

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**“PROCEDIMIENTO PARA EL PRONÓSTICO Y DIFUSIÓN
DE WINDSHEAR ASOCIADO A SISTEMAS CONVECTIVOS
EN EL AEROPUERTO DE IQUITOS”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

PEDRO JESÚS NARVÁEZ SECLÉN

Lima – Perú

2023

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

Document Information

Analyzed document	TSP PEDRO JESUS NARVAEZ SECLLEN.docx (D151550970)
Submitted	2022-11-30 17:43:00
Submitted by	Franklin D. Unsihuay Tovar
Submitter email	funsihuayt@lamolina.edu.pe
Similarity	3%
Analysis address	funsihuayt.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://educalingo.com/es/dic-es/cizalladura Fetched: 2021-08-04 19:30:20		1
W	URL: https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/664274/03.TRR_3de9.pdf?sequence=3&isAllowed=y Fetched: 2022-11-30 18:52:00		3
W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/217346667.pdf Fetched: 2022-11-30 18:53:00		1
W	URL: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/392969/NTC_CIZALLADURA__VIENTO.pdf Fetched: 2022-11-30 18:52:00		3

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS
 "PROCEDIMIENTO PARA EL PRONOSTICO Y DIFUSION DE WINDSHEAR ASOCIADO A SISTEMAS CONVECTIVOS EN EL AEROPUERTO DE IQUITOS"
 TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL-TSP PARA OPTAR EL TÍTULO DE: INGENIERO METEORÓLOGO
 PEDRO JESÚS NARVÁEZ SECLÉN
 LIMA – PERÚ
 2022 TÍTULO
 "PROCEDIMIENTO PARA EL PRONÓSTICO Y DIFUSIÓN DE WINDSHEAR ASOCIADO A SISTEMAS CONVECTIVOS EN EL AEROPUERTO DE IQUITOS".
 DEDICATORIA
 Con mucho amor a mis padres: Dina y Juan Carlos que con mucho esfuerzo fueron el soporte para poder cumplir mi meta de ser profesional.
 A mi hijo Joshua Ezequiel, el cual llena de alegría y amor mi vida y es la razón que me motiva a salir adelante.
 A mi Abuelo Leoncio Seclén que desde donde quiera que esté, sé que guía mis pasos.
 AGRADECIMIENTOS
 A mi asesor, el Ing. Franklin Unsihuay, por la dedicación y paciencia para orientarme en la realización del presente trabajo.
 A mis colegas Miguel Obregón y Carlos Yshida, por su apoyo y estima hacia mi persona.
 ÍNDICE
 RESUMENvi
 I. INTRODUCCION.....1
 I.1. Problemática.....1 I.2. Objetivo general.....2
 II. REVISION DE LITERATURA.....3
 II.1. Cizalladura.....3 II.2. La convección.....4 II.3. Frente de racha.....5 II.4. Microrráfagas.....7
 III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....8

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“PROCEDIMIENTO PARA EL PRONÓSTICO Y DIFUSIÓN
DE WINDSHEAR ASOCIADO A SISTEMAS CONVECTIVOS
EN EL AEROPUERTO DE IQUITOS”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Presentada por:

PEDRO JESÚS NARVÁEZ SECLÉN

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Maest. Cs. Alessandri Canchoa Quispe
Presidente

Mg. Sc. Eusebio Idelmo Cisneros Tarmeño
Miembro

Maestro Oscar Enrique Tang. Cruz
Miembro

Ing. Franklin Delio Unsihuay Tovar
Asesor

DEDICATORIA

Con mucho amor a mis padres: Dina y Juan Carlos que con mucho esfuerzo fueron el soporte para poder cumplir mi meta de ser profesional.

A mi hijo Joshua Ezequiel, el cual llena de alegría y amor mi vida y es la razón que me motiva a salir adelante.

A mi Abuelo Leoncio Seclén que desde donde quiera que esté, sé que guía mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el Ing. Franklin Unsihuay, por la dedicación y paciencia para orientarme en la realización del presente trabajo.

A mis colegas Miguel Obregón y Carlos Yshida, por su apoyo y estima hacia mi persona.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática.....	1
1.2. Objetivo general	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Cizalladura	3
2.2. La convección	4
2.3. Frente de racha	5
2.4. Microrráfagas	7
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	8
3.1. Descripción de zona de estudio	8
3.2. Evaluación de imágenes de satélite	9
3.3. Evaluación de viento en superficie.....	10
3.4. Evaluación de detector de tormentas eléctricas	10
3.5. Elaboración y difusión de Avisos de cizalladura (Wind shear) de viento pronosticado	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
4.1. Contexto laboral	12
4.2. Determinación y análisis del problema.....	12
4.3. Proyecto de Solución	13
4.3.1. Evaluación de imágenes satelitales	13
4.3.2. Evaluación del viento en superficie	15
4.3.3. Evaluación del detector de tormentas.....	15
4.3.4. Evaluación mediante observaciones.....	17
4.3.5. Elaboración y difusión de avisos de cizalladura del viento	18
4.4 Evaluación del proyecto	19

V. CONCLUSIONES	20
VI. RECOMENDACIONES	21
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción grafica de la cizalladura vertical (Izquierda) y de la cizalladura horizontal (Derecha).....	3
Figura 2. Descripción grafica de cómo afectan los corrientes descendentes producto de la convectividad a las aeronaves.	5
Figura 3: Frente de racha y sus efectos sobre una aeronave	6
Figura 4. Microrráfaga húmeda. la cual genera precipitaciones y corrientes de viento intensas.	7
Figura 5. Ubicación geográfica de la zona de estudio	8
Figura 6. Carta de aproximación visual del aeropuerto de Iquitos.	9
Figura 7. Secuencia de imágenes satelitales IR.....	14
Figura 8. Datos de viento de ambas pistas del aeródromo de Iquitos.....	15
Figura 9. ubicación de las tormentas eléctricas detectadas por el sistema AWOS	16
Figura 10. Conteo de tormentas según su orientación y distancia.....	16
Figura 11. Desarrollo de un sistema convectivo en la aproximación final de la pista 06.....	17
Figura 12. Diagrama de flujo del procedimiento de pronóstico y emisión del aviso de cizalladura de viento	18
Figura 13. Aviso de cizalladura del viento pronosticado, elaborado y difundido	19

RESUMEN

El presente trabajo suficiencia profesional (TSP) basado en la experiencia de un egresado de la carrera de meteorología que se encuentra laborando y cumpliendo labores operativas en el aeropuerto de Iquitos (Loreto), para la Corporación Peruana de Aviación Civil - CORPAC S.A. describe el procedimiento para pronosticar cizalladura del viento en niveles bajos y difundir oportunamente sus avisos. Para lograr los objetivos, se desarrolló una metodología de pronóstico para la elaboración y difusión de avisos de cizalladura del viento a poca altura asociados a sistemas convectivos. El procedimiento para elaborar dicho pronóstico, se basa en evaluar imágenes satelitales infrarrojas (IR) de forma consecutiva por un periodo de tiempo no mayor a una hora, para luego complementarlas con el detector de tormentas del sistema AWOS, que nos ayudara a identificar la distancia y el cuadrante donde se encuentra la actividad convectiva, y con la información de dirección e intensidad del viento de los anemómetros ubicados en los umbrales de ambas pistas del aeródromo (06 y 24), para estimar el pronóstico de la cizalladura ya sea en dirección e intensidad. Una vez estimado el pronóstico de cizalladura se procede a elaborar el Aviso de Cizalladura de Viento de acuerdo a lo en las pautas establecidas por la Dirección General De Aeronáutica Civil – DGAC. en la NTC-003-2013. Con la realización del presente trabajo se logrará tener una mejora en el procedimiento de elaboración y difusión de avisos de cizalladura de viento con la finalidad de mantener la seguridad de las operaciones aéreas. así el meteorólogo pueda tener un mejor desempeño en su centro de labores.

