

ESTUDIO DEL ESCENARIO EN QUE SE EVALÚA LA PROPENSIÓN A FALLAR (PF)

Ing. Arturo Juan Bignoli

Presidente de la Academia Nacional de Ingeniería. Ex presidente de la ANCEF. Fellow "Institution of Structural Engineers" (UK). Doctor "Honoris Causa" UNT. Prof. Honorario UBA – UNC. Prof. Emérito UCA

Resumen

Se presentan algunas propiedades características del escenario en que se evalúa la Propensión a Fallar (PF) de un sistema estructural incluido en un Universo de "holones" (A. Koestler) interactuantes entre sí e influyentes sobre el evento "falla" (F). Todas las calificaciones de importancias, interacciones e influencias referidas a los "holones" son inciertas y deben calificarse subjetivamente por consenso de expertos. Las situaciones y parámetros a que se hace referencia en el trabajo, ya presentados en trabajos anteriores, así como la forma lógica de la evaluación de la Falla (F), con ínfimo recurso matemático, son:

- Situaciones "óptima" y "pésima" de (PF)
- Situaciones de "mayor Vulnerabilidad"
- "Grado de vulnerabilidad"
- Situaciones de "mayor robustez"
- "Grado de robustez"
- "Grados de dependencia" de 1° y 2° tipo
- "Grado de aceptabilidad"

Se analizan relaciones entre ellos, útiles para ingenieros estructurales.

Abstract

In this paper, some characteristic properties are shown of the scenario in which (PF) of a structural system included in an Universe of self interacting "holons" which also represent an influence on the event "failure" (F), are assessed.

All qualifications of importances, interactions and influences which are referred to "holons" are uncertain and should be classified subjectively by consent of experts.

Situations and parameters which are mentioned in this paper and were mentioned in previous papers, as well as the logic process of assessment of (PF), with minimal use of mathematical resources, are:

- "Best" and "Worst" situations of (PF)
- "High Vulnerability" situations
- "Vulnerability degree"
- "High robustness" situations
- "Robustness degree"
- "Dependence degrees" of 1° and 2° type
- "Acceptance degree"

Also, relations among them are evaluated, which are useful for structural engineers.

1. Introducción.

En un trabajo anterior, expuesto en estas mismas XX^{as} Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural¹ he expuesto como proceder, para evaluar la Propensión a fallar de un sistema estructural (PF).

Estando el sistema estructural dentro de un Universo (U), que también es un sistema formado por una infinidad de “holones”² que interactúan entre sí e influyen sobre el acontecimiento falla (F), se hace indispensable elegir un escenario (E) con la menor cantidad de “holones” que puedan dar información sobre el (U). Esta información resulta ser incierta por la cantidad de “holones” y además porque gran cantidad de ellos debe calificarse subjetivamente y con adjetivos calificativos, no con adjetivos numerales cardinales. Se vio también que esto último hace necesaria la intervención de expertos que logren un consenso.

Se intercalan figuras de nuestro trabajo antes citado para ayudar a la memoria.

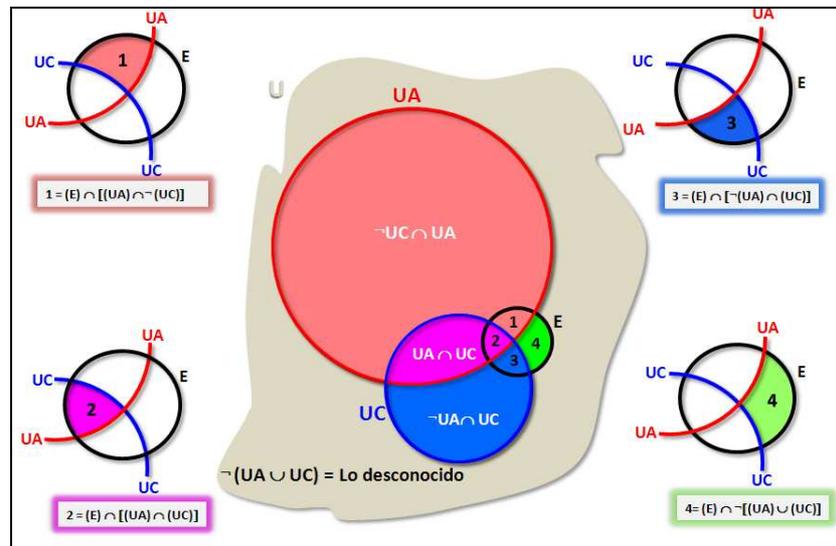


Figura 1 – El Escenario

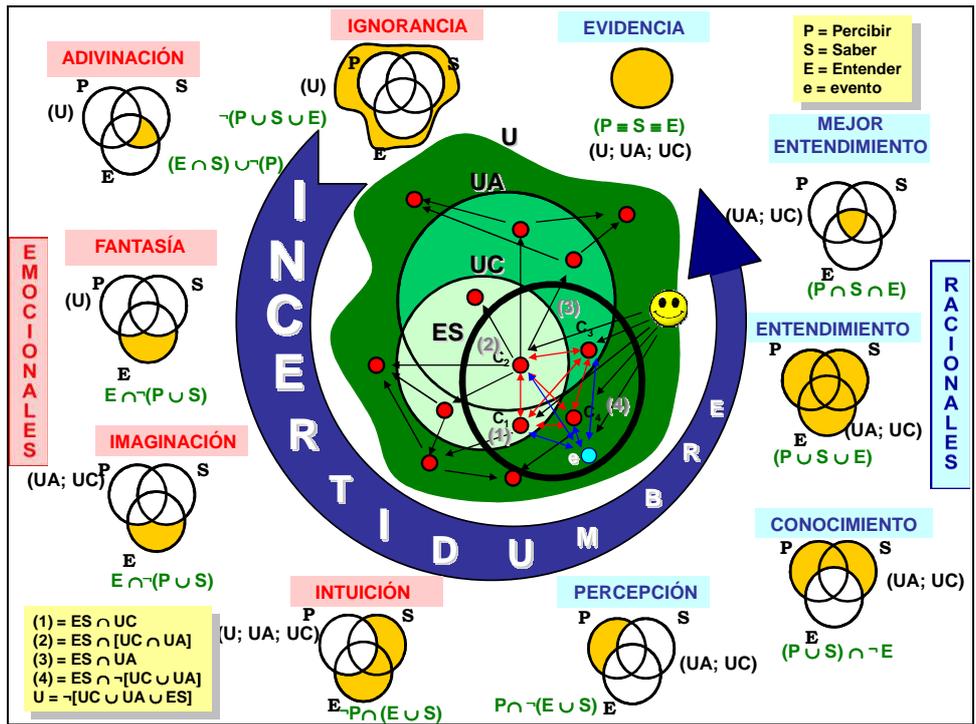


Figura 2 – Incertidumbres

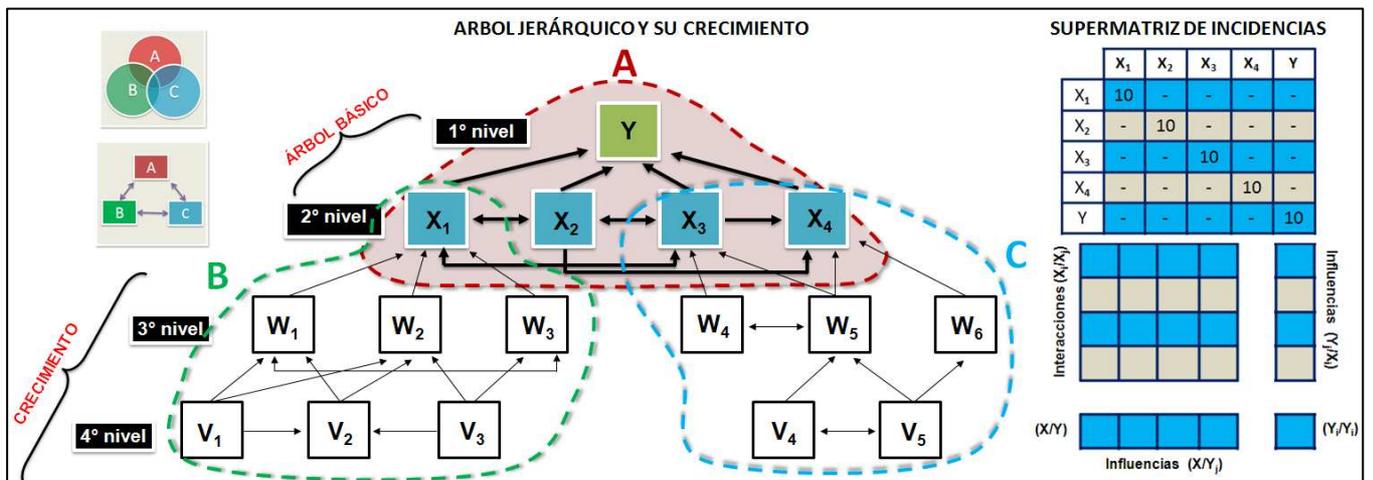


Figura 3 – Árbol Jerárquico, su crecimiento y supermatriz de incidencias

En esta presentación se estudian algunas propiedades del (E), vinculándolas al resultado final.

