

CAPÍTULO 6: PROCEDIMIENTOS GRÁFICOS Y ANALÍTICOS PARA VALIDAR EL MODELO

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE VALIDACIÓN

El modelo utilizado para representar y estudiar el sistema de evacuación, conjunto de elementos que describen el proceso por el cual los ocupantes de un edificio se desplazan desde una posición inicial hasta un destino seguro, está formado por un conjunto de relaciones matemáticas, ecuaciones y representaciones gráficas caracterizadas por unos parámetros con el objetivo de aportar un conocimiento profundo del sistema.

El sistema de la evacuación de un edificio presenta una cierta complejidad, existen elementos cualitativos y cuantitativos cuya integración resulta engorrosa. En un sistema de estas características resulta difícil obtener una reproducción exacta de la realidad, se debe determinar si la información que proporciona el modelo es suficiente para tomar en consideración los resultados y evaluar si las diferencias son aceptables para el propósito del problema. Así, desde esta perspectiva puramente formal, resulta necesario comparar los resultados obtenidos mediante este modelo y los resultantes de ensayos y simulacros de evacuación.

Otro aspecto característico de este problema es que se opera con la seguridad de las personas, por ello la exigencia en el proceso de “validación del modelo” va más allá de aspectos formales y de la estricta responsabilidad científica, sería deseable ofrecer en cualquier afirmación las debidas garantías. Cuando el responsable de la seguridad de un edificio ocupado por cientos de personas establezca posibles estrategias de evacuación, a partir de cálculos o estudios realizados con los elementos propuestos en este trabajo, debería garantizarse que se toman las decisiones con absoluta responsabilidad dado que sus propuestas se hallan debidamente validadas.

En el proceso de validación del modelo por una parte se deben contrastar los aspectos cualitativos que describen las actuaciones de los ocupantes y por otra parte los cuantitativos implícitos en las condiciones de locomoción de los individuos.

Cuando en un recinto o bien en un edificio existen varias vías de evacuación los aspectos cualitativos y cuantitativos citados se deben verificar en cada una de ellas, el proceso de validación se realizará de forma independiente en las mismas, una vez verificadas todas ellas y analizadas posibles interacciones se extraerán conclusiones globales, a partir de las mismas será posible considerar validez del modelo. De la misma forma, si se han planteado soluciones óptimas será posible verificar si realmente cumplen esta condición.

En este trabajo se han utilizado diferentes modelos de locomoción de las personas, que se consideran perfectamente válidos. En primera instancia efectuaron la oportuna validación sus autores, posteriormente han dado lugar a numerosas aplicaciones, es por ello que se acepta que ha resultado suficientemente contrastada su validez. En esta situación se encuentran los modelos de J. J. Fruins [45], Nelson&McLennan [107], J. Pauls [119] y Predtechenskii Milinskii [129]. Solamente se debería verificar si su aplicación es correcta y si los parámetros utilizados se ajustan a la situación estudiada.

Inicialmente la fórmula utilizada para validar las magnitudes de locomoción consistía en contrastar la coincidencia de los tiempos de evacuación teóricos y experimentales, con posterioridad se buscaron otras fórmulas que ofrecieran mayor garantía, comparar simplemente dos valores podía dar lugar a dudas sobre si la coincidencia era realmente cierta o bien si se debía al azar, por otro lado, resulta difícil establecer acotaciones sobre cuál es la magnitud de las diferencias aceptables. La idea básica de las nuevas propuestas consiste en comparar una serie de valores, concretamente se han utilizado dos caminos: El primero consiste en analizar la similitud entre las funciones de evacuación inversa y los valores del número de salidas que se han registrado en determinados instantes, mientras que el segundo se basa en comparar la secuencia de los flujos teóricos con los reales registrados, en ambos casos ello se realiza en cada una de las salidas durante el tiempo que dura la evacuación del edificio.

6.2 VALIDAR EL MODELO A PARTIR DE LOS TIEMPOS DE EVACUACIÓN

En el proceso de investigación y desarrollo del presente trabajo se ha observado en numerosas ocasiones afirmaciones sobre la bondad de determinados modelos, limitándose a verificar que los tiempos de evacuación observados en simulacros o ensayos guardaban una cierta similitud con los valores previstos. Cronológica e históricamente puede decirse que se trata de la forma de contraste genéricamente más utilizada para validar modelos de evacuación de edificios. En los primeros trabajos de esta tesis también se consideró adecuado y también se utilizó esta forma de contraste, sin embargo a medida que avanzaba la investigación se advirtió la necesidad de profundizar en los aspectos que comporta la validación del modelo.

6.2.1 Análisis de la coincidencia de tiempos de evacuación mediante una única prueba

La realización de ensayos y simulacros de evacuación son una actividad costosa, es evidente en edificios industriales o de oficinas en los cuales se realiza una actividad productiva. En otras actividades como las escolares también suponen una notable dedicación de tiempo que también es importante, por ello en todos los casos tiene una gran importancia poder verificar los resultados mediante una única prueba.

Los modelos analíticos proporcionan el valor del tiempo de evacuación z de un determinado número de personas x_j que utiliza una salida j de un edificio o de un recinto, dicho valor deberá compararse con el resultante de un simulacro o de un ensayo. Para que la prueba sea estrictamente válida es obvio que deben coincidir las condiciones de cálculo y las físicas del recinto, deben ser idénticas las anchuras mínimas de paso, los recorridos de circulación, y deben mantenerse la ubicación y las características personales de los individuos que realizan la prueba. Normalmente no resulta fácil verificar y aceptar la estricta coincidencia de todas estas condiciones.

Al realizar el simulacro resultará la magnitud z' , entendida como el valor experimental del tiempo de evacuación. Se plantea como posible prueba para verificar el modelo de la locomoción mediante un único ensayo la estricta coincidencia de tiempos de evacuación.

$$z = z' \quad (6.1)$$

Solamente si existen pequeñas diferencias entre los valores de los tiempos de evacuación z y z' , resulta posible aceptar como válido el modelo de locomoción propuesto para la vía de evacuación j . Se entiende como exactitud proporcionada por el modelo el grado de coincidencia entre los resultados aportados por éste y el valor de referencia adoptado, en ausencia de otras mediciones no existe otra alternativa que considerar dicho valor único como una verdad absoluta.

Desde un principio debe plantearse la problemática de aceptar este modelo mediante una única prueba. Además de la dificultad práctica de garantizar la coincidencia de las condiciones de cálculo con las experimentales, si hubiera pequeñas diferencias entre las dos magnitudes supondría aceptar la bondad del modelo, debiendo admitir la posibilidad que ello fuera casual. De la misma forma cuando los valores no coincidan exactamente existe la posibilidad de formular argumentaciones que avalen las diferencias, ello da lugar a aceptar las diferencias como razonables y admitir que a pesar de las mismas el modelo es correcto. Definitivamente se considera que aceptar la bondad de un modelo de locomoción de una vía de evacuación a partir de la coincidencia de los tiempos de evacuación resulta una prueba muy frágil en muchos aspectos, con probabilidades de conclusiones erróneas, en un sentido otro, realmente significativas.

No debe olvidarse que para validar el modelo de evacuación de un edificio o de un recinto deben validarse los modelos de locomoción de todas sus vías y contrastar los aspectos de comportamiento establecidos en el sistema de evacuación.

6.2.2 Análisis de la coincidencia de tiempos de evacuación mediante pruebas repetidas

Si resulta complicado realizar un simulacro o ensayo, esta dificultad se multiplica al plantear pruebas repetidas. Además de garantizar la adecuada similitud de las pruebas con los valores teóricos, prácticamente puede considerarse la extraordinaria dificultad

de realizar simulacros en idénticas condiciones, los ocupantes deben mantener la misma capacidad de locomoción, su ubicación debe ser idéntica, la motivación con que efectúan la prueba ser la misma, etc. en definitiva se debe garantizar que el conjunto de factores de definición del modelo o implícitos son idénticos.

La debilidad de la prueba de la coincidencia de tiempos de evacuación mediante un único ensayo quedaría notablemente superada si fuera posible efectuar repeticiones del proceso y pudieran compararse los valores teóricos con el valor medio de diferentes ensayos, resulta evidente que la prueba queda reforzada cuanto mayor sea el número de los mismos. Esta segunda propuesta, con todo el conjunto de observaciones formuladas sobre su dificultad y otras muchas que podrían realizarse, según lo argumentado no deja alternativa a aceptar los modelos cuando exista coincidencia en los tiempos de evacuación teóricos con el valor medio de los resultantes de los simulacros o los ensayos de evacuación.

$$z = \bar{z}' \quad (6.2)$$

¿Cuales serían las diferencias aceptables?. Tratar de responder esta cuestión conduce a un razonamiento más profundo de la situación y esencialmente sobre las características y de la naturaleza de la variable que determina el tiempo de evacuación.

6.2.3 Análisis de las desviaciones en el tiempo de evacuación al variar las magnitudes de locomoción

Para determinar las funciones de evacuación $t_j(x_j)$ y de evacuación inversa $p_j(z)$ de cada una de las salidas se realiza el pronóstico de las magnitudes de la densidad de ocupación d_j , de la velocidad v_j y de los flujos de circulación f_j . Una cuestión fundamental del problema consiste en evaluar la precisión con que han sido estimadas dichas magnitudes, se hace necesario evaluar las diferencias que pueden producirse en el tiempo de evacuación en función de las posibles diferencias o variaciones de las mismas.

Si se considera una desviación de $\pm \eta$ % en las magnitudes de la velocidad y de los flujos de circulación de los individuos resultan los intervalos

$$v_j \pm \Delta v_j \quad \text{y} \quad f_j \pm \Delta f_j \quad (6.3)$$

siendo los valores de las respectivas variaciones de la velocidad y del flujo

$$\Delta v_j = \eta v_j / 100 \quad \text{y} \quad \Delta f_j = \eta f_j / 100 \quad (6.4)$$

y en consecuencia la velocidad de circulación y el flujo estarán comprendidos entre unos valores máximos y mínimos

$$\left. \begin{array}{l} v_j^+ = v_j + \Delta v_j \\ v_j^- = v_j - \Delta v_j \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} f_j^+ = f_j + \Delta f_j \\ f_j^- = f_j - \Delta f_j \end{array} \right\} \quad (6.5)$$

Si se suponen las magnitudes de locomoción constantes, al sustituir en la expresión que permite obtener la función de evacuación de la salida j para el problema de la evacuación de un recinto resulta

$$t_j^+(x_j) = \frac{l_j}{v_j^+} + \frac{x_j}{F_j^+} \quad t_j^-(x_j) = \frac{l_j}{v_j^-} + \frac{x_j}{F_j^-} \quad (6.6)$$

Se observa que t_j^+ corresponde al tiempo de evacuación cuando v_j^+ y F_j^+ se hallan en el nivel alto, entonces $t_j^+ < t_j^-$ y el tiempo t_j que van a tardar en abandonar el recinto un determinado grupo de x_j personas si el valor de las magnitudes de locomoción v_j y F_j es mayor necesariamente va a resultar menor.

La representación de $t_j^+(x_j)$ y $t_j^-(x_j)$ conjuntamente con la de la función de evacuación $t_j(x_j)$ da lugar a la figura 6.1, donde puede observarse que para cada ocupación x_j se establece un intervalo para el pronóstico del tiempo de evacuación.

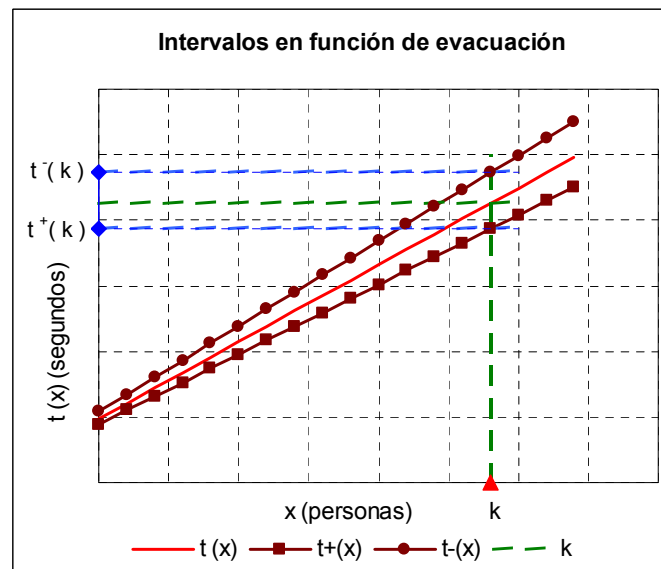


Figura 6.1 Intervalo de tolerancia a partir de la función de evacuación

En el caso de un recinto con una única salida utilizada por k personas, sustituyendo en la expresión (6.6) se obtiene el intervalo

$$\left[t_j^+(k) = \frac{l_j}{v_j^+} + \frac{k}{F_j^+}, t_j^-(k) = \frac{l_j}{v_j^-} + \frac{k}{F_j^-} \right] \quad (6.7)$$

Una vez efectuada la representación si se sitúa un valor k en el eje de abscisas, la línea de intersección trazada a partir de dicho valor con $t(x^+)$ y $t(x^-)$ define el intervalo de variación en el tiempo de evacuación, si se acepta una desviación en los parámetros de circulación del $\pm\eta$ %.