Palabras clave: Cizalladura de viento, aviso de cizalladura, aeropuerto de Iquitos, sistemas convectivos

ABSTRACT

The present professional sufficiency work (TSP) based on the experience of a meteorology graduate who is working and performing operational tasks at the Iquitos airport (Loreto), for the Peruvian Civil Aviation Corporation - CORPAC S.A. describes the procedure for forecasting low-level wind shear and timely dissemination of warnings.

To achieve the objectives, a forecasting methodology was developed for the production and dissemination of low-level wind shear warnings associated with convective systems. The procedure for making this forecast is based on evaluating infrared (IR) satellite images consecutively for a period of time not exceeding one hour, and then complementing them with the storm detector of the AWOS system, which will help us identify the distance and the quadrant where the convective activity is found, and with the wind direction and intensity information from the anemometers located at the thresholds of both aerodrome runways (06 and 24), to estimate the shear forecast either in direction e intensity. Once the wind shear forecast has been estimated, the Wind Shear Warning is prepared in accordance with the guidelines established by the General Directorate of Civil Aeronautics - DGAC. in the NTC-003-2013.

by the completion of this work, it will be possible to have an improvement in the procedure for preparing and disseminating wind shear warnings in order to maintain the safety of air operations. in addition the meteorologist can have a better performance in his work center,

Keywords: Wind shear, Iquitos airport, convective systems, wind shear warning.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

El servicio meteorológico aeronáutico de CORPAC S.A. tiene por finalidad contribuir a la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea nacional e internacional; por ello es necesario investigar en el marco de la meteorología aplicada a la aviación y de la tecnología aeronáutica, para que el vuelo sea más seguro y eficiente, sea cual sea el estado atmosférico. Por tal motivo este trabajo estudia uno de los factores atmosféricos que tiene mayor relevancia en la seguridad aérea, que es el viento de Cizalladura a Poca Altura (WIND SHEAR).

En la aviación, la Cizalladura es la segunda causa de siniestralidad meteorológica con un 26.5% de los casos, este fenómeno es fuente de accidentes a niveles bajos (hasta una altitud de unos 500 m), donde la altura para maniobrar es poca y hay riesgo de accidente por cualquier alteración en las condiciones de vuelo. Por lo tanto, es un fenómeno que actúa en niveles de aterrizaje y despegue, habiendo ocurrido en estas fases en el 80% y el 20% de los casos ocurridos, respectivamente (Gil & Moreno, 2003)

Para un meteorólogo operativo, pronosticar la cizalladura del viento y los efectos que conllevan es uno de los principales retos, debido a que ponen en riesgo vidas y puede provocar daños económicos significativos. Las condiciones de tiempo severo con ella asociada, las tormentas convectivas, representan una grave amenaza para la seguridad en la navegación aérea. Además, debido a su tamaño pequeño y ciclo de vida corto, y a la gran variedad de formas que pueden adoptar a lo largo de su evolución, las tormentas convectivas siguen contándose entre las más difíciles de pronosticar con exactitud.

El presente trabajo describe el proceso de evaluación de criterios y la pertinencia del pronóstico y difusión de avisos de cizalladura de viento a poca altura, siendo estos asociados a los fenómenos convectivos, los cuales son característicos y uno de los más frecuentes en la zona de estudio. Siendo este pronóstico de vital importancia para la toma de decisiones seguridad aérea y desarrollo de las operaciones.

1.2. Objetivo general

Describir el proceso de elaboración del pronóstico y difusión de avisos de cizalladura (Wind shear) de viento a poca altura, asociados a sistemas convectivos en el aeropuerto de Iquitos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cizalladura

La cizalladura o cortante del viento, es la diferencia en la velocidad del viento o su dirección entre dos puntos en la atmósfera terrestre. Esta puede ser vertical u horizontal dependiendo si los dos puntos están a diferentes altitudes por diferentes localizaciones geográficas. La cizalladura vertical es el cambio brusco de la velocidad y/o dirección horizontal del viento con respecto a la altura, mientras que la horizontal es el cambio en la velocidad y/o dirección del viento a lo largo del trayecto horizontal del vuelo.

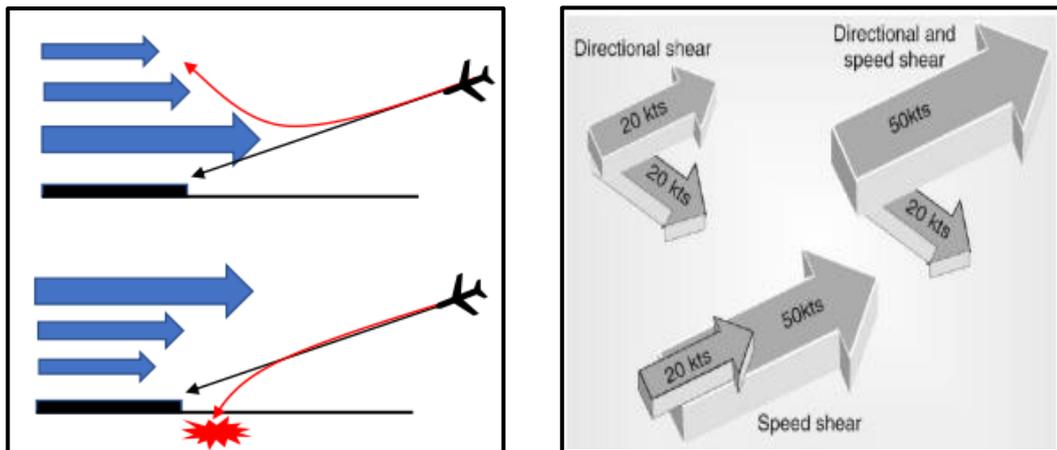


Figura 1. Descripción grafica de la cizalladura vertical (Izquierda) y de la cizalladura horizontal (Derecha).

FUENTE: DGAC Ecuador 2021

La cizalladura del viento puede llegar a afectar a la velocidad del vuelo de un avión durante el despegue y el aterrizaje de forma desastrosa. Debemos tener en cuenta que estas dos fases del vuelo son las más vulnerables, por ello debemos insistir en que cuando se habla de cizalladura o gradiente vertical del viento como de un peligro para la aviación debemos referirnos únicamente a aquella cizalladura a niveles bajos (desde el suelo hasta unos 1500 pies) y de gran magnitud (al menos, aproximadamente, 10 kt por cada 100 pies) que, por un fenómeno de inercia, causa una disminución o aumento súbito de la sustentación de las aeronaves pesadas que hace muy difícil o imposible su gobernabilidad (Cubero, 2003).

