

CAPÍTULO 3

MODELO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD PARA LOS SECTORES ATC.

- 3.1** El cálculo del número de aeronaves que pueden ser controladas simultáneamente por un controlador (**N**), en el sector considerado, se expresa a través de la siguiente fórmula (**ICA 100-30**):

$$N = \varphi \cdot \delta \cdot (\eta \cdot \tau_m \cdot v_m) - 1$$

(1)

- 3.1.1** En la fórmula (1), la capacidad ATC es función directa o inversa de algunos factores (**ICA 100-30**), a seguir considerados:

3.2 FACTORES DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LA CAPACIDAD ATC

- φ** Factor de disponibilidad del controlador, definido como el porcentaje de tiempo disponible para planificar los procedimientos de separación de aeronaves;
- δ** Distancia promedio recorrida por las aeronaves en el sector, que es función de las trayectorias y de los procedimientos de ruta o terminal establecidos para cada sector;

3.3 FACTORES INVERSAMENTE PROPORCIONALES A LA CAPACIDAD ATC

- η** Número de comunicaciones para cada aeronave en el sector, que debe ser restringido al mínimo necesario para el entendimiento entre el piloto y el controlador. Ese número puede ser minimizado a través de la emisión de una autorización completa con una anticipación suficiente para la planificación del vuelo;
- τ_m** Tiempo medio de duración de cada mensaje. Este factor puede ser minimizado al emitirse mensajes de manera objetiva, sin largas explicaciones perjudiciales al entendimiento entre el piloto y el controlador; y
- v_m** Velocidad medio de las aeronaves en el sector.

- 3.4** Substituyéndose **δ** y **v_m** por el tiempo promedio de vuelo de la aeronave en la travesía del sector (**T**), esa fórmula puede ser substituida por una versión más simple:

$$N = \varphi \cdot T \cdot (\eta \cdot \tau_m) - 1$$

- 3.4.1** Los valores de los factores: **φ** , **T**, **η** y **τ_m** son relevados empíricamente, siguiéndose los procedimientos normalizados.

***Ejemplo,** podemos considerar $T = 12$ minutos, $\tau_m = 9$ segundos, $\varphi = 60\%$, $\eta = 6$, lo que resulta en un número de aeronaves simultáneas $N = 8$ por controlador en el referido sector. En otras palabras, en este sector y en estas condiciones, un controlador controlaría simultáneamente 8 aeronaves.*

- 3.4.2** Varios factores están constantemente influenciando el número **N**. Factores directamente relacionados, como por ejemplo, tamaño del sector o modificación de

rutas. Por ello, siempre que se observa un cambio significativo, es necesaria una actualización del valor determinado.

Nota.- En las condiciones ideales, el relevamiento de datos debe ser llevada a cabo en el momento en que haya gran movimiento de tránsito aéreo, por eso elegir la época ideal es factor a ser considerado, puesto que tiene influencia directa en el resultado final.

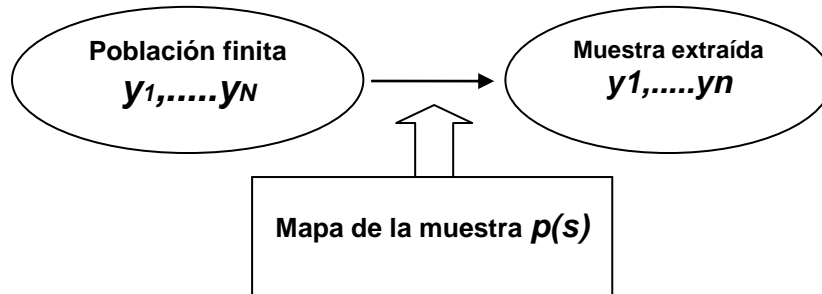
3.5 TÉCNICA DE MUESTREO PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE SECTORES ATC

3.5.1 La idea básica es extraer una fracción de la población (muestra) que sea representativa y que permita hacer afirmaciones y deducciones. Para que tales consideraciones tengan validez, se debe garantizar que la muestra haya sido seleccionada de manera aleatoria y probabilística.