Entonces el procedimiento para validar el modelo de locomoción de la vía j consiste en aceptar el modelo si para diferentes valores k es posible verificar que el tiempo de eva-

cuación z' se sitúa dentro del intervalo $[t(k^+), t(k^-)]$ calculado, sencillamente se aceptaría el modelo si:

$$z' \in [t(k^+), t(k^-)] \quad (6.8)$$

De forma análoga puede operarse con la función de evacuación inversa

$$p_j^+(z) = \begin{cases} 0 & z < \frac{l_j}{v_j^+} \\ zF_j^+ - \left(\frac{l_j}{v_j^+}\right)F_j^+ & z \geq \frac{l_j}{v_j^+} \end{cases} \quad p_j^-(z) = \begin{cases} 0 & z < \frac{l_j}{v_j^-} \\ zF_j^- - \left(\frac{l_j}{v_j^-}\right)F_j^- & z \geq \frac{l_j}{v_j^-} \end{cases} \quad (6.9)$$

Cuya representación puede observarse en la figura 6.2. En este caso se sitúa el valor k en el eje de ordenadas, entonces serán las intersecciones con $p^+(z^+)$ y $p^-(z^-)$ las que definirán el intervalo del tiempo de evacuación, en cuyo caso corresponde hallar z^+ y z^- resolviendo

$$k = p^+(z^+) \quad \text{y} \quad k = p^-(z^-) \quad (6.10)$$

definitivamente resulta

$$z^+ = \frac{l_j}{v_j^+} + \frac{k}{F_j^+}, \quad \text{y} \quad z^- = \frac{l_j}{v_j^-} + \frac{k}{F_j^-} \quad (6.11)$$

en cuyo caso se aceptaría el modelo si:

$$z' \in [z^-, z^+] \quad (6.12)$$

Inicialmente se han utilizado valores del coeficiente $\eta = \pm 10\%$, en situaciones ya experimentadas este coeficiente se ha reducido al 5%.

Así por ejemplo para validar las magnitudes de locomoción de una salida de un recinto de 2 metros de ancho y un recorrido de 13 metros, si se supone una velocidad de circulación de 40 metros por minuto y un flujo de 64 personas por metro y minuto constantes, admitiendo diferencias de $\pm 5\%$ en las magnitudes de locomoción, resultan las siguientes funciones de evacuación e intervalo de tolerancia:

$$t(x) = 19,5 + 0,469x$$

$$t^+(x) = 18,57 + 0,446x$$

$$t^-(x) = 20,53 + 0,493x$$

Para la evacuación de 275 personas se precisa un tiempo de 148 segundos y el intervalo de tolerancia estará comprendido entre [141, 156] segundos. Sencillamente se trata de tomar como válida la función de evacuación si el resultado de utilizar 275 personas esta

salida da lugar a un tiempo de evacuación comprendido en los valores establecidos en la citada tolerancia. En caso de discrepancias deberán ajustarse las magnitudes de locomoción para lograr la estricta coincidencia de valores.

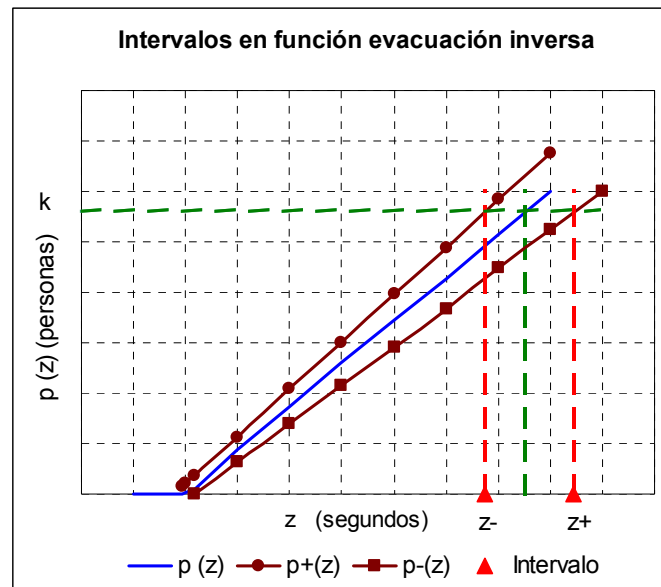


Figura 6.2 Intervalo de tolerancia a partir de la función de evacuación inversa

Puede afirmarse que existe una incertidumbre sobre el tiempo de evacuación. El concepto de incertidumbre de una determinada magnitud, en general se asocia a la mayor o menor proximidad de los resultados a un valor de referencia, normalmente el “valor auténtico”, sin embargo en este caso ¿Cuál es el valor auténtico?, ¿Cuál es el tiempo que se tarda en salir de un recinto o de un edificio?. La referencia es una magnitud desconocida de carácter aleatorio que puede definirse mediante una determinada distribución de probabilidad.

6.2.4 Distribución del tiempo de salida z'

Diferentes autores afirman que la distribución que modela el tiempo de salida de un recinto puede suponerse que sigue una distribución logarítmico normal, también es cierto que otros autores utilizan una distribución normal. Para posicionarse a favor de una u otra propuesta de forma objetiva se llevó a cabo el siguiente experimento: Se cronometró el tiempo que tardaban los estudiantes de un instituto de secundaria en abandonar el aula, un recinto como el representado en la figura 6.3 que dispone de dos salidas. Sin embargo para reducir efectos de actitud que pudieran dar lugar a dudas en la distribución hacia cada una de las dos salidas, solamente se utiliza la salida anterior de 1 metro de anchura efectiva. El simulacro se repitió en quince ocasiones con 32 alumnos, en las cuales no existe la certeza de que participaran exactamente las mismas personas.

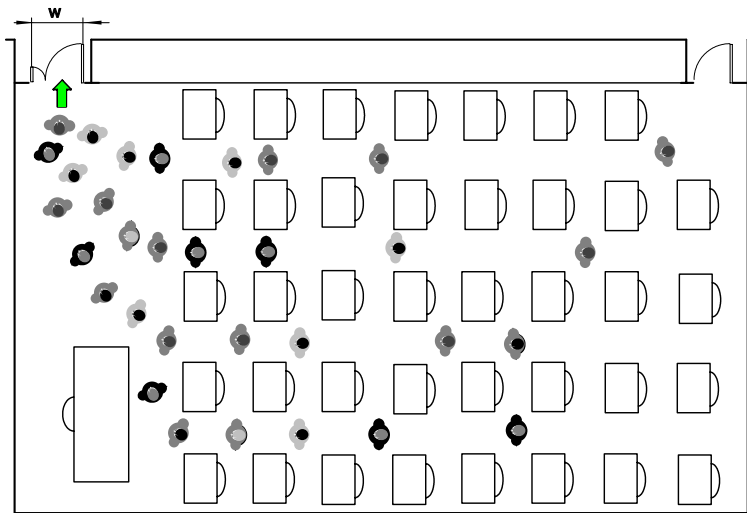


Figura 6.3 Planta del aula en la que se realizó la experimentación

Los resultados de los tiempos de evacuación se resumen en la tabla 6.1.

Experiencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tiempo (segundos)	23	21	20	17	15	24	18	33	19	25	20	28	31	42	18

Tabla 6.1 Resultados de la experimentación de la evacuación del recinto

En primer lugar mediante un gráfico probabilístico normal se trata de observar si las observaciones se ajustan aceptablemente a dicha distribución, se obtiene la representación de la figura 6.4, donde se aprecia una cierta discrepancia sobre la misma.

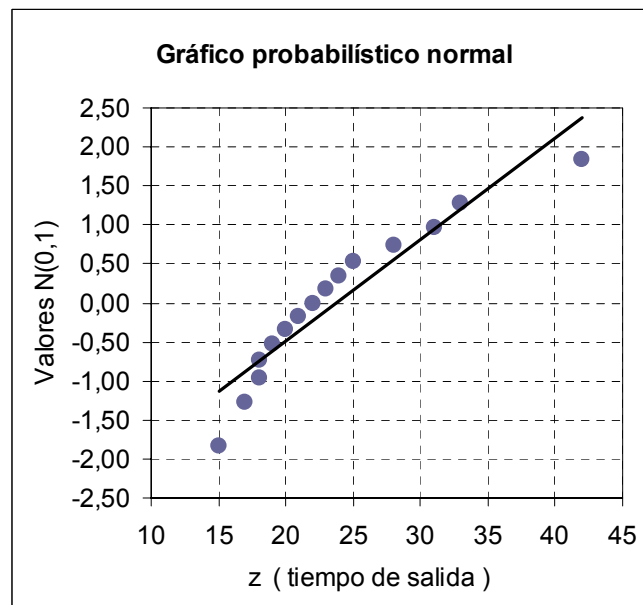


Figura 6.4 Gráfico probabilístico normal del tiempo de evacuación

Se observa que se produce un mejor ajuste a una distribución logarítmico-normal, resultando el gráfico de la figura 6.5. En dicha representación se obtiene una clara alineación, lo que permite admitir que dichas observaciones se ajustan a dicha distribución.

Los resultados obtenidos permiten admitir razonablemente los tiempos de salida de un recinto siguen una distribución logarítmico normal. Así resulta que el $\ln z'$ sigue una distribución normal de parámetros m y σ^2 , que pueden obtenerse a partir de los valores experimentales de la media y de la variancia de la muestra $E(x)$ y $V(x)$, resultando las expresiones:

$$\sigma^2 = \ln \left\{ 1 + \frac{V(x)}{[E(x)]^2} \right\} \quad (6.17)$$

$$m = \left\{ \ln E(x) - \frac{\sigma^2}{2} \right\} \quad (6.18)$$

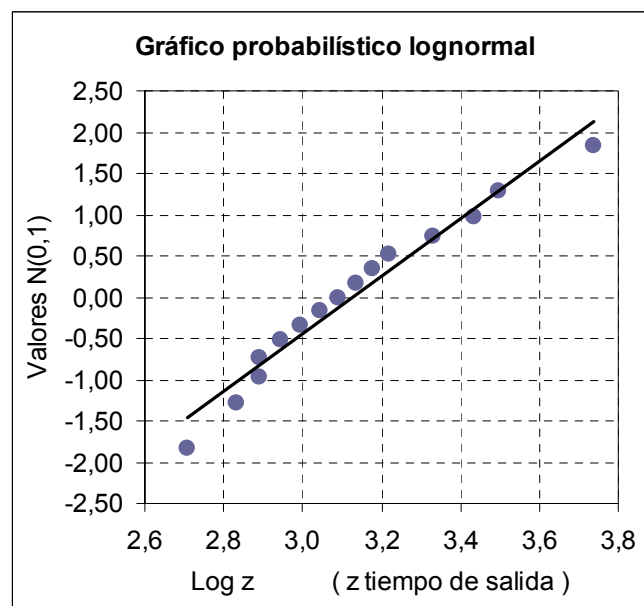


Figura 6.5 Gráfico probabilístico logarítmico normal del tiempo de evacuación

En el ejemplo considerado, la media y la variancia de la muestra son respectivamente 23,6 y 52,7. Sustituyendo dichos valores en las expresiones (6.17) y (6.18) se determina que los parámetros de la distribución log-normal son 3,116 la media y 0,090 la varianza.

En general parece razonable suponer que cuando un grupo de individuos abandona un recinto con una adecuada motivación pueden reducir el tiempo de evacuación, ello se logra esforzándose y con una cierta fortuna. Sin embargo, múltiples circunstancias hacen que el tiempo de evacuación se dilate, estas circunstancias facilitan que los perfiles de distribuciones asimétricas parezcan las más adecuadas. En la figura 6.6 se representan ambas distribuciones donde puede apreciarse las diferencias resultantes.

