



La seguridad es de todos

Mindefensa



COMANDO GENERAL FUERZAS MILITARES



FUERZA AÉREA COLOMBIANA ASÍ SE VA A LAS ALTURAS

\*201911030014931\*

Al contestar, cite este número

Hoja 1 de 1, de la Comunicación Radicado:

No. 201911030014931 del 10-09-2019 / MDN-COGFM-COFAC-



ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

No. 2019-4173010-139707-2

Asunto: EN 1 FOLIO Y 1 CD - ZONIFICACION POR ALTURAS SLO DE

Fecha Radicado 13/09/2019 04:17:45

Usuario Radicador ORLANDO ARANGO Folios  
Destino DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACION MUNICIPAL  
Remitente (EMP) FUERZA AEREA COLOMBIANAID: 899999102  
Visite Nuestra Pagina - http://www.cali.gov.co  
Santiago de Cali (Valle del Cauca) Cam: Torre Alcaldia, Linea 195



201941730101397072

Señor  
NORMAN MAURICE ARMITAGE CADAVID  
Alcalde Santiago de Cali  
Santiago de Cali, Valle del Cauca

Asunto: Zonificación por alturas del área de influencia las SLO de la BAMFS en el Municipio de Santiago de Cali

En referencia al compromiso adquirido con la Presidencia de la República el día 23-04-2019, para la entrega de la zonificación por alturas del área de influencia de las superficies limitadoras de obstáculos (SLO), de la Base Aérea Marco Fidel Suárez en el Municipio de Santiago de Cali, envío al señor Alcalde de Santiago de Cali, el producto anteriormente relacionado.

Cabe precisar que se realizaron las modificaciones a la versión inicial de la zonificación por alturas entregada el pasado 23 de Agosto de 2019 a la alcaldía de Santiago de Cali, bajo radicado 2019-4173010-129624-2, con el propósito de incluir en la zonificación los resultados del estudio aeronáutico y las soluciones propuestas de parte de la Fuerza Aérea Colombiana para el desarrollo de los Proyectos de Renovación Urbana, Ciudad Paraíso, San Nicolás, San Vicente, El Hoyo y El piloto, Avenida Sexta y Parque de la Música.

General RAMSÉS RUEDA RUEDA  
Comandante Fuerza Aérea Colombiana

Anexo: CD contiene (Zonificación SLO de la BAMFS, archivo shapefile, archivo KML)  
Copia: Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali, CACOM 7, EMAVI.

Elaboró: T2. Rodríguez  
TEIGA

Revisó: CT. Alarcón  
SUGEP (E)

Aprobó: CR. Iglesias  
PAT DINAV  
TC. CESPEDES

VoBo: CR. Rodríguez  
JEM  
PAT TC. CESPEDES

VoBo: J.G. García  
CDA

“ASÍ SE VA A LAS ALTURAS”

Línea Anticorrupción Fuerza Aérea Colombiana 01 8000 110 588  
Carrera 54 No. 26-25 CAN – Conmutador 3159800 Bogotá, Colombia.

[www.fac.mil.co](http://www.fac.mil.co)



# FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA



## FUERZA AÉREA COMANDO DE OPERACIONES AÉREAS JEFATURA DE MOVILIDAD AÉREA DIRECCION DE NAVEGACIÓN AÉREA SUBDIRECCIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL Y PROCEDIMIENTOS

### INFORME TÉCNICO

#### 1. OBJETIVO

Determinar la influencia en altura de las superficies limitadoras de obstáculos (SLO) de la Base Aérea Marco Fidel Suarez, en el municipio de Santiago de Cali . Valle del Cauca, para su implementación en el Plan de Ordenamiento Territorial la (POT) del municipio.

#### 2. INFORMACIÓN GEOESPACIAL BÁSICA

PRODUCTO	MODELO	RESOLUCION (m)	FORMATO	FUENTE
Modelo digital del terreno (DTM)	Raster	2.5 m	TIFF	DAPMSC
Superficie limitadora de obstaculos	Raster / Vector	2.5 m	TIFF / SHP	DINAV-SUGEP
Manzanas Urbanas y rurales Santiago de Cali	Vector	N/A	SHP	DAPMSC

Tabla 1. Información geoespacial básica

#### 3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Anexo 14 %Aeródromos Volumen I Diseño y operaciones de aeródromos+ OACI. Julio 2018.
- Documento 9137 %Manual de Servicios de Aeropuerto Parte 6 Limitación de Obstáculos+ OACI. 1983.
- Documento 9157 %Manual de Diseño de Aeródromos Parte 1 Pistas+ OACI. 2006.
- Ley 12 de 1947 Aprobación para Colombia de la "Convención sobre Aviación Civil Internacional" firmada en Chicago el 7 de diciembre de 1944.
- Código de Comercio de Colombia. Decreto Ley 410 de 1971. Capítulo 5, De la Navegación.
- Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia como Datum Oficial de Colombia. IGAC 2004.