Portillo (2018), nos dice que el gradiente de viento es un factor principal para determinar la severidad de una tormenta, pudiendo afectar gravemente a las fases de aterrizaje y despegue del vuelo. Una amenaza adicional son las turbulencias que están asociadas frecuentemente con la cizalladura, y es que las variables Meteorológicas se ven afectadas seriamente debido al cambio de velocidad del viento

2.2. La convección

Según Rigo (2004) en meteorología, la convección se define como el intercambio de vapor de agua y calor por medio de corrientes verticales muy intensas desde la superficie hasta niveles superiores de la atmosfera. Este mecanismo de transporte se asocia a la buoyancy (traducida al castellano por “flotabilidad”), esta fuerza ascendente es la que actúa sobre una parcela de aire como respuesta a la diferencia de densidades entre la propia parcela y su entorno. En la atmosfera existen diferentes tipos de convección, siendo la severa o la profunda la que se asocia a los fenómenos que más amenazan a la seguridad aérea, tales como lluvias fuertes y corrientes muy intensas de viento

Los sistemas convectivos, presentes en la atmosfera, no se encuentran en forma individual, si no que se encuentran en conjunto formando sistemas más complejos, pudiendo cambiar de un tipo a otro a lo largo de su ciclo de vida. Esto complica que se pueda considerar una tormenta de un tipo u otro cuando se encuentra formando parte de una estructura mayor, Sin embargo, podemos recurrir a conceptos como la severidad, la intensidad de precipitación o el tipo de precipitación que pueden dar nociones de las características de una tormenta (Casans, 2017).

Si bien la convección se considera, aunque los movimientos verticales sean de poca intensidad, se puede determinar que existe convección profunda cuando las corrientes ascendentes de una región son muy fuertes (superiores a los 10m/s), y que abarque una extensión horizontal entre los 10 y los 100 km², y llegan a alcanzar un desarrollo vertical hasta la parte superior de la troposfera. Para que se produzca el fenómeno de la convección en la atmósfera (en este medio, los movimientos más habituales se producen en el plano horizontal, hecho que se conoce como equilibrio hidrostático) es necesario que la flotabilidad sea no nula. En el caso de que sea positiva (negativa) existirán movimientos verticales ascendentes (descendentes) (Rigo, 2004).

Para comprender mejor la cizalladura debemos conocer cuáles son los fenómenos meteorológicos que favorecen a su formación. Dentro de ellos tenemos a los sistemas convectivos los cuales se organizan en diferentes tipos, tales como: Célula ordinaria o simple, tormentas multicelulares, supercélulas y sistemas convectivos a mesoescala, los cuales difieren en su escala de tiempo espacial y temporal. Estos tipos de sistemas convectivos generan fuertes flujos de aire ascendentes y descendentes, para dar lugar a la formación de nubes convectivas, dentro de ellas, debajo de ellas y en su entorno; y mientras la actividad convectiva sea mayor, la cizalladura será más intensa, y esto se dará durante el inicio de la fase de madurez de la tormenta y en el tercio central del espesor nuboso (Casans, 2017)

Si bien la cizalladura es un fenómeno meteorológico a microescala que ocurre en un pequeño espacio geográfico (1-3 Km), ella puede estar presente en distintos fenómenos a una mayor escala como la escala sinóptica o incluso la mesoescala, como líneas de turbonada o inestabilidad y frentes fríos. Comúnmente en zonas tropicales se asocia a las microrráfagas y frentes de racha generados por los diferentes sistemas convectivos mencionados anteriormente, estos serán descritos a continuación (Cubero, 2003)

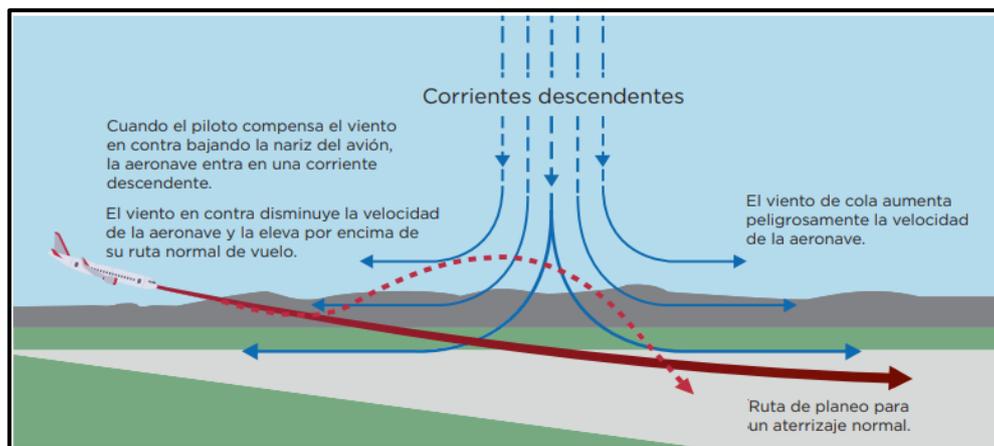


Figura 2. Descripción grafica de cómo afectan los corrientes descendentes producto de la convectividad a las aeronaves.

FUENTE: Vaisala 2020

2.3. Frente de racha

Los frentes de racha son vientos que se originan por la convección y pueden generar rachas muy intensas en la superficie. Se producen en el límite entre las salidas de aire frío y denso procedentes de las descendencias que se generan en el seno de las tormentas y el aire cálido

del entorno. Las corrientes descendentes se ven obligadas a desplazarse horizontalmente entorno al centro de la tormenta, una vez que llegan al suelo, aunque con una dirección de movimiento en el sentido del movimiento de la tormenta. Los frentes de racha se comportan como corrientes de densidad y en ellas se pueden distinguir varias partes (Gonzales & Pascual, 2013).

Para producir una corriente de densidad es necesaria la existencia de una flotabilidad negativa en el seno del foco convectivo madre. Esta flotabilidad negativa es sostenida mediante dos mecanismos distintos:

- Enfriamiento por evaporación y sublimación de los hidrometeoros en presencia de una capa no saturada.
- Arrastre debido a la descarga de hidrometeoros.

En esa organización de la convección es muy importante el papel del embolsamiento frío en superficie de origen convectivo. Este, que se origina en la corriente descendente y cuya intensidad está fundamentalmente relacionada con la presencia de precipitación y de evaporación, se extiende en todas direcciones y su borde de ataque es conocido como frente de racha. La intensidad resultante del frente de racha se relaciona directamente con la velocidad de propagación del embolsamiento frío, el cual, también depende de la profundidad del propio embolsamiento y de la diferencia de temperatura entre el aire del embolsamiento y la del entorno (Martin, Elizaga, Carretero & Ambrosio, 2007).

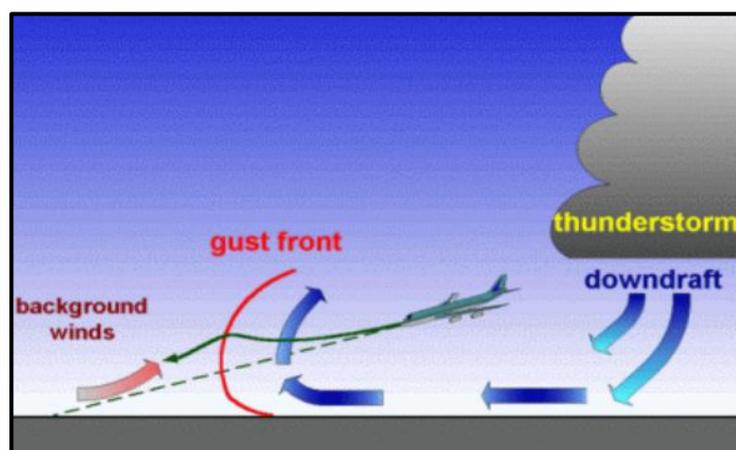


Figura 3: Frente de racha y sus efectos sobre una aeronave
FUENTE: Météo-France 2020

2.4. Microrráfagas

De acuerdo a Azorin (2008), los efectos de arrastre de la precipitación forman las corrientes convectivas descendentes, del enfriamiento evaporativo y de la incorporación de aire seco. Las corrientes descendentes más intensas, que reciben el nombre de microrráfagas, pueden provocar vientos muy fuertes (más de 200 km/h) y dañinos en la superficie.

