



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SERVICIOS A LA NAVEGACION EN EL ESPACIO AEREO MEXICANO
DIRECCION GENERAL ADJUNTA DE TRANSITO AEREO
DIRECCION DE METEOROLOGIA Y TELECOMUNICACIONES
AERONAUTICAS

Precipitación intensa factor contribuyente en excursiones de pista

OACI. Seminario de Seguridad Operacional del Grupo Regional de Seguridad Operacional de la Aviación Panamericana (RAGS-PA)

Ciudad de México

14 – 15 de enero de 2015

por: Enrique Camarillo Cruz

En SENEAM estamos comprometidos con la seguridad aérea.

Aquí se resalta que las excursiones de pista y otro tipo de accidentes han ocurrido durante y después de las precipitaciones intensas y se alerta de la peligrosidad de las lluvias violentas y de las lluvias muy fuertes.

Además, se revisan algunos fenómenos meteorológicos asociados con los cumulonimbus de tormenta eléctrica y se ilustra como ellos se aplican en SENEAM para mejorar la detección, el pronóstico y el alertamiento de las lluvias violentas y las lluvias muy fuertes.

I. IMPACTO DE LAS PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES AEREAS EN LOS AEROPUERTOS

OBSERVACIONES

Un número apreciable de excursiones de pistas, que han ocurrido en las Regiones Tropicales y Subtropicales en años recientes, han ocurrido durante o después de precipitaciones intensas.



MEXICO MMMX 21 JUL 2004



CANADA CYYZ 02 AGO 2005



BRASIL SBSP 17 JUL 2007



MHTG 30 MAY 2008



JAMAICA MKJP 22 DIC 2009



MEXICO MMY 13 ABR 2010



GUYANA SYCJ 30 JUL 2011



CANADA CYOW 04 SEP 2011



BAHAMAS MYAM 13 JUN 2013

08.18.2013 04:41

Excursiones de pista y otros accidentes de la aviación comercial que tuvieron lugar durante o poco después de la ocurrencia de lluvia violenta o de lluvia muy fuerte en los aeropuertos

Fecha	Aeropuerto / País	Aeronave / Aerolínea	Observaciones / METAR
2004JUL21	MMMX México México	Mc Donnell D DC-9 Aerocalifornia	Lluvia muy fuerte con rachas de más de 40 kt RE
2005AGO02	CYYZ Toronto Canada	Airbus 340-313 Air France	34024G33KT 1 1/4SM +TSRA RE
2007JUL17	SBSP Sao Paulo Brasil	Airbus 320 233 TAM	35008KT 7000 –RA F RE
2008MAY30	MHTG Toncontín Honduras	Airbus 320 Taca	19004KT 2000S –DZ FEW008 Tail wind wet runway RE F
2009DIC22	MKJP Kingston Jamaica	Boeing 737 American Airlines	32014KT 1500 +SHRA RE Tail wind wet runway Night
2010ABR13	MMMY Monterrey Mexico	Airbus 300 Aero Union	11012KT 3SM SHRA LOC-I 11014KT 1SM SHRA Crash F
2011JUL30	SYCJ Georgetown Guyana	Boeing 737 Caribbean Airlines	0500Z .. 0800 FG FEW010CB 0400Z...7000 TSRA RE
2011SEP04	CYOW Ottawa Canada	Embraer EMB145 United Express	32013G20 RE 4 - 6 mm of water on RWY
2013JUN13	MYAM Marsh Harbour Bahamas	Saab 340 Sky Bahamas	No METARS. RE Heavy rain thunderstorms

EXCURSIONES DE PISTA (RE) EN 2013

Fecha	Aeropuerto / País	Aeronave / Aerolínea	Observaciones / METAR
2013Mar28	WAAA Pandang Indonesia	ATR 72-500 Wings Air	07016G28KT 2000 TSRA 017CB
2013May24	LBWN Varna Bulgaria	Airbus 320-200 Air Via	VRB 11G20MPS 0550.. +SHRA NOSIG
2013May31	WAJW Wanema Indonesia	British Ae ATP-F Deraya Air	No METAR. Unstable approach. Cloudy
2013Jun02	RPMD Davao Filipinas	Airbus320-200 Cebu Pacific	TSRA BKN015 CB
2013Jun07	ZSSS Shangai China	Embraer ERJ-195 China Eastern	10008MPS 2500 SHRA
2013Jul01	SBGL Rio de Janeiro Brasil	Airbus320-200 Linhas Aereas TAM	25017KT ..2500 +TSRA BKN005
2013Sep08	VTBS Bangkok Tailandia	Airbus 330-321 Thai Airways	16008KT 120V200.. -RA.. 020CB
2013Dic13	WIII Jakarta Indonesia	Airbus 330-200 Garuda	27010KT 4000 RA 020CB
2013Dic14	SBUL Uberlandia Brasil	Embraer ERJ-195 Azul Linhas Aereas	33017KT 2000 +TSRA BKN005