2. Propiedades del escenario.

Forman el (E) cuatro “holones”, a saber:

- X₁= Entorno;
- X₂= Acciones;

X_3 = Estado del Sistema estructural;
 X_4 = Lo ignorado.

De ellos debemos conocer:

a) su importancia, entendiendo por tal, su “contenido de (F)”. Tratamos de explicarnos con un ejemplo simple. Si (F) fuera “Fabricar una tonelada de dulce de manzana” e X = “cantidad de manzanas” y tuviéramos 200 manzanas, diríamos que X es “mucho menor que pequeño”= 0. Si en cambio (F) fuera “preparar una compota de manzanas para tres personas”, diríamos que X es “mucho mayor que grande”=10. Pero si no supiéramos numéricamente, cuantas manzanas tenemos, sino simplemente que son muchas, porque tenemos esta calificación subjetiva de “alguien a quien le contaron y nos resulta confiable”, daríamos las mismas calificaciones a X en los dos casos anteriores. La diferencia está en que ahora las calificaciones son más inciertas. Para disminuir la incertidumbre deberíamos estudiar mas el tema, investigar; hacer crecer el (AJ) hacia abajo, como muestra la figura anterior, es decir buscar mas detalles para aclarar el concepto, la idea.

b) las interacciones entre las X, entendiendo por tales como puede cada X modificar a las calificaciones de las otras por su presencia y calificación

Cada X interactúa consigo misma con la máxima calificación. Estas calificaciones de interacciones son condicionales; escribimos por lo tanto en la forma habitual $X_{1;3}=X_1/X_3$, que lee X_1 , dado X_3 . Este condicionamiento de la calificación de X_1 a la de X_3 , si no hubiese incertidumbres, que no es el caso, sería una función determinística que da X_1 para diferentes valores de X_3 . En el caso presentado con anterioridad¹ se ha adoptado una serie de funciones lineales, aceptables dadas las incertidumbres existentes.

c) las influencias de las X_i sobre el acontecimiento (F), también son calificaciones condicionales, $(F) = (F/X)*(X)$ y se manejan como las anteriores, salvo que estas ultimas no son reflexivas.

d) las dependencias.

Las interacciones y las influencias crean dependencias. Entre las X las primeras y de la(F) respecto de las X las segundas, responden a dos conceptos diferentes:

A las primeras, entre las interacciones, las llamamos D_1 , son reflexivas, pero pueden no ser simétricas. En su conjunto las 16 calificaciones hacen que las X actúen como si fueran un equipo, con un plan de acción preestablecido, una estrategia. Ninguna de las X es causa de otra, pero todas actúan como un bloque, que para determinadas importancias de las X , que son circunstancias, dan lugar a una situación (que también es un sistema) en la que se trata de evaluar (F) para las X consideradas. En las figuras intercaladas antes, puede verse esto en forma de un árbol jerárquico(AJ).

Puede atribuirse a la situación un grado de dependencia GD_1 igual a la suma de todas las GD_1 , dividido por 160, que corresponde al caso de que todos los valores

de interacciones se califiquen con 10. Este es el mayor (M) $GD1=MGD1=1$. El menor (m) corresponde al caso de que las X sean independientes, es decir que no haya interacciones entre ellas, en cuyo caso $GD1=MGD1=40/160=0.25$.

Las influencias de cada X sobre F se agrupan en una matriz de 4×1 y se tiene por lo tanto $MGD2=1 > GD2 > 0 = mGD2$.

3. Las calificaciones.

Siendo la mayor parte de los “holones” afectados por incertidumbres, sus calificaciones no pueden ser nítidas.

Deben ser inciertas y subjetivas, razón por la que debe consultarse a expertos para que lleguen a un consenso, disminuyendo así la subjetividad. La incertidumbre puede variar, pero no desaparecer.

a) Experto, es quien puede acreditar fehacientemente, haber resuelto con éxito problemas del mismo tipo que el que se le propone. Cada experto (si se convocan tres), califica cada circunstancia (X p. ej.), con una calificación mayor; (MX) y una menor (mX). La diferencia entre ambas $[(MX) \sim (mX)]$ es un intervalo de calificaciones lingüísticas que expresa la incertidumbre de cada experto.

Se utilizan para calificar las expresiones lingüísticas de la Tabla siguiente, usando el cero y los diez números siguientes hasta 10, considerándolos como adjetivos calificativos, como es práctica corriente en la enseñanza, en todos sus niveles.

Tabla 1 - Escala de calificaciones

Calificación Lingüística	Símbolo	Signo numérico
Mucho menor que pequeña	- - p	0
Menor que pequeña	- p	1
Pequeña	p	2
Mayor que pequeña	+ p	3
Menor que mediana	- m	4
Mediana	m	5
Mayor que mediana	+ m	6
Menor que grande	- g	7
Grande	g	8
Mayor que grande	+ g	9
Mucho mayor que grande	+ + g	10

b) Consenso. Se entiende como tal el intervalo entre el mayor de los tres (MX) y el menor de los tres (mX). Cada experto califica independientemente de los otros dos, para evitar interferencias. Si hubiese una calificación muy diferente de las otras dos, puede darse al experto que la emitió, la oportunidad de una revisión y tener así un consenso con menor incertidumbre residual.

4. Las matrices y su corrección.

a) de interacción. Habiendo cuatro “holones” hay una matriz (4x4) para las 16 calificaciones [M(X/X)] y otra igual para las 16 [m(X/X)].

Cuando pensamos en la calificación de la interacción entre dos “holones”, es habitual que pensemos solamente en ellos, no considerando caminos alternativos que lleguen pasando por interacciones entre otros “holones”. Esto puede salvarse mediante la “Teoría de los efectos olvidados”³ cuya aplicación, similar a un producto matricial, puede verse en los casos de aplicación A, B y C. y en la figura que sigue.