## 4. DEFINICIONES

### 4.1 SUPERFICIE LIMITADORA DE OBSTÁCULOS

Según lo establecido en el Anexo 14 Volumen I OACI, julio 2018, en su Nota 1 del capítulo 4 la finalidad de las especificaciones del presente capítulo es definir el espacio aéreo que debe mantenerse libre de obstáculos alrededor de los aeródromos para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de aviones previstas y evitar que los aeródromos queden inutilizados por la multiplicidad de obstáculos en sus alrededores. Esto se logra mediante una serie de superficies limitadoras de obstáculos que marcan los límites hasta donde los objetos pueden proyectarse en el espacio aéreo." Los requisitos relativos a las superficies limitadoras de obstáculos se determinan en función de la utilización prevista de la pista (despegue o aterrizaje y tipo de aproximación) y se han de aplicar cuando la pista se utilice de ese modo. En el caso de que se realicen operaciones en las dos direcciones de la pista, cabe la posibilidad de que ciertas superficies queden anuladas debido a los requisitos más rigurosos a que se ajustan otras superficies más bajas. (Numeral 4.2 Anexo 14 Volumen I OACI, Julio 2018). Están divididas en superficies de aproximación, de ascenso en el despegue, de transición, horizontal interna y cónica (Figura 1).

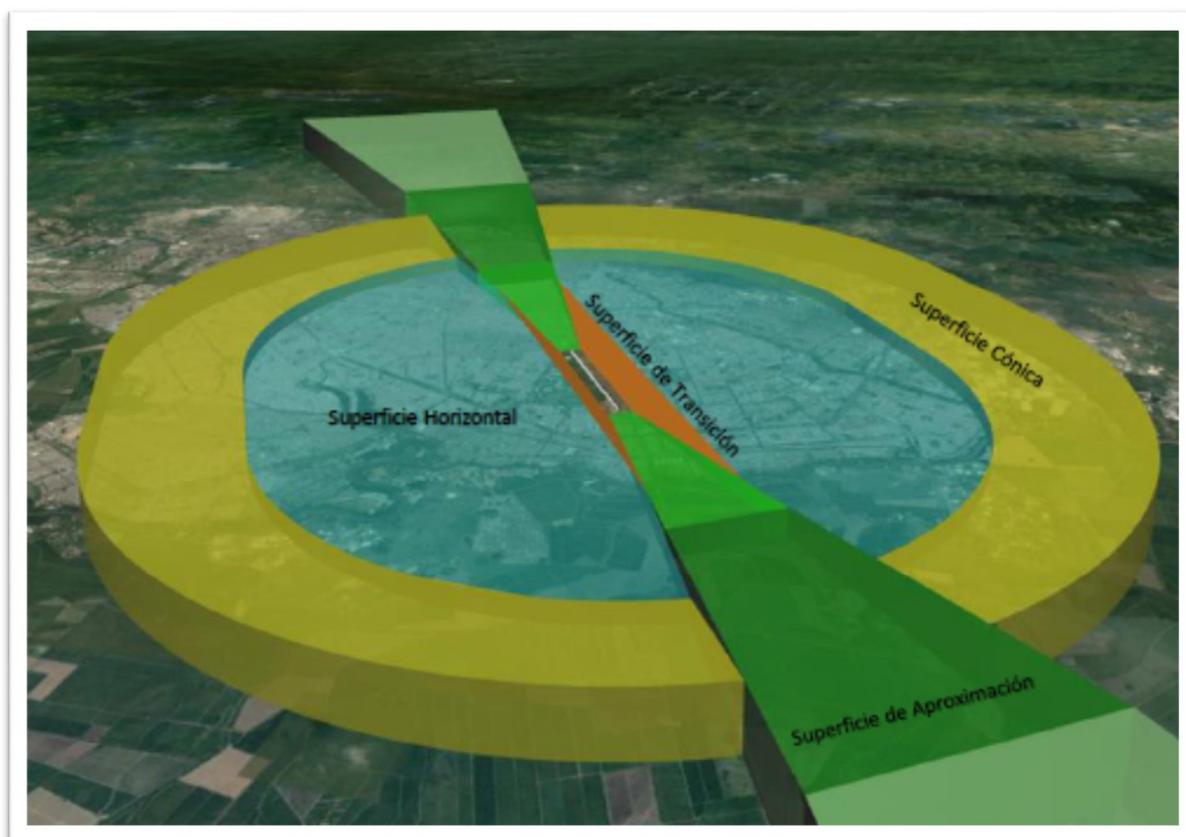


Figura 1. Superficies limitadoras de obstáculos (SLO)

## 4.2 SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS DE LA BASE AÉREA Í MARCO FIDEL SUAREZÍ

Se determina que la Clave de Referencia de la Base Aérea "Marco Fidel Suarez" es **3C** de acuerdo con lo que establece el Anexo 14 Volumen I OACI, julio 2018+ y el "Documento 9157 Manual de Diseño de Aeródromos Parte 1 Pistas. OACI. 2006". Así mismo, se considera que el aeródromo tiene aproximaciones que no son de precisión para ambos umbrales. Por lo anterior, se deben considerar las siguientes superficies limitadoras de obstáculos de acuerdo al numeral 4.2.7 del Anexo 14 Volumen I OACI, julio 2018+:

En las pistas para aproximaciones que no son de precisión se establecerán las siguientes superficies limitadoras de obstáculos:

- superficie cónica;
- superficie horizontal interna;
- superficie de aproximación; y
- superficies de transición.

