

ANEXO V: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS DISPERSIONES HORIZONTALES

1. DISPERSIÓN HORIZONTAL RESPECTO A LA RUTA NOMINAL

Las trayectorias que siguen las aeronaves no se ajustan a una línea única, sino que tienen unas tolerancias cuya amplitud varía en función del trazado de la trayectoria, los sistemas de ayuda a la navegación y tipología de procedimientos seguidos en la maniobra así como de la performance y estado de carga de la aeronave. Todo ello conduce a que se produzcan desplazamientos laterales de las trayectorias reales de vuelo sobre la trayectoria nominal publicada.

La metodología según la cual se considere este factor tiene relevancia en el estudio y en los resultados a obtener, especialmente en las operaciones de despegue. Pueden seguirse dos enfoques:

- Dispersiones teóricas basadas en el Doc. 29 de la ECAC.CEAC
- Dispersión real producida durante el periodo de cálculo obtenidas a partir del análisis de las trazas radar.

El análisis teórico se basa en la aplicación de una fórmula extraída de interpolaciones realizadas a partir de datos históricos que varía en función de si la trayectoria experimenta virajes de mayor o menor ángulo. Este algoritmo se calcula también en función a la distancia recorrida por lo que, a mayor distancia y giro, mayor dispersión en el corredor.

Para reflejar este efecto, la metodología arroja la distancia a la cual disponer corredores asociados a la trayectoria nominal en los que existe una determinada probabilidad de encontrar aviones calculada mediante un ajuste estadístico de tipo normal.

En la actualidad, los sistemas de navegación y el equipamiento de las aeronaves empleadas permiten minimizar las dispersiones laterales más allá de los resultados aportados por el enfoque teórico y además evitan el generalizar el mismo comportamiento por tipología de aeronave y procedimiento. Los estudios y recomendaciones más recientes recomiendan aumentar el esfuerzo dedicado en reflejar la situación más realista posible basada en análisis estadístico de las trayectorias reales seguidas. Sin embargo, esta línea de trabajo requiere disponer de la información de trazas radar disponible así como la capacidad de tratamiento de las mismas a través de gestores específicos o de sistemas de monitorado de ruido.

El aeropuerto de Madrid-Barajas posee un Sistema de Monitorado de Ruido (SIRMA) que permite realizar estos análisis de dispersiones horizontales. A continuación se describe en detalle la metodología seguida para representar la situación actual de esta variable de la forma más fehaciente posible.

2. ENFOQUE METODOLÓGICO GENERAL

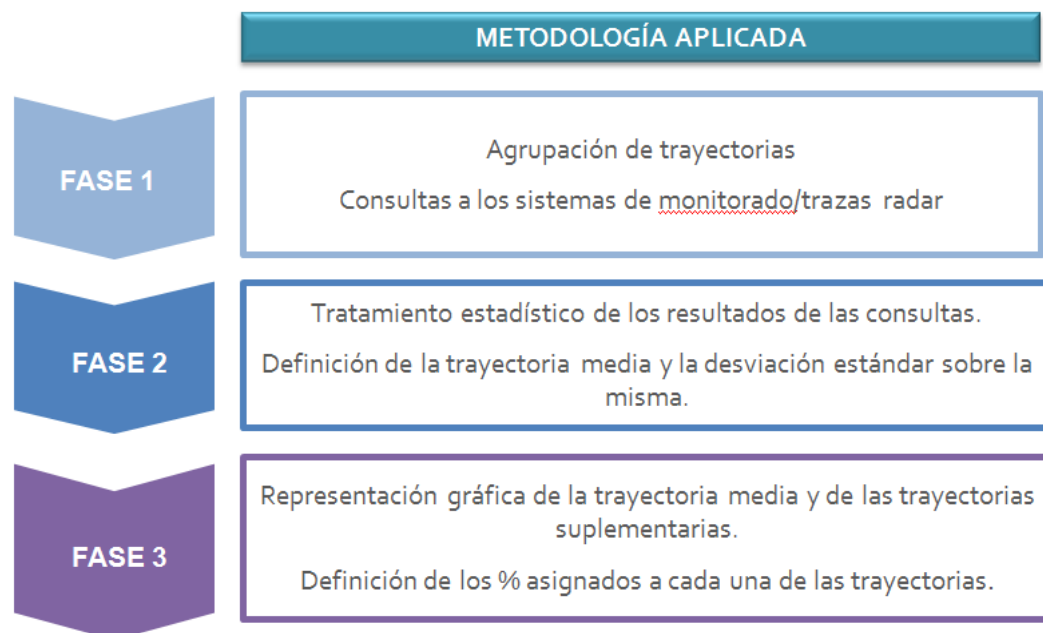
Para poder abordar el cálculo de las dispersiones, se ha partido de datos reales asociados al registro de las operaciones radar que han tenido lugar durante el periodo anual considerado. Esta metodología permite reflejar el comportamiento real de las aeronaves en sus operaciones y así, estimar el efecto acústico de una manera más realista.