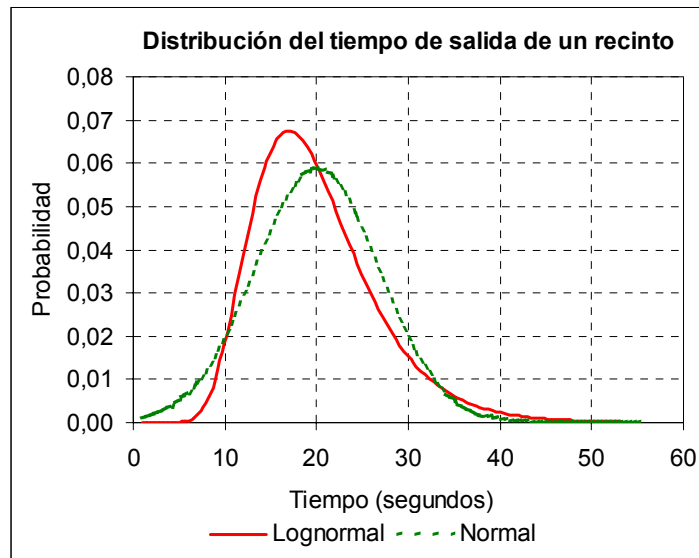


Figura 6.6 Diferencia en la distribución del tiempo de salida de un recinto

Finalmente si se concluye que el tiempo de evacuación de un recinto como el analizado sigue una distribución logarítmico-normal, debe admitirse que la experimentación realizada no tiene la entidad suficiente para garantizar que ello suceda en todos los casos, para ello debería experimentarse con otros colectivos y en un número más elevado de situaciones. Si se decidiera trabajar determinando intervalos de confianza del tiempo de evacuación, debería operarse con la distribución logarítmico-normal, dado que esta forma de proceder permite garantizar que el valor medio del tiempo de evacuación en un $(1-\alpha)$ % de los casos se halla comprendido entre los valores que define el intervalo calculado.

6.3 VALIDAR EL MODELO A PARTIR DE LA FUNCIÓN DE EVACUACIÓN INVERSA

Una solución más sólida que limitarse a comparar los tiempos de evacuación consiste en contabilizar el número de personas que han abandonado el recinto por cada una de las salidas en determinados instantes y estudiar las diferencias que existen con los valores que proporciona la función de evacuación inversa de cada una de ellas. Una vez se hayan validado las funciones de evacuación de todas las salidas del recinto y contrastado el comportamiento de los ocupantes podrá pensarse en la existencia de un modelo validado.

6.3.1 Obtención y análisis de la función de salidas $s_j(z)$

Registrando el número de personas que abandonan el edificio por una salida j en determinados instantes z se obtiene la función estrictamente creciente $s_j(z)$, representada en la figura 6.7. En ella se observa que las llegadas a la salida se registran en el momento que se contabilizan, de ahí que el gráfico adopte una forma escalonada, indicando el primer eslabón el instante en el cual los ocupantes empiezan a abandonar el recinto, y el

último corresponde al instante en el cual finaliza la evacuación. En este caso se representa una situación en la cual las mediciones se han realizado en intervalos regulares de tiempo, lo que necesariamente no tiene porque ser así.

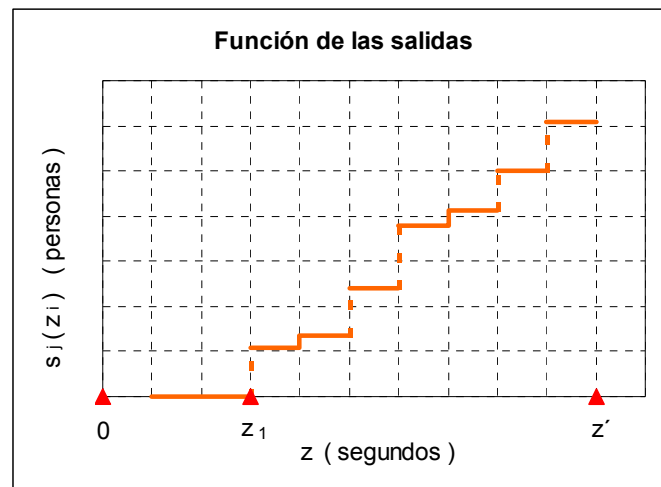


Figura 6.7 Representación de una función de salidas

Para implantar este proceso de contraste se supone que es posible efectuar mediciones del número de personas que han abandonado el recinto por la salida j en determinados periodos de tiempo, por ejemplo intervalos regulares de 5, 10, 15 ó 20 segundos, lo que dará lugar a disponer de un conjunto amplio de mediciones. Desde un punto de vista práctico la realidad es que aunque técnicamente son posibles estos dispositivos de conteo, no son habituales y normalmente no será posible disponer de tantos valores, sin embargo el procedimiento sigue siendo perfectamente válido con pocas observaciones. Una forma práctica de realizar las mediciones puede ser tan simple como situar dos personas en una salida, una mediante un cronómetro mide el tiempo y la otra contabiliza las personas que cruzan delante de las mismas y anota ambas magnitudes.

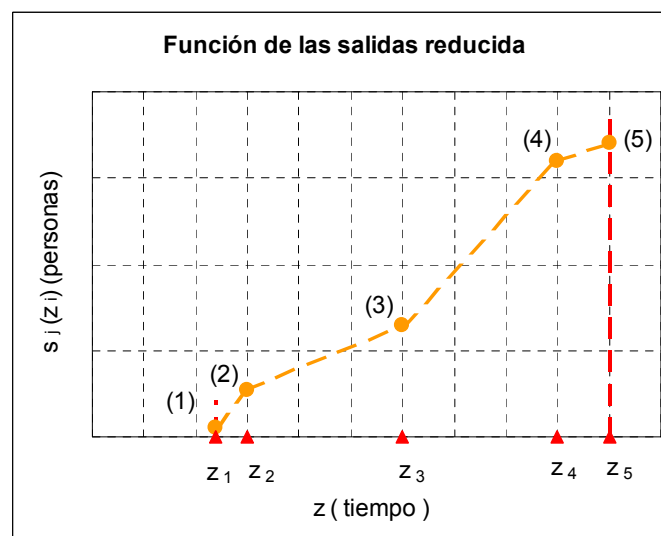


Figura 6.8 Representación de una función de salida reducida

En la figura 6.8 se presenta una situación más viable, consistente en efectuar cuatro ó cinco mediciones, que corresponden a los instantes en los cuales los primeros ocupantes empiezan a salir, mediciones intermedias que pueden realizarse por ejemplo a los 30, 60 ó 90 segundos, y el instante en el cual los últimos ocupantes abandonan el edificio. Se observa que el punto (1) indica el instante z_1 en el cual se producen las primeras salidas, el (5) indica el final de la evacuación z_5 y el resto de mediciones, los puntos (2), (3) y (4), corresponden a instantes intermedios, en los que deben conocerse las dos magnitudes $(z_i, p(z_i))$. La representación se ha simplificado mediante puntos unidos con líneas para facilitar la comprensión de la secuencia cronológica de las mediciones.

Otra posibilidad ciertamente interesante consiste en estimar los parámetros de la función de evacuación inversa y las magnitudes de locomoción, y representar el proceso como muestra la figura 6.9. Si para la salida j se conoce el instante z_1 en el cual los ocupantes llegan a la misma, la demora z_0 en el inicio de la evacuación y la longitud l_1 del recorrido de evacuación, la velocidad media de circulación resulta

$$v'_j = \frac{l_j}{z_1 - z_0} \tag{6.20}$$

De la misma forma el valor medio del flujo estimado F'_j para la salida j será:

$$F'_j = \frac{p(z')}{z' - z_1} \tag{6.21}$$

resultando inmediato conocer el valor del flujo específico f'_j que se registra en la salida j si se conoce la anchura mínima de paso de la salida w_j

$$f'_j = \frac{F_j}{w_j}$$

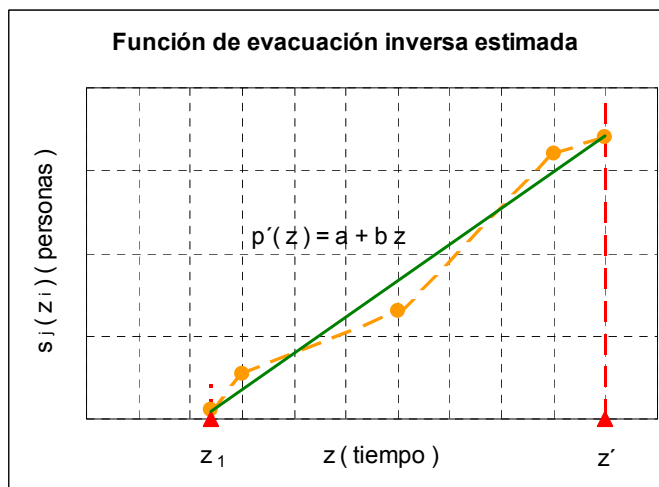


Figura 6.9 Proceso para obtener $p'_j(z)$ mediante la función de salidas

Una forma más todavía simple de proceder consiste en ajustar sobre los puntos experimentales $s_j(z)$ la recta mínimo cuadrática cuando se está representando la función $p'(z)$, obteniéndose la expresión:

$$p'(z) = a z - b \quad (6.22)$$

$p'(z)$ puede considerarse como la expresión de la función de evacuación inversa experimental, a partir de la cual identificando términos se obtienen directamente las estimaciones de los valores del flujo y de la velocidad de circulación

$$F'_j = b \quad v'_j = \frac{l_j F_j}{a} \quad (6.23)$$

6.3.2 Análisis gráfico de la función de evacuación inversa $p_j(z)$

En el proceso de cálculo de la evacuación se dispone de la función $p_j(z)$, que se corresponde con el pronóstico de las personas capaces de abandonar el recinto en cada instante z por la salida j . El procedimiento de contraste que se propone consiste en comparar esta función con los valores experimentales proporcionados por $s_j(z)$.

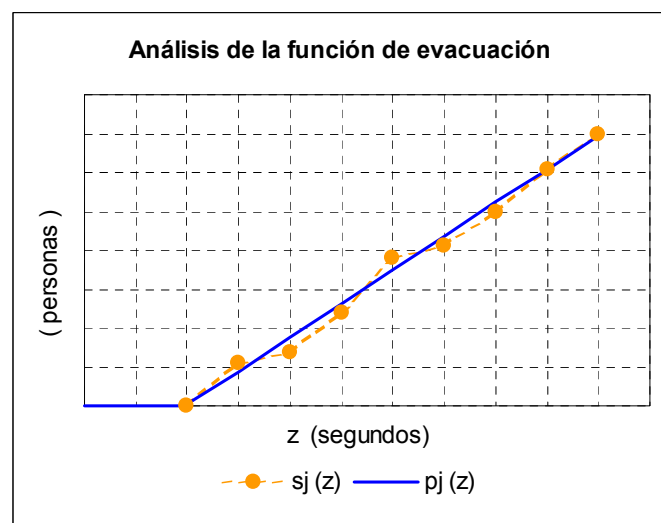


Figura 6.10 Proceso de comparación de $p_j(z)$ y $s_j(z)$

Según se ha analizado en capítulos anteriores la función de evacuación inversa $p_j(z)$ puede adoptar formas distintas según corresponda a situaciones en las cuales se estudia la evacuación de un recinto o de un edificio, pero en cualquier caso la prueba que se plantea es exactamente la misma y consiste en reconocer visualmente si las funciones de evacuación calculadas y los valores experimentales obtenidos guardan la adecuada similitud. Es una prueba muy simple mediante la cual se obtiene un procedimiento de contraste robusto que globalmente verifica la coincidencia de velocidades, flujos y tiempos de evacuación. En el caso de obtener una situación como la representada en la figura 6.10 se puede aceptar la plena coincidencia entre las magnitudes que definen el proceso de evacuación del recinto por la correspondiente salida j . El tramo inicial de la

gráfica indica el tiempo de recorrido, si son iguales en ambas funciones indica la coincidencia de las velocidades de circulación, de la misma forma la igualdad de pendientes supone aceptar la identidad de flujos.

En ocasiones se observa una cierta discrepancia entre las funciones $p_j(z)$ y $s_j(z)$, existiendo algunas situaciones características. Así cuando las magnitudes de locomoción de los ocupantes son ligeramente inferiores a las utilizadas para obtener la función de evacuación inversa los resultados adoptan una forma como la representada en la figura 6.11, en ella se aprecia como el tiempo que tardan en alcanzar la salida es mayor que el calculado, luego las líneas calculada y estimada mantienen una cierta divergencia y se observa una ligera diferencia en las pendientes de las rectas y en consecuencia en la magnitud de los flujos de circulación, en este caso puede concluirse que en principio la velocidad de desplazamiento de los ocupantes es realmente inferior al valor previsto.