Las dimensiones de estas superficies limitadoras de obstáculos de la Base Aérea "Marco Fidel Suarez " se encuentran en la tabla 4-1 Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos - Pistas para aproximaciones del Anexo 14 Volumen I OACI, julio 2018+

## 4.3 SUPERFICIES DE APROXIMACIÓN

Como ambos umbrales de la pista se utilizan para despegar o aterrizar, la superficie de aproximación para ambos, tiene una longitud de 15 km y una amplitud que va de los 4780 m en su punto más distante, hasta los 280 m en la porción localizada en el umbral de la pista (Figura 2). Esta superficie limitadora en particular, se divide en tres secciones para cada pista, en el caso de la pista 07 tiene una longitud de 9600 m en su tercer sección, sin presentar pendiente alguna teniendo una altura de 150 m. La segunda sección inicia con esta misma altura de 150 m y tiene una longitud de 2400 m, con una pendiente de 2.5% (llegando a una altura de 90 m). La primera sección corresponde a los 3000 m más cercanos a la pista y presenta una pendiente del 3%, llegando desde una altura de 90 m, al nivel base de la pista. Para el caso de la pista 25 tiene una longitud de 8400 m en la tercera sección, sin presentar pendiente alguna teniendo una altura de 150 m. La segunda sección inicia con esta misma altura de 150 m y tiene una longitud de 3600 m, con una pendiente de 2.5% (llegando a una altura de 60 m). La primera sección corresponde a los 3000 m más cercanos a la pista y presenta una pendiente del 2%, llegando desde una altura de 60 m, al nivel base de la pista.

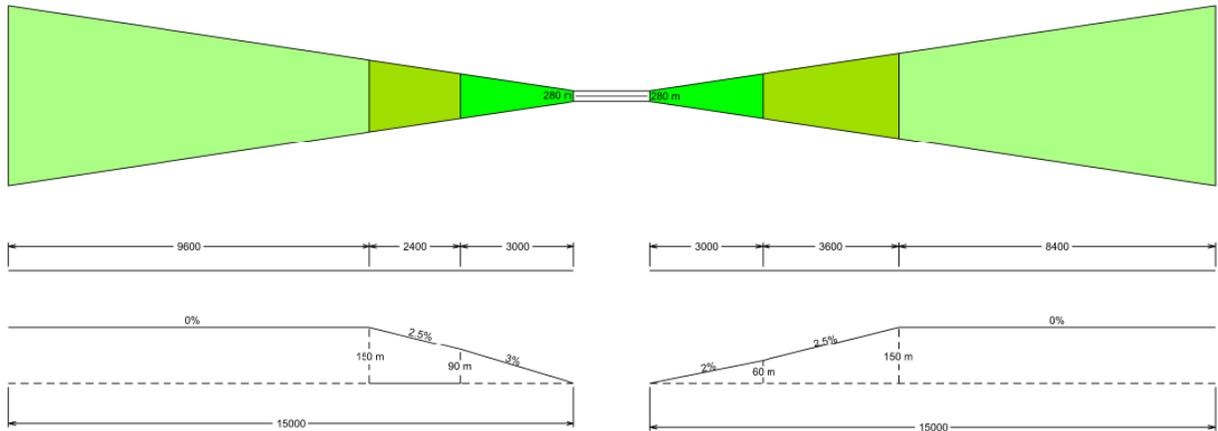


Figura 2. Superficies de aproximación aeródromo de la Base Aérea Marco Fidel Suarez

#### 4.4 SUPERFICIES DE TRANSICIÓN, HORIZONTAL INTERNA Y CÓNICA

La superficie de transición se localiza a ambos costados de la pista (Figura 3), tiene un ancho de 315 m, alejándose lateralmente de la misma con una pendiente del 14.3%, hasta llegar a los 45 m de altura con respecto a la elevación de la pista, en donde ambas partes de esta superficie se unen con la horizontal interna, misma que delimita un área que mantiene esos mismos 45 m de altura, a una distancia de 4000 m a ambos lados de la pista medidos desde la franja y teniendo dos radios de 4000 m medidos igualmente desde el inicio y final de la franja. Contigua a ésta se localiza la superficie cónica, a una distancia de 5500 m a ambos lados de la pista medidos desde la franja y teniendo dos radios de 5500 m medidos desde el inicio y final de la franja, con una altura que va en la zona colindante a la superficie horizontal de 45 m hasta 120 m de altura en su parte más lejana con una pendiente de 5% de elevación. %Anexo 14 Volumen I OACI, Julio 2018+