Diferenciamos las microrráfagas, que son reventones severos con un alcance horizontal inferior a los 4 km y una duración de algunos minutos, de las macrorráfagas, que exceden los 4 km de extensión, duran entre 5 y 30 minutos y son capaces de provocar daños similares a un tornado. Las microrráfagas pueden ser «húmedas», cuando la base de la nube es baja y produce precipitaciones intensas, o «secas», cuando la base de la nube es alta y produce virga, lo anterior se aprecia en la figura 4.

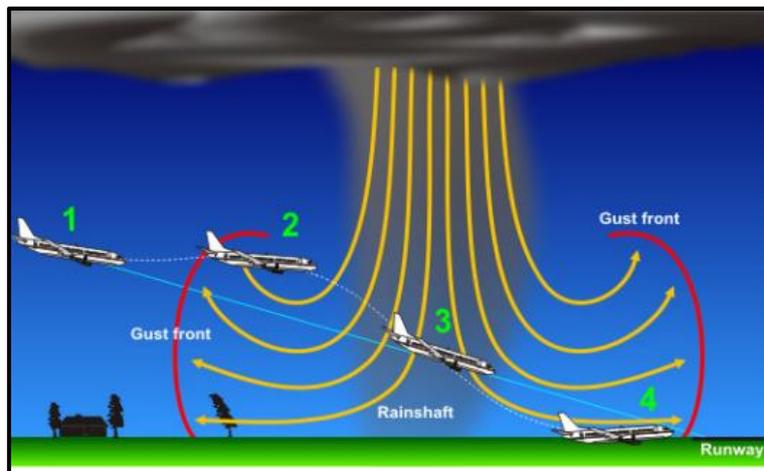


Figura 4. Microrráfaga húmeda. la cual genera precipitaciones y corrientes de viento intensas.

FUENTE: AEMET, 2014

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

En el siguiente trabajo de suficiencia profesional, de tipo no experimental, se detallaron los procedimientos que se utilizaron para el pronóstico de cizalladura a poca altura asociados a los fenómenos convectivos que se desarrollan e impactan sobre la aproximación de la pista de aterrizaje del aeropuerto de Iquitos. El pronóstico será de tipo “Nowcasting” debido a que las cizalladuras del viento ocasionada por las corrientes descendientes de viento tienen un periodo de duración muy corto (0-2hrs) en una distancia horizontal de 3 km y una altura de 500 m.

3.1. Descripción de zona de estudio

El área de estudio se encuentra situada en la ciudad de Iquitos, departamento de Loreto, el cual está denominado como llano amazónico cuya altitud más baja es de 61 msnm y la más alta 220 msnm (Dirección General Parlamentaria, 2019; p. 5) por lo que se comprende que es un área casi plana con un relieve no muy significativo. Esta ciudad se encuentra dentro de la zona tropical por lo que presenta un clima Ecuatorial el cual se caracteriza por tener temperaturas muy altas y por presentar abundante precipitación durante todo el año, siendo menos abundante entre los meses de junio a septiembre e incrementando de Oeste a Este (Marengo, 2017)



Figura 5. Ubicación geográfica de la zona de estudio
FUENTE: ONA PERU, 2019

La evaluación se realizará en la aproximación final de la pista 06 del aeropuerto de Iquitos a una distancia de 9 km (5NM) del umbral de dicha pista y a una altura de 500 m.

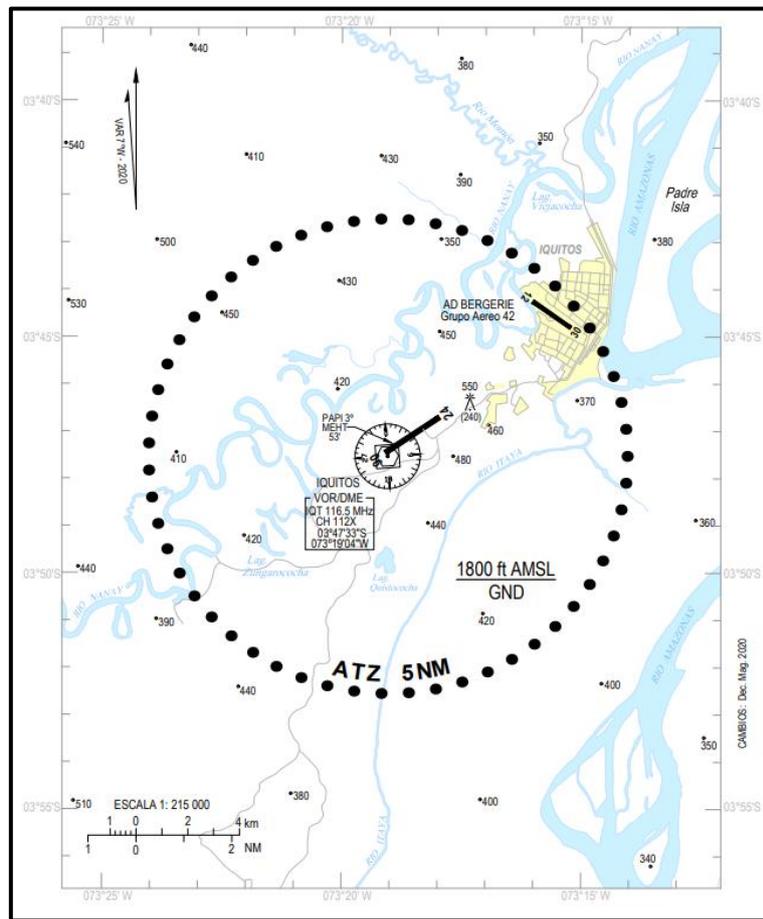


Figura 6. Carta de aproximación visual del aeropuerto de Iquitos.
FUENTE: AIP-PERU 2022

3.2. Evaluación de imágenes de satélite

Un overshooting top (OT) es definido por el glosario de meteorología de la Sociedad Meteorológica Estadounidense (AMS) como la intrusión de una corriente ascendente a través de su nivel de equilibrio. Es decir, este indica la presencia de una corriente ascendente convectiva profunda con la fuerza suficiente para penetrar la tropopausa e ingresar en la baja estratosfera. Esto puede ocurrir con cualquier nube cumulonimbus en un entorno con mucha inestabilidad. Lo cual se puede observar como una protuberancia en forma de domo por encima de un yunque de un cumulonimbus, que representa la intrusión de una corriente ascendente a través de su nivel de equilibrio.

Los OT se pueden identificar más fácilmente en imágenes de canales visibles (VIS) de alta resolución ya que presentan una textura grumosa. Sin embargo, debido a que estas imágenes

solo se pueden identificar durante el día. Por lo tanto, los métodos basados en imágenes provenientes del espectro infrarrojo (IRW por sus siglas en inglés; $v11\mu\text{m}$) parecen ser los más indicados para incluir ya que ofrecen una disponibilidad durante todo el día.