Tal y como se ha anticipado, la información ha sido extraída a partir del Sistema de Monitorado de Ruido (SIRMA) implantado por Aena Aeropuertos S.A. en el aeropuerto de Madrid-Barajas. Dicho sistema registra y correlaciona las trayectorias radar seguidas por las aeronaves y los eventos acústicos detectados. Entre sus funcionalidades adicionales figura la capacidad de efectuar análisis estadísticos para evaluar el grado de dispersión producido sobre cada trayectoria nominal publicada.

La metodología de análisis seguida, al objeto de obtener una trayectoria media real y no teórica, consiste en el análisis estadístico de los impactos que ocasionan las diversas trazas radar sobre unas puertas de paso verticales dispuestas a lo largo de los corredores de acceso y llegada al aeropuerto en el ámbito probable de los resultados acústicos. En cada puerta de impacto se localizará la posición de la trayectoria media así como la de determinados percentiles de la muestra.

El estudio se estructura en una serie de fases que se resumen en la siguiente ilustración.

Ilustración AV. 1. Esquema de fases de trabajo para el cálculo de dispersiones reales



Fuente: Elaboración propia

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

A continuación se describe cada una de las fases en las que se ha organizado el análisis.

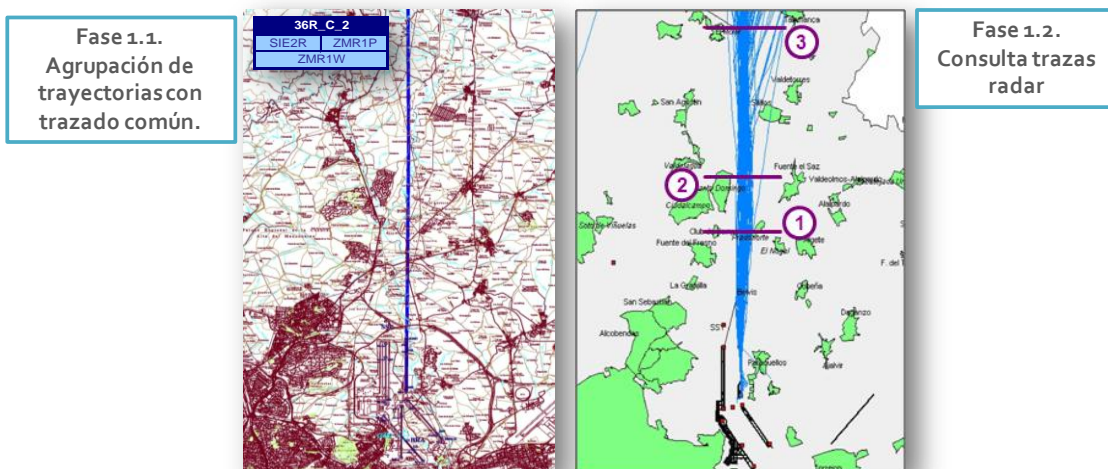
Fase 1: Definición de los puntos de consulta y extracción de datos

Par poder distinguir corredores que se comporten de manera semejante desde el punto de vista de las dispersiones laterales, el primer paso consiste en agrupar aquellos procedimientos publicados en AIP que tengan un tramo inicial común de tal manera que su efecto acústico pueda ser evaluado conjuntamente. Así mismo se separarán aquellos que corresponden a tipologías de precisión en la navegación diferentes (procedimientos convencionales o RNAV).

Una vez hecho esto, se definen una serie de puertas perpendiculares a lo largo de cada uno de los citados corredores que agrupan las trayectorias nominales introducidas en el modelo de cálculo.