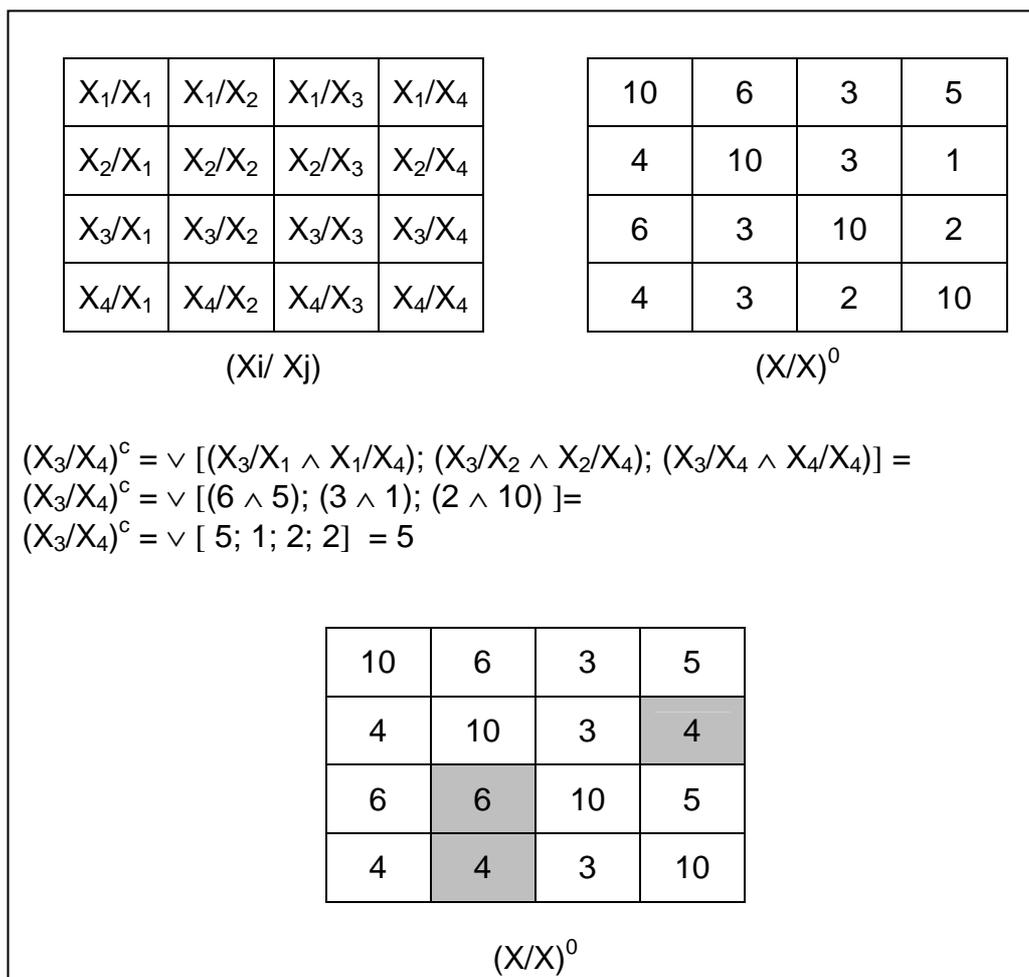


Figura 4

b) de influencia. Hay una de calificaciones máximas [M(F/X)] de dimensiones (4x2) y otra igual de [m(F/X)].

Se corrigen como las anteriores y puede verse en los casos A , B, C, que se indican mas adelante.

5. Las circunstancias del escenario.

Son las cuatro X antedichas que, calificadas sus importancias, junto con las matrices de influencia, dan, para las ocho calificaciones de X y las ocho de (F/X) 16 calificaciones de F, a saber: cuatro MMF, cuatro MmF, cuatro mMF y cuatro mmF.

En todos los casos, la primera eme se refiere a X y la segunda a F/X.

Como ya se dijo antes F/X es una calificación condicionada por X de un valor de F, luego depende del valor X. Se adoptaron funciones lineales, de F/X monótonamente crecientes con X, como se ve en las figuras correspondientes a los casos A, B, y C.

Todas tienen para X= 0 una calificación de F del 20% de la que corresponde a X=10 para la calificación F/X que se adopte.

Con los 16 valores de F se procede estadísticamente, considerando que la mediana (podría ser la moda) de F es la calificación de (PF), o sea de la Propensión a Fallar.

6. La operación que da F en función de X y de F/X

La forma mas simple y rápida es la que indica la figura siguiente

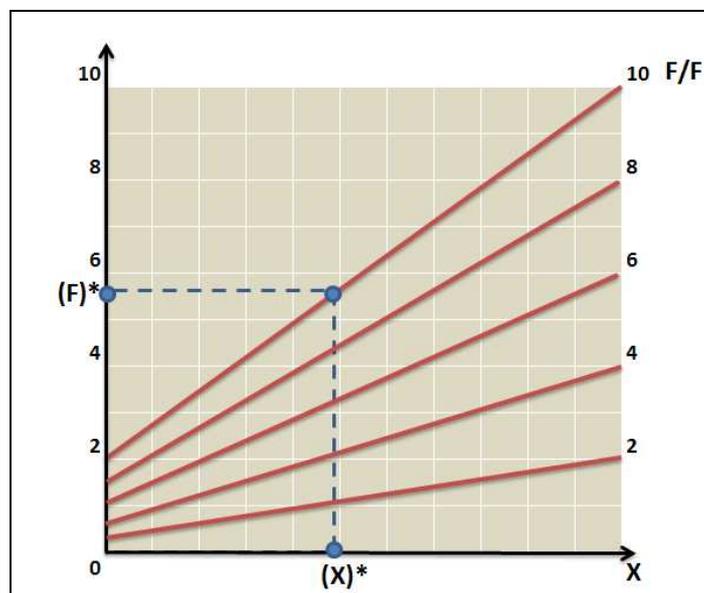


Figura 5 – Obtención gráfica de (F)

La expresión algebraica es:

$$F = [0.20 + 0.08 X] * [F/X] \quad (1)$$

0.20(F/X) que resulta en la expresión anterior, al suponer $X=0$, equivale a que en el origen, sin circunstancias que lo justifiquen, hay un 20% de F/X que constituye un mínimo de F posible. Esto resulta de que se omita algún X incierto o ignorado, como posible.

La operación * gráficamente, da la calificación F que corresponde a la intersección de la vertical de X con la recta inclinada F/X que corresponda.

7.-Varios casos para estudiar propiedades del escenario.

Se consideran varios ejemplos en cada caso.

Como las 16 calificaciones individuales de F, resultan de las calificaciones que se adjudiquen en cada caso las importancias de X, las interacciones X/X y las influencias F/X, se toma en cada caso dos constantes y una sola variable para poner en evidencia como influyen sus variaciones sobre F.

Caso A X constante X/X constante F/X variable

Los resultados de cinco subcasos en que se hace crecer el GD2, es decir el grado de dependencia de las influencias, permiten observar como crecen (PF) y la moda de F, con interacciones X/E invariables (GD1 constante) y la misma situación, (MX y mX constantes).

El "grado de aceptabilidad" GA, para calificaciones límite superior de (PF) 3 o 5 correspondientes respectivamente a "falla total" o "falla parcial o local". Llamamos GA a la cantidad de calificaciones (F) menores o iguales a 3 (mayor que pequeño) o a 5 (mediano), dividida por el total (16 en este caso).

En nuestro caso, se mantiene GA próximo al máximo, que es 1 (uno) dado a que se han elegido X con importancias pequeñas, pero, de todos modos, puede apreciarse la sensibilidad del sistema a las variaciones de F/X, que es lo que se pretendía.

Se observa que aumentando las influencias F/X o GD2 que lo expresa, crece (PF), como era de esperar.

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Tabla 2

CASO	PF	MoF	GD1		GD2		$\Sigma Xi/4$		GA		MF	mF
			M	m	M	M	M	m	F5	F3		
a.1	0.60	1	0.59	0.38	0.20	1.5	3	1.5	1	1	2	0
a.2	0.72	1	0.59	0.38	0.50	1.5	3	1.5	1	1	3	0
a.3	18.3	2;3	0.59	0.38	0.63	1.5	3	1.5	1	0.94	5	3
a.4	2.60	3	0.59	0.38	0.90	1.5	3	1.5	0.94	0.63	7	1
a.5	3.0	3	0.59	0.38	0.80	1.5	3	1.5	0.87	0.50	7	2