El procedimiento para pronosticar **WIND SHEAR** en el aeropuerto de Iquitos, se basa en la vigilancia continua de los sistemas en desarrollo y también de los que ya están desarrollados, evaluando de este último su patrón de movimiento y de intensificación o disipación basados en la temperatura de brillo que presentan. Esto se realiza mediante el análisis de imágenes satelitales tipo IR (canal14) del satélite GOES 16 y se analiza a partir de una conexión o correlación entre estructuras de imágenes consecutivas en el tiempo. Una vez que se ha podido establecer el movimiento previo, es posible realizar predicciones a muy corto plazo.

3.3. Evaluación de viento en superficie

Esto se corrobora con los datos de viento que se obtienen de los anemómetros ubicados en los umbrales de pista 06 y 24, los cuales pertenecen al Sistema Automático de Observación Meteorológica (AWOS por sus siglas en Ingles) instalado en el aeropuerto de Iquitos, y nos referencia la intensidad y dirección del viento para poder tener una idea de cuan intensa podría ser la cizalladura dentro de la zona evaluada.

3.4. Evaluación de detector de tormentas eléctricas

El sistema AWOS cuenta con un sensor detector de tormentas eléctricas, el cual está diseñado para proporcionar una ubicación de tormentas eléctricas en cualquier dirección. El sensor proporciona una estimación de la distancia de los rayos de nube a tierra de las tormentas eléctricas que tienen lugar a menos de 30 millas náuticas (35 NM, 56 km). El cual las clasifica según su distancia (muy cercanos, cercanos y lejanos). Los tres rangos se extienden desde el sensor de la siguiente manera (Vaisala, 2015):

- **Muy cercanos** de 0 a 5 millas náuticas (0–6 millas, 0–9 km)
- **Cercanos** de 5 a 10 millas náuticas (6–12 millas, 9–19 km)
- **Lejanos** de 0 a 30 millas náuticas (12–35 millas, 19–56 km)

Mediante la información de dicho sensor se puede detectar la orientación, distancia y desplazamiento de los cumulonimbus, siendo los más importantes para nuestro análisis los

muy cercanos y cercanos, lo cual nos ayuda a complementar la eficiencia en el pronóstico de cizalladura.

3.5. Elaboración y difusión de Avisos de cizalladura (Wind shear) de viento pronosticado

La oficina meteorológica de aeródromo designada por el proveedor MET, debe elaborar avisos de cizalladura del viento en lenguaje claro abreviado e identificarse como “WS WRNG”. Dicho aviso debe de estar basado en el pronóstico elaborado mediante el análisis y evaluación de los criterios descritos en los párrafos anteriores, los cuales deben ser lo más concisos posible, de conformidad con el formato y debe indicarse claramente que se trata de un “pronóstico”, utilizando la abreviatura FCST, y a su vez será transmitido a la dependencia ATS así como a los diferentes usuarios aeronáuticos, todo esto siguiendo lo establecido en la norma técnica complementaria (NTC 003-2013) de la dirección general de aeronáutica civil (DGAC)

Ejemplo:

“SPQT WS WRNG 01 211230 VALID 211245/211330 WS APCH RWY 06/24 FCST SFC WIND:
RWY06 180/23KT
RWY24 200/23KT=”.

“El aviso de cizalladura del viento 01 emitido el día 21 a las 1230Z y con validez desde 1245 hasta las 1330, pronostica para la aproximación final de la pista 06 un viento en superficie de 23KT y con dirección de los 180°, mientras que para la aproximación final de la pista 24 se pronostica un viento máximo en superficie de 23KT con una dirección de 200°”

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contexto laboral

La Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial, CORPAC S.A. es una empresa pública paraestatal que proporciona las instalaciones, servicios y procedimientos para la navegación aérea, conformando así un sistema integrado, diseñado para satisfacer en un futuro inmediato, los requisitos operacionales de las aeronaves civiles en el ámbito Nacional e Internacional, de acuerdo con las normas internacionales reconocidas por el Estado Peruano y las disposiciones legales y reglamentarias referentes al funcionamiento de los aeropuertos y sus servicios. Como responsable de normar, vigilar, fiscalizar, sancionar, así como desarrollar estrategias para lograr que las actividades de aeronáutica civil cumplan con los estándares internacionales, se encuentra la Dirección General de Aeronáutica Civil – DGAC. Como ente regulador de la aeronáutica en el Perú. La DGAC tiene un área exclusiva para verificar que CORPAC cumpla de la forma más eficiente, como proveedor del servicio meteorológico aeronáutico, con brindar información de calidad y confiable a los usuarios aeronáuticos con respecto a la meteorología, es por ello que se desarrolla la norma técnica complementaria NTC-003-2013, la cual establece procedimientos de elaboración y difusión de avisos de cizalladura del viento a poca altura que puede afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

El egresado viene laborando en el aeropuerto de Iquitos desde el año 2017, en el cargo de **Pronosticador Meteorológico Aeronáutico**, y del total de funciones que se realizan, destacan las siguientes: Pronóstico meteorológico de Aeródromo (TAF), vigilar y supervisar las observaciones de la Estación Meteorológica Aeronáutica-EMA, emitir avisos de cizalladura de viento y emitir avisos de aeródromo.

4.2. Determinación y análisis del problema

La cizalladura del viento en niveles bajos, es un fenómeno que puede ser muy perjudicial para la seguridad aérea, por ello su pronóstico y difusión es de vital importancia para poder evitar la ocurrencia de algún accidente aéreo en la fase de aproximación final y despegue

inicial de las aeronaves. Dicho fenómeno puede ser causado por diferentes factores atmosféricos, pero en la ciudad de Iquitos están asociados a los sistemas convectivos, los cuales se ven influenciados por la circulación atmosférica tropical, como la presencia de los vientos alisios y la convergencia que ellos generan en la llamada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), ondas del este, Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y líneas de inestabilidad. Todo ello genera que el pronóstico de cizalladura no sea tan sencillo pronosticar debido a su rápida formación y a su corto periodo de duración.

Es por ello, que el egresado de la carrera de meteorología, al salir a laborar en las ramas de pronóstico meteorológico aeronáutico, no solo debe de poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de los cinco años de carrera universitaria, sino que también debe de estar presto a comprender, analizar y ejecutar los conocimientos que se van adquiriendo conforme se tenga mayor experiencia laboral, puesto que lo aprendido en la vida universitaria es muy teórico y engloba conceptos muy generales, mientras que para realizar mis labores en CORPAC necesito ser lo más puntual y específico posible a la hora de realizar los pronósticos, para que sea lo más precisa y poder generar una confianza dentro de nuestros usuarios.

Conforme a lo expuesto anteriormente, este Trabajo monográfico trata de plantear una metodología aproximada para realizar básicamente, pronóstico meteorológico de cizalladura del viento a poca altura de una manera confiable, así como, de su difusión para que sea útil a la hora de tomar decisiones en las fases más críticas del vuelo.

4.3. Proyecto de Solución

Actividades Específicas o estrategias para poder realizar una buena labor en las ramas de pronóstico meteorológico de cizalladura del viento a poca altura:

4.3.1. Evaluación de imágenes satelitales

Mediante este procedimiento se realiza el monitoreo constante de los sistemas atmosféricos que afectan la zona estudio, dichas imágenes se obtienen mediante un aplicativo elaborado por la corporación, y tienen una continuidad de 10 minutos.