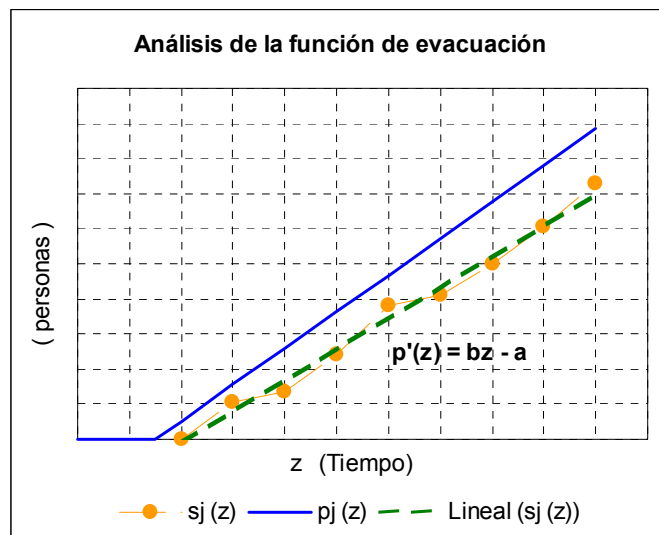


Figura 6.11 Capacidad de locomoción inferior a la prevista

Cuando se producen diferencias entre ambas funciones, diferencias menores que las representadas en la figura 6.11, donde la función de evacuación inversa $p_j(z)$ queda ligeramente por encima de los valores experimentales de $s_j(z)$ resultantes de ensayos o simulacros, podría considerarse que la función de evacuación $p_j(z)$ es la adecuada para pronosticar el desplazamiento de los individuos en situaciones de emergencia. Se prevé que en estos casos las magnitudes de locomoción de los individuos sean razonablemente superiores a las consideradas inicialmente, Pretechenskii y Milinskii [129] estiman que este incremento oscila entre un 10 y un 20 %.

Si las magnitudes de locomoción utilizadas para obtener la función de evacuación inversa son inferiores a las resultantes de ensayos o simulacros resulta una situación similar a la analizada, en la que la función teórica $p_j(z)$ se sitúa debajo de la experimental $s_j(z)$. Si el desajuste fuera en la estimación de la densidad de ocupación la situación también resulta característica, concretamente en el caso representado en la figura 6.12 se ha considerado una densidad de ocupación menor de la que realmente se produce, lo que se manifestaría en el gráfico de la siguiente forma: Al ser mayor la densidad resulta

una velocidad de circulación menor y en consecuencia el tiempo que emplean los ocupantes hasta llegar a la salida es mayor, con lo que se aprecia una discrepancia en el punto de iniciarse la evacuación. Además, al ser mayor la densidad de ocupación del valor previsto, los flujos son mayores, circunstancia que se refleja en el gráfico con una mayor pendiente de los valores experimentales. Corrigiendo de forma adecuada la densidad de ocupación en el modelo de la función de evacuación inversa $p_j(z)$, se logra la plena coincidencia con la función de salidas $s_j(z)$.

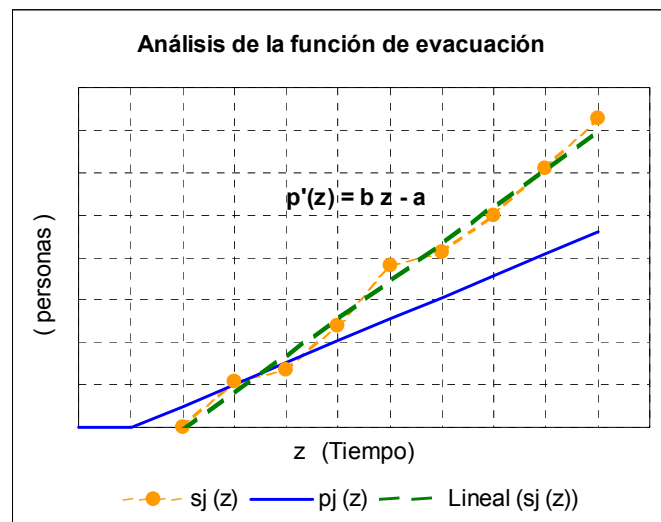


Figura 6.12 Densidad de ocupación superior a la prevista

Si la diferencia que se produce es consecuencia de utilizar una densidad de ocupación inferior, los papeles de las funciones analizadas se intercambian, las llegadas a la salida se adelantan y los flujos descienden.

Los aspectos analizados son algunos de los más significativos, otras situaciones se presentan en el apartado de aplicaciones y existen otros casos en los cuales no se ha logrado ni coincidencia de funciones ni interpretación razonable de los resultados, estos casos se atribuyen a comportamientos anómalos de los ocupantes en los ensayos o bien en los simulacros.

6.3.3 Intervalo de tolerancia en la función de evacuación inversa

Según se ha detallado en el apartado 6.2.2 es posible obtener de forma muy simple un intervalo en la función de evacuación de una salida j si se admiten desviaciones de $\pm \eta \%$ en las magnitudes de locomoción, dando lugar a una representación gráfica como la obtenida en la figura 6.13. Se trata de establecer unos límites y analizar si las observaciones de la función de salidas $s_j(z)$ se sitúan dentro de los mismos, posiblemente parezca una forma más objetiva de contrastar las magnitudes de locomoción que la planteada en el apartado anterior donde se trataba de apreciar la alineación de las observaciones. La realidad es que a menudo han surgido situaciones en las cuales algunos valores de las observaciones iniciales se han situado fuera del intervalo establecido por este

procedimiento, mientras que el resto de puntos se ha alineado de forma correcta con la función de evacuación inversa. Como consecuencia de sobrepasar los límites establecidos se llega a la conclusión que debe rechazarse el modelo, conduciendo claramente a una conclusión errónea. Definitivamente se concluye que se ha probado un procedimiento de contraste aparentemente muy razonable pero que en la práctica existen dudas sobre su eficacia.

Otro aspecto difícil de establecer radica en adoptar el valor adecuado para el coeficiente η que establece la magnitud del intervalo, se ha operado con valores del 5 % y del 10 %, dando lugar a variaciones del 10 y el 20 % en el número de personas capaces de abandonar el recinto por la salida respectiva.

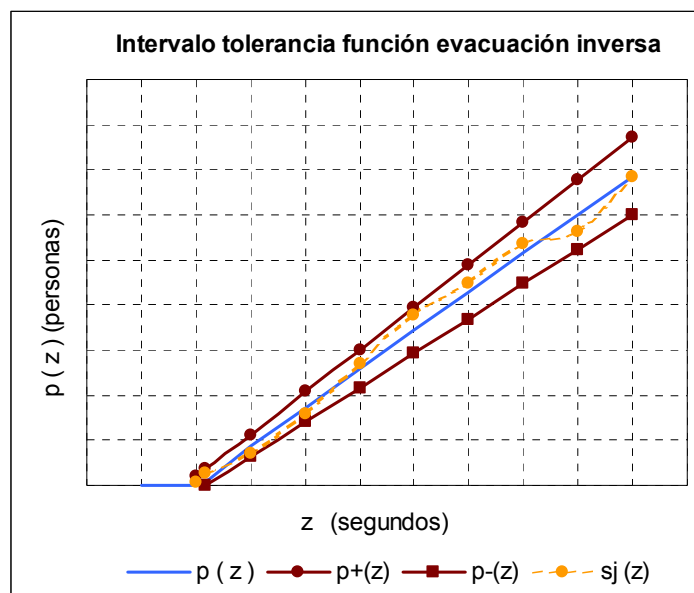


Figura 6.13 Contraste por intervalo de tolerancia

En la situación que se presenta en la figura 6.13 se observa que la totalidad de observaciones quedan ubicadas en el intervalo establecido, por lo que sin lugar a dudas debe aceptarse que el modelo de locomoción de la salida j se ajusta de forma adecuada a los valores experimentales.

6.3.4 Análisis de las diferencias entre la función de evacuación inversa $p_j(z)$ y la función de salidas $s_j(z)$

Otra posibilidad consiste en estudiar las diferencias que se producen entre el número de personas que se prevé abandonarán el recinto en intervalos de tiempo i , y los que realmente se registran definidos por $p_j(z_i)$ y $s_j(z_i)$ respectivamente, dando lugar a un conjunto de valores expresados por $e_j(z_i)$:

$$e_j(z_i) = p_j(z_i) - s_j(z_i) \quad (6.25)$$

Para analizar $e_j(z_i)$ se han utilizado procedimientos gráficos y analíticos, en este caso nuevamente cabe destacar la importancia de los procedimientos gráficos. En primer lugar conviene analizar la estabilidad de dichas diferencias en el tiempo, al ser $p_j(z)$ y $s_j(z)$ valores acumulados del computo total de las salidas que se han producido, hacen que la estabilidad de las diferencias sea una prueba potente. Debe verificarse si las desviaciones que se producen se mantienen estables en todos los periodos, para ello se procede a la representación gráfica de las mismas, resultando la gráfica de la figura 6.14 denominada “Evolución cronológica de las diferencias”. En este caso se observa como las diferencias se mantienen dentro de unos márgenes reducidos y centradas entorno al valor cero, admitiendo las oscilaciones como variaciones aleatorias y aceptando la coincidencia de los parámetros de locomoción de la salida j .

Cuando las magnitudes de locomoción de los individuos son inferiores a las inicialmente supuestas esta gráfica adopta una tendencia creciente a partir de un determinado punto del eje de abscisas, que corresponde al instante en el cual se llega a la salida. No puede ser de otra forma, dado que en cada instante son mayores las diferencias entre el número de personas que se estimaba debían abandonar el recinto y las que realmente lo abandonan. Obviamente si la velocidad de desplazamiento es superior a la prevista resulta una gráfica simétrica a la anterior y a partir de un determinado punto se producirían diferencias negativas crecientes.

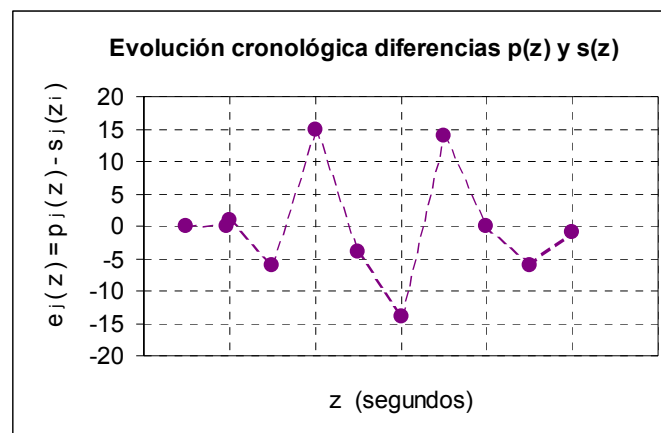


Figura 6 14 Análisis de la estabilidad de las desviaciones

En algunos casos se ha observado que estas diferencias aumentan de amplitud, considerándose posible y admitiendo que al incrementar el tiempo resulta ampliada la magnitud de las desviaciones existiendo un incremento de la variabilidad, sin embargo en los casos estudiados se considera prematuro efectuar suposiciones al respecto. Es por ello, que éste es uno de los apartados enumerados en el capítulo 9 como aspectos en los cuales debe proseguirse la investigación. Desde un punto de vista analítico se deben evaluar globalmente la magnitud de las diferencias, determinando el valor medio $\bar{e}_j(z_i)$ y la desviación tipo $s_j(z_i)$ de las diferencias. Si se dispone de n observaciones resulta:

$$\bar{e}_j(z_i) = \frac{\sum_{i=1}^n e_j(z_i)}{n} \quad (6.25)$$

$$s_j(z_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [e_j(z_i) - \bar{e}_j(z_i)]^2}{n-1}} \quad (6.26)$$

De estas magnitudes necesariamente debe resultar que $\bar{e}_j(z_i) \rightarrow 0$ y que la variabilidad debe ser lo más reducida posible. Cuando $\bar{e}_j(z_i) > 0$ debe interpretarse que la velocidad de locomoción utilizada en el modelo es mayor de la que realmente se registra, de la misma forma que cuando $\bar{e}_j(z_i) < 0$ indica que la velocidad es menor. En circunstancias óptimas debe suponerse que las diferencias son puramente aleatorias. Seguidamente se formula la hipótesis sobre si dichas diferencias siguen una distribución normal, aspecto que se analiza mediante un gráfico probabilístico al no disponer de suficientes observaciones para poder realizar un histograma o una prueba χ^2 . Dicha prueba se realiza con las observaciones del ejemplo representado en la figura 6.10, resultando el gráfico de la figura 6.15 en el que puede apreciarse una dudosa alineación de las diferencias, en cuyo caso se concluye que en este ejemplo la normalidad resulta cuestionable.

