con alterno, ejecutados por medio de un botón llamado CALCULAR el cual realiza las operaciones formuladas para los datos mostrados en esta interfaz como también en la siguiente presentada por el botón 5. Trayectoria.

Debido a que el valor es ingresado en esta interfaz se tienen los comandos de todos los datos y formulas manejadas por el botón 4 y botón 5.

Son los comandos más importantes de toda la programación incluyendo todos los datos y formulas de la optimización que se le realizara a las trayectorias presentadas a continuación:

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global peso
global PESO
global totalcomb1
peso= str2num(get(handles.edit1,'string'));

global a
c=a
%caso 1%

if c==1
    global peso
    global PESO

    if peso > 4959 & peso < 6851;

        PESO=peso;

        global D1
        global D2
        global D3
        global A11
        global A12
        global A13

        D1=19.15;
        D2=6.15;
        D3=11.34;
        A10=8390;
        A11=9600;
        A12=10700;
        A13=15000;

        global VEL1
        global VEL2
        global VEL3
        global t1
        global t2
        global t3
```

```

global rc1
global rc2
global rc3
global rpm1
global rpm2
global rpm3
global comb1
global comb2
global comb3

```

Toda la programación se encuentra enfocada en las ecuaciones anteriormente analizadas en el desarrollo de ingeniería, la unico que se mantiene constante para cada tramo son sus principales parámetros ya establecidos dentro del mismo:

- Altura
- Distancia

La diferencia que se encuentra dentro de la programación es principalmente el parámetro de velocidad, debido a que el avance por tramo consume combustible y si tenemos la velocidad en función del peso, esto ocasiona que la velocidad aumente, por ende todos los parámetros estarían cambiando, esto con el fin de determinar el consumo total de combustible teniendo en cuenta el que se va quemando.

```
% A
```

$$VEL1 = ((6850 - PESO) * 0.005) + 120$$

$$t1 = (D1 / (VEL1 / 60));$$

$$rc1 = ((A11 - A10) / t1);$$

$$rpm1 = (0.2181 * rc1) + 2288.5;$$

$$comb1 = ((0.0852 * rpm1) + 0.2004) * (t1 / 60);$$

```
% B
```

```

VEL2=((6850-(PESO-comb1))*0.005)+120

t2=(D2/(VEL2/60));

rc2=((A12-A11)/t2);

rpm2=(0.2181*rc2)+2288.5;

comb2=((0.0852*rpm2)+0.2004)*(t2/60);

% C
VEL3=((6850-(PESO-comb1-comb2))*0.005)+120

t3=(D3/(VEL3/60));

rc3=((A13-A12)/t3);

rpm3=(0.2181*rc3)+2288.5;

comb3=((0.0852*rpm3)+0.2004)*(t3/60);

    %COMBUSTIBLE ASCENSO
totalcomb1=comb1+comb2+comb3

%CRUCERO

global D4
global A14
global VEL4
global t4
global rc4
global rpm4
global comb4
D4=43;
A14=15000;

VEL4=((6850-(PESO-totalcomb1))*0.005)+180;
t4=(D4/(VEL4/60));
rc4='N/A';
rpm4=(12.591*(VEL4))-7.1038;
comb4=((0.0852*rpm4)+0.2004)*(t4/60);

totalcomb2=comb4

%DESCENSO

global D5

```

global D6
 global D7
 global D8

global A5
 global A6
 global A7
 global A8

D5=2;
 D6=18;
 D7=12;
 D8=3;

A4=15000;
 A5=13000;
 A6=4000;
 A7=2000;
 A8=1381;

global VEL5
 global VEL6
 global VELA7
 global VELA8
 global t5
 global t6
 global t7
 global t8
 global rc5
 global rc6
 global rc7
 global rc8
 global rpm5
 global rpm6
 global rpm7
 global rpm8
 global comb5
 global comb6
 global comb7
 global comb8

VEL5=((6850-(PESO-totalcomb1-totalcomb2))*0.005)+190;
 t5=(D5/(VEL5/60));
 rc5=((A4-A5)/t5);
 rpm5=(0.2181*(-rc5))+2288.5;

```
comb5=((0.0852*rpm5)+0.2004)*(t5/60);
```

```
VEL6=((6850-(PESO-totalcomb1-totalcomb2-comb5))*0.005)+190;
```

```
t6=(D6/(VEL6/60));
```

```
rc6=((A5-A6)/t6);
```

```
rpm6=(0.2181*(-rc6))+2288.5;
```

```
comb6=((0.0852*rpm6)+0.2004)*(t6/60);
```

```
VELA7=((6850-(PESO-totalcomb1-totalcomb2-comb5-comb6))*0.005)+120;
```

```
t7=(D7/(VELA7/60));
```

```
rc7=((A6-A7)/t7);
```

```
rpm7=(0.2181*(-rc7))+2288.5;
```

```
comb7=((0.0852*rpm7)+0.2004)*(t7/60);
```

```
VELA8=((6850-(PESO-totalcomb1-totalcomb2-comb5-comb6-  
comb7))*0.005)+120;
```