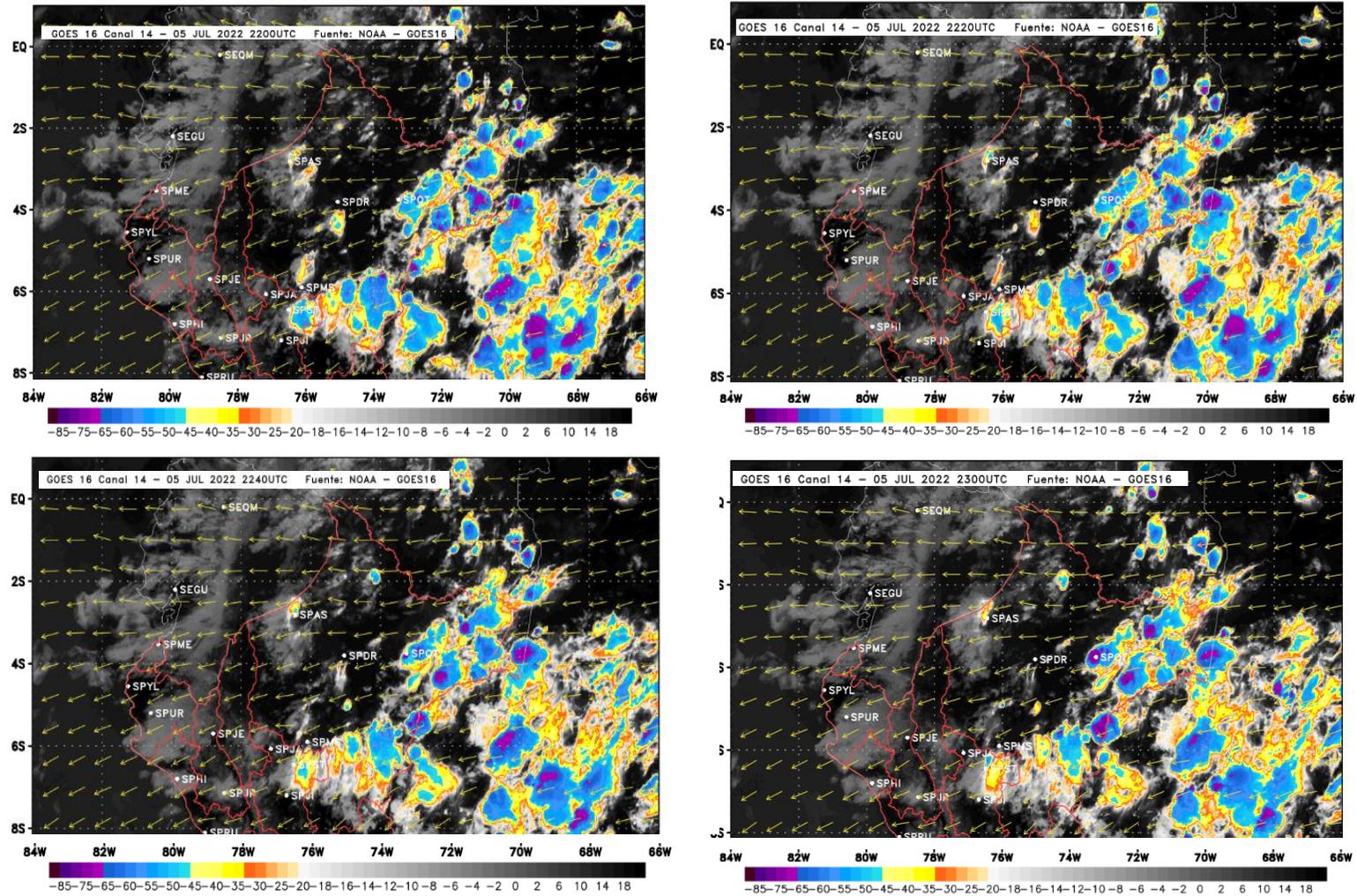


Figura 7. Secuencia de imágenes satelitales IR

En la imagen anterior se observa la secuencia de imágenes satelitales por el periodo de 40 minutos. En ella se aprecia la propagación de una línea de inestabilidad entrando del Este hacia la estación, y en el cual genera un sistema multicelular donde uno de sus núcleos se forma justo sobre el aeródromo y su expansión se genera hacia la aproximación de la pista 06.

4.3.2. Evaluación del viento en superficie

En el aeródromo de Iquitos se cuenta con dos anemómetros integrados al sistema AWOS, los cuales se localizan en la zona de toma de contacto de la pista 06 y 24 respectivamente, con una separación aproximada de 2 km.



Figura 8. Datos de viento de ambas pistas del aeródromo de Iquitos

En la figura 8 se muestra la dirección e intensidad del viento para cada pista, así como el viento mínimo y máximo (ráfaga). En la imagen se observa que en la pista 06 la intensidad del viento es de 9 kt provenientes del Este y en la pista 24 se tiene vientos del Este con una intensidad de 14kt. Además, también se puede apreciar que en la pista 06 presenta un viento máximo de 15kt, mientras que en la pista 24 se observa un viento máximo de 24kt, Esta diferencia de intensidad de viento máximo entre ambos anemómetros es el reflejo de la presencia de cizalladura horizontal a lo largo de la pista del aeródromo.

4.3.3. Evaluación del detector de tormentas

El sistema AWOS cuenta con una herramienta muy útil a la hora de evaluar la presencia de actividad convectiva, el cual nos ayuda a identificar la existencia de tormentas alrededor del aeródromo de Iquitos, dicho sensor detecta rayos en un radio de hasta 55km de distancia, pero por fines prácticos de este trabajo solo se evaluarán los que se encuentran dentro de un radio de 19km.