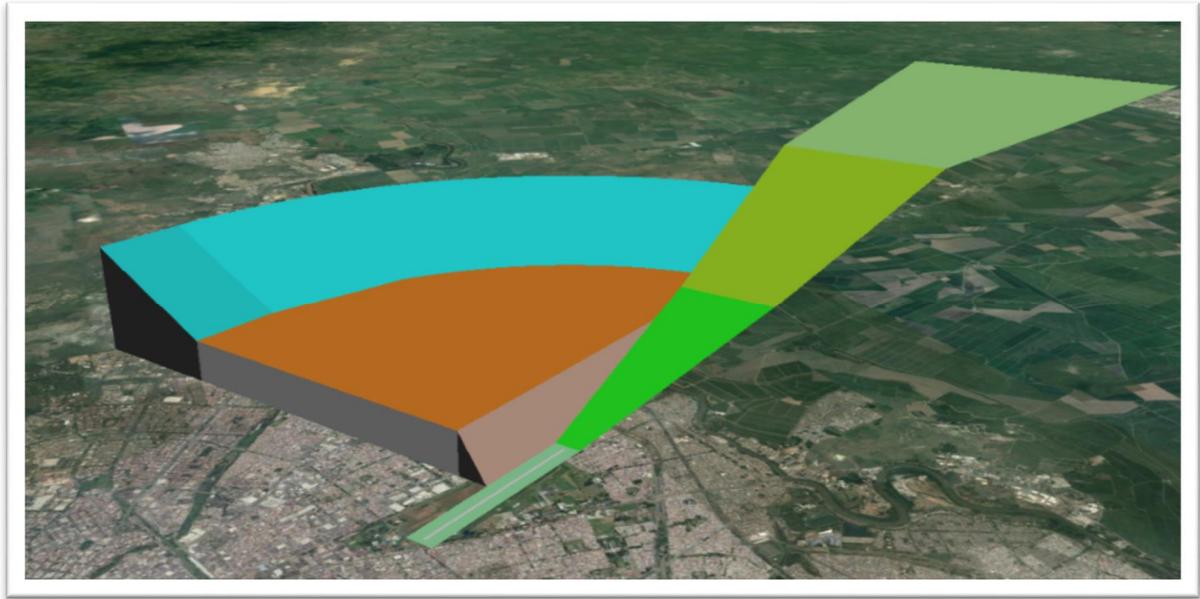


Figura 3. Superficies de transición, horizontal interna y cónica del aeródromo de la Base Aérea Marco Fidel Suarez

#### 4.5 MODELO DIGITAL DEL TERRENO (DTM)

Se refiere a la representación numérica de un conjunto de mediciones de elevación sobre sitios distribuidos de la superficie terrestre, definiendo de esta manera la variación continua del relieve en el espacio. Figura 4. Para el caso de estudio, el modelo digital del terreno "DTM", fue suministrado por la Oficina del Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali. Además el DTM está definido con una resolución espacial de 2.5 metros y sistema de referencia Magna Sirgas origen Oeste, Datum vertical Buenaventura y posee un RMS de 3.214 m.

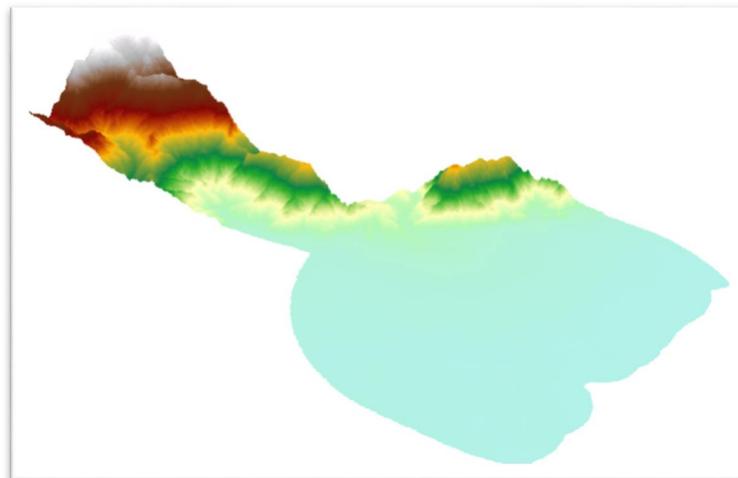


Figura 4. Modelo digital del terreno (DTM). Elaboración Propia.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 DEFINICION DEL SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

Por la ubicación espacial del municipio de Santiago de Cali - Valle del Cauca, se definió como sistema de referencia espacial el MAGNA SIRGAS origen Oeste, cuyos parámetros oficiales son los siguientes:

<b>Sistema de Coordenadas Magna Sirgas origen Oeste.</b>	
Proyección	Transversa Mercator
Elipsoide	GRS 1980
Datum	MAGNA Oeste
Latitud	4°35'46,3215+Norte
Longitud	77°04'39,0285+Oeste
Falso Norte	1000.000 m.
Falso Este	1000.000 m

Tabla 2. Parámetros de transformación Datum MAGNA SIRGAS  
Fuente: [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)

Así mismo, se toma como Datum Vertical de Buenaventura.

### 5.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO RASTER DE LAS SLO

Se optó utilizar un modelo raster que permite un análisis continuo de la variable altura.

En primer lugar, fue necesario a través de herramientas de Sistemas de información Geográfica (SIG), emplear el software ArcGIS by ESRI con su extensión de For Aviation para la generación del modelo digital de elevación de las superficies limitadoras de obstáculos, según la clave de referencia 3C y tipo de aproximación de no precisión de la Base Aérea Marco Fidel Suarez en un formato raster, asignándole a cada pixel de 2.5 m de resolución espacial un valor digital correspondiente a la altura

Las alturas para cada pixel son determinadas por las diferentes tipos de superficies que hacen parte de la Superficies Limitadoras de Obstáculos . SLO, y su construcción tridimensional en el espacio como es indicado en la tabla 4-1. Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos del "Anexo 14 Volumen I OACI, Julio 2018". Así mismo, hay que denotar que al modelo se le realizó la modificación de la pendiente de la primera sección de la superficie de aproximación de la pista 07 al 3% y la inclusión de los proyectos de la Empresa Municipal de Renovación Urbana de Santiago de Cali con la altura solicitada.