3.5.2 Para que una muestra sea probabilística es necesario que sea originaria de una población finita, o sea, $U=\{1,...,N\}$. A partir de una población finita, se selecciona una muestra $s = \{i_1,...,i_N\}$, y, a esta muestra, es atribuida una probabilidad de selección designada por $p(s)$. La manera como el proceso de selección de la muestra es ejecutado se denomina plan de muestreo o diseño de muestreo. Este proceso determina un conjunto bien definido de todas las muestras posibles designado por S y también se supone que la probabilidad de selección de cada muestra $p(s)$ sea conocida o calculable.

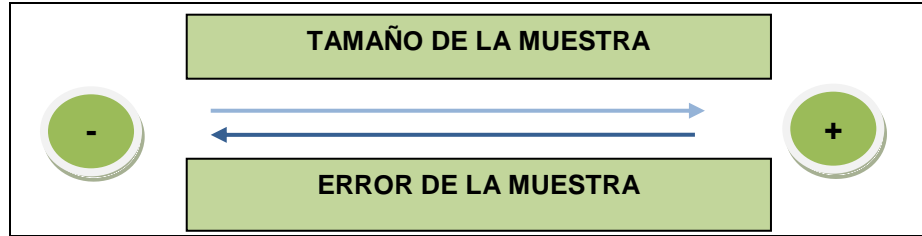
3.5.3 Con respecto a la población, algunas suposiciones deben ser establecidas: cada elemento de la misma ($i \in U$) tiene una probabilidad no-nula de selección y los valores de interés de la variable en la población investigada $y_1,...,y_N$ deben ser considerados fijos y desconocidos. Manteniendo la generalidad, también se puede re-indexar la población de manera que la muestra seleccionada sea representada por los índices $s=\{1,...,n\}$. Resalta que apenas una muestra $s \in S$ es elegida utilizando un mecanismo aleatorio de manera que sea seleccionada con probabilidad $p(s)$. En la **Figura 1** se describe tal procedimiento:

Figura 1 - Muestra Aleatoria o Probabilística



3.5.4 Los resultados obtenidos en una investigación, elaborada a partir de muestras, no son rigurosamente exactos con respecto al universo. Estos resultados presentan un error de medición denominado error de muestra (ϵ). No podemos evitar la ocurrencia del error de muestra, pero si se puede limitar su valor a través de la elección de una muestra de tamaño adecuado. Obviamente, el error de muestra y el tamaño de la muestra siguen sentidos contrarios (**Figura 2**). Cuanto mayor es la muestra, menor el error cometido y viceversa.

Figura 2 - Relación intuitiva entre el tamaño de la muestra y el error de la muestra



3.5.5 Normalmente se trabaja con una estimativa de errores del **3% al 5%**, las técnicas de muestreo utilizadas para medir la capacidad de los sectores de las dependencias ATC son de muestreo aleatorio simple para una población infinita y el muestreo aleatorio simple para población finita.

3.6 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE PARA POBLACIÓN INFINITA

3.6.1 Para obtenerse muestras en tamaños compatibles con el nivel de confianza y con el error del muestreo deseable, se utiliza la fórmula **(1)** para determinar el tamaño de la muestra de los parámetros del modelo matemático que calcula la capacidad de los sectores de las dependencias ATC. Como no es posible definir, con precisión, el tamaño de la población de estos parámetros, se utiliza la técnica para población infinita.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra;

$\alpha / 2 Z$ = Nivel de confianza elegido (**95%**), expresado con $\alpha / 2 Z = 1,96$;

σ = Desvío-estándar poblacional; y

ε = Error máximo permitido.