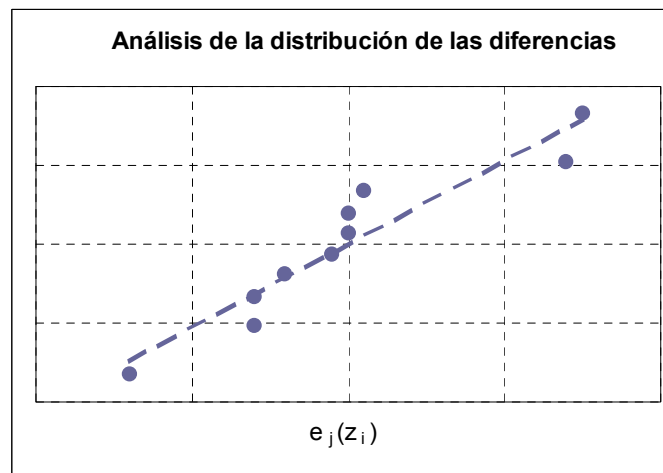


Figura 6.15 Análisis de la normalidad de las desviaciones

Finalmente puede afirmarse que en condiciones de un modelo correcto las diferencias entre $p_j(z_i)$ y $s_j(z_i)$ expresadas por $e_j(z_i)$ deben ser tales que sean estables en el intervalo de la evacuación, la media de las mismas tienda a cero, los errores sean puramente aleatorios y la variabilidad sea reducida. Sin embargo, la normalidad de las diferencias en algunos casos no ha sido posible probarla y no existe más alternativa que admitir que se desconoce si, las diferencias entre $p_j(z)$ y $s_j(z)$ cuando el modelo es correcto, siguen una distribución normal.

6.4 VALIDAR EL MODELO A PARTIR DEL VALOR DE LOS FLUJOS DE SALIDA

Una alternativa al procedimiento anterior de análisis de la función de evacuación, consiste en analizar los flujos, concretamente hallar la diferencia que existe entre los flujos inicialmente calculados y utilizados para obtener la función de evacuación con los experimentales que realmente se han registrado en ensayos o simulacros, a este procedimiento se le denomina “Análisis de los flujos”. Para la obtención del valor de los flujos registrados se requiere una simple manipulación de los valores correspondientes de las observaciones realizadas $s_j(z)$. El proceso puede observarse en la figura 6.16, en ella se representan los flujos supuestos inicialmente y los que realmente se producen, observándose claramente las oscilaciones aleatorias en los mismos.

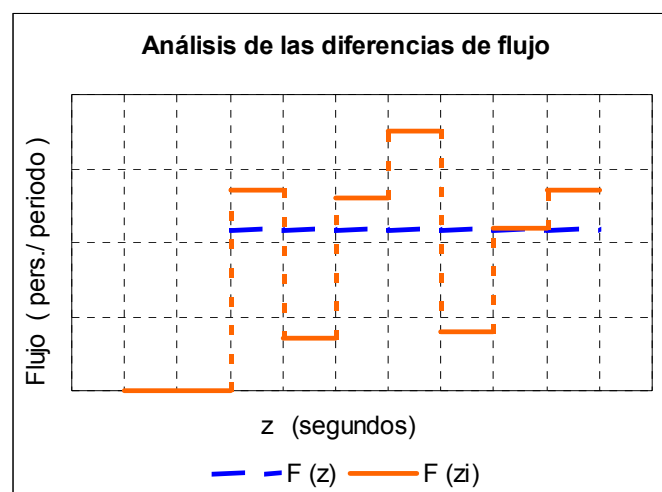


Figura 6.16 Diferencias de flujos en una salida

6.4.1 Implantación y análisis del proceso de comparación de flujos

Necesariamente para implantar este proceso la primera operación que debe realizarse consiste en determinar los flujos. La magnitud de los flujos de salida en problemas de evacuación de recintos suele ser una magnitud constante y el valor de los flujos resultantes una magnitud con oscilaciones aleatorias. El valor del flujo registrado puede obtenerse de una forma muy simple determinando las personas que han abandonado el recinto por la salida correspondiente y dividiéndolo por el intervalo de tiempo que corresponda:

$$F'_j(z_i) = \frac{s_j(z_i) - s_j(z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}} \quad (6.27)$$

Como puede apreciarse en la figura 6.17 los flujos corresponden a las pendientes en los tramos respectivos.

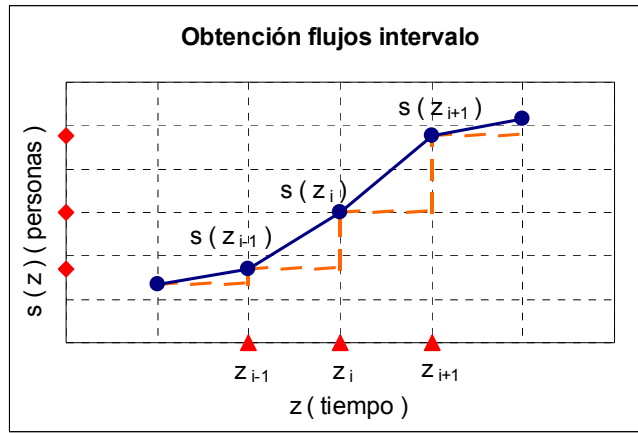


Figura 6.17 Proceso de obtención de flujos

6.4.2 Análisis gráfico de los flujos

El proceso que se propone consiste en observar visualmente si existen diferencias entre los flujos teóricos $F_j(z)$ y los resultantes de ensayos o simulacros $F'_j(z)$ que se producen en una salida j . Estas diferencias de flujo deben analizarse en representaciones como la que se presenta en la figura 6.18, en ella puede observarse que mientras los ocupantes se desplazan hasta la salida los flujos son nulos, en el instante en el cual los ocupantes empiezan a salir los flujos presentan un cierto valor de forma que si las velocidades de locomoción coinciden se inician en el mismo punto del eje de ordenadas, luego a partir de este instante existe en cada periodo un determinado flujo $F'_j(z)$ cuyas oscilaciones se estiman aleatorias y cuyo valor medio coincide con el valor teórico $F_j(z)$. Todo ello conduce a una coincidencia de tiempos de evacuación, pudiendo llegar a la conclusión de que se trata de un modelo de locomoción para dicha salida perfectamente aceptable.

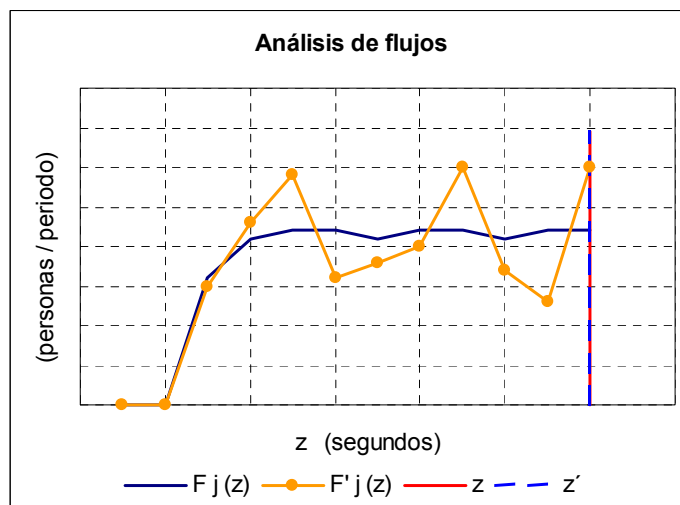


Figura 6.18 Proceso de comparación de flujos

De la misma forma que en casos anteriores se han analizado diferentes situaciones, resulta inmediato observar que los flujos pueden situarse encima y debajo de los inicial-

mente supuestos, requiriendo ajustar oportunamente las magnitudes en cada una de estas situaciones. Puede observarse que la forma del gráfico depende en gran medida de la escala y el formato del mismo, en este sentido puede afirmarse que se trata de una representación más inestable que el análisis de la función de evacuación. También podría afirmarse que es una representación más sensible que permite observar con cierta facilidad aspectos que en la otra representación resultaban más complejos.

6.4.3 Análisis de las diferencias de los flujos

Se trata de comparar la diferencia entre la magnitud de flujos de cálculo en el correspondiente intervalo $F_j(z)$ y los resultantes en el proceso de la evacuación:

$$\varepsilon_j(z_i) = F_j(z_i) - F'_j(z_i) \quad (6.28)$$

Obtenidas las diferencias debe procederse a su análisis. Desarrollando la expresión anterior:

$$\varepsilon_j(z_i) = \frac{p_j(z_i) - p_j(z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}} - \frac{s_j(z_i) - s_j(z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}} = \frac{p_j(z_i) - s_j(z_i) + s_j(z_{i-1}) - p_j(z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}}$$

$$\varepsilon_j(z_i) = \left(\frac{1}{z_i - z_{i-1}} \right) \left([p_j(z_i) - s_j(z_i)] - [p_j(z_{i-1}) - s_j(z_{i-1})] \right) \quad (6.29)$$

Puede observarse en la expresión 6.29 que se trata de una magnitud distinta a $e_j(z)$ utilizada para analizar las diferencias entre las funciones de evacuación $p_j(z)$ y las salidas registradas $s_j(z)$, sin embargo el proceso de análisis es idéntico al utilizado entonces para $e_j(z)$.

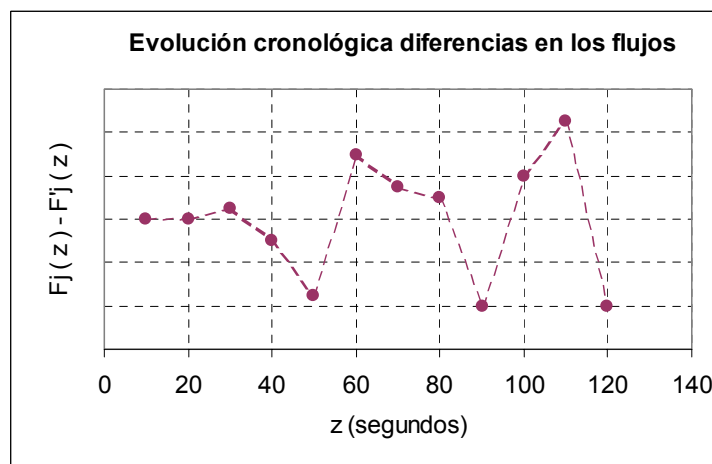


Figura 6.19 Análisis de la evolución cronológica de las diferencias de flujo

Se considera necesario para aceptar la bondad del modelo de locomoción para una salida, verificar que no existan diferencias entre los flujos teóricos $F_j(z)$ y reales $F'_j(z)$. Se consideran inevitables las oscilaciones aleatorias y las diferencias entre las mismas se

estima que deben ser estables en el tiempo, aspectos que pueden observarse al representar la evolución cronológica de $\varepsilon_j(z)$.

En la figura 6.19 se representa la evolución cronológica de las diferencias de flujos, en dicho gráfico, en la situación presentada, se observa la total coincidencia de los valores iniciales de los flujos teóricos y de los experimentales, en consecuencia los errores son nulos en estas mediciones iniciales, luego las diferencias que se presentan son positivas o negativas resultando unas diferencias completamente estables en valor su medio, de igual forma debe indicarse que no resulta clara la estabilidad de la amplitud de dichas diferencias.

Finalmente se trata de verificar la normalidad de las diferencias, para ello se recurre nuevamente a un gráfico probabilístico normal.

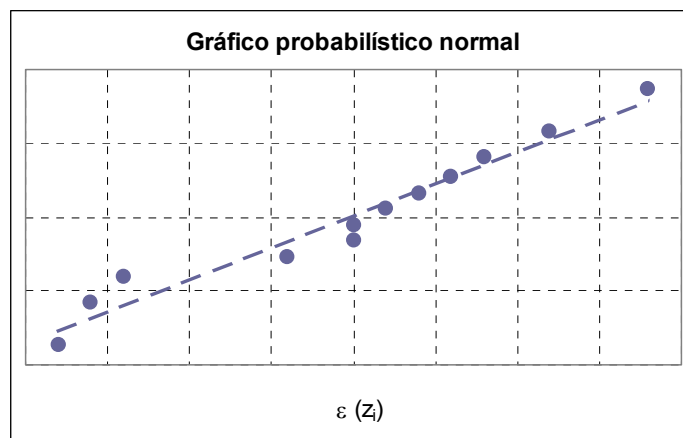


Figura 6.20 Normalidad de las diferencias de flujo

En la figura 6.20 puede observarse como las diferencias se comportan siguiendo un patrón posiblemente normal, en dicho gráfico se ha situado en el eje de abscisas las diferencias, con los valores numéricos utilizados las diferencias oscilan entre ± 10 personas por periodo. Además en este ejemplo, el proceso de conteo se ha realizado manualmente, por lo que debe admitirse la dificultad del proceso y los posibles errores en la medición. Cuando se ha aceptado el modelo de locomoción para una determinada salida j , las diferencias $\varepsilon_j(z)$ se han alineado razonablemente en el gráfico probabilístico suponiendo la normalidad de los mismos. El proceso analítico puede resumirse en los siguientes aspectos, que la media tienda a cero $\bar{\varepsilon}_j(z_i) \rightarrow 0$, que la variabilidad sea lo más reducida posible y se mantenga estable en el tiempo.