**Tabla 3-1. Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos — Pistas para aproximaciones**

**PISTAS PARA APROXIMACIONES**

Superficies y dimensiones <sup>a</sup> (1)	CLASIFICACIÓN DE LAS PISTAS									
	Aproximación visual Número de clave				Aproximación que no sea de precisión Número de clave			Aproximación de precisión		
	1,2 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (5)	1,2 (6)	3 (7)	4 (8)	Categoría I Número de clave 1,2 (9)	Categoría II o III Número de clave 3,4 (10)	3,4 (11)
<b>CONICA</b>										
Pendiente	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	35 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
<b>HORIZONTAL INTERNA</b>										
Altura	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radio	2 000 m	2 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m
<b>APROXIMACIÓN INTERNA</b>										
Anchura	—	—	—	—	—	—	—	90 m	120 m <sup>c</sup>	120 m <sup>c</sup>
Distancia desde el umbral	—	—	—	—	—	—	—	60 m	60 m	60 m
Longitud	—	—	—	—	—	—	—	900 m	900 m	900 m
Pendiente	—	—	—	—	—	—	—	2,5%	2%	2%
<b>APROXIMACIÓN</b>										
Longitud del borde interior	60 m	80 m	150 m	150 m	140 m	280 m	280 m	140 m	280 m	280 m
Distancia desde el umbral	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
<b>Primera sección</b>										
Longitud	1 600 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Pendiente	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	2%	2%	2,5%	2%	2%
<b>Segunda sección</b>										
Longitud	—	—	—	—	—	3 600 m <sup>b</sup>	3 600 m <sup>b</sup>	12 000 m	3 600 m <sup>b</sup>	3 600 m <sup>b</sup>
Pendiente	—	—	—	—	—	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
<b>Sección horizontal</b>										
Longitud	—	—	—	—	—	8 400 m <sup>b</sup>	8 400 m <sup>b</sup>	—	8 400 m <sup>b</sup>	8 400 m <sup>b</sup>
Longitud total	—	—	—	—	—	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m
<b>DE TRANSICIÓN</b>										
Pendiente	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
<b>DE TRANSICIÓN INTERNA</b>										
Pendiente	—	—	—	—	—	—	—	40%	33,3%	33,3%
<b>SUPERFICIE DE ATERRIZAJE INTERRUMPIDO</b>										
Longitud del borde interior	—	—	—	—	—	—	—	90 m	120 m <sup>c</sup>	120 m <sup>c</sup>
Distancia desde el umbral	—	—	—	—	—	—	—	—	1 800 m <sup>d</sup>	1 800 m <sup>d</sup>
Divergencia (a cada lado)	—	—	—	—	—	—	—	10%	10%	10%
Pendiente	—	—	—	—	—	—	—	4%	3,33%	3,33%

a. Salvo que se indique de otro modo, todas las dimensiones se miden horizontalmente.  
 b. Longitud variable (véase 4.2.9 o 4.2.17).  
 c. Distancia hasta el extremo de la franja.  
 d. O distancia hasta el extremo de pista, si esta distancia es menor.  
 e. Cuando la letra de clave sea F (Tabla 1-1), la anchura se aumenta a 140 m salvo en los aerodromos con capacidad para aviones de letra de clave F equipados con aviónica digital que tengan mandos de dirección para mantener una ruta establecida durante una maniobra de "motor y al aire".

Tabla 3. Dimensiones superficies limitadoras de obstáculos de la Base Aérea Marco Fidel Suarez  
 Fuente: "Anexo 14 Volumen I OACI, Julio 2018"

Posteriormente se unió en un solo archivo raster las superficies limitadoras de obstáculos con resolución espacial de 2.5 metros, el cual mantiene todos los parámetros anteriormente descritos. Finalmente, se tendrá una superficie con el valor de alturas para todas las celdas. (Figura 4).



Figura 5. Modelo raster superficies limitadoras de obstáculos Base Aérea Marco Fidel Suarez

### 5.3 CÁLCULO DE LAS MAXIMAS A AUTORIZAR

Para el calculo de alturas máximas, se utilizaron los raster de las SLO y el DTM. La diferencia entre los dos, nos permite determinar la altura máxima permitida en cada caso. Figura 6.

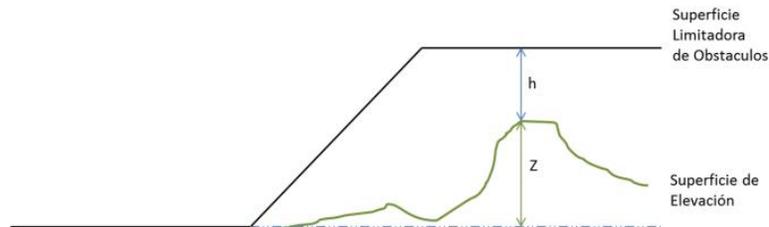


Figura 6. Perfil terreno natural Vs Superficie limitadora de obstáculos

No obstante, existen zonas en donde el terreno natural (DTM), penetra la superficie limitadora de obstaculos. Figura 7

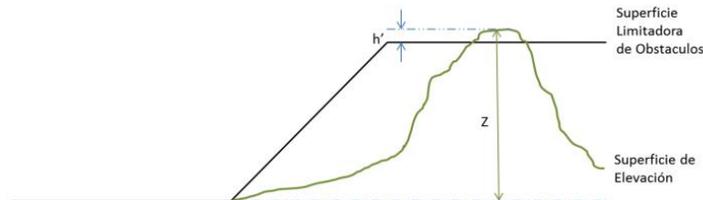


Figura 7. Perfil terreno natural Vs Superficie limitadora de obstáculos

En dichos casos, la altura máxima a construir es de 3.5 m, así como, en los valores cuyo resultado fue de 0, 1, 2, 3 metros.

$$\text{SLO} - \text{DTM} = \text{Altura max a autorizar}$$

De esta operación, se obtuvo el siguiente resultado que se puede observar en la figura No. 8.