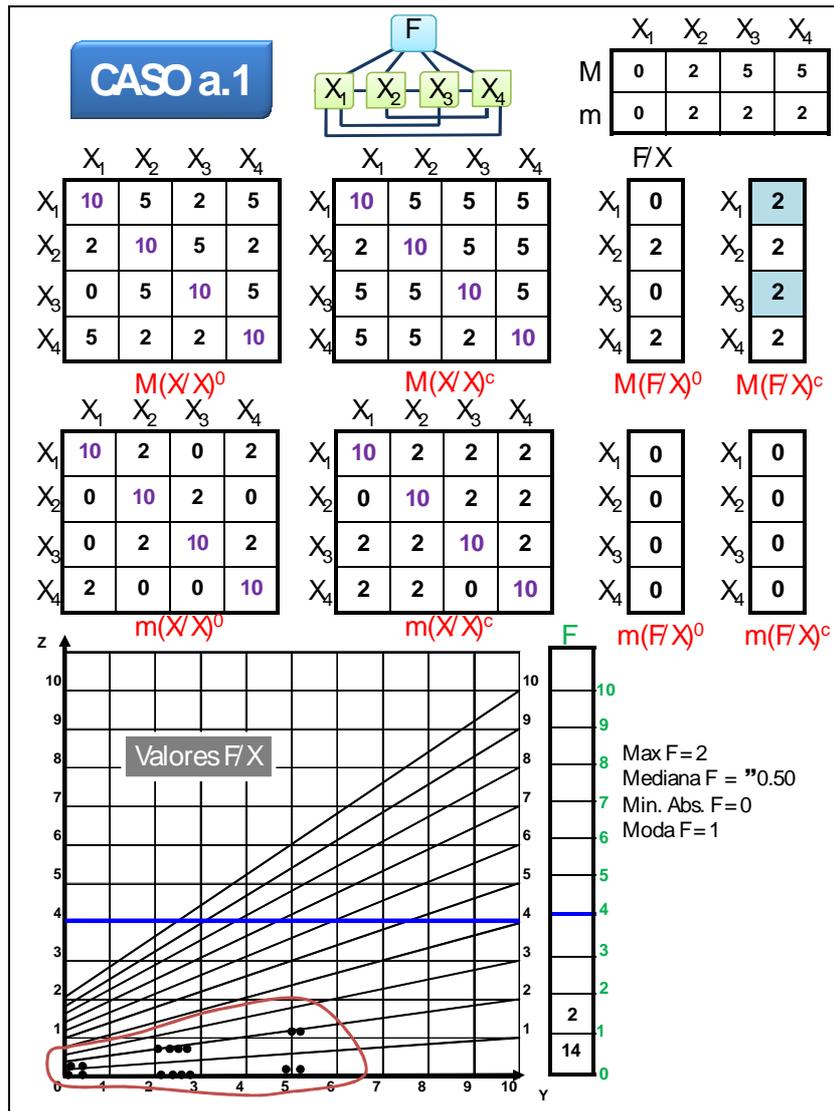
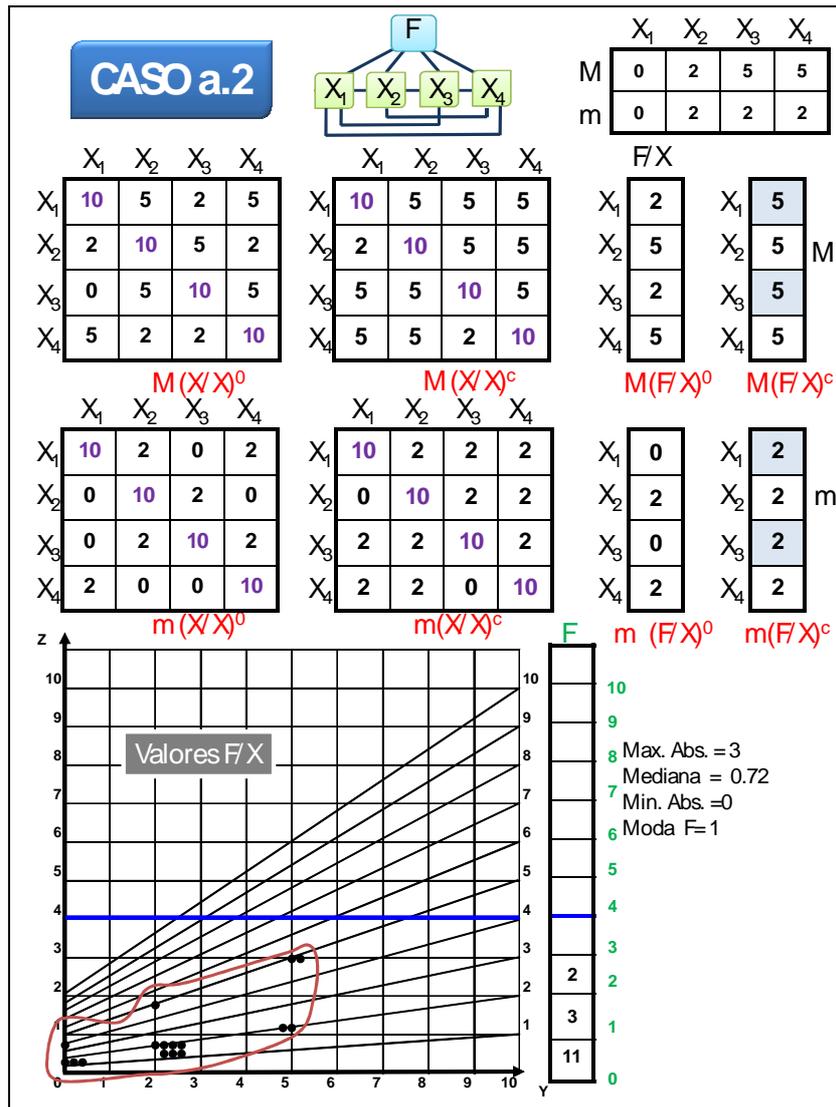