```
t8=(D8/(VELA8/60));
```

```
rc8=((A7-A8)/t8);
```

```
rpm8=(0.2181*(-rc8))+2288.5;
```

```
comb8=((0.0852*rpm8)+0.2004)*(t8/60);
```

```
totalcomb3=comb5+comb6+comb7+comb8;
```

```
COMBALT=totalcomb1+totalcomb2+comb5+comb6
```

```
COMBTOTAL=totalcomb1+totalcomb2+totalcomb3
```

```
set(handles.edit5,'string',COMBTOTAL);
```

```
% ASCENSO ALTERNO
```

```
global D1a
```

```
global A1a
```

```
global VEL1a
```

```
global t1a
```

```
global rc1a
```

```
global rpm1a
```

```
global comb1a
```

```
D1a=25;
```

```
A1a=15000;
```

```
A1a=4000;
```

```
VEL1a=((6850-(PESO-COMBALT))*0.005)+120;
```

```
t1a=(D1a/(VEL1a/60));
```

```
rc1a=((A1a-A1a)/t1a);
```

```
rpm1a=(0.2181*rc1a)+2288.5;
```

```
comb1a=((0.0852*rpm1a)+0.2004)*(t1a/60);
```

%CRUCERO ALTERNO

```
global A12a
```

```
global A11a
```

```
global D2a
```

```
global VEL2a
```

```
global t2a
```

```
global rc2a
```

```
global rpm2a
```

```
global comb2a
```

```
D2a=42;
```

```
A12a=15000;
```

```
A11a=15000;
```

```
VEL2a=((6850-(PESO-COMBALT-comb1a))*0.005)+180;
```

```
t2a=(D2a/(VEL2a/60));
```

```
rc2a='N/A';
```

```
rpm2a=(12.591*(VEL2a))-7.1038;
```

```
comb2a=((0.0852*rpm2a)+0.2004)*(t2a/60);
```

%DESCENSO ALTERNO

```
global D5a
```

```
global D6a
```

```
global D7a
```

```
global D8a
```

```
global A5a
```

```
global A6a
```

```
global A7a
```

```
global A8a
```

```
D5a=25;
```

```
D6a=4.15;
```

```
D7a=8.15;
```

```
D8a=2.4;
```

```
A4a=15000;
```

```
A5a=5000;
```

A6a=4000;
 A7a=2160;
 A8a=902;

global VEL5a
 global VEL6a
 global VELA7a
 global VELA8a
 global t5a
 global t6a
 global t7a
 global t8a
 global rc5a
 global rc6a
 global rc7a
 global rc8a
 global rpm5a
 global rpm6a
 global rpm7a
 global rpm8a
 global comb5a
 global comb6a
 global comb7a
 global comb8a

VEL5a=((6850-(PESO-COMBALT-comb1a-comb2a))*0.005)+190;
 t5a=(D5a/(VEL5a/60));
 rc5a=((A4a-A5a)/t5a);
 rpm5a=(0.2181*(-rc5a))+2288.5;
 comb5a=((0.0852*rpm5a)+0.2004)*(t5a/60);

VEL6a=((6850-(PESO-COMBALT-comb1a-comb2a-comb5a))*0.005)+120;
 t6a=(D6a/(VEL6a/60));
 rc6a=((A5a-A6a)/t6a);
 rpm6a=(0.2181*(-rc6a))+2288.5;
 comb6a=((0.0852*rpm6a)+0.2004)*(t6a/60);

VELA7a=((6850-(PESO-COMBALT-comb1a-comb2a-comb5a-
 comb6a))*0.005)+120;
 t7a=(D7a/(VELA7a/60));
 rc7a=((A6a-A7a)/t7a);
 rpm7a=(0.2181*(-rc7a))+2288.5;
 comb7a=((0.0852*rpm7a)+0.2004)*(t7a/60);

VELA8a=((6850-(PESO-COMBALT-comb1a-comb2a-comb5a-comb6a-
 comb7a))*0.005)+120;

```

t8a=(D8a/(VELA8a/60));
rc8a=((A7a-A8a)/t8a);
rpm8a=(0.2181*(-rc8a))+2288.5;
comb8a=((0.0852*rpm8a)+0.2004)*(t8a/60);

totalcomba3=comb5a+comb6a+comb7a+comb8a;

COMBTOTALa=comb1a+comb2a+totalcomba3

set(handles.edit15,'string',COMBTOTALa);

set(handles.text22,'String','SKGY-SKVV');
set(handles.text23,'String','SKGI');

dtotal=D1+D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8;
ttotal=t1+t2+t3+t4+t5+t6+t7+t8;
set(handles.edit10,'string',dtotal);
set(handles.edit11,'string',ttotal);
dtotala=D1a+D2a+D5a+D6a+D7a+D8a ;
ttotala=t1a+t2a+t5a+t6a+t7a+t8a;
set(handles.edit13,'string',dtotala);
set(handles.edit14,'string',ttotala);

% LONGITUD DE PISTA

Lpista=(0.928*PESO)-3220.2;
set(handles.edit2,'string',Lpista);

set(handles.text14,'String','VILLAVICENCIO');
set(handles.text15,'String','GIRARDOT');

Lpistav=(0.3167*(PESO-COMBTOTAL))-1008.6
set(handles.edit3,'string',Lpistav);

Lpistag=(0.3103*(PESO-COMBTOTALa-COMBALT))-985.98
set(handles.edit4,'string',Lpistag);

%-----OPTIMIZACION-----

%ASCENSO OPTIMO

global DO1
global ALO0

```

```

global ALO1
global VELO1
global tO1
global rcO1
global rpmO1
global combO1

```

```

DO1=36.64;
ALO0=8390;
ALO1=15000;

```

```

VELO1=((6850-PESO)*0.005)+120

```

```

tO1=(DO1/(VELO1/60));

```

```

rcO1=((ALO1-ALO0)/tO1);

```

```

rpmO1=(0.2*rcO1)+2288.5;

```

```

combO1=((0.0852*rpmO1)+0.2004)*(tO1/60);

```

```

%CRUCERO OPTIMO

```

```

global DO2
global ALO2
global ALO1
global VELO2
global tO2
global rcO2
global rpmO2
global combO2

```

```

DO2=43;

```

```

ALO2=15000;
ALO1=15000;

```

```

VELO2=((6850-(PESO-combO1))*0.005)+180;

```

```

tO2=(DO2/(VELO2/60));

```

```

rcO2='N/A';

```

```

rpmO2=(12.591*(VELO2))-7.1038;

```

```

combO2=((0.0852*rpmO2)+0.2004)*(tO2/60);

```

```

%DESCENSO OPTIMO

```

```

global DO3
global DO4

```

```

global ALO2
global ALO3
global ALO4
global VELO3
global tO3
global rcO3
global rpmO3
global combO3

```

```

global VELO4
global tO4
global rcO4
global rpmO4
global combO4

```

```

DO3=20;
DO4=15;
ALO2=15000;
ALO3=4000;
ALO4=1381;

```

```

VELO3=((6850-(PESO-combO2-combO1))*0.005)+190

```

```

tO3=(DO3/(VELO3/60));

```

```

rcO3=((ALO2-ALO3)/tO3);

```

```

rpmO3=(0.2359*(-rcO3))+2288.5;

```

```

combO3=((0.0852*rpmO3)+0.2004)*(tO3/60);

```

```

VELO4=((6850-(PESO-combO1-combO2-combO3))*0.005)+120

```

```

tO4=(DO4/(VELO4/60));

```

```

rcO4=((ALO3-ALO4)/tO4);

```

```

rpmO4=(0.2359*(-rcO4))+2288.5;

```

```

combO4=((0.0852*rpmO4)+0.2004)*(tO4/60);

```

```

%ASCENSO ALTERNO OPTIMO

```

```

global DOa1
global ALOa0

```

```

global ALOa1
global VELOa1
global tOa1
global rcOa1
global rpmOa1
global combOa1

```

```

DOa1=25;
ALOA0=4000;
ALOA1=15000;

```

```

VELOa1=((6850-(PESO-combO1-combO2-combO3))*0.005)+120

```

```

tOa1=(DOa1/(VELOa1/60));

```

```

rcOa1=((ALOA1-ALOA0)/tOa1);

```

```

rpmOa1=(0.2*rcOa1)+2288.5;

```

```

combOa1=((0.0852*rpmOa1)+0.2004)*(tOa1/60);

```

%CRUCERO ALTERNO OPTIMO

```

global DOa2
global ALOa2
global ALOa1
global VELOa2
global tOa2
global rcOa2
global rpmOa2
global combOa2

```

```

DOa2=42;

```

```

ALOA2=15000;
ALOA1=15000;

```

```

VELOa2=((6850-(PESO-combO1-combO2-combO3-combOa1))*0.005)+180;

```

```

tOa2=(DOa2/(VELOa2/60));

```

```

rcOa2='N/A';

```

```

rpmOa2=(12.591*(VELOa2))-7.1038;

```

```

combOa2=((0.0852*rpmOa2)+0.2004)*(tOa2/60);

```

%DESCENSO ALTERNO OPTIMO

```

global DOa3
global DOa4
global ALOa2
global ALOa3
global ALOa4
global VELOa3
global tOa3
global rcOa3
global rpmOa3
global combOa3

```