6.5 APLICACIONES DEL ANÁLISIS GRÁFICO DE RESULTADOS

Para validar resultados y justificar determinadas funciones de evacuación en algunos casos ha existido la necesidad de realizar un esfuerzo considerable, llegando a la conclusión de que mediante las herramientas descritas en los apartados 6.2 y 6.3 se puede obtener un notable conocimiento del problema. Es por ello, que se presentan algunas

situaciones concretas y se esbozan los aspectos más importantes del problema desde esta perspectiva. Con la finalidad de presentar las posibilidades así como las limitaciones de esta propuesta, sobre la base de determinadas situaciones observadas se plantean en los casos sucesivos algunas aplicaciones. Para que estos ejemplos sean lo más ilustrativos posible se han modificado algunos datos y se opera con valores simulados, ciertamente se pierde realismo y en contrapartida se gana claridad en la exposición.

6.5.1 Semejanza de los valores de cálculo y experimentales

En la figura 6.21 se presentan conjuntamente las cuatro herramientas gráficas introducidas en apartados anteriores, para mostrar la posible equivalencia en las conclusiones así como la oportunidad que ofrece cada una de ellas. Así, en la gráfica del análisis de la función de evacuación se observa la razonable coincidencia de $p_j(z)$ y $s_j(z)$, puede apreciarse la coincidencia de los instantes en que se inicia la salida, lo que permite dar por buenas las velocidades de locomoción supuestas, así mismo, la coincidencia de pendientes valida los flujos y finalmente la coincidencia en el tiempo de evacuación z' de las x_j personas que utilizan la salida j , valida globalmente y prueba que, con unos parámetros estrictamente ajustados, se producen tiempos de evacuación idénticos.

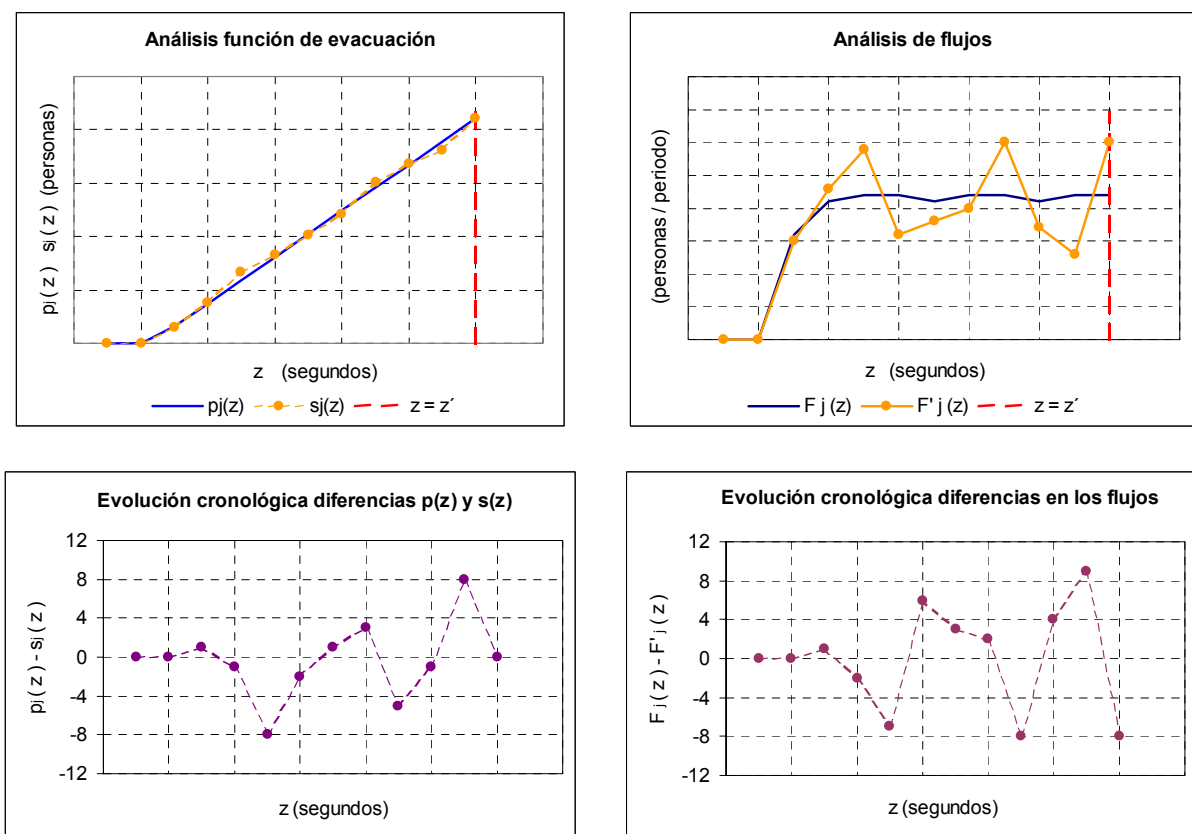


Figura 6.21 Semejanza de las magnitudes de locomoción

A las mismas conclusiones conduce el análisis de flujos. Se observa la coincidencia del instante en el cual se inicia la evacuación, hasta dicho instante no se producen flujos de

salida y a partir del mismo los flujos resultan razonablemente similares con oscilaciones aleatorias. Sobre este aspecto se ha observado que si la densidad de ocupación no es muy elevada y las dimensiones de los elementos de paso permiten adelantamientos, las variaciones en los flujos registrados en intervalos regulares de tiempo se consideran inevitables. Se admite que cada individuo tiene sus propias magnitudes de locomoción y de comportamiento que, si son físicamente posibles, dan lugar a oscilaciones en los flujos. Cuando la densidad de ocupación es muy elevada esta elasticidad se pierde y las demoras resultan permanentes, lo que no se ha producido en este caso. De igual forma, resulta importante observar la coincidencia en los tiempos de evacuación.

Cuando existe coincidencia en las magnitudes de locomoción analíticas y experimentales, los gráficos de análisis de las diferencias adoptan forma propia. En primer lugar se analiza el gráfico $e_j(z)$ correspondiente a la diferencia entre la función de evacuación inversa $p_j(z)$ y las salidas registradas $s_j(z)$ en diferentes periodos, observándose que las diferencias se mantienen estables alrededor del eje de abscisas, con variaciones aleatorias probando la concordancia de las magnitudes de locomoción. Finalmente en el gráfico $\varepsilon_j(z)$ correspondiente a la evolución cronológica de las diferencias en los flujos $F_j(z)$ y $F'_j(z)$, de la misma forma que en el caso anterior, las diferencias están centradas entorno al eje de abscisas con ordenada nula.

6.5.2 Diferencia en las magnitudes de locomoción

Se analizan dos situaciones en las cuales las magnitudes que definen la locomoción de los ocupantes difieren del valor de los parámetros utilizados en la obtención de las funciones. En el primer caso se analiza una situación en la que las magnitudes son inferiores a las previstas y en el segundo cuando son mayores.

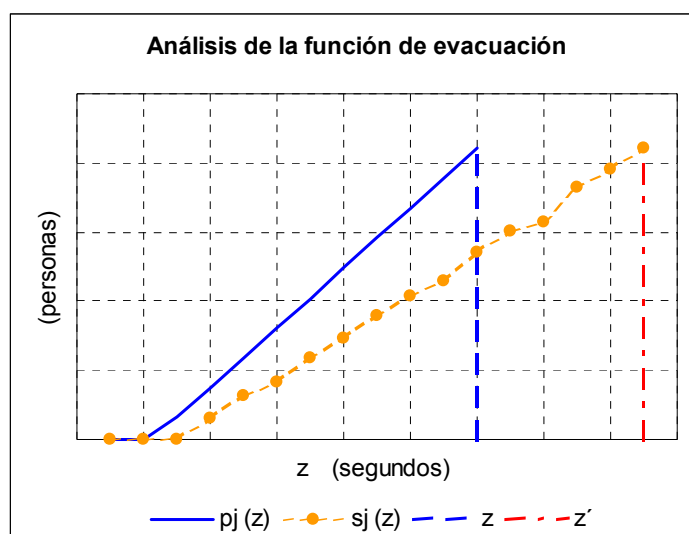


Figura 6.22 Diferencias función de evacuación primer caso

En el diagrama de análisis de la función de evacuación representado en la figura 6.22 correspondiente al primer caso puede observarse el punto de discontinuidad inicial que

indica el instante en que se producen las primeras salidas. Resulta evidente la existencia de discordancia en ambas funciones, indicando la posible diferencia entre las velocidades de circulación teóricas y reales, de la misma forma que la diferencia de pendientes en las funciones $p_j(z)$ y $s_j(z)$ indica que los flujos de salida son distintos, como consecuencia, para la evacuación de un mismo número de personas da lugar a un tiempo de evacuación mayor. El instante en que finaliza la evacuación es el punto final de las funciones, visualizado en el gráfico mediante el trazado de una línea discontinua hasta cortar el eje de abscisas.

Existen oscilaciones en las salidas en todos los intervalos, estas oscilaciones se manifiestan de forma más pronunciada en los últimos periodos, si bien se observa que se produce el “efecto tapón”, sencillamente en la vía de evacuación un determinado grupo de personas se desplaza a una velocidad inferior a la del resto de ocupantes impidiendo su paso y originando un flujo escaso a lo largo de uno o varios periodos que se recupera de forma inmediata en los periodos siguientes, esto se observa en esta representación mediante desviaciones en forma de apéndices como el que se ha mostrado en los instantes finales de la evacuación, en la parte superior del gráfico.

En la figura 6.23, en el diagrama de análisis de flujos, se observa que el instante en el que se inicia la evacuación supera el valor calculado, con ello se prueba que la velocidad de desplazamiento de los ocupantes es inferior a la utilizada en los cálculos. En la segunda observación el flujo en los periodos que dura la evacuación es inferior al supuesto, en cuyo caso, el tiempo necesario para salir x_j personas será mayor al calculado $z' > z$, el tiempo de evacuación viene determinado por el instante final del periodo con un valor de flujo positivo. Finalmente en esta figura se observa una oscilación aleatoria en todos los periodos, y el “efecto tapón”, existiendo en un periodo muy pocas salidas que se recuperan de forma inmediata en los periodos siguientes.

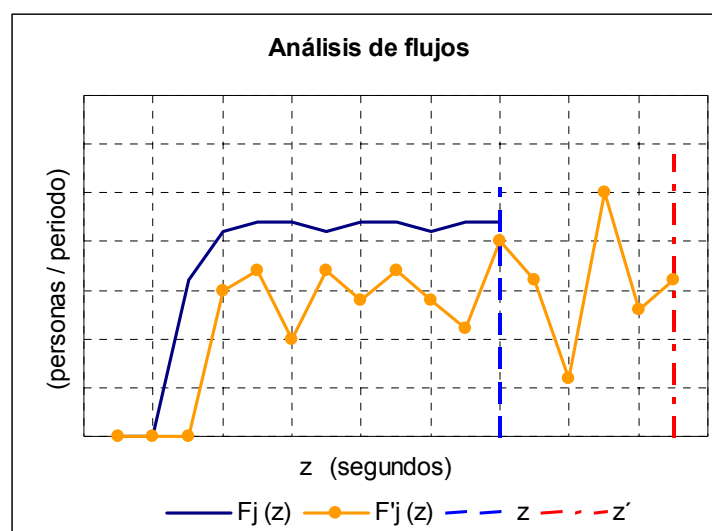


Figura 6.23 Comparación de flujos primer caso

El gráfico 6.24 corresponde a la evolución cronológica de las diferencias entre $p_j(z)$ y $s_j(z)$, en él puede observarse que se trata de una función creciente que en cada periodo

va incrementando la diferencia entre las salidas previstas y las que realmente se han producido.

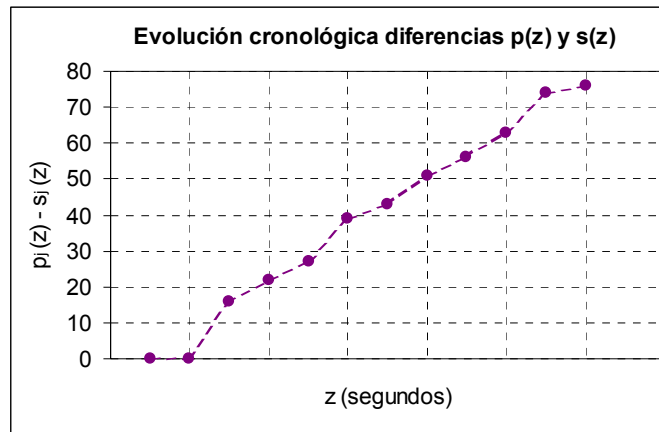


Figura 6.24 Análisis de diferencias en la función de evacuación inversa primer caso

El último de los gráficos correspondiente al análisis de la evolución cronológica de las diferencias $F_j(z)$ y $F'_j(z)$ muestra una desviación constante y positiva en los flujos, indicando que el flujo de salida en todos estos periodos es inferior al supuesto inicialmente en los cálculos.