Figura 6



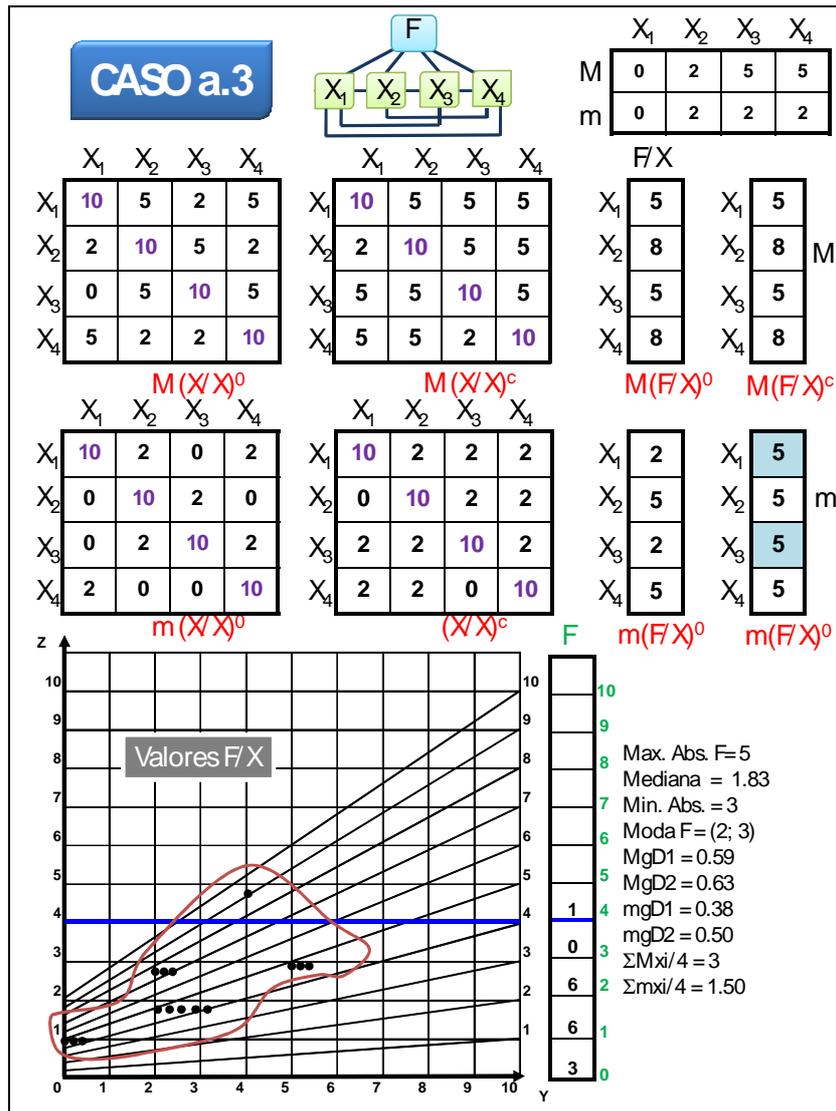


Figura 8

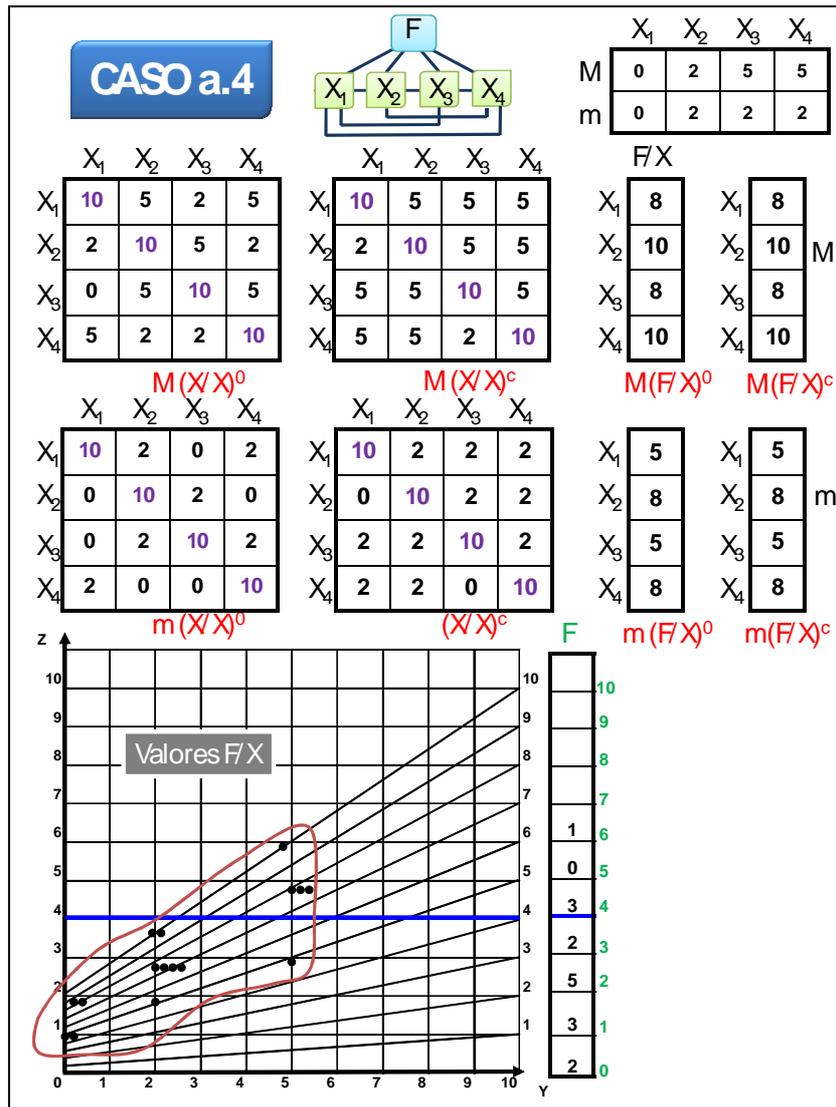


Figura 9

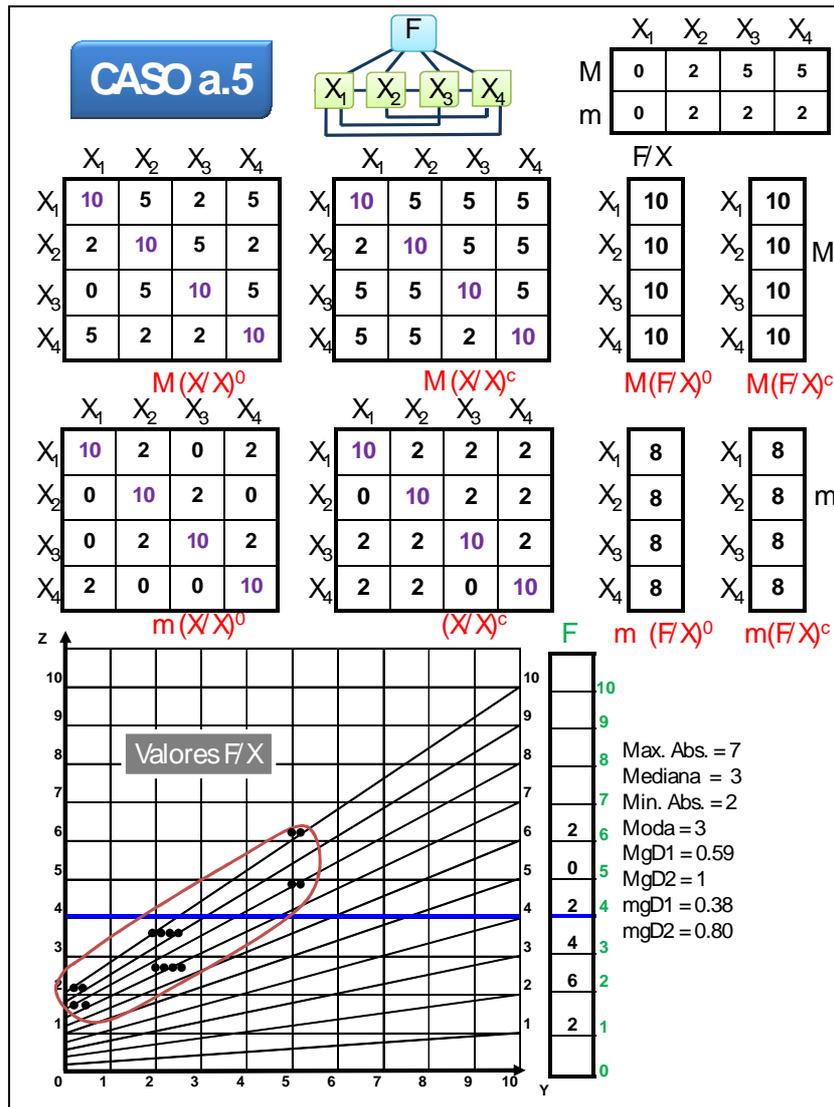


Figura 10

Caso B X constante X/X variable (F/X)^o constante

Se mantiene constante $(F/X)^o$, es decir las calificaciones adjudicadas por consenso de expertos. Pero como en su corrección según K-GA intervienen las X/X corregidas y estas varían, lo hacen como consecuencia las (F/X) finales en algunos casos, como denuncia el GD2 al variar.

Es interesante observar que para las X consideradas, los casos B1 (matriz X/X diagonal), es decir X independientes con $GD1 = 0.25$ que es el valor mínimo y B4 (matriz con $GD1 = 1$ que equivale al mayor grado de dependencia entre interacciones) los resultados son casi iguales.

Tabla 3

CASO	PF	MoF	GD1		GD2		$\Sigma Xi/4$		GA		MF	mF
			M	m	M	m	M	m	FL5	FL3		
b.1	0.90	1	0.25	0.25	0.30	0.10	0.30	0.15	1	1	3	1
b.2	1	1	0.59	0.38	0.50	0.20	0.30	0.15	1	0.81	3	1
b.3	1	1	0.81	0.59	0.50	0.20	0.30	0.15	1	1	3	1
b.4	1	0	1	1	0.50	0.20	0.30	0.15	1	1	3	1