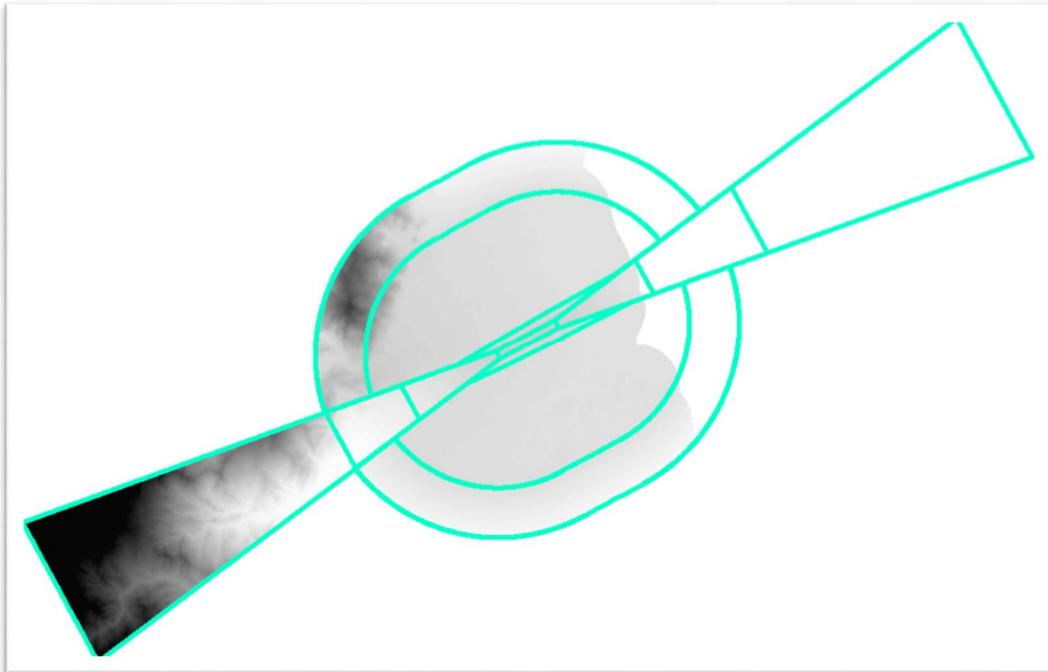


Figura 8. Raster de la diferencia entre las superficies limitadoras de obstáculos y el modelo digital del terreno DTM

#### 5.4 CÁLCULO DE LAS ALTURAS MÁXIMAS POR MANZANAS

Para esta actividad fue tenido en cuenta el error medio cuadrático de 3.214 metros del modelo digital del terreno y un redondeado del valor del pixel al entero menor. Además, se trabajó con la capa de manzanas suministrada por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali. Cabe aclarar, que se elige realizar la zonificación a nivel de manzana con el fin de minimizar el impacto a la comunidad de Cali y que el ciudadano tenga el mayor beneficio posible por la topografía del municipio. Figura 9.

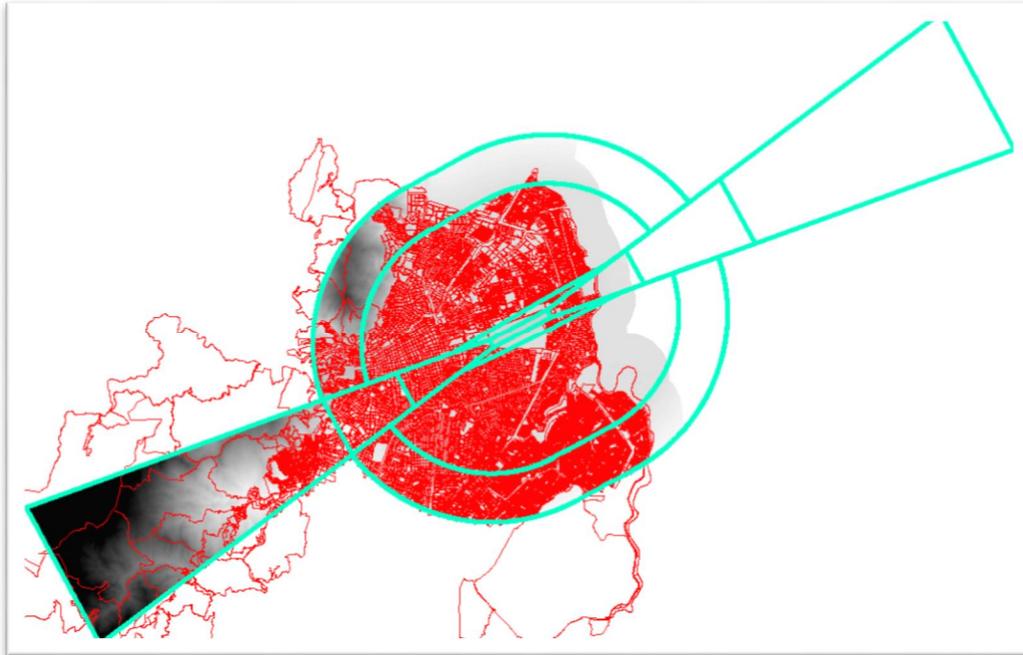


Figura 9. Localización manzanas del municipio de Santiago de Cali con las SLO de la Base Aérea Marco Fidel Suarez

Por lo anterior, el análisis final se considera únicamente con el archivo de las manzanas como se muestra la Figura 9.