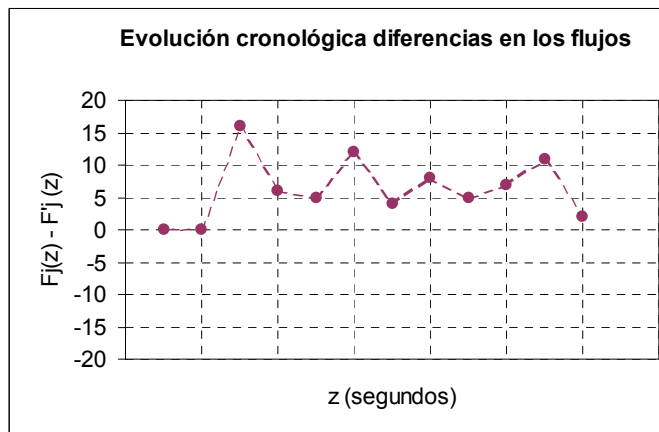


Figura 6.25 Análisis de diferencias de flujos primer caso

Para el segundo caso se utiliza la representación compacta de la figura 6.26, lo que facilita la observación conjunta de las cuatro herramientas gráficas, en ellas puede observarse como la velocidad de circulación y los flujos que se producen son superiores a los previstos, con lo que el tiempo de evacuación es sensiblemente inferior.

De igual forma, se observa al comparar la función de evacuación con las salidas registradas, que la línea correspondiente a las salidas que se producen está por encima de la línea teórica de la función de evacuación. La similitud observada entre las gráficas de ambos casos, permite establecer que el gráfico de diferencias en los flujos discurrirá como una secuencia de valores paralela al eje de abscisas centrada en un valor negativo, y la gráfica de diferencias de las salidas con la función de evacuación generará una línea de pendiente negativa situada en el cuarto cuadrante.

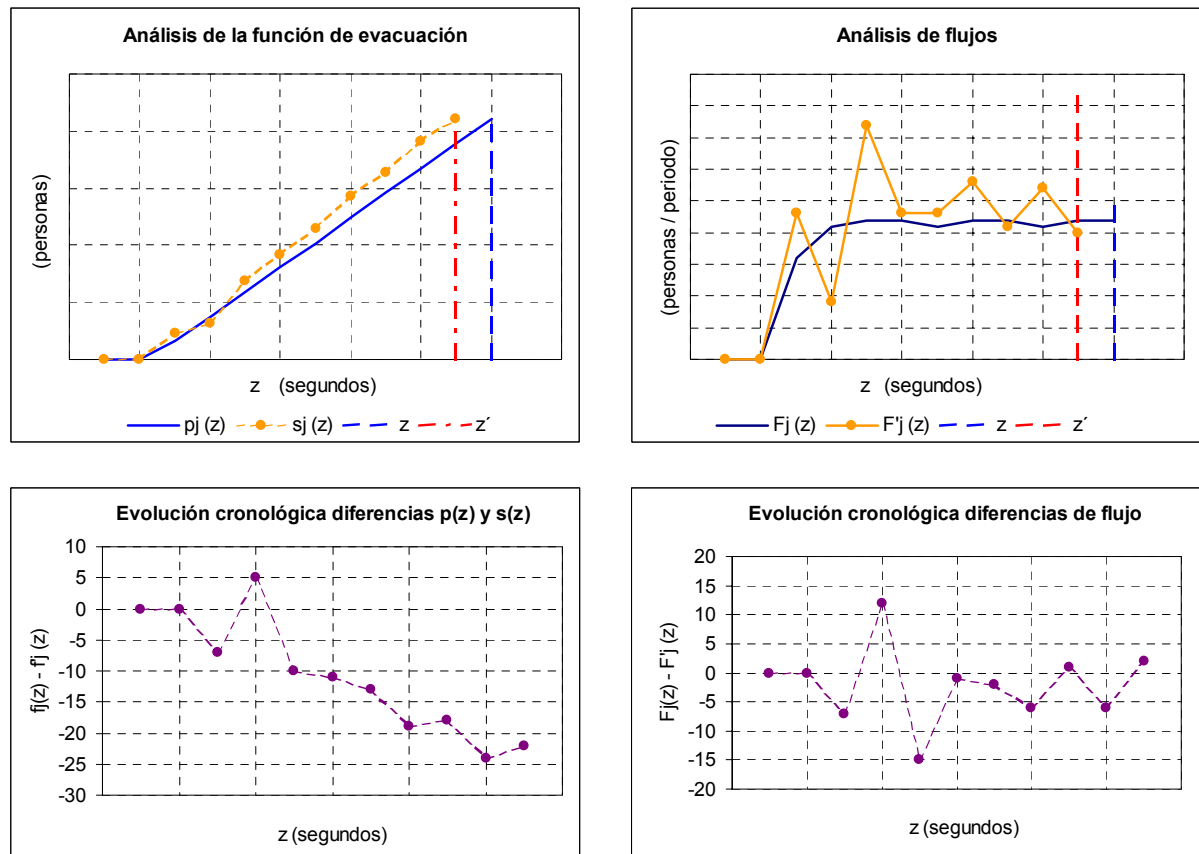


Figura 6.26 Análisis segundo caso

6.5.3 Densidad de ocupación inferior a la prevista

En algunos de los ensayos realizados y su posterior ajuste de las magnitudes de locomoción, velocidades y flujos, se obtenían distintos resultados. Pudo comprobarse que el problema radicaba en la estimación de la densidad, una vez ajustada la misma fue posible la realización de más ensayos, en los que se logró una absoluta coincidencia de ambas funciones.

En la figura 6.27 la gráfica de la función de evacuación muestra como las salidas del recinto se producen antes de instante previsto en la función de evacuación inversa, si bien el número de personas que abandonan el recinto periodo a periodo es inferior al valor previsto, efectivamente si para determinar la función de evacuación se realizó un pronóstico de una densidad de ocupación superior, ello dio lugar a una velocidad de circulación inferior y un valor del flujo superior de los que realmente se producen.

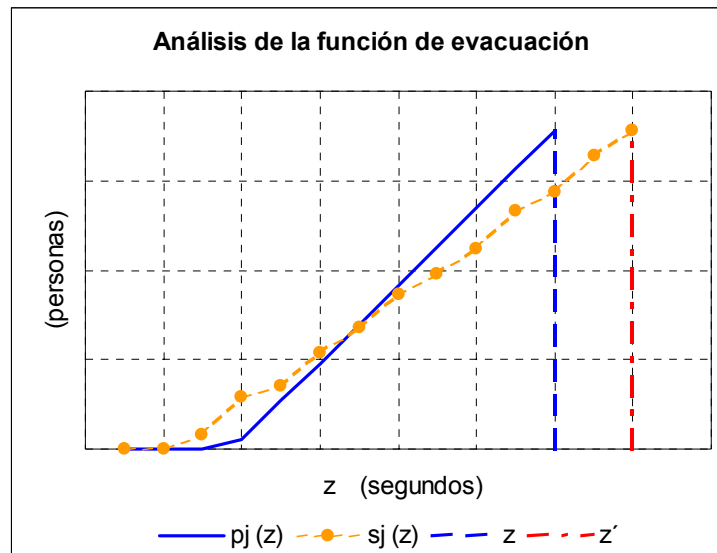


Figura 6.27 Análisis función de evacuación

Mediante el diagrama de análisis de flujo representado en la figura 6.28 también puede identificarse esta situación al realizar el mismo análisis que en el caso anterior, sin embargo con dicha gráfica la situación posiblemente no sea visualmente tan clara como en el gráfico anterior.

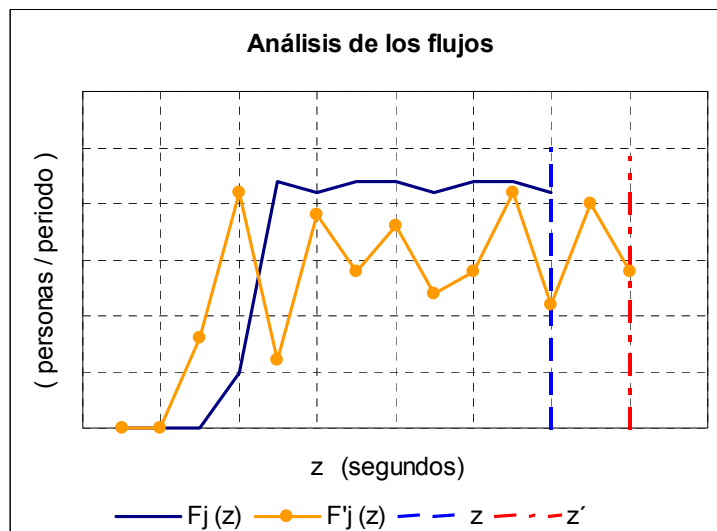


Figura 6.28 Análisis de flujos en una situación de diferencia en las densidades

La aportación del gráfico de diferencias 6.29 posiblemente sea menos relevante, simplemente se observa que el gráfico de las diferencias $e_j(z)$ tiene forma de “v”.

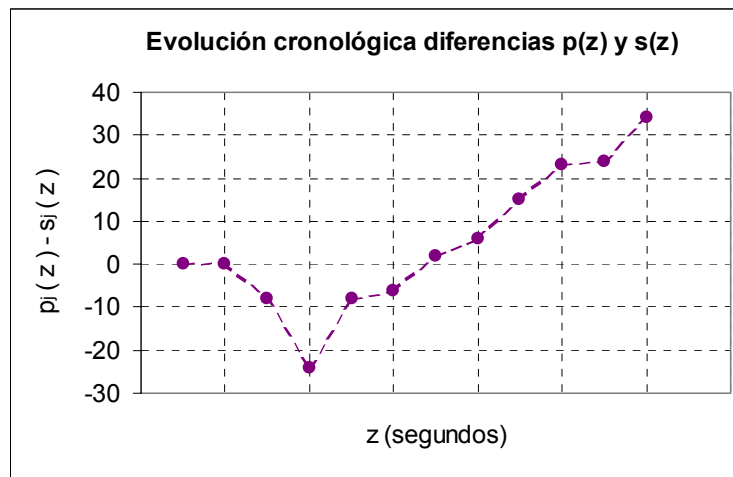


Figura 6.29 Análisis en la función de evacuación

En el gráfico de diferencias $\varepsilon_j(z)$ según figura 6.30 la situación también resulta característica, valores iniciales nulos, valores negativos y luego positivos, siendo dicha oscilación entre valores negativos y positivos lo más característico.

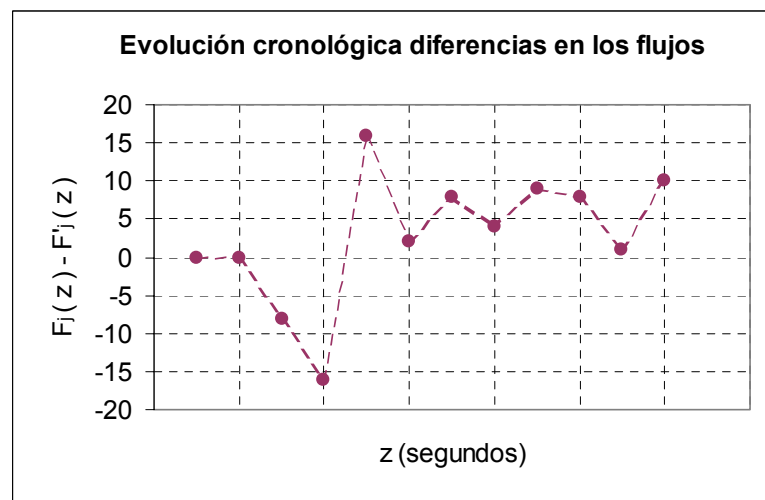


Figura 6.30 Análisis en la función de evacuación

6.6 VERIFICAR QUE LA ASIGNACIÓN REALIZADA CORRESPONDE CON LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

Una parte del proceso de validación consiste en verificar que el número de personas asignadas a cada una de las salidas conduce a la solución óptima del problema, para ello, se realiza la verificación sobre la prueba de coincidencia de tiempos, la función de evacuación inversa y el análisis de flujos.