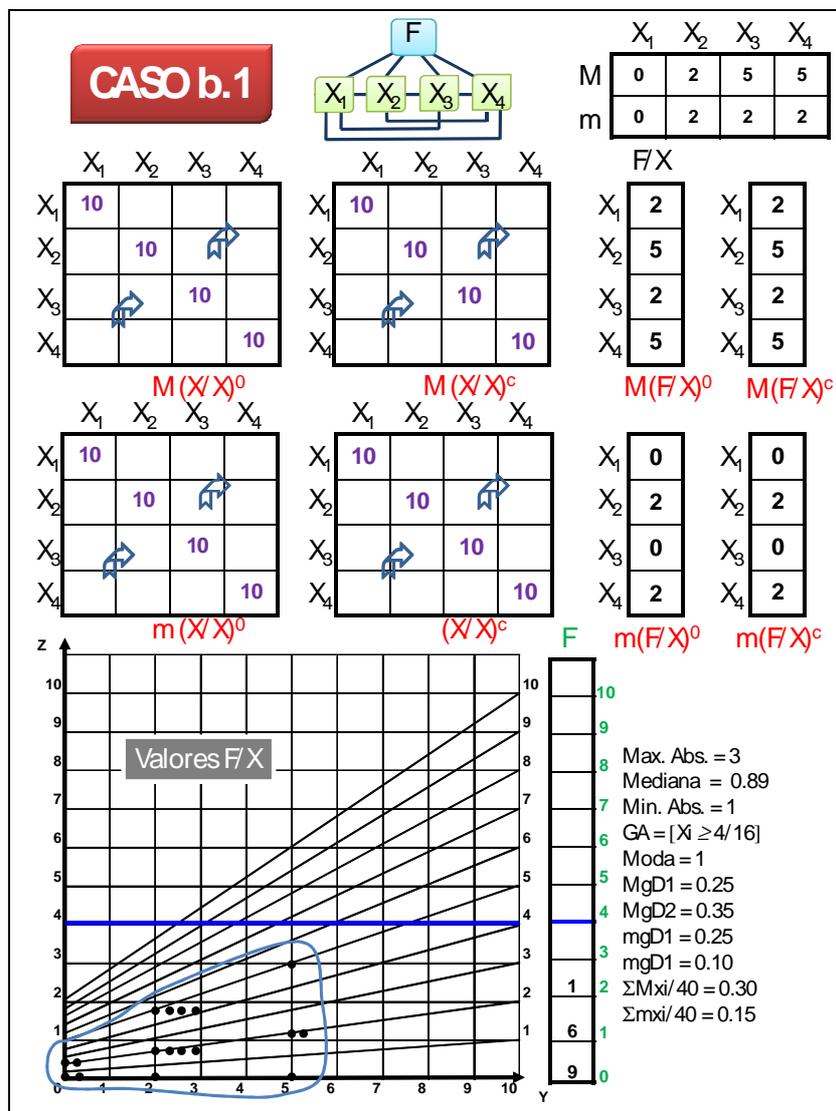


Figura 11

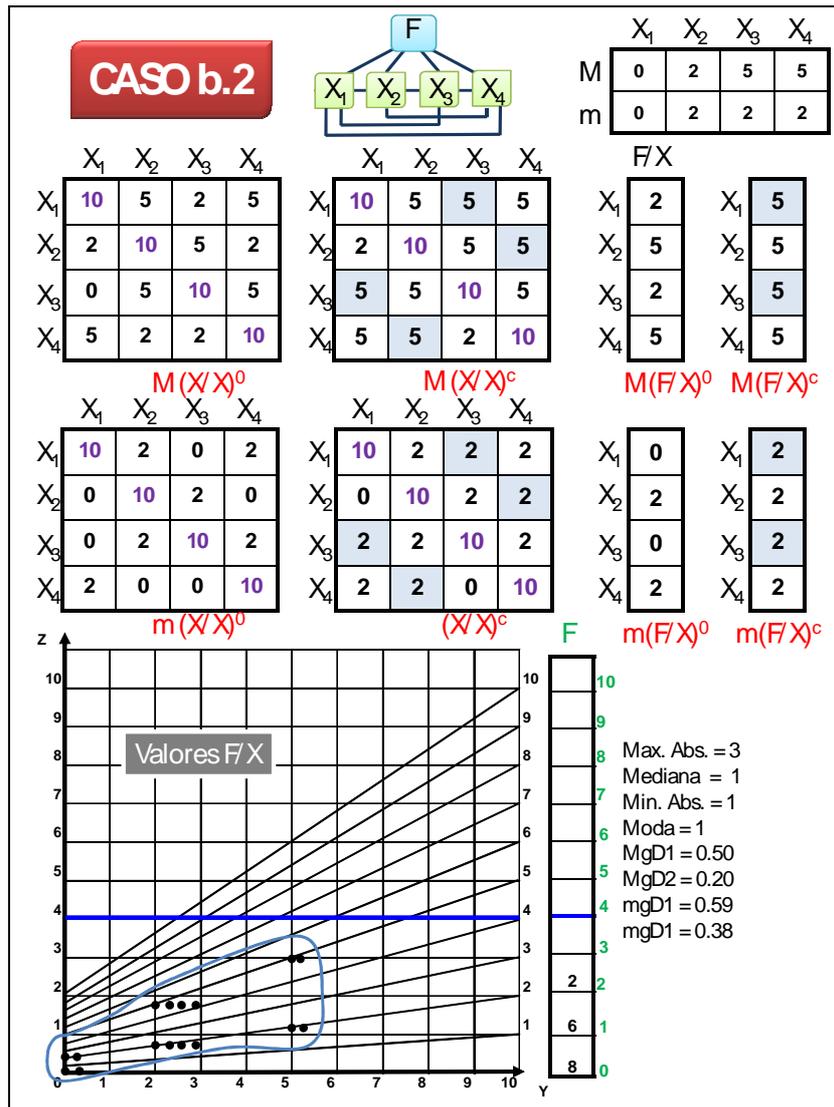


Figura 12

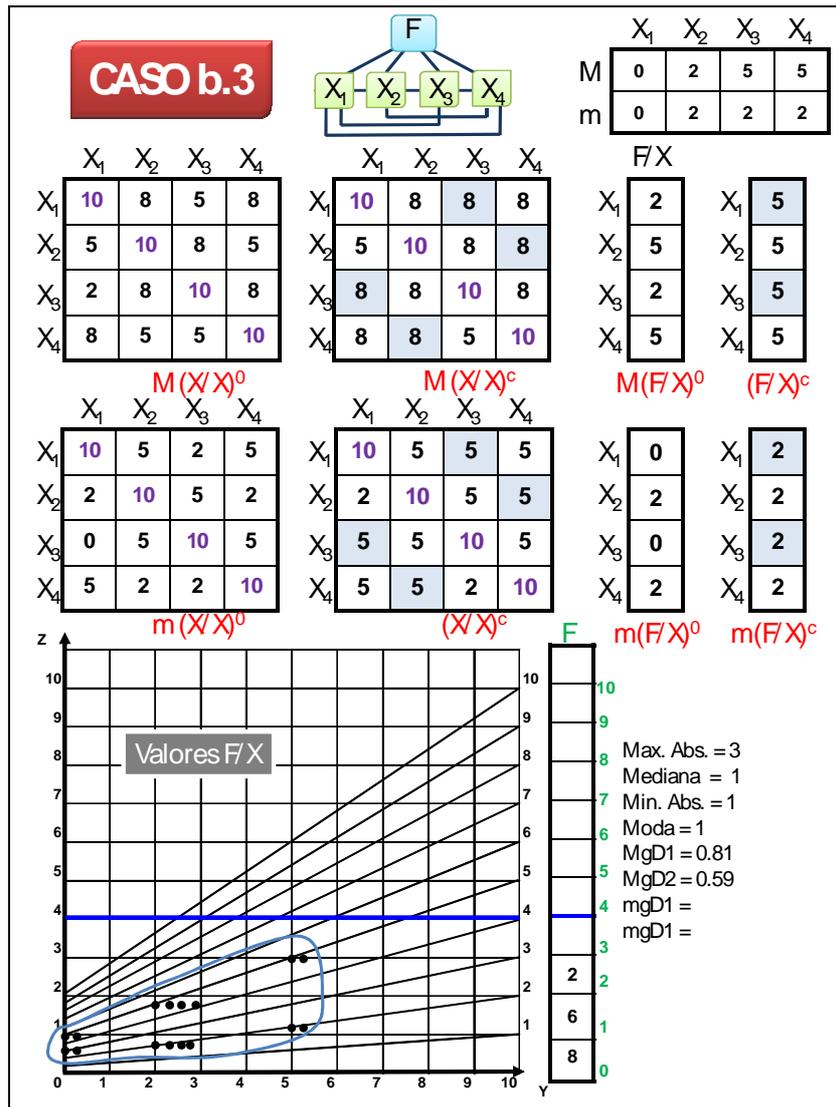


Figura 13

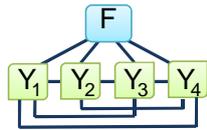
Caso C X variable X/X constante F/X constante

Sólo varían las X y con ellas (PF).