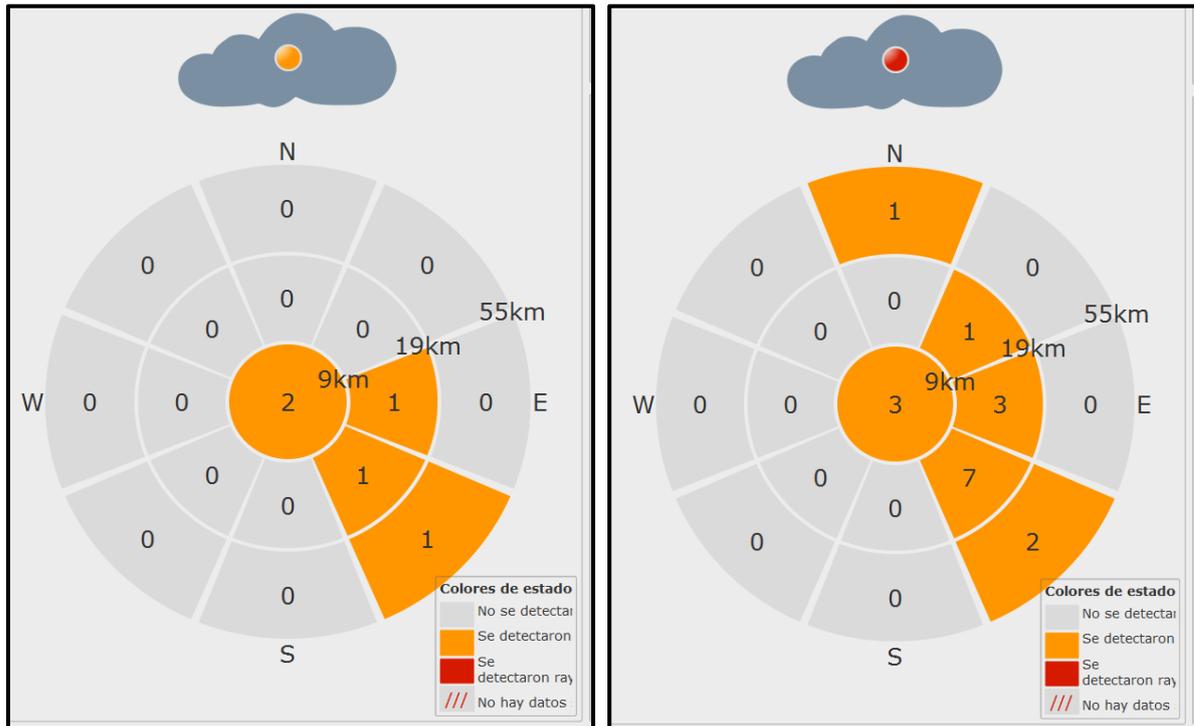


Figura 9. ubicación de las tormentas eléctricas detectadas por el sistema AWOS

AERÓD. (<9km)	3	NUBES	17
Rayos cerca (9-19 km)		Rayos lejanos (20-55 km)	
N	0	N	1
NE	1	NE	0
E	3	E	0
SE	7	SE	2
S	0	S	0
SW	0	SW	0
W	0	W	0
NW	0	NW	0
Suma	11	Suma	3
TOTAL		34	

Figura 10. Conteo de tormentas según su orientación y distancia

La detección de la ubicación del núcleo convectivo es importante a la hora de pronosticar la cizalladura del viento, porque nos da la referencia de las zonas donde sus efectos podría afectar la seguridad aérea. En la figura 9 se aprecia la formación de tormentas en los cuadrantes Este y Sureste (Izquierda), mientras que en la figura de la derecha se observa la aparición de tormentas al Noreste y Norte. Dichas condiciones son propicias para la existencia de cizalladura para la aproximación de la pista 24 debido a que las tormentas afectan directamente a la aproximación final de dicha pista.

4.3.4. Evaluación mediante observaciones

En la meteorología aeronáutica las observaciones del estado del tiempo son muy importantes ya que con ellas las tripulaciones toman decisiones según las condiciones existentes. En el caso del pronóstico de cizalladura, las observaciones son un complemento al análisis antes descrito para poder identificar con mejor claridad la formación y desarrollo de los sistemas convectivos



Figura 1. Desarrollo de un sistema convectivo en la aproximación final de la pista 06

En la figura 11 se observa como un núcleo convectivo está en crecimiento a lo largo de la aproximación final de la pista 06, esto se advierte por la formación de nubosidad del tipo convectiva (CB).

4.3.5. Elaboración y difusión de avisos de cizalladura del viento

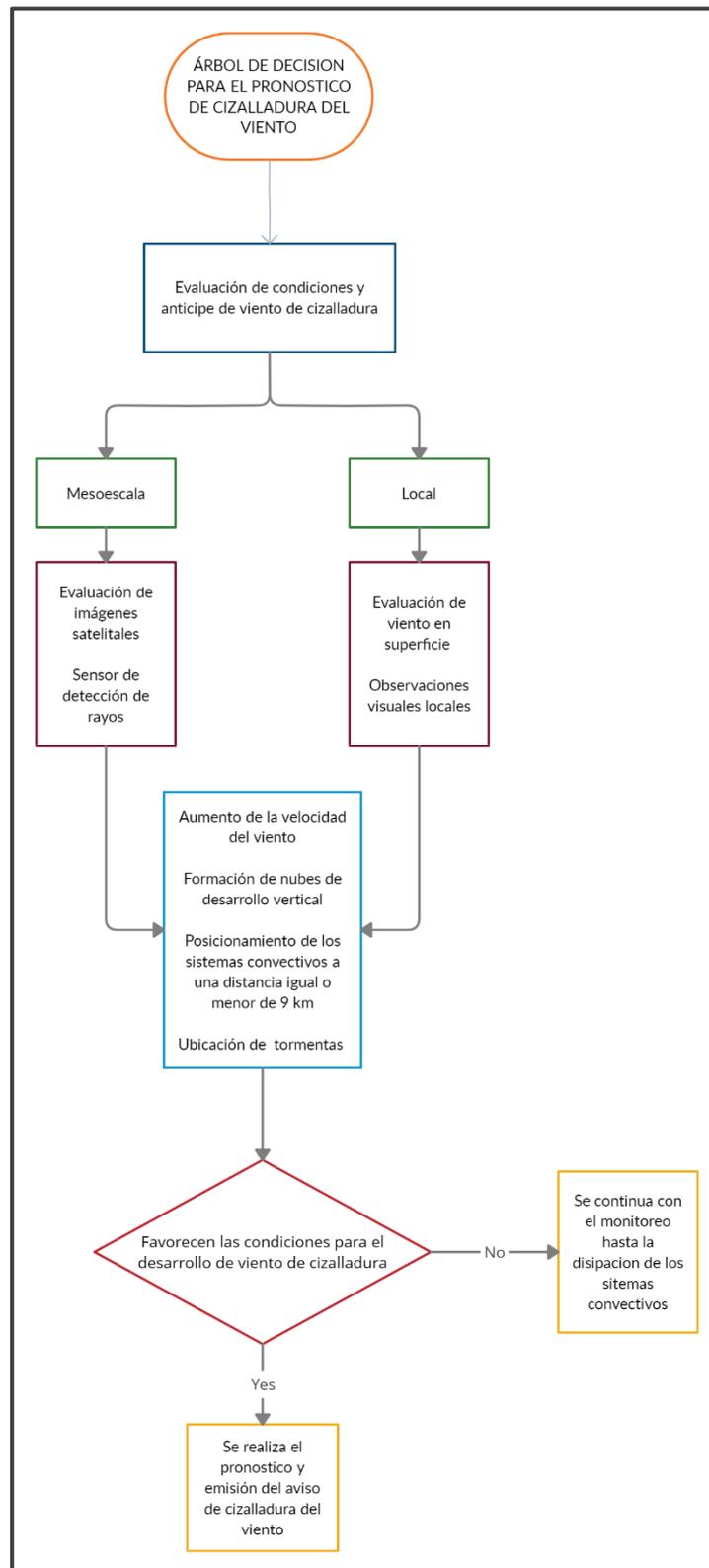


Figura 12. Diagrama de flujo del procedimiento de pronóstico y emisión del aviso de cizalladura de viento

En la figura 12 se observa el diagrama de flujo, el cual describe el procedimiento de análisis y evaluación para el pronóstico de cizalladura de viento y su posterior emisión.

Finalmente, una vez realizado el análisis correspondiente, se procede a elaborar el aviso de cizalladura del viento a poca altura cumpliendo con lo establecido en las normas internacionales y nacionales, sobre todo con lo dispuesto por la DGAC en la Norma Técnica Complementaria NTC-003-2013, como se observa en la figura 12.