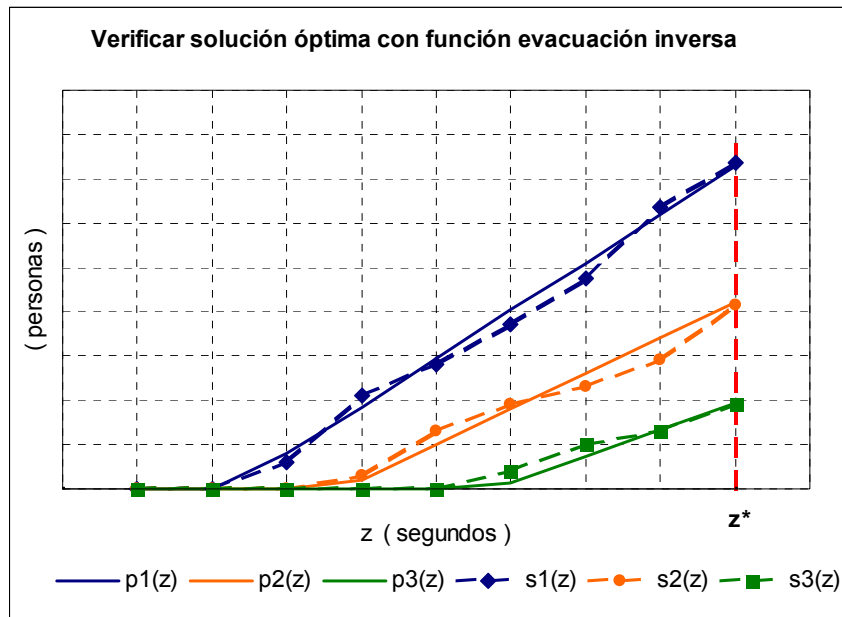


Figura 6.31 Función de evacuación inversa: Asignación óptima

Verificar que la solución óptima a partir de la **coincidencia de tiempos de evacuación** conduce a observar que los tiempos de evacuación son idénticos en cada una de las salidas cuando no existen restricciones de capacidad en las mismas o sencillamente no llegan a alcanzarse, resulta trivial dado que al realizar los cálculos ya se estableció esta condición. En cualquier caso puede reflejarse mediante la siguiente expresión:

$$t_1(x_1) = t_2(x_2) = \dots = t_j(x_j) = z^* \quad (6.30)$$

6.6.1 Análisis de la solución óptima mediante las funciones de evacuación inversas

Para verificar que la asignación realizada corresponde a una solución óptima se representan en una misma gráfica las funciones de evacuación inversas de cada una de las salidas $p_j(z)$ conjuntamente con las funciones de las salidas $s_j(z)$. A través de dicha representación debe comprobarse que la secuencia de salidas que se producen conduce a la coincidencia en el punto final de la función, verificando conjuntamente la validez de las funciones de evacuación $p_j(z)$ y que se trata de una solución óptima.

En la figura 6.31 puede observarse como la asignación realizada a cada una de las salidas conduce a la solución óptima del problema. Un aspecto destacado de dicha gráfica es la similitud de las funciones $s_j(z)$ y $p_j(z)$, tan solo se observan ciertas oscilaciones aleatorias en las salidas, en este caso debe concluirse que los modelos de locomoción de las salidas son correctos y que las asignaciones realizadas también lo son, contrariamente cuando la asignación realizada no conduce a la solución óptima y las funciones de salidas $s_j(z)$ discrepan del modelo $p_j(z)$ se produce una situación como la planteada en la figura 6.32. En ella puede observarse como las magnitudes de locomoción de la salida 1 son superiores a las previstas, inferiores en la salida 2 y certeramente ajustadas en la

salida 3, ésta es una situación ciertamente singular, normalmente los desajustes se manifiestan de forma similar en cada una de las salidas. La discrepancia en los tiempos de evacuación es notable, viniendo el tiempo de evacuación en cada salida z'_1 , z'_2 y z'_3 determinado por el punto final de la función de salidas $s_j(z)$.

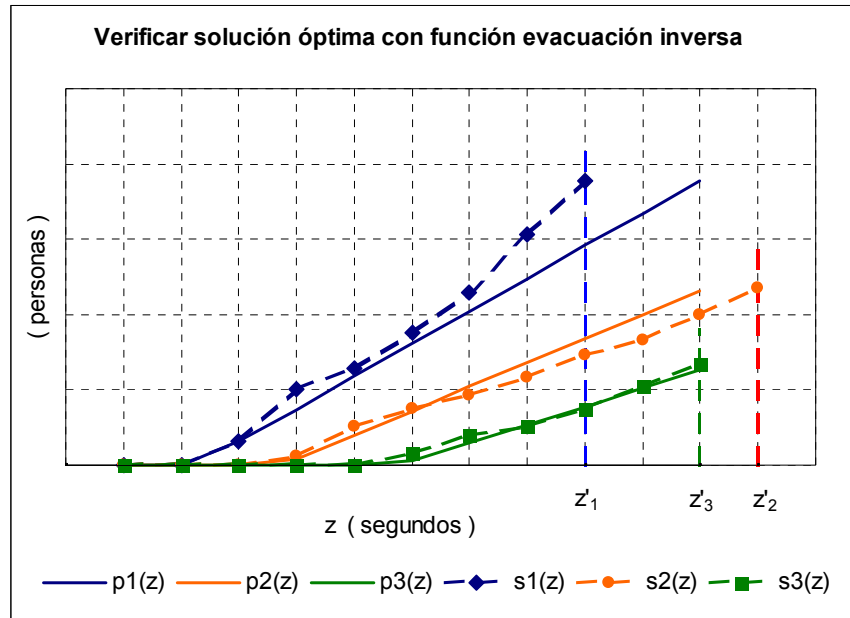


Figura 6.32 Función de evacuación inversa: Discrepancias en la solución óptima

Es importante observar la disciplina de los ocupantes, véase que se dirigen a cada salida el número de personas establecido, lo que se observa porque existe coincidencia en las ordenadas en el punto final de las funciones experimentales $s_j(z)$ y función de evacuación inversa $p_j(z)$.

6.6.2 Análisis de la solución óptima mediante el estudio de los flujos de salida

Procediendo de forma similar al caso anterior, se trata de representar conjuntamente en una sola gráfica los flujos previstos $F_j(z)$ y los que realmente se producen en cada una de las salidas $F'_j(z)$, mediante dicha representación se debe observar la coincidencia de la secuencia de valores hasta el punto final de ambas funciones. En la figura 6.33 puede observarse una situación en la cual dicha coincidencia prácticamente se produce. En esta representación no puede apreciarse si el número de personas que han utilizado la salida se corresponde con la asignación óptima. El total de personas que han utilizado una salida corresponde a la suma de todos los valores representados, lo que no es una magnitud inmediata, se obtiene tras la suma de los valores de cada intervalo. Nuevamente en este caso deben manifestarse las ventajas que comporta la utilización de las gráficas correspondientes al análisis de la función de evacuación.

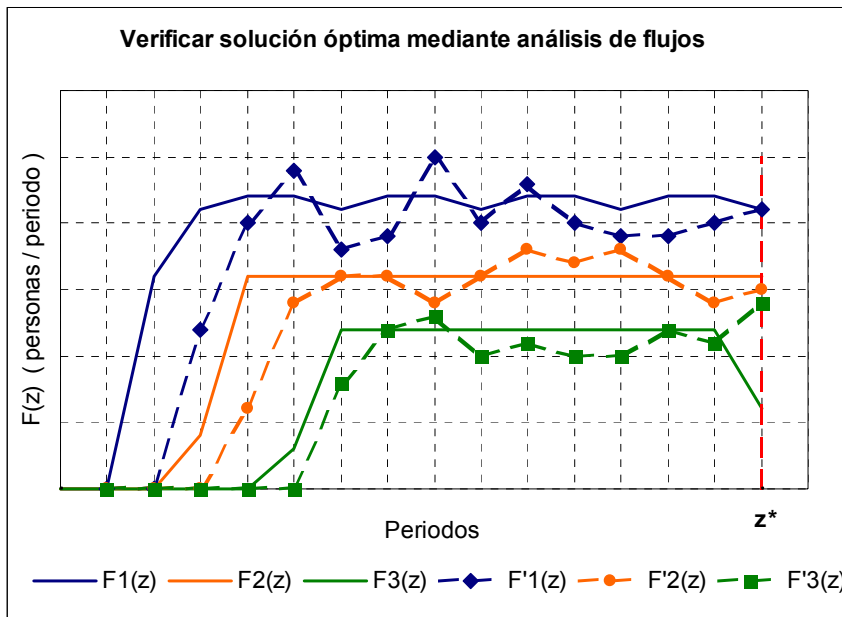


Figura 6.33 Análisis de flujos: Solución óptima

Cuando se producen diferencias entre la asignación realizada y el número de personas que utilizan cada salida, da lugar a una situación como la representada en la figura 6.34, en la que se observa que existen desviaciones en los flujos y no se obtiene una solución óptima.

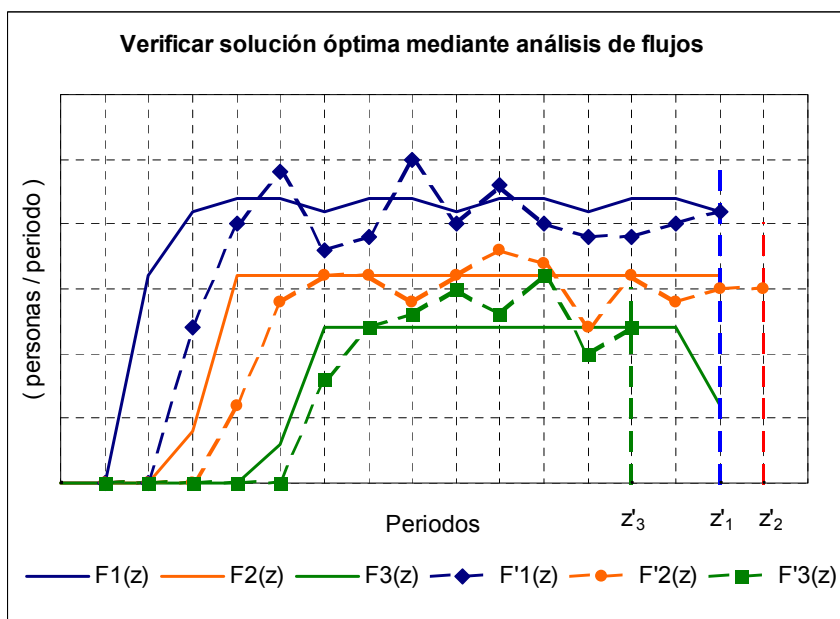


Figura 6.34 Análisis de flujos: Discrepancias en la solución óptima

6.7 VERIFICAR OTROS SUPUESTOS DEL MODELO

Al definir el sistema de evacuación se contemplan una serie de aspectos cualitativos que deberían valorarse de la forma más rigurosa posible, entre estas cuestiones pueden citarse las posibles demoras en el inicio de la evacuación, la formación de grupos, las di-

ficultades de circulación en las vías de evacuación, la actitud adoptada por lo ocupantes en los simulacros, etc. se trata pues de un conjunto de incidencias que influyen decisivamente en las evaluaciones cuantitativas descritas en los apartados anteriores, se puede pensar que una función de evacuación es válida y sin embargo opinar las personas que han participado en un simulacro y los responsables de la evacuación del recinto, que el desplazamiento hacia la salida ha sido muy lento, asegurando que podría haberse realizado de forma mucho más efectiva. En estos casos habría que analizar si la función de evacuación inicialmente considerada como aceptable realmente lo es. Una forma de conocer estos aspectos son las encuestas a las personas que participan en los simulacros así como los informes de los responsables de coordinación de los mismos.

Existen otras formas de estudiar el desarrollo de los simulacros, una de ellas es la filmación de la situación y posteriormente analizar el desenlace del simulacro, es indudablemente una forma que posibilita un estudio detallado de la situación ya que la valoración de la situación la realizan personas posiblemente más expertas que si se dejan las valoraciones en manos de los participantes. El problema de esta fórmula está en los medios que se precisan para implantarla ya que resulta mucho más costosa. Por el planteamiento que se hace de la situación se le concede una notable importancia a las opiniones de los participantes en los simulacros, entonces se deben contrastar en cada uno de los aspectos considerados la valoración que realizan de forma independiente los participantes y la de los responsables de la evacuación y luego proceder a analizar coincidencias y resolver posibles discrepancias. Este planteamiento de la situación se resume en la tabla 6.2, la doble entrada de la misma debe conducir a analizar los aspectos contemplados en el sistema que se ha decidido valorar.

		Valoraciones participantes simulacro				
		Ubicación	A	B	C	D
Informe responsables coordinación simulacro	A					
	B					
	C					
	D					
					
					

Tabla 6.2 Proceso de verificación de valoraciones en simulacros de evacuación

En el anexo 3 se muestra el modelo de encuestas utilizadas para valorar simulacros de evacuación y de los informes de los responsables de cada zona denominados coordinadores de evacuación.