```

global VELOa4
global tOa4
global rcOa4
global rpmOa4
global combOa4

```

```

DOa3=25;
DOa4=14.7;
ALoa2=15000;
ALoa3=5000;
ALoa4=902;

```

```

VELOa3=((6850-(PESO-combO1-combO2-combO3-combOa1-
combOa2))*0.005)+190

```

```

tOa3=(DOa3/(VELOa3/60));

```

```

rcOa3=((ALoa2-ALoa3)/tOa3);

```

```

rpmOa3=(0.2359*(-rcOa3))+2288.5;

```

```

combOa3=((0.0852*rpmOa3)+0.2004)*(tOa3/60);

```

```

VELOa4=((6850-(PESO-combO1-combO2-combO3-combOa1-combOa2-
combOa3))*0.005)+120

```

```

tOa4=(DOa4/(VELOa4/60));

```

```

rcOa4=((ALoa3-ALoa4)/tOa4);

```

```

rpmOa4=(0.2359*(-rcOa4))+2288.5;

```

```

combOa4=((0.0852*rpmOa4)+0.2004)*(tOa4/60);

```

```

else

```

```

e=errorDlg('El peso no puede ser menor del OEW(5000) ni mayor al MTOW
(6850)','error');
set(handles.edit2,'string',0);
set(handles.edit3,'string',0);
set(handles.edit4,'string',0);
end

```

Estos comandos son los mismos utilizados para las tres rutas restantes, con la diferencia de que los datos varían para cada una de ellas.

4.5.5 BOTON 5. TRAYECTORIA.



Ilustración 5. Trayectoria

Este botón abre una interfaz donde se encuentra la trayectoria por puntos de notificación que debe realizar una aeronave en ascenso, crucero y descenso con sus respectivos cálculos para cada tramo y cada punto mostrados, por medio de botones para cada trayectoria: origen-destino y destino-alterno.

Con el siguiente comando solo se mostrara las gráficas de la trayectoria según sea la ruta seleccionada.

```

zoom on;
global a
b=a
if b==1
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica1.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

    axes(handles.axes2);
    path = 'VILAO.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);

```

```
axis off;

    axes(handles.axes3);
    path = 'GIRARDOTT.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif b==2
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica2.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

    axes(handles.axes2);
    path = 'MEDELLIN1.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

    axes(handles.axes3);
    path = 'CAREPALC.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif b==3
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica3.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif b==4
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica4.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;
end
```

Debido a que cada trayectoria tiene seis botones se crearon seis interfaz gráficas para cada tramo a analizar, ascenso, crucero, descenso, ascenso alterno, crucero alterno y descenso alterno.

La forma de llamar cada interfaz se hace de la misma forma como se ha venido realizando.

```
function ruta3_Callback(hObject, eventdata, handles)
DESCENSO
```

Teniendo en cuenta que las Formulas principales se encuentra en la interfaz del botón 4, para cada una de las interfaces se maneja solo el comando GLOBAL y set(handles.)

Cada interfaz de esta cuenta con los siguientes comandos, diferenciando la cantidad de notificaciones que tenga cada tramo.

```
function ascensovillao_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
global a
b=a
if b==1
    global D1
    global D2
    global D3
    global AI1
    global AI2
    global AI3

    set(handles.edit1,'string',D1);
    set(handles.edit2,'string',D2);
    set(handles.edit3,'string',D3);
    set(handles.edit4,'string',AI1);
    set(handles.edit5,'string',AI2);
    set(handles.edit6,'string',AI3);

    global VEL1
    global VEL2
    global VEL3
    global t1
    global t2
    global t3
    global rc1
    global rc2
```

```

global rc3
global rpm1
global rpm2
global rpm3
global comb1
global comb2
global comb3

```

```
% A
```

```

set(handles.edit7,'string',VEL1);
set(handles.edit10,'string',t1);
set(handles.edit13,'string',rc1);
set(handles.edit16,'string',rpm1);
set(handles.edit19,'string',comb1);

```

```
% B
```

```

set(handles.edit8,'string',VEL2)
set(handles.edit11,'string',t2);
set(handles.edit14,'string',rc2);
set(handles.edit17,'string',rpm2);
set(handles.edit20,'string',comb2);

```

```
% C
```

```

set(handles.edit9,'string',VEL3);

set(handles.edit12,'string',t3);

set(handles.edit15,'string',rc3);

set(handles.edit18,'string',rpm3);

set(handles.edit21,'string',comb3);

```

Para la optimización, esta interfaz cuenta con un botón llamado OPTIMIZAR, el cual abre otra interfaz igual a la anterior, pero esta vez mostrando la gráfica optimizada y los valores de la optimización, esto significa que se reducen los puntos de notificación por tramos y se muestra la trayectoria de forma general.

Se llama la interfaz de la misma forma como se han llamado las anteriores con la diferencia que cuando se abra la interfaz cerrara inmediatamente la anterior dada por el comando:

```
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
GRÁFICASOPT
close(handles.figure1);
```

Para mostrar las gráficas optimizadas usamos el mismo comando solo cambiando el nombre de las gráficas por las optimizadas.

```
function GRÁFICASOPT_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
zoom on;
global PESO
global a
global d
d=a
if d==1
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica1opt.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif d==2
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica2opt.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif d==3
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica3opt.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;

elseif d==4
    axes(handles.axes1);
    path = 'gráfica4opt.JPG';
    imag = imread(path);
    imshow(imag);
    axis off;
end
```

Llamando cada una de las interfaces con los botones y abriendo la información optimizada de cada tramo, se maneja el mismo comando reduciendo la cantidad de puntos de notificación.

```
function ascensoptimo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
global a
b=a
if b==1
    set(handles.text12,'String','PISTA -- SOA');

    global DO1
    global ALO0
    global ALO1
    global VELO1
    global tO1
    global rcO1
    global rpmO1
    global combO1

    set (handles.edit8,'string',DO1);

    set (handles.edit9,'string',ALO1);

    set (handles.edit10,'string',VELO1)

    set (handles.edit11,'string',tO1);

    set (handles.edit12,'string',rcO1);

    set (handles.edit13,'string',rpmO1);

    set (handles.edit14,'string',combO1);
```

Este comando es igual para todas las rutas y para todos los tramos diferenciando los valores correspondientes a cada una.

Para finalizar y cerrar el programa, se realizó un comando que permite dar un aviso “desea salir del programa” y con la opción de decidir si lo desea cerrar o si desea continuar en el, al momento de hacer click en la X ubicada en el costado superior derecho .