Fecha	Aeropuerto / País	Aeronave / Aerolínea	Observaciones / METAR
2014Abr11	HTDA Dar es Salam Tanzania	Embraer ERJ-190 Kenya Airlines	10008KT 8000 VCRA? RE ..landed in heavy rain on R23 ?
2014May21	VYYY Yangon Mianmar	Airbus 300-300 Singapore Airlines	22010G20KT 2000 TSRA RE
2014Jun06	ZSAM Xiamen China	Airbus 320-200 Spring Airlines	4500 -SHRA SCT008 RE
2014Jun16	RCBS Kinmen Taiwan	Mc Donnell D MD-82 Far Eastern	16021KT 2800 -SHRA FEW005 RE
2014Jun18	CYQM Moncton Canada	Boeing 727-200 Cargo Jet	12010KT 2 1/2 SM +RA BKN005 RE
2014Jun19	ZBCZ Changzhi China	Embraer ERJ-145 China Eastern	NO METAR. Airport reported thunderstorm, rain and visibility 4600m RE
2014Jul23	RCQC Magong Taiwan	ATR-72-212A Transasia Avions	25019KT 0800 LOC - I ? Typhoon Matmo. Crash F
2014Sep20	RCMQ Taichung Taiwan	Embraer ERJ - 190 Mandarin Airlines	600 R36/0800D +TSRA RE
2014Oct07	CYUL Montreal Canada	Airbus 330-300 Air Canada	27018G27KT 3SM -TSRA 0122 24006KT 2SM -TSRA RE

RELEVANCIA DE LA PRECIPITACION

- La precipitación normalmente confirma la presencia de nubes con base a una altura relativamente baja y visibilidad reducida dentro de ellas.
- Las precipitaciones intensas provenientes de cumulonimbus pueden estar acompañadas de descargas eléctricas, así como vientos fuertes y visibilidad reducida que pueden ocasionar condiciones peligrosas y/o por debajo de los mínimos meteorológicos de operación.
- Las precipitaciones intensas reducen apreciablemente el coeficiente de fricción (frenado) de las pistas y pueden propiciar el acuaplaneo (hidroplaneo) por la acumulación de agua en la superficie.

ALGUNOS FACTORES OBSERVADOS DURANTE APROXIMACIONES O ATERRIZAJES EN LLUVIA INTENSA

- Reducción de la visión del piloto a través del parabrisas de la aeronave
- Dificultad para aterrizar o de controlar la aeronave a lo largo de la pista cuando se presentan vientos cruzados de más de 20kt y que pueden alcanzar los 50 kt.
- Microráfagas descendentes que empujan a la aeronave hacia el suelo
- Fuertes gradientes del viento que dificultan el control de la aeronave
- Reducción del coeficiente de fricción (frenado) de las pistas
- Acuaplaneo por acumulación de agua (de más de 1 mm) que dificulta el control de la aeronave sobre la pista
- Lanzamiento de agua al frente de la aeronave, que contribuye a reducir la visión del piloto, cuando se aplica empuje inverso (empuje de reversa) para desacelerar la aeronave
- Vientos de cola iguales o mayores que 10 kt que propician aterrizajes adelante de la zona de toma de contacto (TDZ)
- Demora en el desalojo del agua hacia los lados de la pista cuando el viento fluye paralelo a la pista y arrastra al agua sobre de ella.
- Rayos y truenos que ciegan y/o aturden temporalmente al piloto
- Rayos que dañan sistemas electrónicos de la aeronave