La definición de las puertas de consulta en posición y amplitud parte de una información inicial previamente suministrada por el sistema de monitorado que represente una muestra gráfica de la localización de las trazas radar que se desarrollan a lo largo de cada corredor. Un criterio a considerar en la definición tanto de la posición como el número de puertas a estudiar responderá a la necesidad de efectuar análisis en los puntos de los procedimientos en los que se producirán la máxima dispersión, virajes por ejemplo. Se identificarán además, unas puertas que delimiten el cierre de los corredores lo suficientemente alejadas para cubrir el posible ámbito de los resultados acústicos a obtener en función al grado de utilización del citado corredor y la flota que por él opere.

Ilustración AV. 2. Ejemplo fase 1. Obtención de datos



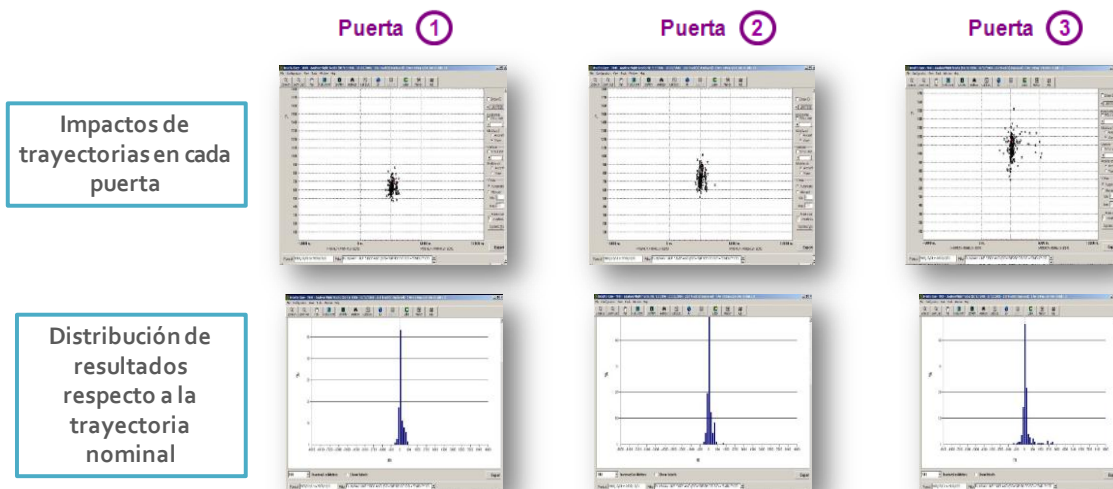
Fuente: Elaboración propia. Aeropuerto de Madrid-Barajas

Una vez localizadas cada una de las puertas, se realizan consultas al sistema de monitorado (SIRMA) y como resultado se obtienen las coordenadas (x,y,z) correspondientes a las intersecciones de cada una de las trayectorias reales con la puerta analizada para un periodo de estudio (anual casi siempre o aquel que aporta una muestra estadística representativa). Las consultas al sistema se realizan filtrando aquellas trazas radar que coinciden con los procedimientos que se agrupan en cada uno de los corredores a estudiar.

Fase 2: Análisis estadístico de los datos recibidos

La primera tarea a realizar a la recepción de los datos consiste en analizar su integridad comprobando, entre otros factores, que las citadas intersecciones presentan el mismo sentido de impacto en la puerta y no reflejan impactos por maniobras de sobrevuelo a otras alturas. Una vez superado el control de calidad, se efectúa un tratamiento estadístico de las coordenadas obtenidas a su paso por las puertas. El objetivo del mismo pretende localizar el impacto de la trayectoria media y la localización de una serie de percentiles entorno a ella.

Ilustración AV. 3. Ejemplo fase 2. Análisis estadístico



Fuente: Elaboración propia. Aeropuerto de Madrid-Barajas

De forma adicional al control de calidad anteriormente descrito, se ha aplicado una condición específica asociada a la distribución normal. En ésta, el 98,8% de los datos de la muestra se encuentra a una distancia de la media inferior a 2,5 veces la desviación estándar. Eliminando los datos situados más allá de esta distancia, la muestra no reduce su tamaño para asegurar el análisis, pero permite discriminar aquellos impactos que se deben a situaciones eventuales que se distancian de la práctica media, criterio general en la metodología de cálculo de ruido.