```
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('¿Desea salir del programa?', 'SALIR', 'Si', 'No', 'No');
if strcmp(opc, 'No')
return;
end
```

4.5.6 DIAGRAMA DE FLUJO - SKYWAY.

El diagrama de flujo de SKYWAY se realizó general para todo el desarrollo del programa, debido a la gran extensión de contenido se podrá observar en el ANEXO 9.

5. RESULTADOS

Skyway debido a su menú presentará los resultados divididos en la misma cantidad de botones con el que cuenta los cuales son 5 (cinco).

Resultados botón 1.

Se presenta la información más importante y más útil para el piloto o el operador de la aeronave Cessna 402c

INFORMACIÓN CESSNA 402C	
longitud	36 ft 2in
envergadura	44 ft 2in
superficie alar	225,8 ft ²
velocidad máxima	428 Km/h
rango	1273 NM
techo de servicio	26900 ft
carga alar	30,3 lb/ft ²

Tabla 57. Información general 1 Cessna 402c

CESSNA 402 C								
TIPO	MOTOR	MTOW [lb]	MLW [lb]	MZFW [lb]	OEW [lb]	MAX PL [lb]	CAPACIDAD	TRIP
C-402-C	Continental	6.850	6.850	6.515	4.074	2.811	8 Pax	2

Tabla 58. Información general 2 Cessna 402c

Resultados botón 2.

Se presenta la información necesaria de cada aeropuerto con la opción de seleccionar el aeropuerto deseado, junto a ello se incluirá el AIP (publicación de información aeronáutica) para cada uno, Total de aeropuertos 9.

NOMBRE DEL AEROPUERTO	VANGUARDIA
Ciudad	Villavicencio
Clase de pista	C
Longitud Disponible (Rwy length)	6.363 ft
Orientación de pista	05 - 23
Elevación	1.381 ft
Temperatura	32 ° C
Obstáculos	SI (Dist. 3.700 ft – ALT. 60 ft)
PBMO (peso bruto máximo operacional del aeropuerto)	43/F/B/X/T lb

Tabla 59. Información general aeropuerto Vanguardia-Villavicencio

Resultados botón 3.

Se presenta la carta de navegación con su respectiva trayectoria demarca para su destino y su alterno, junto con sus cartas de navegación de ayuda como lo son (SID – Salida normalizada por instrumentos, STAR-Llegada normalizada por instrumentos, IAC-Aproximación por instrumentos) dependiendo la ruta seleccionada se contara con su respectiva carta.

Teniendo su ruta selecciona se presenta la aerovía por donde tendrá que cruzar la aeronave y la distancia que tendrá que recorrer para llegar a su destino, denotada por puntos de notificación y radio ayudas como se puede observar en la Tabla 60.