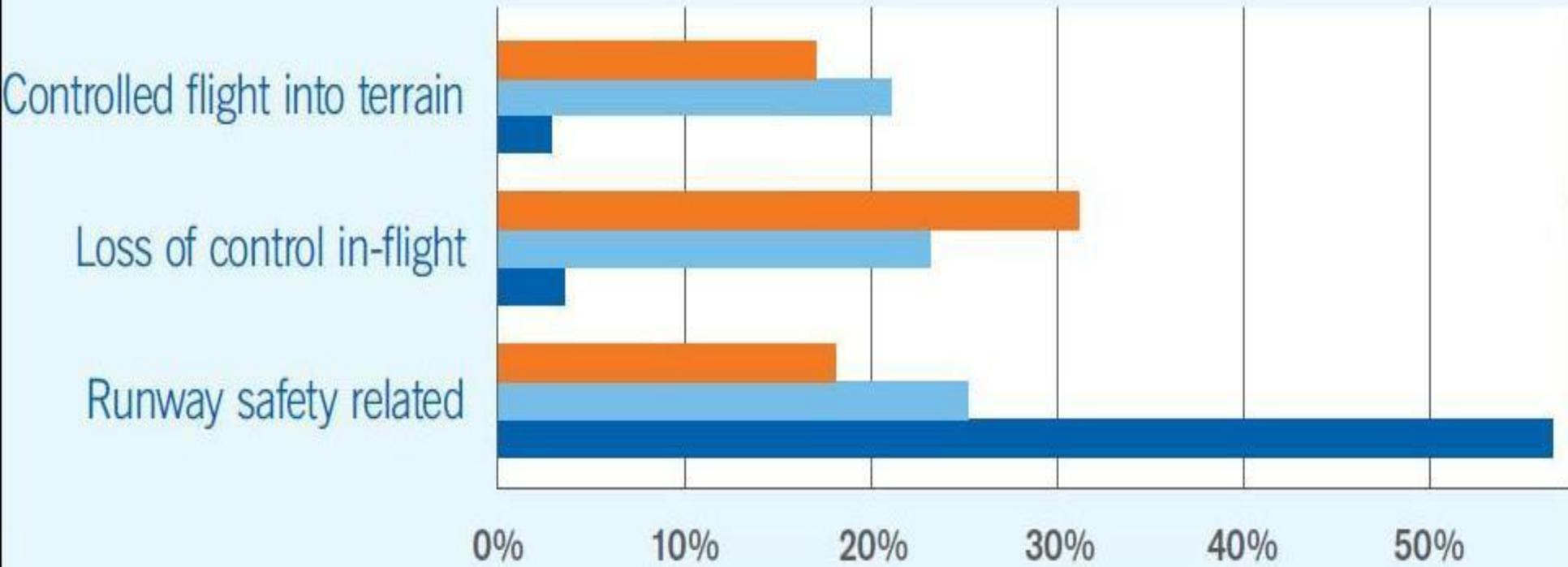
ALGUNAS MEDIDAS PARA TRATAR DE PREVENIR EXCURSIONES DE PISTA

- **Construcción y mantenimiento de pistas conforme a las normas del Anexo 14 de la OACI (longitud y pendientes reglamentarias, Zona de Seguridad al final de la pista (RESA), etc.)**
- **Instalación y uso de radar Doppler y/o radar meteorológico para detectar áreas con nubes de tormenta y gradientes del viento fuertes**
- **Instalación de Sistemas de alertamiento de gradiente del viento en niveles bajos. (Low Level Wind Shear)**
- **Implementación del sistema de arresto EMAS (Engineered Material Arresting System, EMAS)**
- **Implementación de pistas total o parcialmente ranuradas**



Percentage of All Accidents: 2006–2011

■ Fatalities
 ■ Fatal Accidents
 ■ Accidents



Porcentaje (mundial) de accidentes 2006 -2011
 Fuente: ICAO 2013 Safety Report.

Table 6. Top Contributing Factors for LATAM/CAR Runway Excursion Accidents

Year 2012
Source: IATA

Latent conditions	19% Safety Management 13% Flight Operations: Training Systems 13% Regulatory Oversight	
Threats	Environmental	25% Contaminated runway/taxiway 19% Ground-based nav aid malfunction or not available 13% Wind/windshear/gusty wind
	Airline	19% Contained Engine Failure/Powerplant Malfunction 19% Other threats 13% Maintenance events
Errors	31% Manual handling/flight controls 19% SOP adherence/SOP Cross-verification 13% Failure to GOA after destabilization on approach	
Undesired Aircraft States	33% Controlled flight towards terrain 33% Vertical / lateral / speed deviation	
Countermeasures	67% Monitor / cross-check 50% Communication Environment 50% Leadership	

Los fenómenos meteorológicos han sido factores contribuyentes para las Excursiones Pista en Latinoamérica y el Caribe
Fuente: OACI. RASG-PA. Annual Safety Report. 2014. 4th Edition.

