

EL FACTOR HUMANO EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Ferraris Isabel¹, de la Canal M. Daniel¹ Fernandez Pellon Omar²

¹Ingenieros Civiles ² Estudiante

Facultad de Ingeniería – Facultad de Economía -Universidad Nacional del Comahue

icferrari@yahoo.com.ar dmdlcanal@yahoo.com.ar

RESUMEN

La principal causa de las fallas estructurales en ingeniería, de acuerdo a las estadísticas disponibles, es el factor humano, FH. Este sistema, calificado en la bibliografía como blando (alto contenido de subjetividad e información de escasa precisión), interviene continuamente y significativamente a lo largo del diseño, cálculo, construcción y mantenimiento de una obra de ingeniería. La predicción en este tipo de sistemas es muy limitada. Los tratamientos probabilísticos que permiten describir con importante grado de detalle el funcionamiento de sistemas duros no han podido ofrecer representación genuina al comportamiento del FH dentro de la actividad. Evaluar la seguridad implica analizar todos los escenarios de falla incorporando toda la información disponible. Aquí aparecen problemáticas tales como: la ignorancia, la incertidumbre y la incompletud que, entre otras, deben ser tenidas en cuenta en el algoritmo que describa el funcionamiento de la estructura. Existen básicamente dos posturas, incluir en los algoritmos de cálculo a través de alguna herramienta adecuada toda la información y “mezclar” factores duros y blandos o tratar el FH por separado adoptando medidas de control. En este trabajo se analiza tanto la complejidad intrínseca del FH como la que resulta de medirlo para su posterior evaluación. Se presenta una estrategia holística para ejercer el control del FH.

ABSTRACT

The main cause of structural failures in engineering, according to the available statistics, is the human factor, FH. This element, named in the literature as soft (high subjectivity content and scarce accurate information), intervenes continuously and significantly throughout the design, calculation, construction and maintenance processes. Predictions in this type of systems are very limited. Probabilistic treatments which describe the functioning of hard systems with high degree of precision have not been able to offer genuine representation to the behavior of FH within the engineering activity. Safety evaluation implies the analysis of all fault scenarios incorporating all available information. In this context there are problematics such as ignorance, uncertainty, incompleteness which among others should be taken into account in the algorithm that describes the performance of the structures. There are basically two positions: to include in the calculation algorithms through an appropriate tool all the information and "mix" hard and soft factors, or treat FH separately adopting control measures. In this paper the intrinsic complexity of the FH is analyzed and that which arises when its measurement for evaluation has to be made. A holistic strategy is presented to control FH.

1. Introducción

La evaluación de la seguridad ocupa un papel central en todos los procesos involucrados desde el diseño hasta el desmantelamiento de una estructura. El concepto de seguridad es en sí mismo dificultoso; existen distintos significados o concepciones del mismo y resulta importante precisar lo que entendemos por seguridad; lo haremos siguiendo a Elms¹. Asimismo los métodos utilizados para la determinación de si una estructura es segura o no, o en qué grado lo es, han evolucionado en las últimas décadas y lo siguen haciendo en el presente. En la actualidad el análisis de riesgo se utiliza como herramienta para evaluar la seguridad. Sin embargo estos dos conceptos, estrechamente relacionados, expresan distintas formas de pensar una falla estructural.

Por otro lado, relevamientos bibliográficos realizados y las estadísticas existentes indican que la principal causa de las fallas estructurales en ingeniería se debe al factor humano, Matousek². Existe consenso entre los profesionales de la ingeniería en que debe ser tenido en cuenta en el proceso de evaluación de la seguridad.

Para poder realizar una modelización es necesario estudiar las características intrínsecas del sistema en estudio. En el caso del FH, una de las principales es la escasa regularidad y predictibilidad en su comportamiento. Además los atributos propios de las personas y las organizaciones a las que pertenecen se califican más que cuantifican. Se utiliza para ello el lenguaje natural más que una escala numérica. El FH es una variable blanda (alto contenido de subjetividad e información de escasa precisión). También y en base a lo anterior el proceso de “medir” las variables que representen su complejidad constituye una tarea dificultosa.

Con el objetivo de tener en cuenta el FH en la evaluación de la seguridad, este trabajo se propone dar lineamientos generales utilizando un planteo holístico que tiene en cuenta la naturaleza blanda de las variables que intervienen. La concepción de la metodología utilizada, adhiere a la postura de analizarlo y evaluarlo por fuera de los algoritmos de cálculo y así poder adoptar medidas de control en los procesos en estudio.