A continuación, se realizó la intersección de la capa manzanas en formato vectorial con la capa raster de las SLO. Como resultado se obtuvo una nueva capa raster en donde están consignados los valores digitales de altura máxima para cada manzana. Figura 10.

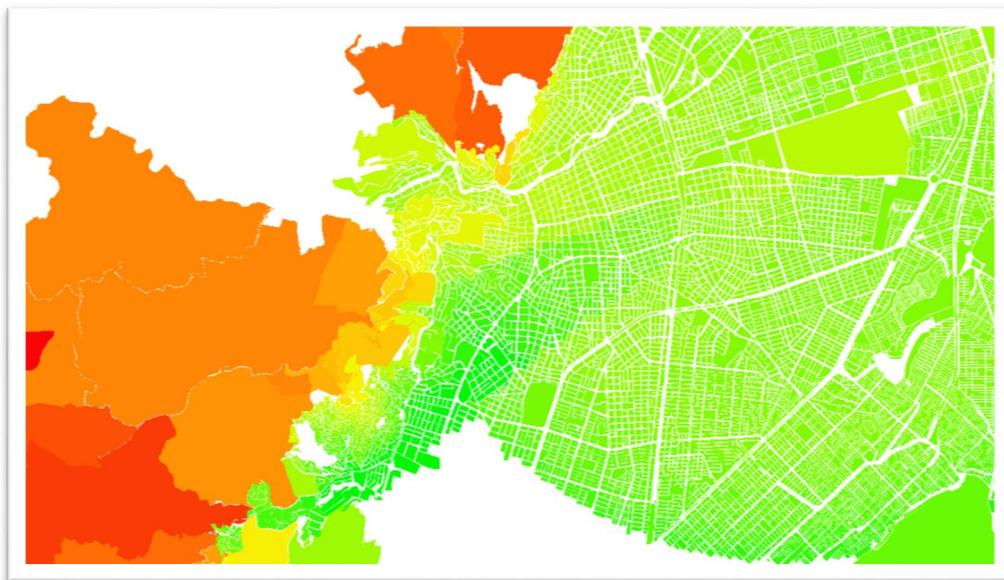


Figura 10. Modelo raster alturas máximas permitidas municipio Santiago de Cali por manzana

En este proceso fue necesario definir un único valor, asignando en este caso el más restrictivo, es decir la altura mínima a autorizar por manzana; de tal manera que prime la seguridad en el desarrollo de las operaciones aéreas.

En la figura 11, se muestra esquemáticamente el tratamiento dado a cada manzana desde el punto de vista matricial.

100	110	120
99	98	99
98	97	96

 → 

96	96	96
96	96	96
96	96	96

Figura 11. Esquema matricial asignación altura máxima autorizadas por manzana

Ahora convertimos este raster en un archivo vectorial, a fin de que pueda ser manipulado en otra serie de herramientas diferentes de GIS.

Ajustando la simbología, el producto final es el que se observa en la figura 12.

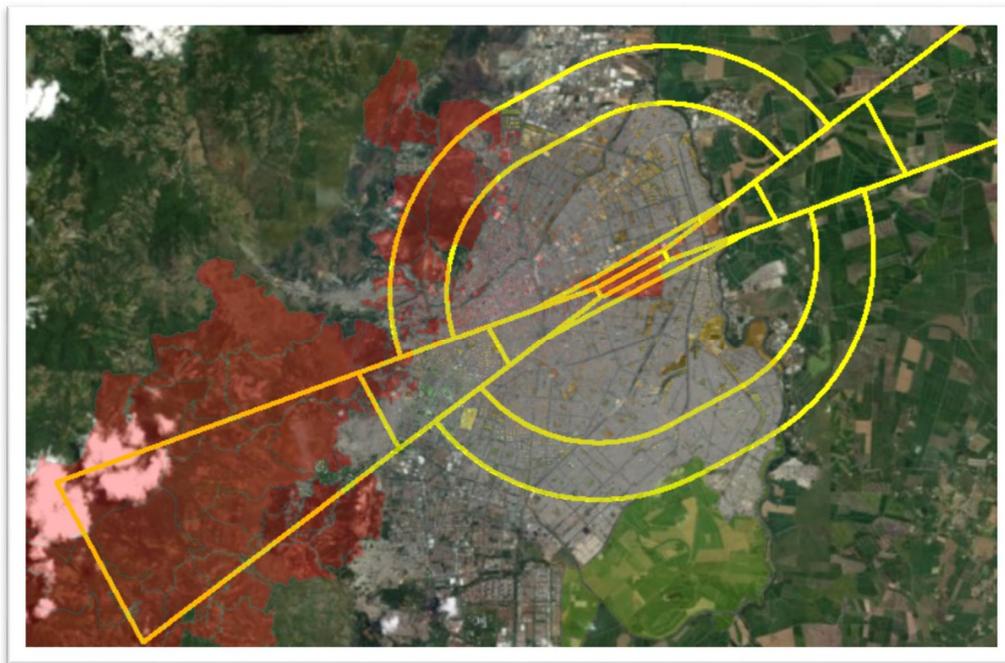


Figura 12. Modelo vectorial alturas máximas permitidas por manzana

Exportando como un KML y visualizándolo en Google Earth, el resultado es el que se aprecia en la figura No. 13.