Precipitación / Intensidad	Cantidad de lluvia/ tiempo	Factores atmosféricos y de superficie	Visibilidad y viento
Lluvia ligera (-RA)	$i < 2.5 \text{ mm/hr}$	Gotas de lluvia dispersas que no mojan completamente la superficie	VIS > 7 SM
Lluvia moderada (RA)	$2.5 \leq i < 7.5 \text{ mm / hr}$	Gotas individuales no se identifican. Superficie totalmente mojada después de pocos minutos	$2.5 \text{ SM} \leq \text{VIS} \leq 7 \text{ SM}$
Lluvia fuerte (+RA) (+RA que podría ser SHRA o TSRA)	$7.5 \text{ mm / hr} \leq i$ Aprox. $0.8 \text{ mm / 6 min} \leq i$	Lluvia cae abundantemente. Gotas de lluvia causan salpicaduras hasta aprox. 10 cm sobre una superficie sólida. Burbujas de 2 a 3 cm sobre el agua Agua escurre sobre la superficie.	$1/2 \text{ SM} < \text{VIS} < 2.5 \text{ SM}$
Lluvia muy fuerte (Clasificación provisional) (+SHRA o +TSRA muy probable)	$20 \leq i < 50 \text{ mm / hr}$ ó $2.0 \leq i < 5.0 \text{ mm / 6 min}$ $1.0 \leq i < 2.5 \text{ mm / 3 min}$	Cb activo sobre el sitio. Agua parece caer en cortinas empujadas por el viento Agua se acumula y/o escurre abundantemente. Rocío a varios metros de altura.	$1 \text{ SM} < \text{VIS} \leq 2 \text{ 1/2 SM}$ Viento fuerte con rachas frecuentes entre 20 y 40 kt
Lluvia / Precipitación violenta (Seguro +SHRA o +TSRA)	$> 50 \text{ mm / hr}$ $\text{>} 5.0 \text{ mm / 6 min}$ $\text{>} 2.5 \text{ mm / 3 min}$	Cb muy activo sobre el sitio. Agua se acumula y/o escurre muy abundantemente. Rocío a muchos metros de altura.	$1/4 \text{ SM} \leq \text{VIS} \leq 1 \text{ SM}$ Viento fuerte con rachas que pueden alcanzar entre 40 y 50 kt

Las precipitaciones violentas y las precipitaciones muy fuertes, asociadas a Cb's, son las únicas que normalmente están acompañadas por vientos de más de 20 kt, que propician acumulación súbita de agua en las pistas y que pueden ocasionar condiciones debajo de los mínimos meteorológicos de visibilidad y techo

AÑO	Número de días con precipitación	Precipitación diaria igual o mayor que 20 mm (≥ 20 mm)	Precipitación diaria igual o mayor que 40 mm (≥ 40 mm)
2003	117	10	1
2004	138	10	2
2005	100	4	1
2006	156	3	0
2007	142	5	0
2008	130	10	2
2009	136	5	2
2010	125	6	0
2011	112	8	1
2012	139	7	0
2013	138	3	0

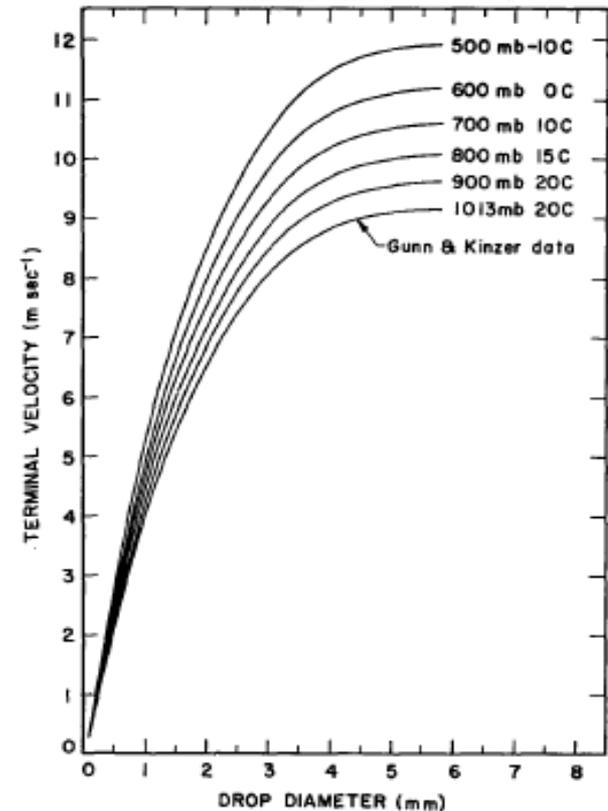
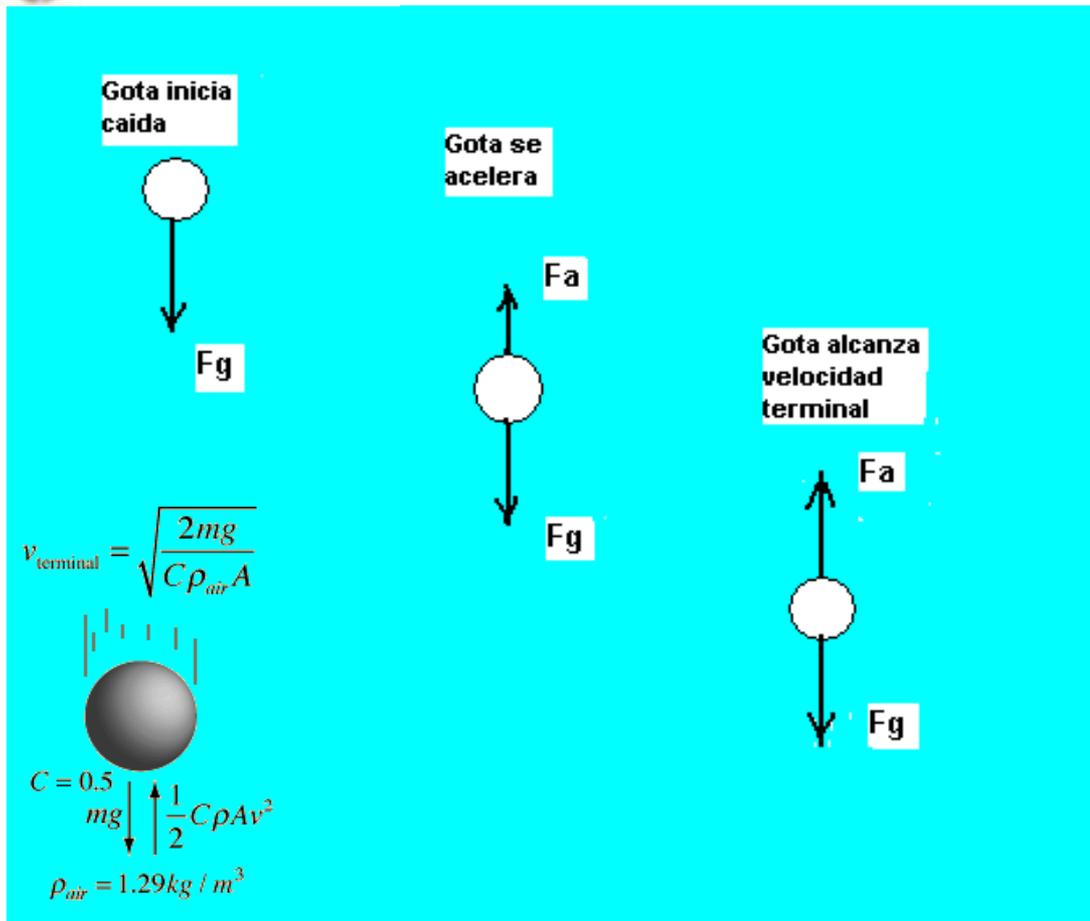
Durante 2003 – 2013, en el Aeropuerto de México (MMMX) ocurrieron más de 110 días de precipitación por año, hubo entre 3 y 10 días con precipitación muy fuerte (> 20 mm) y solamente entre 0 y 2 días con precipitación diaria de más de 40 mm. Proc. Datos M. E. San Román C.