Los autores de este trabajo son integrantes del proyecto de investigación FAIN 199 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue. La línea de investigación desarrollada ha abordado el estudio de la seguridad de las construcciones y la evaluación del riesgo enfocada a la incorporación de los factores no técnicos presentes en los problemas. En la actualidad se está abordando el análisis de modelos alternativos para representar y evaluar en forma adecuada al FH.

2. Seguridad-Riesgo

Como se señaló en el apartado anterior seguridad y riesgo son conceptos relacionados aunque son en esencia diferentes. Las ideas centrales tomadas como punto de partida de este trabajo adhieren a Elms¹ y serán resumidas en los siguientes párrafos.

Se puede pensar al concepto seguridad como un estado o la calidad de un estado. En la mayoría de los casos se evalúa que, por ejemplo, “la estructura es *bastante* o *medianamente* segura” antes que calificarla binariamente como segura o no segura. Se utiliza el lenguaje natural para asignar estados de calidad, que en la mayoría de los casos presenta gradualidades cuyo significado e implicancias son interpretados en forma similar por los ingenieros o técnicos. Es así que la seguridad es una característica de calidad y en consecuencia no debe ser restringida a ser un número, Matousek³.

Ahora bien, ¿cómo se llega a determinar esta calificación? ¿Cómo se puede asegurar qué grado de seguridad tiene una estructura? Partiendo del hecho de que una estructura segura es aquella de la que no se espera que falle, se acepta como principio general que un determinado estado de calidad se debe asegurar, si esto es posible, evaluando y controlando el riesgo. El riesgo se cuantifica, pero como inevitablemente se relaciona con eventos en el futuro, es una estimación y por lo tanto incierta. A pesar de que muchas veces se habla de riesgo *real*, esta afirmación se podría interpretar como una asíntota a la que el ingeniero podría acercarse más y más usando métodos más sofisticados e información de mejor calidad. Una característica importante del riesgo es que es un número que puede ser muy pequeño pero que nunca será cero. Cualquier situación en cualquier estructura tiene un riesgo, aunque este pueda ser infinitesimal.

Los métodos utilizados para evaluar la seguridad han tenido distintos paradigmas a lo largo del tiempo y siguen evolucionando. Se pueden mencionar varios planteos analíticos desde el coeficiente global de seguridad hasta la utilización de planteos probabilísticos como los métodos FOSM (First Order Second Moment) o FORM (First Order Reliability Method), Melchers⁴, para la obtención de coeficientes parciales de seguridad o la probabilidad de falla que son utilizados en los códigos de diseño. A pesar de tratarse estos últimos de herramientas matemáticas sofisticadas, resultan todavía insuficientes para evaluar el riesgo y así determinar la seguridad global de una estructura. Puede ocurrir que permaneciendo invariable el valor de la probabilidad de falla calculada, la propensión o posibilidad de fallar de la estructura puede aumentar (o disminuir), debido a factores, como el FH, que no han sido tenidos en cuenta en los cálculos. Sin embargo ha habido algunos intentos de incorporarlo en los métodos probabilísticos modificando las funciones de densidad de probabilidad, Melchers⁴. Esto presupondría considerar al FH como una variable aleatoria y su incertidumbre estocástica, cuyas características se presentan en el apartado 6.

En el próximo apartado se muestran algunas de las características inherentes al FH.

3. El Factor Humano: Aspectos Generales

FH puede ser concebido como un sistema organizado (abierto y estacionario) que interviene en el proceso de diseño, ejecución y mantenimiento de un producto de la ingeniería. Esta organización en la mayoría de los casos es muy compleja e interdisciplinaria con fuertes interacciones con el medio ambiente financiero, político,

geográfico, social, cultural, entre otros. El contexto impacta sobre el rendimiento humano (individuos y equipos) condicionando las decisiones que se toma, Figura 1.