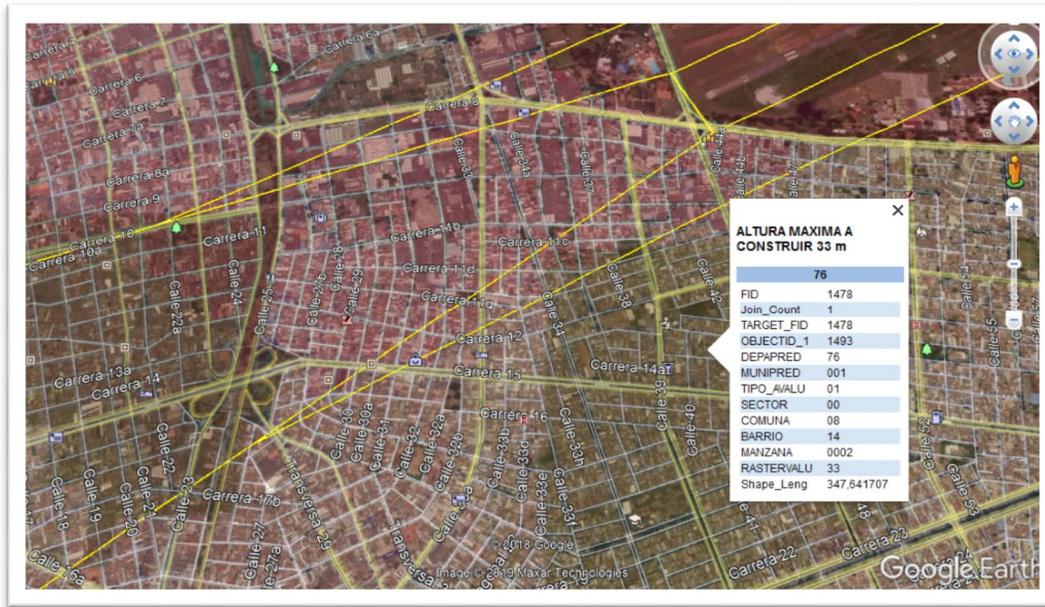


Figura 14. Visualización modelo de zonificación por manzanas en Google Earth.

Ahora tenemos a través de un modelo vector, que fue asignado un único valor de altura máxima a construir en cada manzana, situación que por la topografía del municipio es procedente para tener la menor afectación a la comunidad de Cali.

## **6. CONCLUSIONES**

A través de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y los insumos suministrados por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali y la Fuerza Aérea Colombiana, se determina el área de influencia de las superficies limitadoras de obstáculos del aeródromo de la Base Aérea Marco Fidel Suarez con el Municipio de Santiago de Cali.

Así mismo, con el análisis desarrollado y los productos generados por el personal de la Dirección de Navegación Aérea, se determina a través del modelo de zonificación la altura máxima a autorizar a un nivel de unidad geográfica de manzana.

La información entregada del modelo de zonificación al Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali, servirá como guía básica para la elaboración e inclusión en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio Santiago de Cali - Valle del Cauca, a su vez la publicación de este producto en la web a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de ese municipio, permitirá que tanto los Señores Curadores como los empresarios y comunidad en general, utilicen esta información en la planificación de sus diversos proyectos.

En los casos de ubicación de nueva infraestructura, antenas, tendidos de redes eléctricas, edificaciones y en general cualquier obstáculo a la navegación aérea, localizado en las áreas de influencia de las superficies limitadoras de obstáculos del aeródromo de la Base Aérea Marco Fidel Suarez y que supere las alturas máximas a construir en el modelo de zonificación realizado, deberá solicitar el "concepto técnico de altura para construcciones en inmediaciones de los aeródromos y helipuertos de la Fuerza Pública" al Comando de Operaciones Aéreas, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 193 de 2017, documento del cual se anexa copia.

También hay que destacar que el desarrollo de este modelo se realiza a través de las mesas de trabajo entre Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Santiago de Cali y la Fuerza Aérea Colombiana, con el fin de que la comunidad de Cali se vea afectada en lo mínimo posible; ya que si el desarrollo de su proyecto en altura se encuentra igual o menor a la altura máxima a construir según el modelo de zonificación, el ciudadano, empresa o entidad no deberá realizar ningún trámite ante la Fuerza Aérea Colombiana. Así mismo, hay que denotar que al modelo se le realizó la modificación de la pendiente de la primera sección de la superficie de aproximación de la pista 07 al 3% y la inclusión de los proyectos de la Empresa Municipal de Renovación Urbana de Santiago de Cali.

Los productos obtenidos son totalmente interoperables, de tal manera que el usuario final puede consultar esta información desde software disponible en la WEB, sin tener que acudir a software propietario.

El análisis espacial de una variable continua como es la altura, es recomendable realizarlo a través de modelos raster, como en este caso se concibe, ya que la discretización de la variable permite aplicar diversas funciones de geoprocetamiento, de acuerdo con los productos requeridos por la organización.