ADVERTENCIA DE PELIGRO

Las precipitaciones muy fuertes y las precipitaciones violentas, que pueden propiciar excursiones de pista y otro tipo de accidentes, no ocurren con frecuencia. Ello puede dar lugar a que su peligrosidad sea subestimada o desconocida.

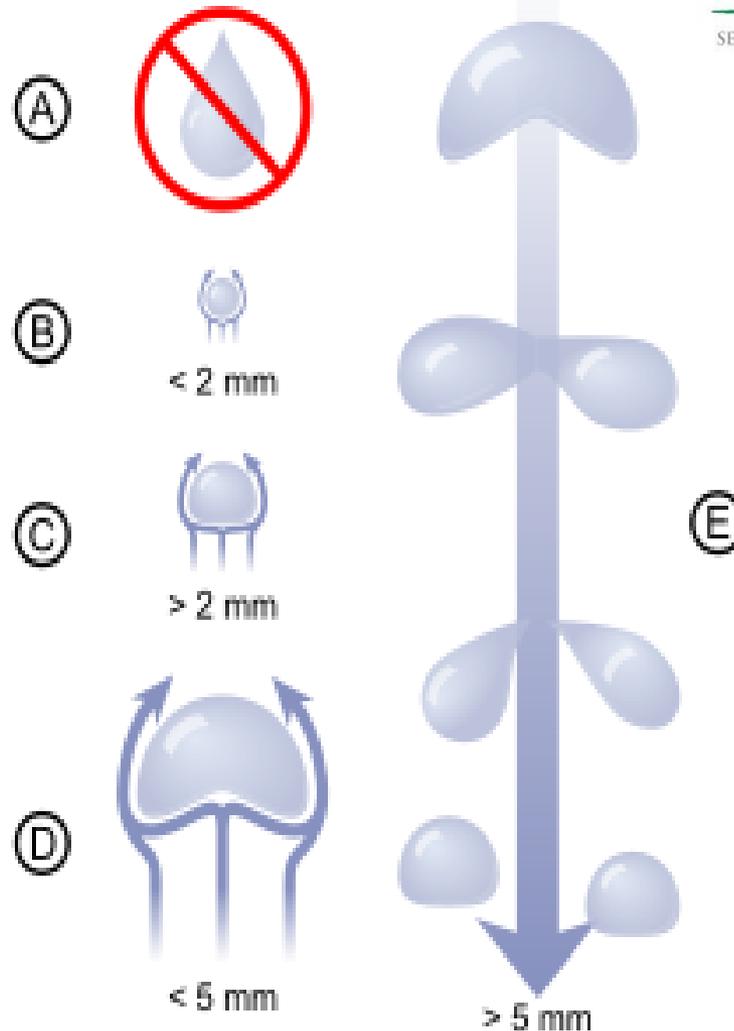


II. PARAMETROS METEOROLOGICOS ASOCIADOS A LOS CUMULONIMBUS DE TORMENTA ELECTRICA



Terminal velocity of raindrops.
(Foote and Toit. J. Applied Met. 1979)