	AEROVIA	DISTANCIA
ORIGEN-DESTINO	SKGY- ROMEO 3 - W17- MAKTO- EGEPI 2A – IAC VOR A	115 NM
DESTINO ALTERNO	- VVC - W44 - SALGU - DANSA - W18 - PAPAD - VOR Z	106 NM

Tabla 60. Aerovía y distancia (Guaymaral – Villavicencio)

Resultados botón 4.

Gracias al parámetro de entrada de peso que se introduce en esta parte del programa se presenta la longitud mínima de pista que necesita la aeronave para despegar y aterrizar en cualquiera de los dos aeropuertos (destino o alterno) como se puede observar en la Tabla 61.

MINIMA LONGITUD DE PISTA REQUERIDA			
	AEROPUERTO	ACCION	LONGITUD
ORIGEN	SKGY (GUAYMARAL)	DESPEGUE	3136.6 ft
DESTINO	SKVV (VILLAVICENCIO)	ATERRIJAJE	1113.87 ft
ALTERNO	SKGI (GIRARDOT)	ATERRIJAJE	1059.4 ft

Tabla 61. Mínima longitud de pista requerida para un peso de 6850 lb.

Basado en el mismo peso se presenta tres parámetros muy importantes para el análisis de la ruta que son distancia, tiempo y consumo de combustible, en la tabla 62. Se presentan estos parámetros para la ruta (Guaymaral – Villavicencio) analizados para un peso de despegue de 6850LB.

DESTINO				ALTERNO			
Trayecto	Distancia	Tiempo	Combustible	Trayecto	Distancia	Tiempo	Combustible
SKGY-	NM	min	Lbs/h	SKVV-	NM	min	Lbs/h
SKVV	115	46.37	148.165	SKGI	106	41.49	133.66

Tabla 62. Resultados parámetros Distancia-tiempo-combustible (Destino –Alterno).

Resultados botón 5.

Se presenta la gráfica de la trayectoria que debe tomar la aeronave para llegar a su destino y alterno junto con sus parámetros para cada fase de vuelo Ascenso, Crucero, Descenso, la gráficas se pueden observar en los anexos 1 al 8, presentados con su sistema de optimización en base al menor consumo de combustible posible para cada ruta.

Cada gráfica cuenta con su respectiva tabla general donde se tienen todos los parámetros de salida para cada fase de vuelo, como se puede observar en la tabla 63. Se obtienen datos de altura, distancia, velocidad, tiempo, rata de ascenso, Rpm's y consumo de combustible.

GUAYMARAL- VILLAVIENCIO									
ASCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
	AEROPUERTO GUAYMARAL	0	8390	0	0	0	0	0	