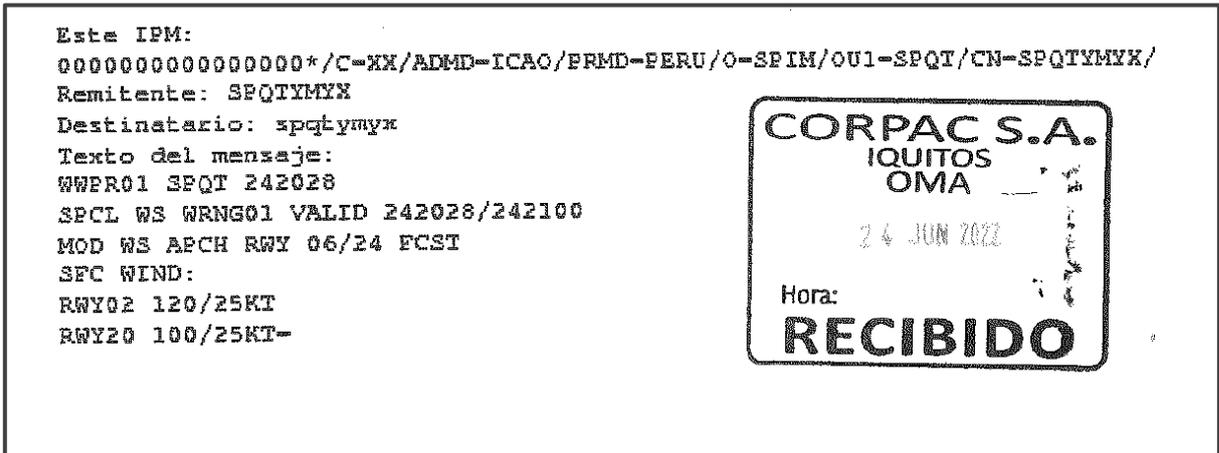


Figura 13. Aviso de cizalladura del viento pronosticado, elaborado y difundido

4.4 Evaluación del proyecto

Se cumple con el objetivo de desarrollar y entregar el pronóstico de cizalladura del viento de forma precisa y oportuna a los usuarios aeronáuticos, con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales con respecto a la seguridad operacional, evitando la ocurrencia de accidentes bajo eventos de fenómenos meteorológicos adversos de tipo convectivos.

Al lograr el cumplimiento del objetivo planteado anteriormente, se garantiza lograr un alto grado de confiabilidad por parte de los usuarios, lo que lleva a tener un mayor grado de credibilidad no solo con los pronósticos de avisos de cizalladura del viento sino con todos los otros productos emitidos por la oficina de pronóstico Iquitos.

V. CONCLUSIONES

El proceso descrito en el presente trabajo permite el pronóstico de cizalladura del viento a poca altura asociados a distintos fenómenos convectivos que afectan la aproximación final del aeropuerto de Iquitos.

Se determinó mediante el seguimiento continuo de la formación y/o desplazamiento de los sistemas meteorológicos, que dan origen a fenómenos de cizalladura de viento, que estos últimos se forman en un periodo de tiempo relativamente corto y de forma muy violenta, por ende, se emitieron los avisos de cizalladura del viento de forma oportuna.

Con las observaciones visuales se logró identificar distintos sistemas convectivos y así establecer su ubicación y distancia aproximada, siendo un complemento al uso de las imágenes satelitales.

Mediante el seguimiento continuo de los sistemas convectivos, se determinó que generalmente, estos provienen con mayor frecuencia de los cuadrantes Norte, Noreste y Este del aeropuerto de Iquitos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Deben realizarse reuniones de trabajo de forma periódica entre los responsables de emitir los pronósticos de cizalladura, con los usuarios finales de dicho producto, para que estos últimos interpreten y usen correctamente la información brindada, con la finalidad de que puedan tomar las mejores decisiones durante la fase de aterrizaje y despegue.
2. Se debe de verificar que los equipos y sistemas de observación (anemómetros y detector de tormentas) deben de estar debidamente certificados y calibrados.
3. Debido al incremento de operaciones áreas nacionales e internacionales y a la mayor variabilidad de los fenómenos meteorológicos, se recomienda la adquisición e instalación de sistemas sofisticados de detección de cizalladura de viento.
4. Se deben llevar cursos de actualización con respecto a pronóstico del tiempo, en las escalas: sinóptica, micro y meso; así como también en herramientas de teledetección, que nos permita brindar información más confiable y precisa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casans, A. (2017). *Estudio de estructuras de flujo a partir de datos de viento radial obtenidos con radar meteorológico*, 2017 [Trabajo de fin de grado, Universidad Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/64212/files/TAZ-TFG-2017-2339.pdf>
- Gil, M.A. & Moreno, M.C. (2003). Análisis de la siniestralidad aérea por causa meteorológica (1970-1999). *Investigaciones Geográficas*, 30(2), 13-16. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/176/17603002.pdf>
- Cubero, R. (2003) La cizalladura descafeinada. *Revista del aficionado a la meteorología*, 2-4. Recuperado de: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12094/1/cizalladura_Cubero_RAM2003.pdf
- Gonzales, S. & Pascual, R. (2013). Vientos fuertes de origen convectivo en Barcelona el 12 de junio del 2012. *Thetys*. 10(2), 13-23. Recuperado de: <https://www.tethys.cat/sites/default/files/pdf/articles/10tethys-02-cas.pdf>.
- Guijarro, A. & Jansá, A. La cizalladura del viento en la aproximación al aeropuerto de palma de mallorca: climatología de la misma e implementación de un método de monitorización. Recuperado de: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/4703/1/B8-PAL_Cizalladura.pdf
- Rigo, T. (s.f.) Estudio de sistemas convectivos mesoscalares en la zona mediterránea occidental mediante el uso del radar meteorológico. Recuperado de: https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/664274/03.TRR_3de9.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Dirección general de aeronáutica civil. (2013). *REPORTE DE CIZALLADURA DEL VIENTO A POCA ALTURA (003)*. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/392969/NTC_CIZALLADURA_VIENTO.pdf

- Organización de Aviación Civil Internacional. (2005). Manual sobre cizalladura del viento a poca altura (01). Recuperado de:
<https://es.scribd.com/document/331456947/Manual-Cizalladura-9817-OACI>
- Dirección General Parlamentaria. (2019). CARPETA GEORREFERENCIAL REGION LORETO PERU. Recuperado de:
<https://www.congreso.gob.pe/Docs/DGP/GestionInformacionEstadistica/files/i-16-loreto.pdf>
- Vidal, L. & Bedka, K. (2021). Detección automática de ascendentes intensas mediante imágenes satelitales y su relación con tiempo severo. *Servicio Meteorológico Nacional Argentino*. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/358537454_Deteccion_automatica_de_ascendentes_intensas_mediante_imagenes_satelitales_y_su_relacion_con_tiempo_severo
- Marengo, José. (1998). Climatología de la zona de Iquitos, Perú. *Annales Universitatis Turkuensis Ser A II*. 35-57. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/284393969_Climatologia_de_la_zona_de_Iquitos_Peru
- Vaisala. (2015). *GUIA DEL USUARIO DE TSS928* (1).
- Martin, F., Elizaga, F., Carretero, O., & Ambrosio, I. (2007). Diagnóstico y predicción de la convección profunda. *Instituto nacional de meteorología*, 21-23. Recuperado de:
<https://core.ac.uk/download/pdf/217346667.pdf>
- Azorin, C. (2008). Situación atmosférica de «heat burst» en la provincia de Alicante. *Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo*.
<https://www.tiempo.com/ram/3543/situacin-atmosfrica-de-%C2%ABheat-burst%C2%BB-en-la-provincia-de-alicante/>