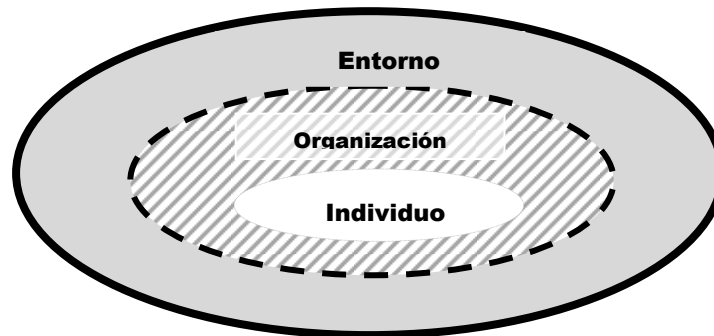


Figura 1: El FH

En este trabajo utilizaremos como definición del FH, la planteada por el Health Safety Executive (HSE ,1999)⁵:

“Human factors refer to environmental, organizational and job factors and human and individual characteristics which influence behavior at work in a way which can affect health and safety”

En esta definición el FH tiene tres aspectos: el laboral, el individual y el organizacional, desde un punto de vista de cómo estos comportamientos afectan a la salud y seguridad de la gente. En detalle estos son:

- **El laboral:** la tarea, la carga de trabajo, los procedimientos, el medio ambiente, la ergonomía.
- **El individual:** competencias, habilidades, percepción de riesgo, personalidad, actitudes.
- **El organizacional:** cultura, liderazgo, comunicaciones, pautas de trabajo, recursos.

4. Modelización

Los problemas de ingeniería son problemas complejos. La complejidad se puede deber a distintos factores entre los que se puede mencionar el número elevado de variables, la presencia de variables difíciles de medir o cuantificar, la interrelación existente entre ellas, una mayor sofisticación requerida en los proyectos, condiciones ambientales más exigentes, entre otras. La complejidad es uno de los motivos por los cuales hallar un modelo adecuado que represente el problema en estudio no sea fácil.

La construcción de los modelos es una tarea de fundamental importancia y de acuerdo al grado en que estos se adapten a la realidad, será la validez de las predicciones o soluciones que se obtengan. La elección del modelo está en manos

de profesionales que en base a su experiencia, capacitación, idoneidad, entre otros atributos y un análisis cuidadoso, decidirán el que mejor se ajusta a la realidad. La envergadura y complejidad de las estructuras actuales en las que el grado de incertidumbre presente puede ser elevado hace de esta tarea una actividad muy delicada y a la vez constituye un punto crítico al inicio de un proyecto. Asimismo, tanto los programas computacionales empleados y los resultados son o deberían ser administrados y analizados por profesionales idóneos. No siempre sucede esto.

En ingeniería sólo el producto, el artefacto, la construcción es el sistema físico, duro. Pero quien decide qué y cómo se va a hacer, quien lo ejecuta y quien lo usa es el FH, que es un sistema blando. La Tabla 1 de acuerdo a Blockley⁶ presenta las características de ambos tipos de sistemas.

SISTEMAS BLANDOS	SISTEMAS DUROS
<ul style="list-style-type: none"> • Relativos al Factor Humano • Contenido Subjetivo • Usa información vaga e imprecisa • Se expresan en el lenguaje natural • Tienen poca información medible • Difíciles de predecir 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativos a factores técnicos y físicos • Contenido Objetivo • Usa información estadística y determinística • Se expresan mediante la matemática bivalente • La información es medible • Tienen predicción razonable

Tabla1: Sistemas Blandos y Duros

Por lo tanto, coexisten los dos aspectos de la ingeniería: el técnico y el humano. A pesar de que la ingeniería está prácticamente identificada con el primero, el FH no sólo está presente sino que se puede pensar a los sistemas técnicos inmersos en los humanos que por su propia naturaleza son complejos y vulnerables. Además la complejidad de sistemas humanos y sistemas físicos o mecánicos es diferente y por lo tanto su tratamiento debería serlo también. Figura 2



Figura 2: Sistema Físico y Sistema Humano

En el abordaje de los aspectos técnicos se utiliza la metodología tradicional en las ciencias duras y las herramientas formales, cada vez más refinadas, se basan en la matemática binaria, que los ingenieros conocen muy bien y está presente en su formación académica desde muy temprano. Estas técnicas han mostrado que son muy eficaces cuando se contrastan sus resultados con la realidad. Se obtienen así parámetros con un alto grado de precisión. Modelizar el FH y formular teorías que sean altamente comprobables presenta la dificultad o imposibilidad de realizar experimentos controlables y repetibles. En la búsqueda de tener en cuenta al FH, existen básicamente dos posturas, incluir en los algoritmos de cálculo a través de alguna herramienta adecuada toda la información y “mezclar” factores duros y blandos o tratar el FH por separado adoptando medidas de control que lo mantendrían dentro de ciertos valores aceptables y así validarían los procedimientos y resultados obtenidos. Esta última perspectiva, que es adoptada por los códigos y conduce a la adopción de medidas tales como QA, es la que tomaremos como punto de partida en este trabajo.