El Doc. 29 de ECAC-CEAC, como metodología de referencia en el cálculo, establece que la variable dispersión de trayectorias puede ser aproximada mediante una distribución normal o

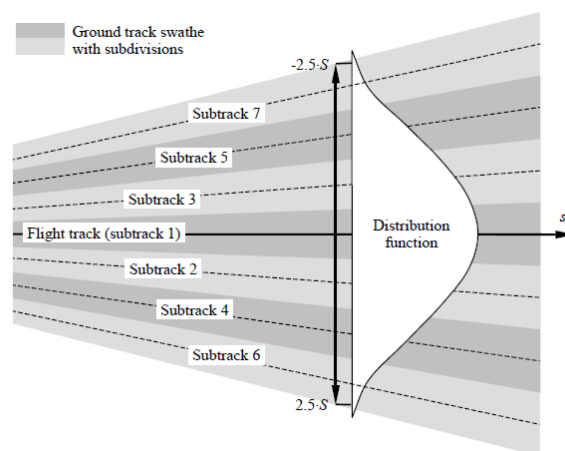
gaussiana. La versión de 1997 del Doc. 29 de la ECAC.CEAC recomienda que se adopte una aproximación de al menos 5 puntos o percentiles de la distribución. Como mejora se ha considerado una aproximación mediante 7 puntos, que se traduce en la definición de 6 subtrayectorias entorno a la trayectoria media. El espaciado que representa cada subtrayectoria dependerá de la desviación estándar obtenida en la distribución estadística de cada puerta, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla AV. 1. Localización de las subtrayectorias

Nº SUBTRAY.	LOC. SUBTRAY.	PROB. %
7	-2,14 * s	3%
5	- 1,43 * s	11%
3	- 0,71 * s	22%
1	0	28%
2	+ 0,71 * s	22%
4	+ 1,43 * s	11%
6	+2,14 * s	3%

Nota: siendo s la desviación estándar de la muestra

Fuente: Documento Nº 29 ECAC.CEAC



La distribución gaussiana o normal define para cada una de estas posiciones o subtrayectorias unas probabilidades de encontrar aeronaves que se detallan en la tabla anterior y que coinciden con el criterio teórico definido por el Documento Nº 29 ECAC.CEAC.

El resultado de esta fase permite localizar por corredor y por puerta la localización del impacto de la trayectoria media de la muestra así como la de cada una de las subtrayectorias calculadas con este criterio.