A	PISTA	R-113º	19,15	9600	120	9,575	126,370757	2316,061462	31,52231017
B	R-113º	ROMEO	6,15	10700	120,16	3,0709665	358,193422	2366,621985	10,33055694
C	ROMEO	SOA	11,34	15000	120,21	5,66012947	759,699936	2454,190556	19,74417638
				TOTAL A.	18,306096	414,754705	TOTAL A.	61,59704349	
CRUSERO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
D	SOA	EGEPI	43	15000	180,31	14,3088505	N/A	2263,154042	46,03184012
DESCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
E	EGEPI	18DME/VVC	2	13000	190,54	0,62979515	3175,63574	1595,893845	1,429325934
F	18DME/VVC	VVC -VOR	18	4000	190,55	5,66794379	1587,87743	1942,183934	15,65055984
G	VVC -VOR	MAPT	12	2000	120,62	5,96898397	335,0654	2215,422236	18,79776055
H	MAPT	PISTA	3	1381	120,72	1,49108415	415,134182	2197,959235	4,658806125
				TOTAL	46,3727535		TOTAL	148,1653361	
ALTERNO (VILLAVIENCIO- GIRARDOT)									
ASCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
	VVC-VOR	0	4000	0	0	0	0	0	
I	VOR VV	SALGU	25	15000	120,623544	12,4353833	884,572655	2481,425296	43,85914815
CRUSERO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
J	SALGU	PAPAD	42	15000	180,84	13,9347513	N/A	2269,888393	44,96161111
DESCENSO		Distancia (NM)	Altura (ft)	Velocidad (KNUT)	Tiempo (min)	R/C (ft/min)	RPM	Combustible (lb)	
K	PAPAD	GIR-VOR	25	5000	191,07	7,85062264	1273,78432	2010,68764	22,44113395
L	GIR-VOR	5-DME	4,15	4000	121,18	2,05479701	486,666078	2182,358128	6,374573215
M	5-DME	MAPT	8,15	2160	121,21	4,03426315	456,093203	2189,026072	12,55364668
N	MAPT	PISTA	2,4	902	121,27	1,18738899	1059,46746	2057,430147	3,472983158
106,7				TOTAL ALT	41,5		TOTAL ALT	133,6630963	

Tabla 63. Resultado de parámetros por fases de vuelo para el ANEXO 1.

Los resultados mostrados anteriormente son únicamente los proporcionados por la ruta numero 1 (Guaymaral – Villavicencio), si desea conocer los datos de las otras rutas, se invita a hacer uso del programa.

En la tabla 64 se muestra la comparación entre los consumos de combustible de cada trayectoria, tanto de la ruta normal que establece las cartas de navegación y la ruta optimizada donde se asumen ascenso y descenso constantes teniendo en cuenta que estos datos son únicamente para un peso de 6850 lb.

RESULTADOS							