Las gotas de lluvia y el granizo alcanzan su rapidez máxima (velocidad terminal) de cuando la Fuerza de arrastre (F_a) alcanza la misma magnitud que la Fuerza de gravedad (F_g). La velocidad terminal de las gotas de 5 mm varía entre 9 y 12 m/seg (18 a 24 kt).

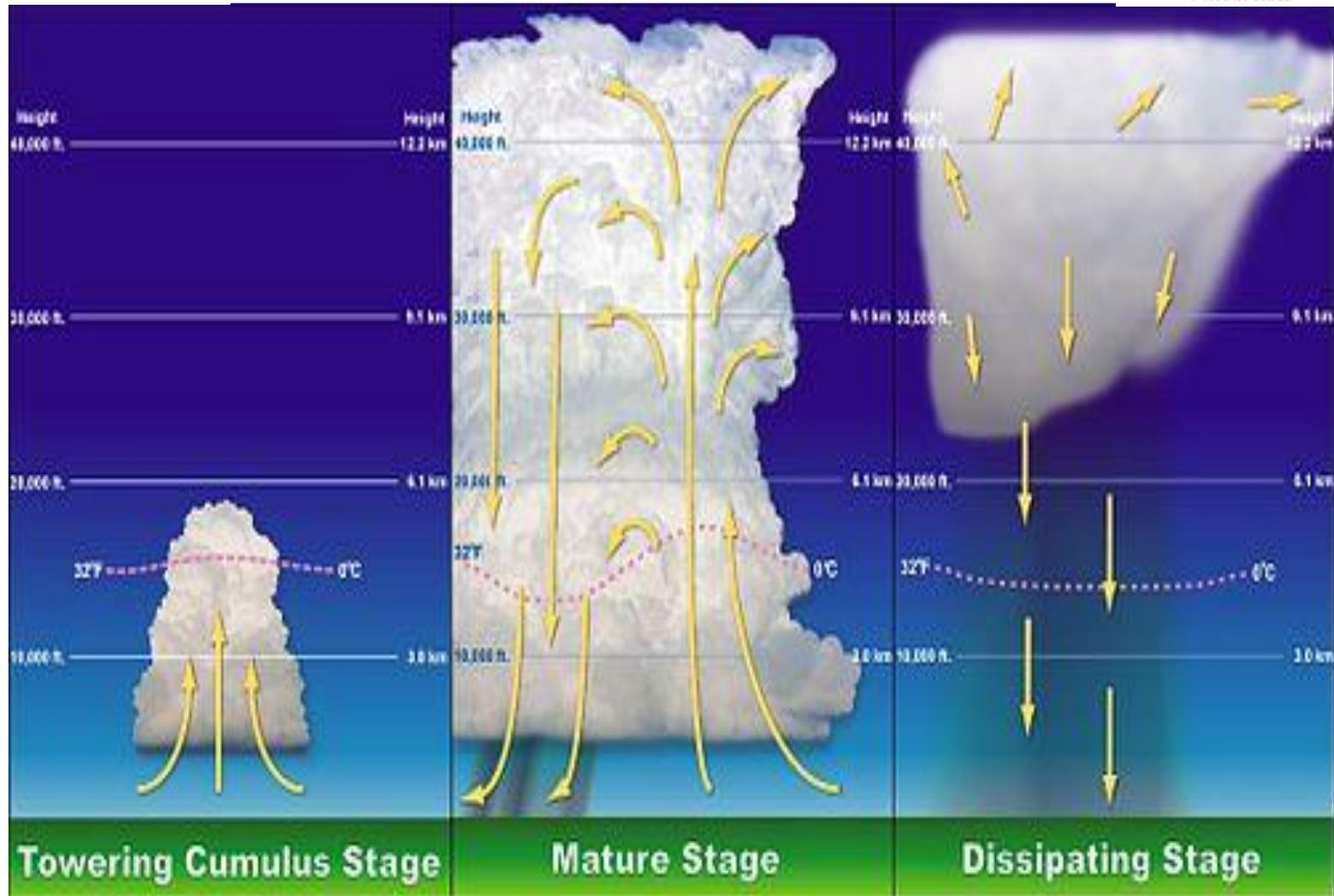


Las gotas de agua de las nubes, cuyos diámetros varían entre 2 y 5 mm, pierden su forma esférica, se alargan horizontalmente y muestran una concavidad en su parte inferior. La forma de las gotas con diámetro entre 2 y 5 mm favorece el empuje del aire hacia abajo y contribuye a dar origen a ráfagas de viento descendentes.