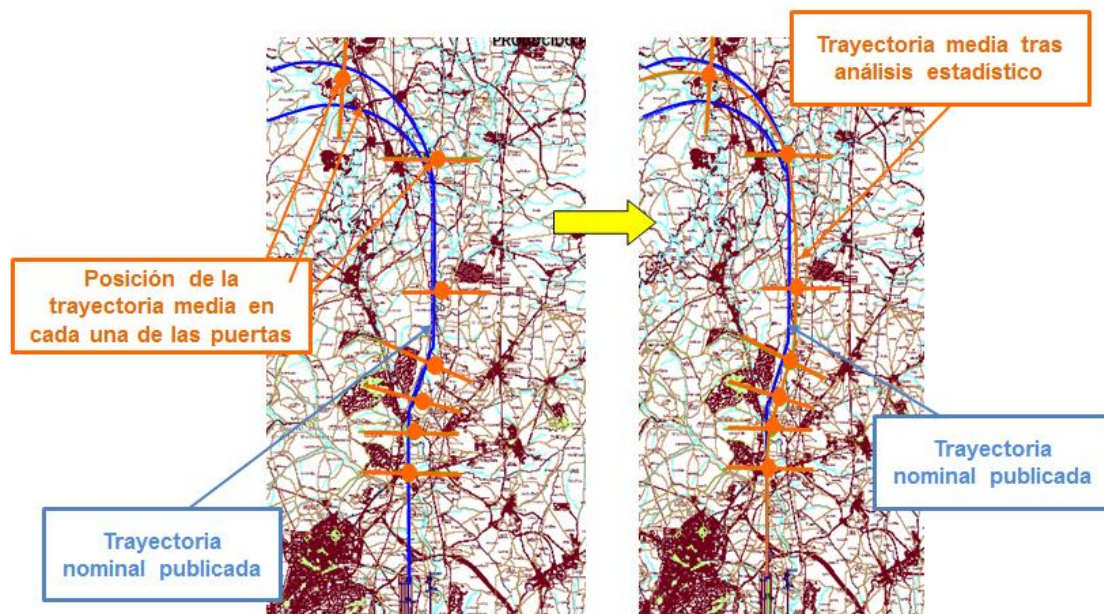
Fase 3: Representación de resultados

Uniando las localizaciones de la media en cada una de las puertas consultadas para cada corredor manteniendo las características de su trazado inicial, se confecciona la trayectoria media real que puede diferir en planta de los procedimientos normalizados que simulan un comportamiento teórico. De acuerdo a la distribución estadística de cada puerta se podrán igualmente, localizar las subtrayectorias que distan de la media las longitudes especificadas en la fase anterior.

La probabilidad de encontrar aeronaves en cada una de estas subtrayectorias consideradas, debe ser un valor único para la trayectoria introducida en el modelo de cálculo, de acuerdo a las especificaciones del propio software. El proceso de cálculo seguido en cada trayectoria

permite obtener este valor en cada una de las puertas analizadas. Así, para alcanzar un único valor se ha optado por emplear la media de probabilidades obtenida de cada una de las puertas que describen la trayectoria.

Ilustración AV. 4. Ejemplo fase 3. Representación de resultados



Fuente: Elaboración propia. Aeropuerto de Madrid-Barajas

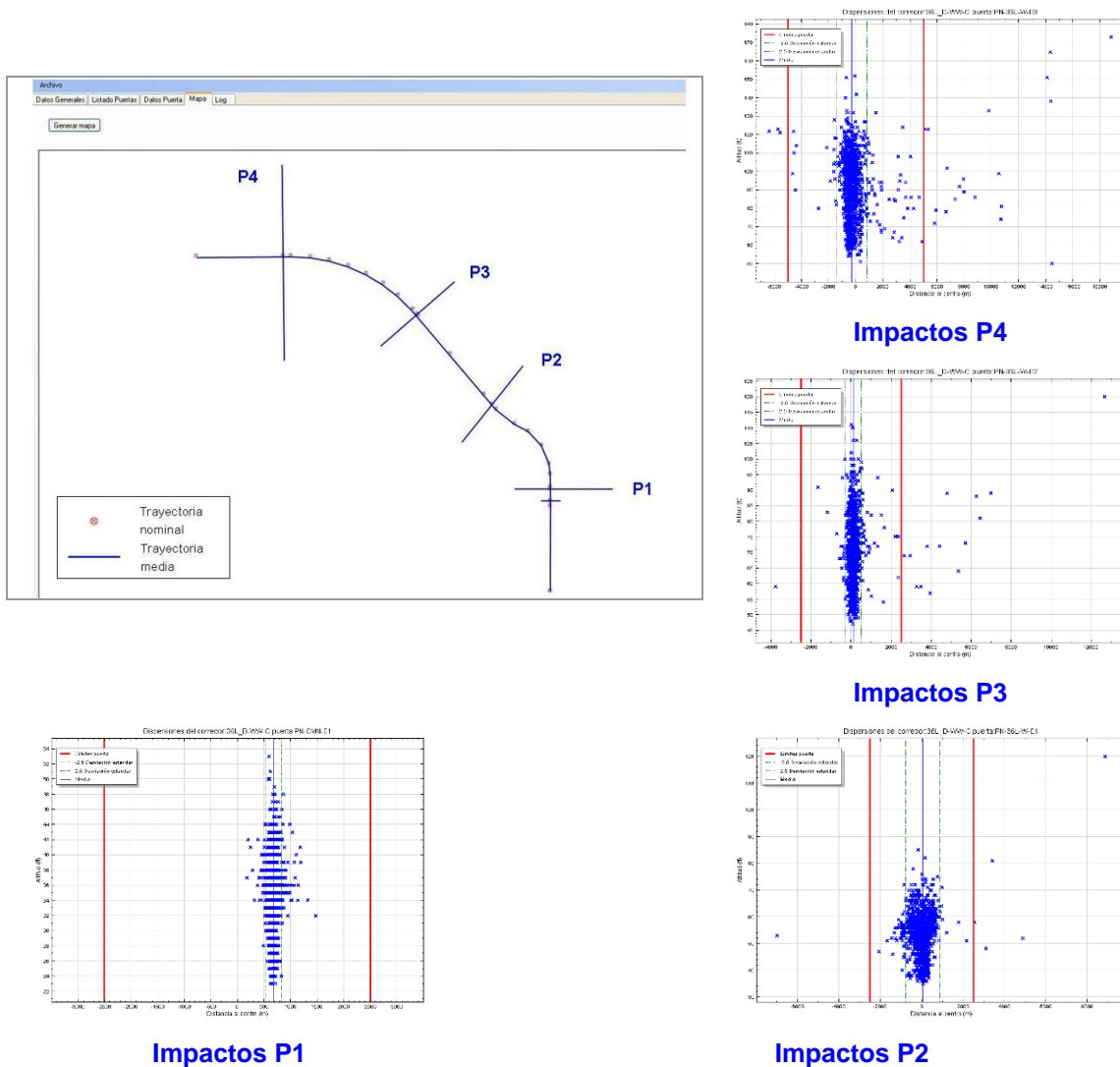
Para todo el proceso se ha diseñado una aplicación informática que permite evaluar los objetivos perseguidos en cada una de las fases. De manera simultánea a la limpieza y calidad de los datos, es posible visualizar el impacto en cada una de las puertas que componen el corredor, los resultados del análisis estadístico realizado y el trazado de la trayectoria media. Como producto final se obtiene la posición de cada uno de los puntos que definen la trayectoria con la desviación estándar o valor necesario para introducir en el programa de simulación la dispersión horizontal.