RUTA	RUTA ESTÁNDAR			RUTA OPTIMIZADA			AHORRO DE COMBUSTIBLE (lb)
	Consumo Ruta (lb)	Consumo Alterno(lb)	Consumo Total (lb)	Consumo Ruta (lb)	Consumo Alterno(lb)	Consumo Total (lb)	
GAA – VVC	148.23	133.69	281.92	147.78	133,05	280,77	1,15
GAA - MDE	245.87	168.21	414.08	245.44	167,75	413,25	0,83
GAA – EJA	230,02	144.04	374.07	229.58	143,39	372,98	1,09
GAA – FLA	302.45	176.29	478.74	301.98	N/A	478,27	0,47

Tabla 64. Comparativa consumo de combustible Ruta estándar – Ruta optimizada

A pesar que el ahorro de combustible es mínimo en cada trayectoria, si se tiene en cuenta que estas aeronaves tienen 5 o más operaciones al día, en el transcurso de un año una compañía podría estar ahorrando más de 2098.75 lb de combustible por aeronave, una cifra considerable.

6. CONCLUSIONES

Se observó que la relación que existe en la tasa de ascenso con respecto al consumo de combustible es proporcional debido a que entre mayor sea esta tasa, la aeronave aumenta sus revoluciones por minuto, lo que significa que aumenta la velocidad con la que trabaja el motor y se refleja en su consumo mayor. Por otra parte, al tratarse de la tasa de descenso, el consumo de combustible es inversamente proporcional por lo que tiende a disminuir.

Se determinó que a partir de las cartas de navegación proporcionadas por la aeronáutica civil colombiana, las altitudes mínimas de operación pueden ser modificadas por el piloto según sea su necesidad, siempre y cuando informe al controlador aéreo y este por su parte lo apruebe y autorice el cambio operación. Esto de acuerdo a lo que establece la OACI en variar las altitudes según el MORA (Minimum Off Route Altitude).

A pesar que el ahorro de combustible es mínimo en cada trayectoria, si se tiene en cuenta que estas aeronaves tienen 5 o más operaciones al día, en el transcurso de un año una compañía podría estar ahorrando aproximadamente 2098.75 lb de combustible equivalentes a \$3, 427,958 COP por aeronave, una cifra considerable.

Las rutas seleccionadas cuentan con aeropuertos que se encuentran a altitudes cercanas a la del nivel del mar, gracias a ello se concluyó que la mayoría de las longitudes de pista son muy cortas respecto a las longitudes verdaderas con la que se opera cada aeropuerto.