Con el objetivo de representar la creciente complejidad y poder acercar la ingeniería práctica con la investigación en ingeniería, existe una demanda cada vez más grande en obtener nuevos modelos basados en concepciones también alternativas que permitan analizar y solucionar de manera más confiable las problemáticas que se plantean. Orientadas hacia este objetivo es que surgen las metodologías basadas en el pensamiento sistémico y holístico.

4.1 Análisis Holístico

Koestler⁷ argumenta desde la observación, que tanto los organismos vivos como las estructuras sociales están organizados jerárquicamente en una serie de niveles ascendentes en complejidad y que dependiendo de cómo se mira a cada uno de sus componentes estos se muestran como “partes” o como “todos” en sí mismos dentro de la jerarquía. Una “parte”, como se usa generalmente este término, significa algo fragmentario, que no puede existir por sí solo; en contraposición un “todo” es algo completo. Pero también argumenta que “partes” y “todos” en este sentido absoluto, no existen. Es así que propone designar holón a este componente, del griego *holos* significa *todo* con el sufijo *on* que sugiere *parte* o *partícula* como en *electrón* o *protón*. Las características de una estructura holística hacen que el agregado de sus partes arroje un resultado que es más que la totalidad. Los niveles de holones en la parte superior de las jerarquías así conformadas son de alto contenido conceptual y poca precisión, descendiendo a los niveles inferiores con holones de menor contenido conceptual y mayor precisión. Las características propias de la red así formada presenta fuertes interacciones entre e intra los distintos niveles.

Los problemas complejos en los que interviene el FH parecen seguir este patrón de funcionamiento por lo que en este trabajo se los modelizará siguiendo esta concepción.

5. Información: Incertidumbre e ignorancia

En ingeniería se trabaja con conocimientos e información. La información puede ser deficiente, ya sea por incompleta, imprecisa, fragmentaria, no totalmente confiable, vaga, contradictoria, etc. Esta característica de la información incorpora incertidumbre trasladándose esta a la solución de la problemática donde se la utiliza.

Por otro lado, los conocimientos científicos que se utilizan en ingeniería, de origen teórico experimental, también son limitados, aproximados y con restricciones en cuanto a su campo de validez, aquí aparece la ignorancia, es decir el conocimiento parcial de la realidad, llamada incompletud. La modelización de un fenómeno, tiene asociada dos tipos de ignorancia: una consciente, al realizar suposiciones que dejan fuera de los análisis factores poco influyentes en los planteos y la otra, inconsciente asociada a lo que no se conoce de la realidad en estudio.

Existen distintas clasificaciones de incertidumbres, en general la coincidencia es dividir las en dos grupos de acuerdo a su origen: epistémicas y aleatorias. Resulta interesante en el análisis de riesgo incorporar un tercer grupo tal como lo hace Elms E. (2006)⁸, quien plantea tres tipos de incertidumbre, ellas son:

- **Aleatoria:** surge de las fluctuaciones en el tiempo, las variaciones del espacio natural de las propiedades del material y la incertidumbre inherente asociada al instrumental de medición.
- **Epistémica:** conocimiento Imperfecto, surge de la diferencia entre las predicciones de los modelos y la realidad que los modelos intentan representar. Siempre, en mayor o menor grado, cualquier análisis estructural será una aproximación.
- **Sorpresiva o inesperada (surprisal):** cubre asuntos que son imprevistos, esas cosas que no abordará la variabilidad aleatoria ni cubrirá las limitaciones de calidad del modelo. Prácticamente están asociadas al FH, (Reason J. 1990)⁹.

Aunque los tres tipos de incertidumbre pueden afectar el grado de seguridad estructural, las estrategias para tratarlas son diferentes.

Por otro lado en relación a las incertidumbres, siguiendo lo planteado por Stransky, W. (1999)¹⁰:

If an event (regarding its occurrence), as a random result of a test, may be observed on an almost unlimited number of occasions under constant boundary conditions, this concerns as stochastic uncertainty which may be described and investigated using the methods of probability analysis. If the boundary conditions are (apparently) subject to arbitrary fluctuations, a comprehensive system overview is lacking, or the number of observations is only available to a limited extent, an information deficit exists. This type of uncertainty is referred to as informal uncertainty. In contrast to the latter, lexical uncertainty is characterized by linguistic variables representing quantified verbal postulations.