Es necesario establecer algunas de las hipótesis que prevalecen en el proceso:

- Las dispersiones en operaciones de salida se han considerado a partir del punto DER (Departure end of runway) en el cual se consideran nulas.
- En las operaciones de llegada, se ha considerado una dispersión nula desde una distancia de 6 km a partir del umbral.

A continuación se muestra un ejemplo gráfico de las salidas de la aplicación a cada una de las fases.

Ilustración AV. 5. Ejemplo de dispersiones reales utilizadas en el cálculo



Fuente: Elaboración propia, fuente de datos original: SIRMA, aeropuerto Madrid-Barajas

En las salidas efectuadas por la trayectoria DN-SE (ver Anexo II del presente estudio), que engloba los procedimientos de precisión correspondientes a la cabecera 15R (NANDO1B y CNJ1B), no ha sido posible considerar las dispersiones reales como consecuencia de su escasa utilización.

En este caso, se han seguido las recomendaciones establecidas en el Doc. 29 de ECAC-CEAC y en la circular 205 de OACI, utilizando la desviación estándar de las trayectorias teóricas, calculadas en función de las ecuaciones adjuntas en la siguiente tabla.

Tabla AV. 2. Desviación estándar Documento N° 29 de la ECAC.CEAC

A) RUTAS CON GIROS MENORES DE 45 GRADOS	
$S(y) = 0,055X - 0,150$	para $2,7 \text{ km} \leq x \leq 30 \text{ km}$
$S(y) = 1,5 \text{ km}$	para $x > 30 \text{ km}$
B) RUTAS CON GIROS MAYORES DE 45 GRADOS	
$S(y) = 0,128X - 0,42$	para $3,3 \text{ km} \leq x \leq 15 \text{ km}$
$S(y) = 1,5 \text{ km}$	para $x > 15 \text{ km}$

Nota: $S(y)$: Desviación estándar

x : Distancia en km desde el umbral de despegue

Fuente: Documento N° 29 ECAC.CEAC

La dispersión sobre la trayectoria nominal, Y_m , se representa mediante tres subtrayectorias a cada lado de la trayectoria nominal con el siguiente espaciado y proporción:

Tabla AV. 3. Dispersión horizontal estándar. Porcentaje de operaciones por subtrayectoria

N° SUBTRAYECTORIA	ESPACIADO	PORCENTAJE
7	$Y_m - 2.14 \text{ s}(y)$	3%
5	$Y_m - 1.43 \text{ s}(y)$	11%
3	$Y_m - 0.71 \text{ s}(y)$	22%
1	Y_m	28%
2	$Y_m + 0.71 \text{ s}(y)$	22%
4	$Y_m + 1.43 \text{ s}(y)$	11%
6	$Y_m + 2.14 \text{ s}(y)$	3%

Fuente: Documento N° 29 ECAC.CEAC.