Granizo (Esférico)	
Diametro (mm)	Velocidad Terminal Teórica (kt)
5	27
10	37
20	65
50	85
100	

Las gotas de agua esféricas que se congelan pueden formar granizo y continuar creciendo sin perder su forma esférica; su velocidad terminal es mayor que la de las gotas de lluvia. Además, las esferas de granizo se pueden unir para formar grandes esferas de granizo con bordes irregulares.



Etapas del desarrollo de los Cumulonimbus de tormenta eléctrica. a) Etapa de cumulus; b) etapa madura y c) etapa de disipación. Fuentes: Thunderstorm y National Weather Service EUA

ETAPA DE CUMULUS

Inicia cuando el cumulus muestra un eco en la pantalla de radar.

Se identifica este inicio por la presencia un cumulus congestus ($C_L = 2$) que tiene dimensiones horizontales (1 a 5 km) y verticales (4 a 5 km) comparables. Este cumulus congestus tiene las siguientes características:

- a) Existen corrientes ascendentes generalizadas en su interior, con rapidez máxima cerca de la cúspide,
- b) La cúspide se encuentra 2000 a 3000 ft por encima del nivel de congelación
- c) Se forman gotas y nieve en abundancia por encima del nivel de congelación

Al final de la etapa de cumulus, El cumulus congestus se convierte en un cumulonimbus con su cúspide cerca o por encima del nivel de 30,000 ft. En algunas áreas , las corrientes ascendentes ya no pueden soportar a las gotas más grandes y ellas inician su caída . **Las gotas que caen empujan el aire hacia abajo y propician en superficie, el descenso gradual de la temperatura y el aumento rápido de la presión atmosférica.**

ETAPA MADURA

Inicia cuando principia la lluvia desde el cumulonimbus ($C_L = 3$)

-La lluvia inicia y se intensifica en los primeros minutos pudiendo convertirse ocasionalmente en lluvia muy fuerte o en lluvia violenta.

- Las corrientes descendentes alcanzan la superficie donde se desvían y se convierten en vientos horizontales intensos

- La presión continúa subiendo rápidamente en superficie en el área de lluvia intensa y corrientes descendentes. **Los incrementos de 4 inHg en 30 minutos, o mayores, podrían ser precursores de lluvias muy intensas o de lluvias violentas**

-La altura de la base del cumulonimbus desciende frecuentemente a valores entre 400 y 600 ft, o inclusive más abajo.

-Las lluvias más intensas normalmente provienen de cumulonimbus en grupo y no de cumulonimbus aislados

Fuente: Thunderstorm, H. Byers, 1949



III. TRABAJOS Y PROYECTOS EN SENEAM PARA MEJORAR LA DETECCION, EL PRONOSTICO Y EL ALERTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES VIOLENTAS

PROYECTOS RECIENTES EN SENEAM PARA LA VIGILANCIA DE LA PRECIPITACION Y EL VIENTO EN EL AEROPERTO DE MEXICO

- Desarrollo, puesta en operación y mejora continua de una Estación Meteorológica Automática prototipo.
- Puesta en operación de un Radar Doppler

TORMENTA (+TSRA) EN EL AEROPUERTO DE MEXICO EL 06 DE OCTUBRE DE 2014 ENTRE LAS 00 Y LAS 03Z.

Durante esta tormenta:

- Se presentaron lluvias muy fuertes. La estación meteorológica del aeropuerto (MMM), cercana a RWY 5, registró un total de 34.2 mm de precipitación, mientras que la estación meteorológica automática en TDZ RWY 23 registró un total de 42 mm de precipitación; la visibilidad se redujo hasta 1 SM y los vientos alcanzaron hasta 20 kt.
- 5 aeronaves efectuaron ida al aire (TOGA)
- Se suspendieron temporalmente los despegues por lluvia fuerte
- RWY 23L y rodaje A4 se cerraron temporalmente por inundación y por encharcamiento, respectivamente