Tabla 4

CASO	PF	MoF	GD1		GD2		$\Sigma Xi/4$		GA		MF	mF
			M	m	M	m	M	m	FL5	FL3		
c.1	0.90	1	0.59	0.50	0.38	0.20	0.23	0.15	1	1	2	0
c.2	1.50	2	0.59	0.50	0.38	0.20	0.43	1	1	0.94	5	1
c.3	1.75	2	0.59	0.50	0.38	0.20	0.70	1	1	0.82	5	1
c.4	3.50	2;5	0.59	0.50	0.38	0.20	1	1	1	0.50	5	2

CASO b.4



	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
M	0	2	5	5
m	0	2	2	2

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
Y ₁	10	10	10	10
Y ₂	10	10	10	10
Y ₃	10	10	10	10
Y ₄	10	10	10	10

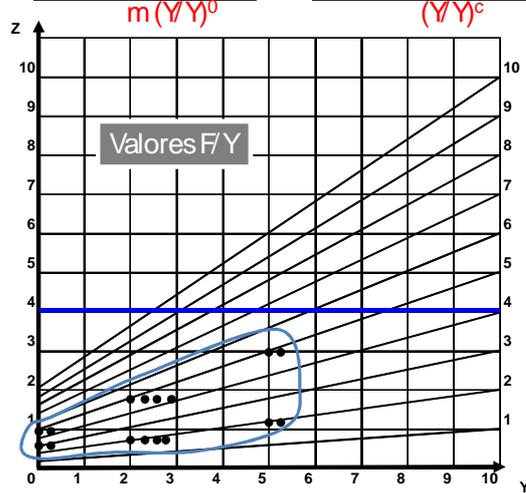
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Y ₁	10	10	10	10
Y ₂	10	10	10	10
Y ₃	10	10	10	10
Y ₄	10	10	10	10

F/Y	
X ₁	Y ₁ 5
X ₂	Y ₂ 5
X ₃	Y ₃ 5
X ₄	Y ₄ 5

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
Y ₁	10	10	10	10
Y ₂	10	10	10	10
Y ₃	10	10	10	10
Y ₄	10	10	10	10

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Y ₁	10	10	10	10
Y ₂	10	10	10	10
Y ₃	10	10	10	10
Y ₄	10	10	10	10

M(F/Y) ⁰ M(F/Y) ^c	
Y ₁	Y ₁ 2
Y ₂	Y ₂ 2
Y ₃	Y ₃ 2
Y ₄	Y ₄ 2



F	m(F/Y) ⁰	m(F/Y) ^c
10		
9		
8		
7		
6		
5		
4		
3		
2		
1		
0		

- Max. Abs. = 3
- Mediana = 1
- Min. Abs. = 1
- Moda = 1
- MgD1 = 1
- MgD2 = 0.50
- mgD1 = 1
- mgD2 = 0.30