3.6.2 El nivel de confianza de la muestra se refiere al área de la curva normal definida a partir de los desvíos-estándar con respecto a su promedio, conforme a la **Figura 3**:

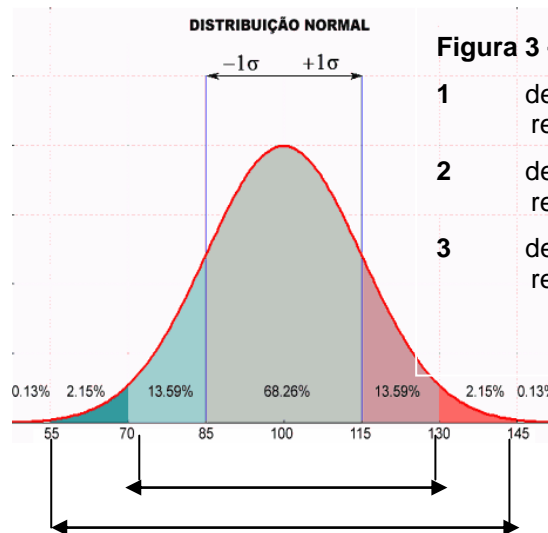


Figura 3 - Distribución Normal

- 1** desvíos-estándar = **68,3%** de representatividad;
- 2** desvíos-estándar = **95,5%** de representatividad; y
- 3** desvíos-estándar = **99,7%** de representatividad.

3.6.3 Los valores de confianza más utilizados y los valores de **Z** correspondientes pueden ser encontrados en la **Tabla 1**.

3.6.3.1 El nivel de confianza adoptado en el estudio es de **95%** de confiabilidad y el error máximo tolerable es de **5%**.

Tabla 1 - Valores críticos asociados al grado de confianza en la muestra

Grado de Confianza	A	Valor Crítico Z $\alpha / 2$
90%	0,10	1,645
95%	0,05	1,96
99%	0,01	2,575

3.6.4 Como σ es un parámetro poblacional desconocido, podemos utilizar un valor preliminar obtenido por la realización de un estudio piloto, iniciando el proceso de muestreo. Con base en la primera colecta de datos de por lo menos **30** observaciones, se calcula el desvío-estándar de la muestra **S** y lo utiliza en el lugar de σ .

3.6.4.1 Las muestras excesivamente pequeñas pueden conducir a resultados no confiables.

Nota.- *Cualquier resultado obtenido por la fórmula del tamaño de la muestra que sea menor que 30, debe ser aumentado para 30, pues la misma es basada en el uso de la distribución Normal.*

3.7 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE PARA POBLACIÓN FINITA

3.7.1 En el caso de la definición de la cantidad mínima de controladores a ser observados en cada dependencia, la técnica de muestreo más indicada es el muestreo aleatorio simple para población finita. La fórmula abajo determina el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\epsilon^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra;

$\alpha / 2 Z$ = Nivel de confianza elegido (**95%**), expresado con **$\alpha / 2 Z = 1,96$** ;

p = Proporción poblacional de individuos que pertenecen a la categoría de interés;

q = Proporción poblacional de individuos que **no** pertenecen a la categoría de interés

(q=1-p);

N = Tamaño de la población; y

ϵ = Error máximo permitido.

Nota.- *También en este caso, si el valor de **n** fuera inferior a 30, deberá ser aumentado para 30.*

3.7.2 En el estudio, **p** equivale a la probabilidad de un que controlador sea observado en un día, o sea, un día posee **x** turnos de trabajo, así la probabilidad del controlador

de ser observado por uno de los turnos es de x dividido por el total de controladores por la cantidad de sectores, como demuestra la fórmula abajo:

$$p = \frac{x}{N} \bullet \text{cantidad de sectores}$$

3.7.3

TÉCNICA DE MUESTREO APLICADA EN LOS SECTORES

3.7.3.1

El modelo matemático para cálculo del número de aeronaves simultáneamente controladas por un controlador en un sector ATC se expresa por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{f T}{n t_m}$$

Donde:

- N =** Número de aeronaves controladas simultáneamente, por un controlador;
- f =** Factor de disponibilidad del controlador, en porcentaje;
- T =** Tiempo promedio volado por la aeronave en el sector;
- n =** Número promedio de comunicaciones de cada aeronave en el sector;
- t_m =** Tiempo promedio de duración de cada mensaje, en segundos.

3.7.3.2

Para la obtención de las muestras en tamaños compatibles al nivel de confianza y al error de muestreo deseables será utilizada la fórmula **(1)** para determinar el tamaño de la muestra de los parámetros del modelo matemático que calcula la capacidad de los sectores de las dependencias ATC y la fórmula **(2)** para el número mínimo de controladores a ser considerados en las tomas de tiempo.