Fuentes: SENEAM TWR-MEX y MET-MEX

1	AD	RWY	FECHA (Z)	HORA (Z)	DDD	FF	FF MAX	TT	TD	QNH	PR	Lluvia acumulada en
2						kt	kt	°C	°C	in Hg	hPa	mm
3	MMM	23	06/10/2014	01:04:00	240	10	-	16	13	30.26	781.8	0
4	MMM	23	06/10/2014	01:05:00	250	6	-	16	13	30.27	781.9	0
5	MMM	23	06/10/2014	01:06:00	270	9	-	16	13	30.27	782.0	0
6	MMM	23	06/10/2014	01:07:00	310	10	-	16	13	30.27	782.0	0
7	MMM	23	06/10/2014	01:08:00	320	8	-	16	13	30.27	782.0	0
8	MMM	23	06/10/2014	01:09:00	350	9	-	16	13	30.27	782.0	1
9	MMM	23	06/10/2014	01:10:00	330	17	17	16	13	30.27	782.1	2
10	MMM	23	06/10/2014	01:11:00	50	5	-	16	13	30.28	782.2	2
11	MMM	23	06/10/2014	01:12:00	10	10	17	16	13	30.27	782.0	3
12	MMM	23	06/10/2014	01:13:00	10	5	-	15	12	30.28	782.2	4
13	MMM	23	06/10/2014	01:14:00	70	7	-	15	13	30.28	782.4	4
14	MMM	23	06/10/2014	01:15:00	270	0	-	15	13	30.28	782.4	6
15	MMM	23	06/10/2014	01:16:00	250	3	-	15	13	30.29	782.5	8
16	MMM	23	06/10/2014	01:17:00	280	16	16	15	13	30.29	782.6	8
17	MMM	23	06/10/2014	01:18:00	230	3	18	15	13	30.29	782.6	10
18	MMM	23	06/10/2014	01:19:00	250	18	18	15	13	30.30	782.8	11
19	MMM	23	06/10/2014	01:20:00	260	19	19	15	12	30.30	782.8	13
20	MMM	23	06/10/2014	01:21:00	270	12	19	14	12	30.30	782.8	15
21	MMM	23	06/10/2014	01:22:00	240	11	-	14	12	30.30	782.9	16
22	MMM	23	06/10/2014	01:23:00	260	10	-	14	12	30.30	782.9	18

● QNH aumentó .04 inHg o más en 30 min ● 1 mm en 1 min ●● 2 mm en 1 min

Los sensores de la estación meteorológica automática desarrollada en SENEAM localizada en TDZ RWY 23, registraron cada minuto los cambios en la presión atmosférica, el QNH y la precipitación que ocurrieron antes y durante la tormenta con precipitación muy fuerte ocurrida en el Aeropuerto de México el 06 de octubre de 2014 entre las 00 y las 04Z.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL ALERTAMIENTO POR PRESENCIA U OCURRENCIA INMINENTE DE LLUVIA VIOLENTA O DE LLUVIA MUY FUERTE EN LOS SERVICIOS ATS Y MET, PARA AVISO A LAS AERONAVES

a) Agregar en los indicadores de datos meteorológicos de las Estaciones Meteorológicas automáticas de TWR, APP, CCA y MET un **aviso visual y auditivo** de LLUVIA VIOLENTA (VIOLENT RAIN) y/o de LLUVIA MUY FUERTE / (VERY HEAVY RAIN) cuando:

Se detecte una precipitación de 2 mm / 1 min y/o de 2 mm / 2min.

b) Agregar en los indicadores de datos meteorológicos de las Estaciones Meteorológicas automáticas de TWR, APP, CCA y MET un **aviso visual** y auditivo de Aumento Rapido de la Presión (Pressure Rising Rapidly / PRESRR) cuando:

Se detecte un aumento en la presión atmosférica de 0.4 in Hg o más en 30 minutos

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LOS INFORMES METEOROLOGICOS METAR / SPECI CON RELACION A LA LLUVIA VIOLENTA, LA LLUVIA MUY FUERTE Y POR LA CONTAMINACION POR LLUVIA DE LAS PISTAS.

a) Difundir un informe SPECI con la anotación LLUVIA VIOLENTA (VIOLENT RAIN) y/o de LLUVIA MUY FUERTE / (VERY HEAVY RAIN) cuando:

Se detecte una precipitación de 2 mm / 1 min y/o de 2 mm / 2min.

b) Difundir un informe SPECI con la anotación PRESRR (Pressure Rising Rapidly / PRESRR) cuando:

Se detecte un aumento en la presión atmosférica de 0.3 in Hg o más en 30 minutos (la condición actual es 0.6 inHg (2 hPa) en una hora)

c) Incluir en los informes METAR / SPECI la anotación sobre el estado de la pista **RWY FLOODED y/o WATER PATCHES** cuando así proceda, en adición al grupo de condición de la pista. (Ref. Anexos 3 y 14)

d) Considerar la difusión de **informes METAR cada 30 minutos** en horarios específicos durante la temporada de lluvias.



ECC

Más vuelos traerán más operaciones aéreas en condiciones cercanas a los mínimos meteorológicos



GRACIAS

Se reconoce el apoyo de autoridades y de personal MET (SUBMET Y CAPMA) y TWR MEX de SENEAM en la preparación de este trabajo.