Figura 14

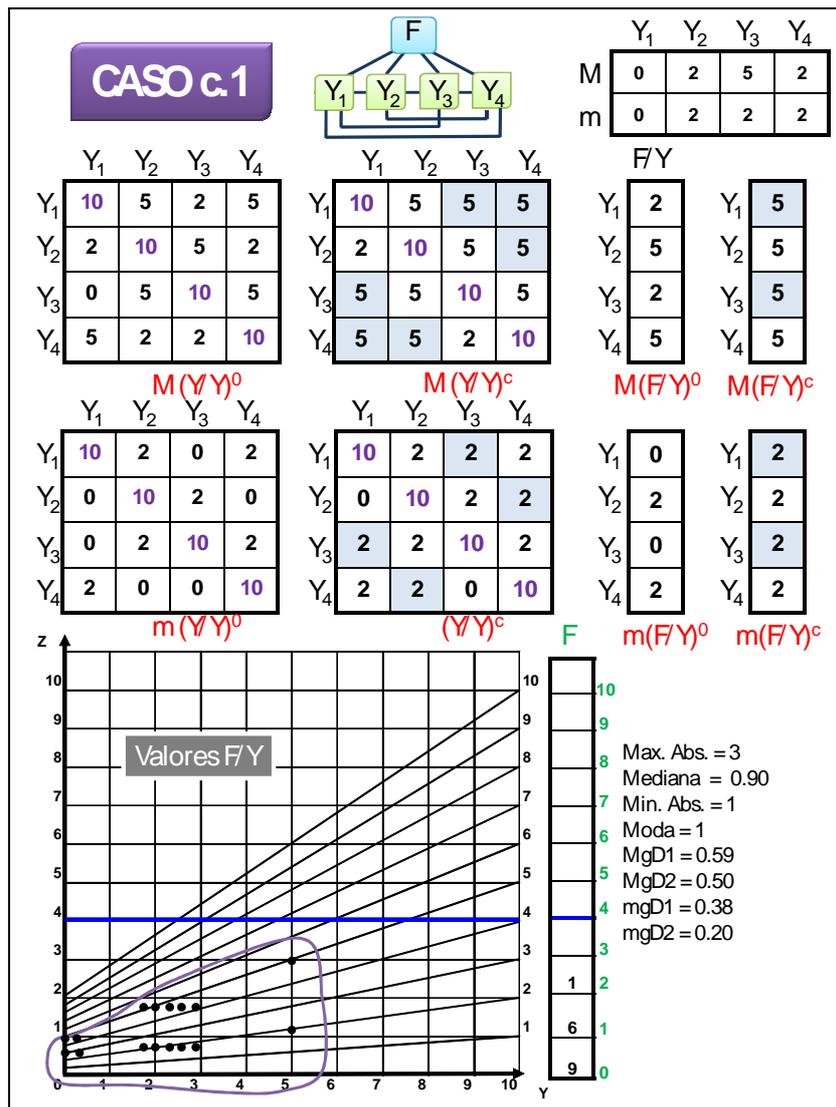


Figura 15

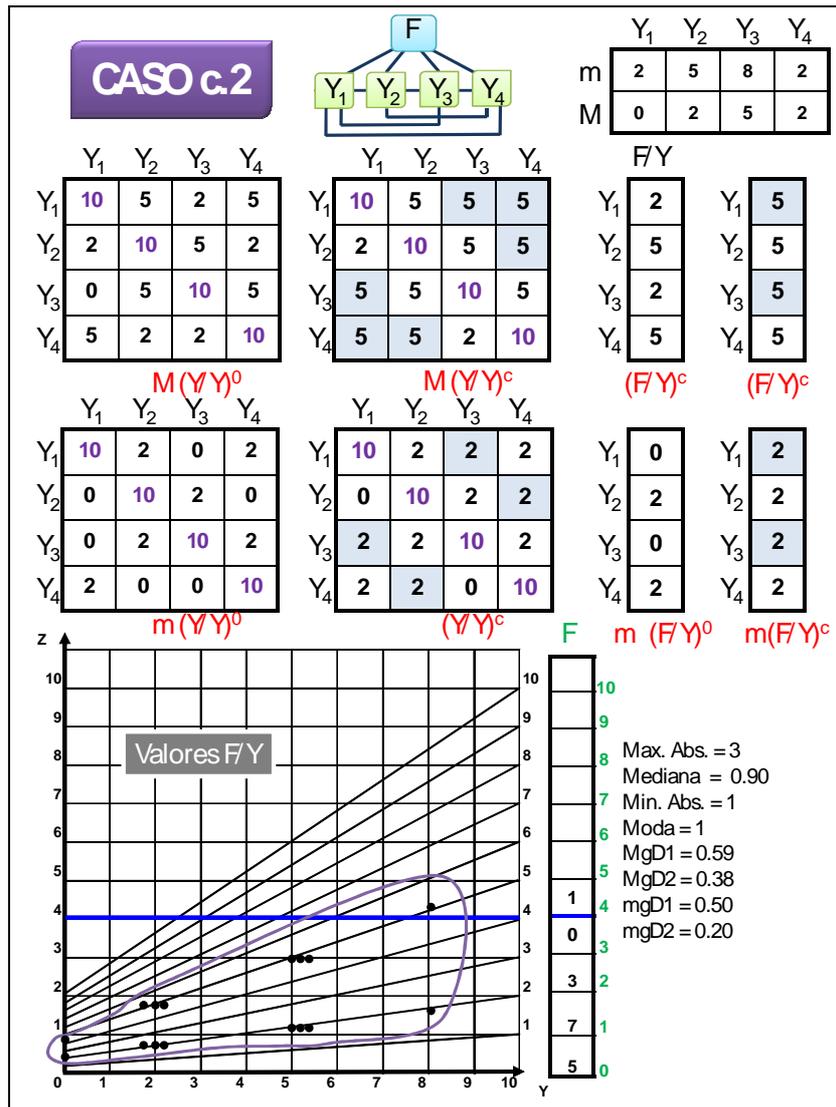


Figura 16

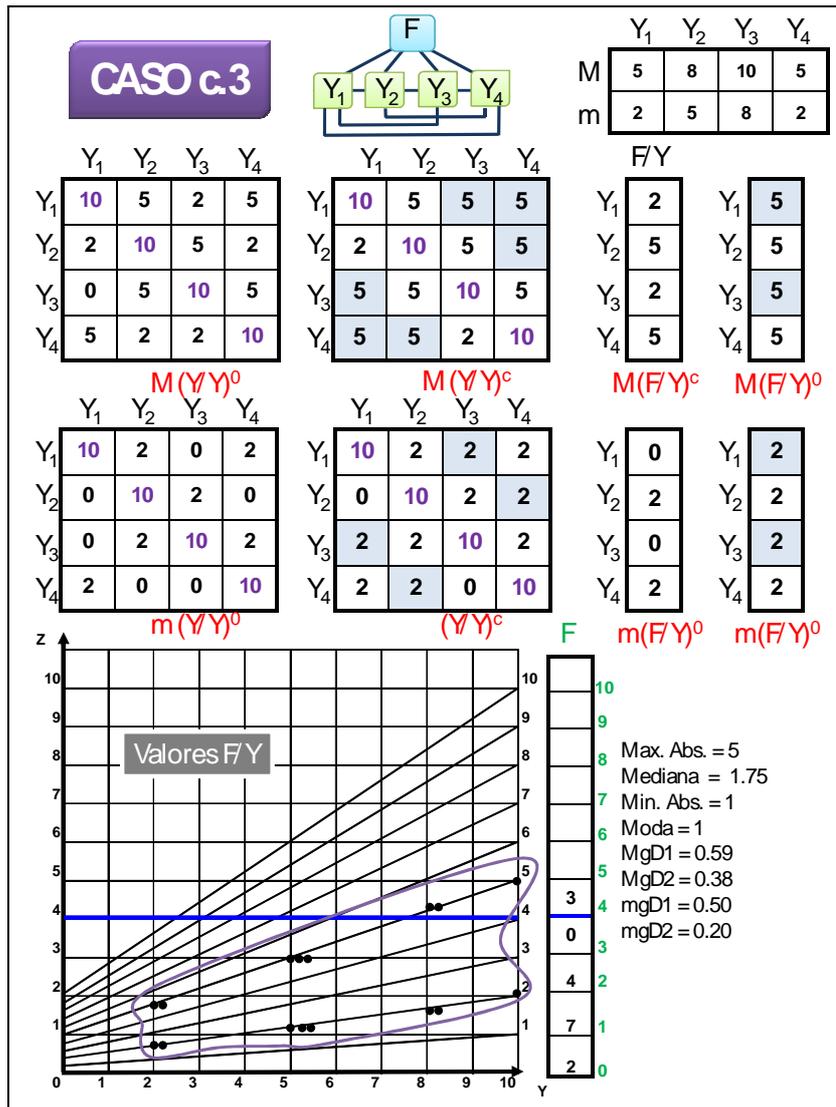


Figura 17

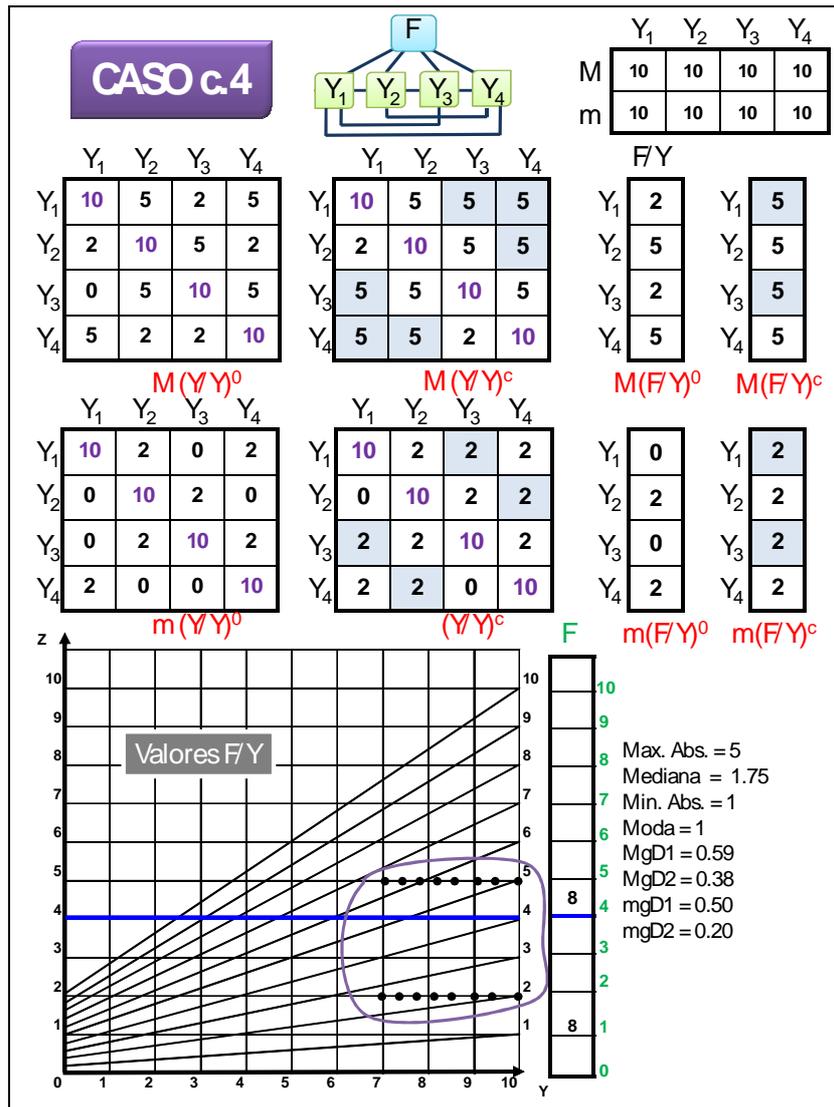


Figura 18

8.- Conclusiones

Las calificaciones de F, y como consecuencia las de (PF), dependen de las variaciones de las calificaciones de las importancias de las X, de las calificaciones de las interacciones entre las mismas X/X y de las calificaciones de las influencias de las X sobre F F/X, se han considerado tres casos, considerando en cada uno de ellos que una sola de las circunstancias varíe quedando las otras dos constantes. Se puede así apreciar la incidencia sobre (P/F) de cada una de ellas.

Estas variaciones pueden apreciarse con la sola lectura de las tablas de valores resultante para cada caso.

9. Referencias

- 1 Bignoli, A. 2008, *La Falla Estructural*. Presentado a las XX Jornadas Argentina de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, 15-17 de octubre de 2008
- 2 Koestler. A. 1967. *The Ghost in the machine*. Ed. Penguin Arkana.
- 3 Kaufmann and Gil Aluja. 1987. *Teoría de los efectos olvidados*. Ed. Milladoiro