Matlab cuenta con un lenguaje que integra programación, visualización y cálculos matemáticos en un ambiente sencillo, y a la vez cuenta con una multitud de comandos en donde se pueden operar múltiples operaciones, el principal objetivo de usar MATLAB es involucrarse en el campo de la ingeniería aeronáutica dando solución a los problemas de una manera rápida y sencilla por medio de optimización.

Se espera que el programa sea operado especialmente por pilotos o por personal capacitado en el sector de análisis operacional, sin embargo el programa es tan amigable que cualquier persona con conocimiento del tema y ayuda del manual, estaría en la capacidad de operarlo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Civil, U. A. (s.f.). *Aeronáutica Civil*. Obtenido de www.aerocivil.gov.co

COMPANY, C. A. (1978). *CESSNA AIRCRAFT COMPANY*.

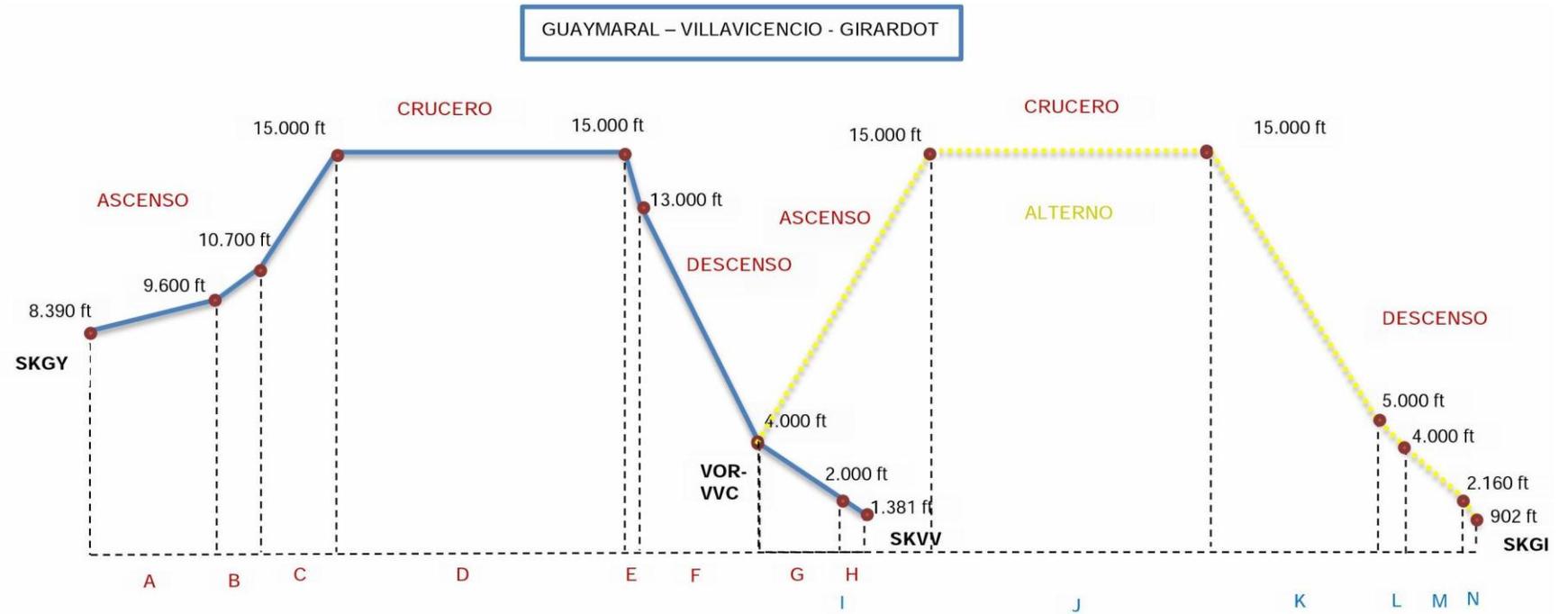
Itda., T. a. (2014). *Promedio de vuelos realizados*. Bogotá.

Miranda, R. G. (s.f.). *Algebra lineal*. Obtenido de Introducción a la programación en Matlab:
http://www.galeon.com/algebralineal/algii_inform/int_prog_matlab.pdf

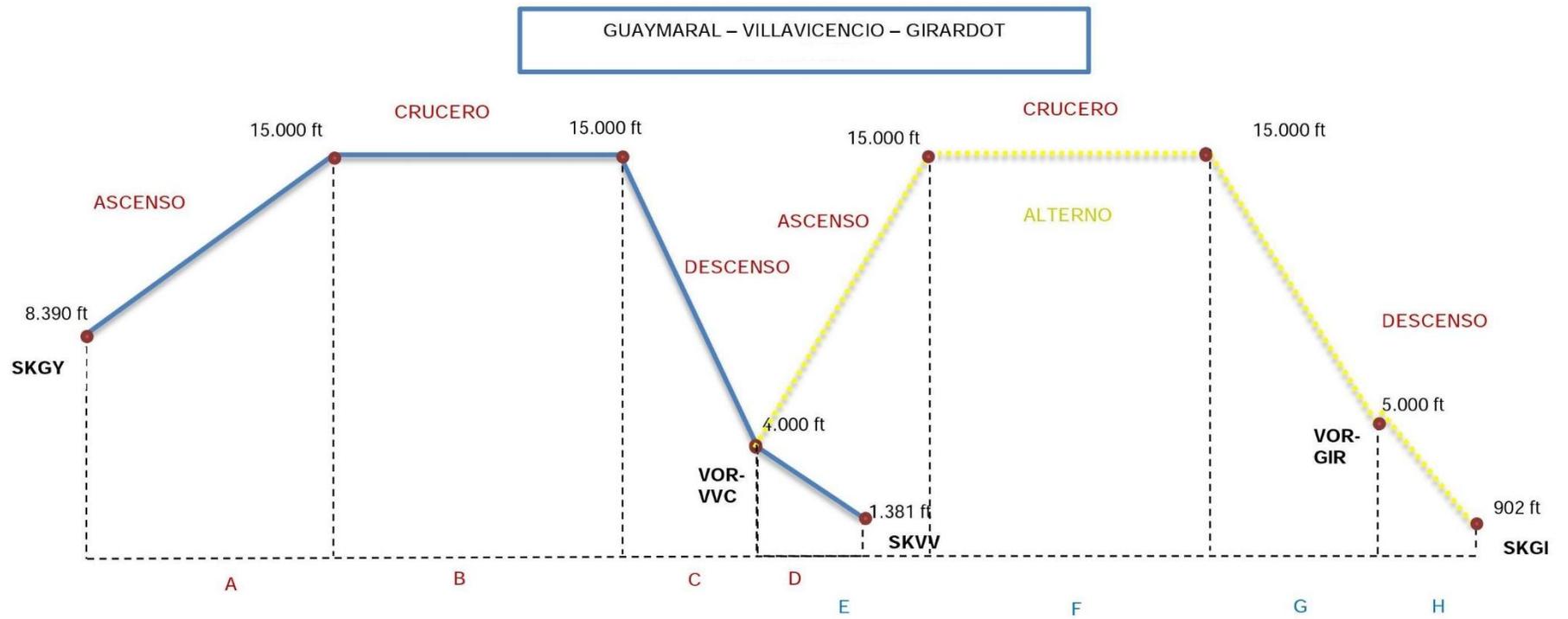
Polilibros. (s.f.). *Unidad 5 - Análisis de rutas aereas*. Obtenido de
http://www.sites.upiicsa.ipn.mx/polilibros/portal/polilibros/p_terminados/Transp-Aereo/documentos/EJEMPLO2.HTM#rutaaerea

RAC Parte 1 - Definiciones. (s.f.).

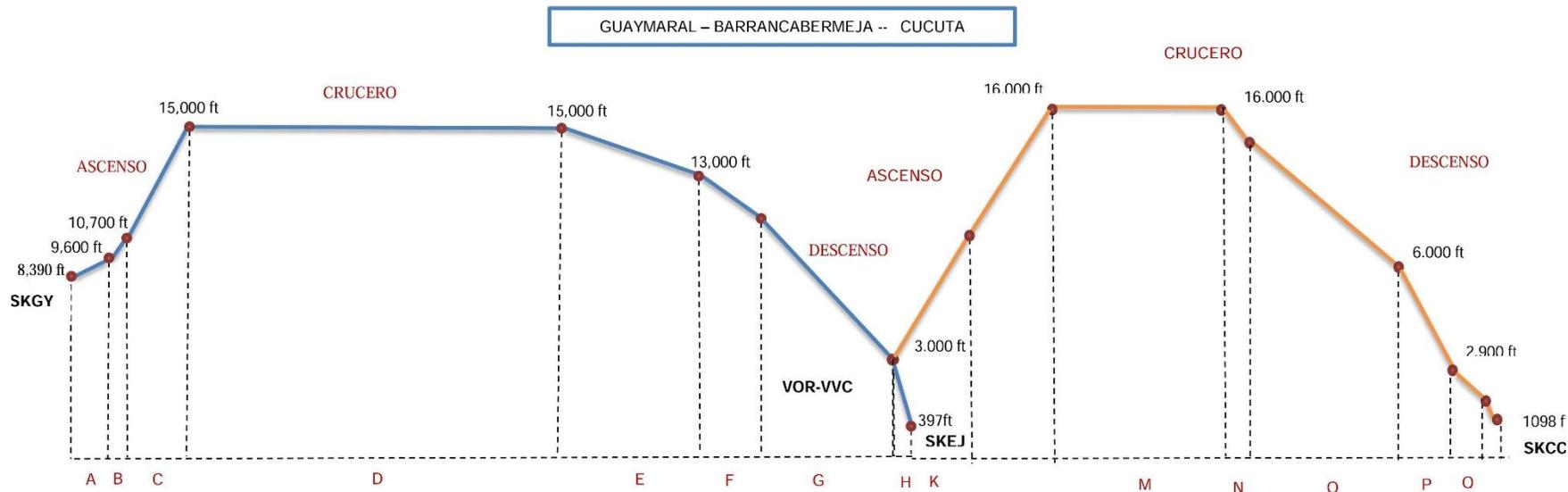
ANEXOS



Anexo 1. SKGY – SKVV – SKGI

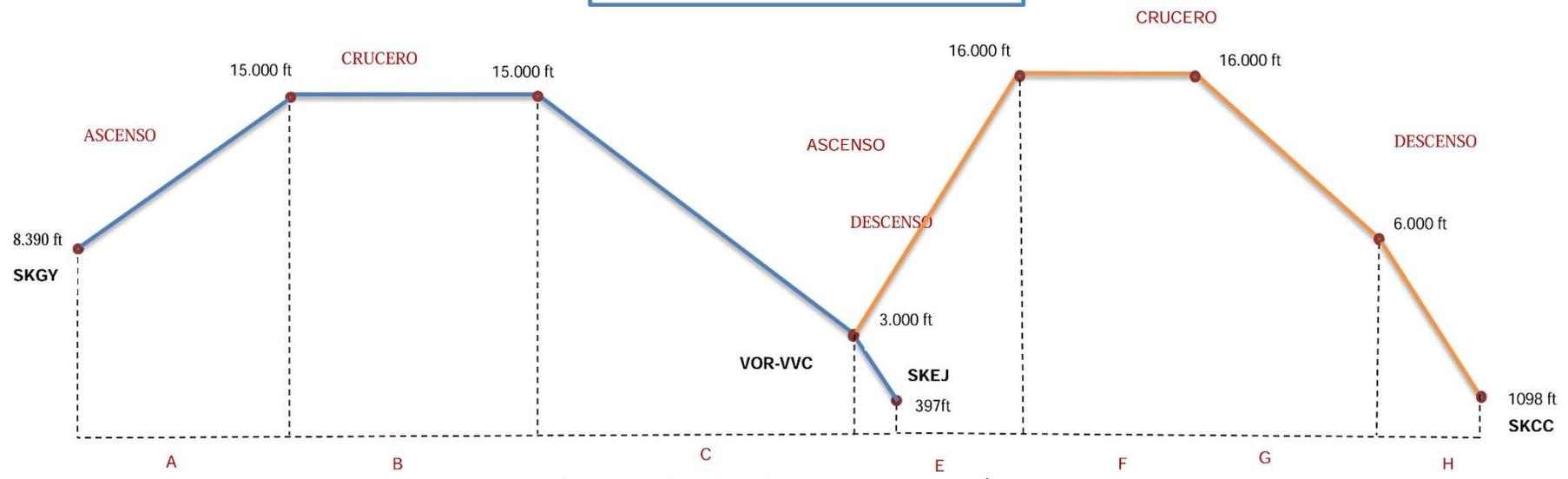


Anexo 2. SKGY – SKVV – SKGI (Optimización)



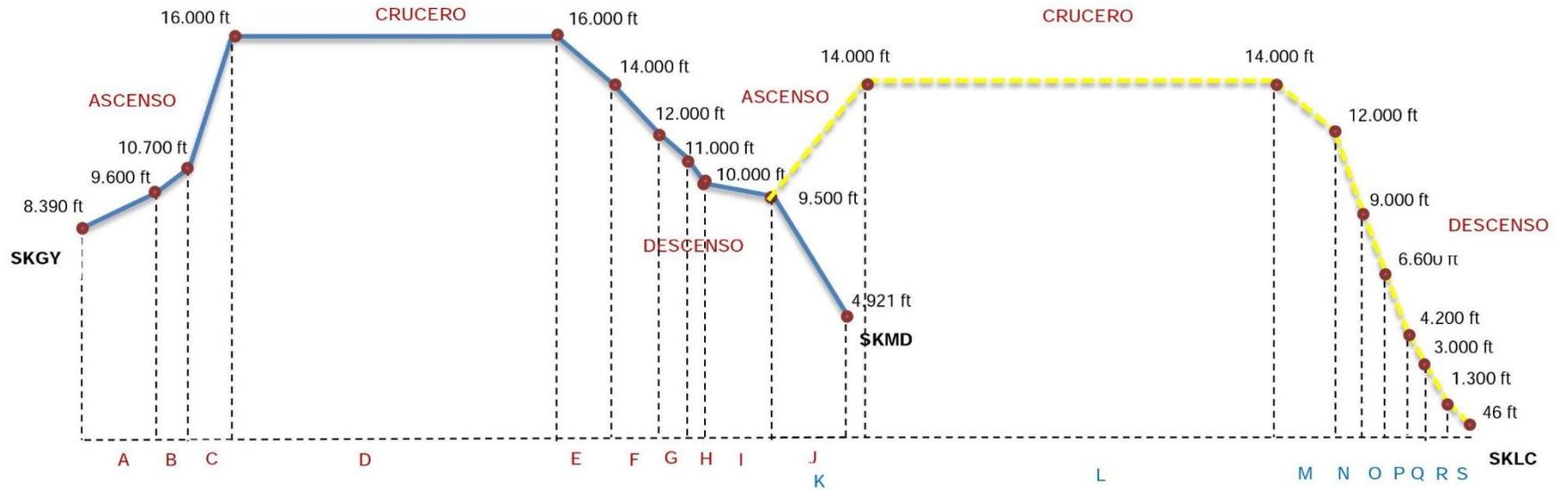
Anexo 3. SKGY – SKEJ – SKCC

GUAYMARAL – BARRANCABERMEJA -- CUCUTA



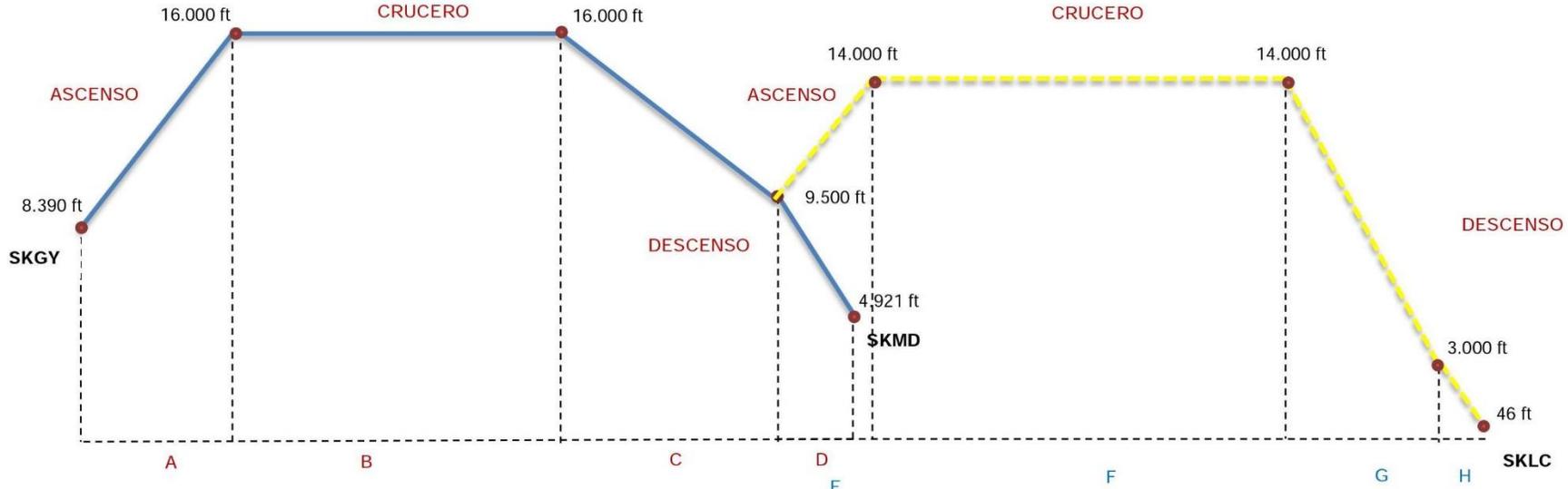
Anexo 4. SKGY – SKEJ – SKCC (Optimización)

GUAYMARAL – MEDELLIN - CAREPA



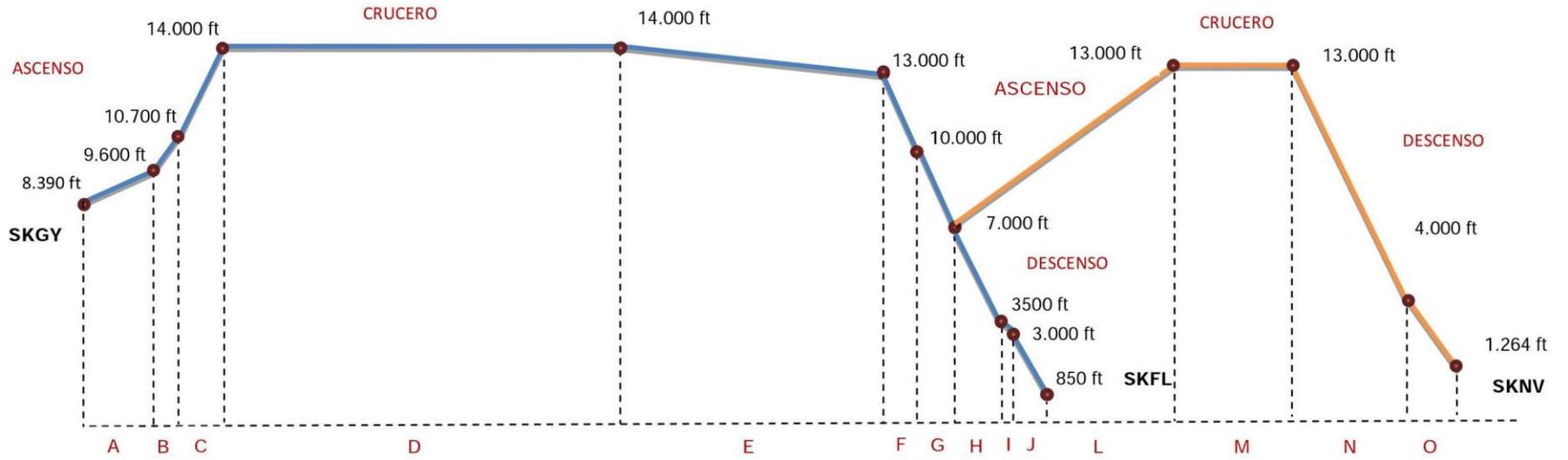
Anexo 5. SKGY – SKMD – SKLP

GUAYMARAL – MEDELLIN - CAREPA



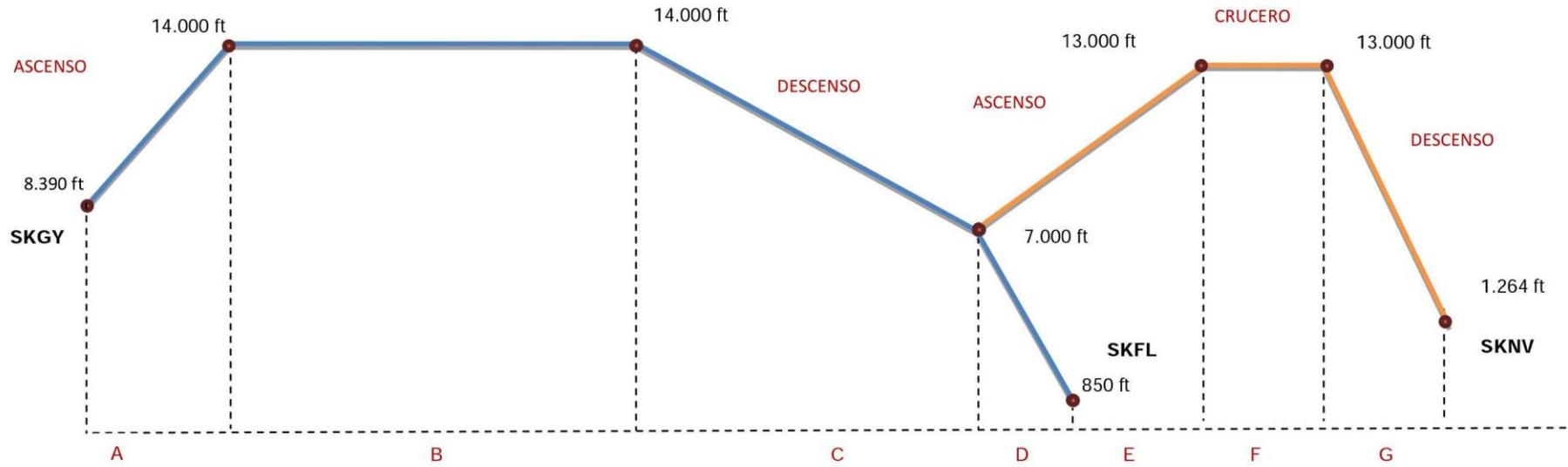
Anexo 6. SKGY – SKMD – SKLP (Optimización)

GUAYMARAL – FLORENCIA -- NEIVA

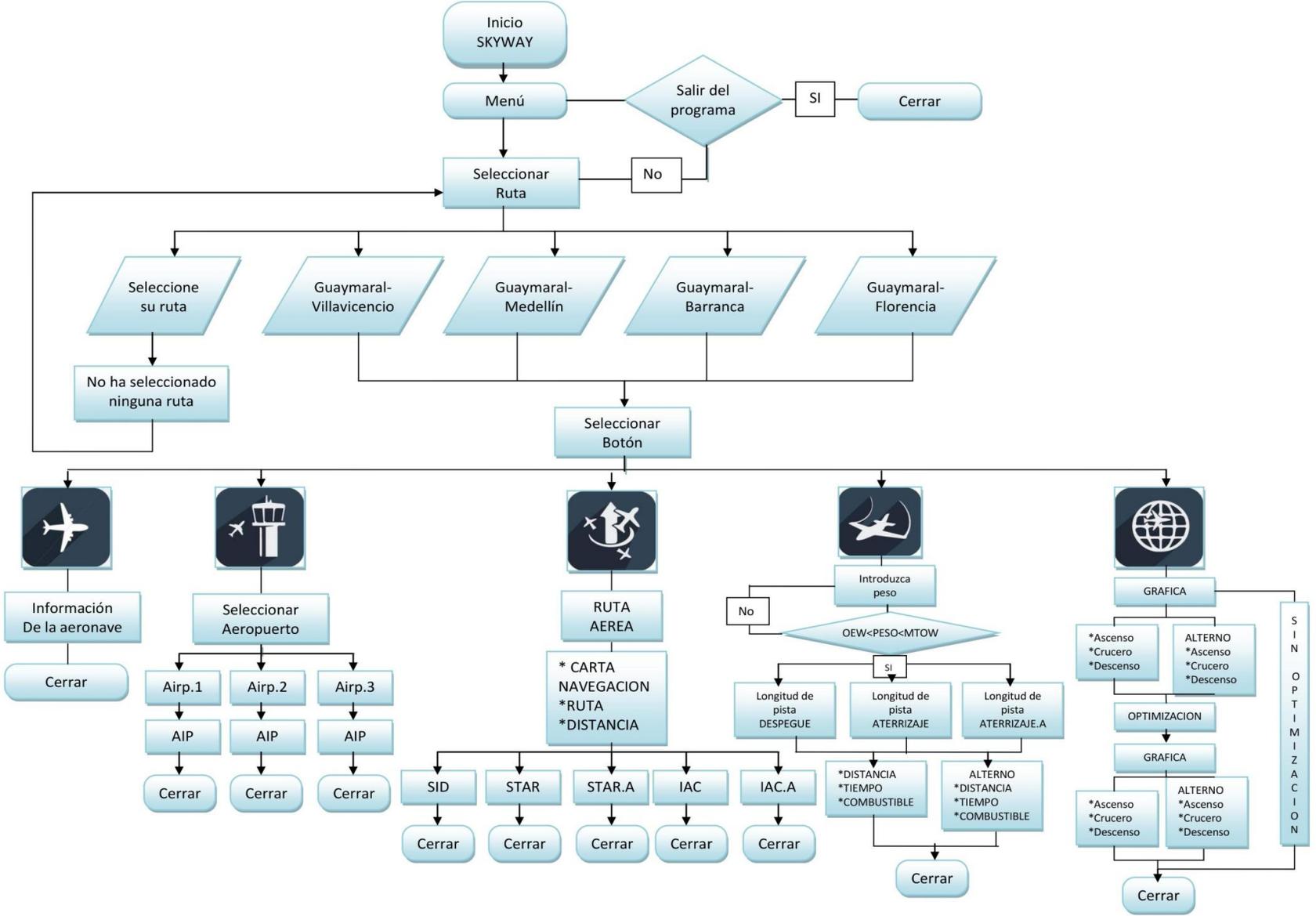


Anexo 7. SKGY – SKFL – SKNV

GUAYMARAL – FLORENCIA -- NEIVA



Anexo 8. SKGY – SKFL – SKNV (Optimización)



Anexo 9. Diagrama de flujo SKYWAY.