Al respecto, Möller B. (2003)¹¹, adopta una clasificación de las incertidumbres de acuerdo a la particular causa de su ocurrencia y asigna herramientas matemáticas apropiadas en cada caso, como se muestra en la Tabla 2.

La causa de una incertidumbre determina sus características. La característica de aleatoriedad es asignada a las incertidumbres estocásticas las que deben ser descriptas matemáticamente como variables aleatorias. Las incertidumbres informales o léxicas son descriptas mediante la característica de borrosidad. Las incertidumbres caracterizadas como de aleatoriedad borrosa (fuzzy randomness) aparecen cuando la descripción estadística de una variable aleatoria es informal o léxicamente incierta.

Tipo de Incertidumbre	Característica de la Incertidumbre
ESTOCASTICA	<p>Aleatoriedad</p> <p>El concepto de probabilidad presupone suficiente información para la determinación de los parámetros estocásticos de representación, tales como, valores probables, varianzas, funciones de distribución de probabilidad. La calidad de la información debe estar estadísticamente asegurada con una suficiente gran cantidad de valores muestrales.</p>
INFORMAL	<p>Aleatoriedad Borrosa</p> <ul style="list-style-type: none"> → Se dispone de un espacio muestral limitado. → No se dispone de información adicional sobre las propiedades estadísticas del universo. → Los elementos muestrales poseen incertidumbre con característica de aleatoriedad. → La información que proporciona el espacio muestral no es suficiente para describir a la variable como aleatoria sin elementos de duda.
LEXICA	<p>Borrosidad</p> <p>Es caracterizada mediante variables lingüísticas las que representan las que representan valores verbales postulados.</p>

Tabla 2: Tipos y Características de Incertidumbre

Mientras el tipo de incertidumbre indica la causa de su manifestación, las características de una incertidumbre son descriptas mediante propiedades matemáticas: aleatoriedad, aleatoriedad borrosa y borrosidad.

También, en el análisis de riesgo se utilizan opiniones de expertos (dictámenes periciales). Esto constituye una nueva fuente de subjetividad e incertidumbre, muy difícil de representar e incorporar en los algoritmos.

Finalmente es importante tener presente que cuando se agrega información de precisión diferente en un algoritmo, la calidad de los resultados estará condicionada por los parámetros de calidad más baja.

6. Evaluación del FH

El FH es poco predecible, tiene un alto contenido de subjetividad, es muy dependiente del contexto y tiene características multidisciplinarias; todo esto complejiza su evaluación.

Teniendo presente que estamos evaluando la seguridad, evaluar el FH significa buscar parámetros apropiados que representen y describan aspectos relevantes del funcionamiento del mismo frente a escenarios de falla o en las tareas específicas que se quieran controlar. Además es imprescindible contar con evidencias que permitan calificar estos parámetros.

En los problemas de ingeniería asociados con variables duras se buscan soluciones; en cambio en problemas que involucran sistemas blandos conviene sustituir el concepto de solución por el de control.

Por otro lado, un proceso tendiente a la evaluación del FH debería constar de herramientas que valoren no solo el estado del mismo sino que también su evolución en el tiempo. Al ser este factor muy poco predecible es necesario estudiar con cierto detalle su capacidad de reacción. Luego, mediante aproximaciones sucesivas se buscare mantener su valor dentro de ciertos estándares previamente determinados y calificados como aceptables.

Si bien se evalúa el FH por separado, se lo piensa rodeando, circunscribiendo, al componente duro del proceso de ingeniería que se encuentra inmerso en él, Figura 2.

Un proceso de evaluación del FH debe manejar aceptables niveles de precisión y al mismo tiempo una metodología que permita mediciones parciales o específicas para poder modificar o corregir de ser necesario un estado inaceptable. Esto conduce a intervenir en la organización con medidas correctivas de distinta índole. De esta manera, mediante una medición posterior podría detectarse la capacidad de reacción del sistema a las acciones realizadas. La intención es mantener los parámetros elegidos alrededor de ciertos valores previamente acordados como aceptables. La Figura 3 presenta un esquema posible de la rutina de este proceso.

El proceso de medición se repite en el tiempo y en cada ciclo se registra la evolución del mismo, estos registros están vinculados a un proceso de toma de decisiones y a su vez van dando información sobre la evolución del FH ante medidas tendientes a mantenerlo en valores aceptables (capacidad de reacción) contribuyendo además a un mejor conocimiento del mismo.

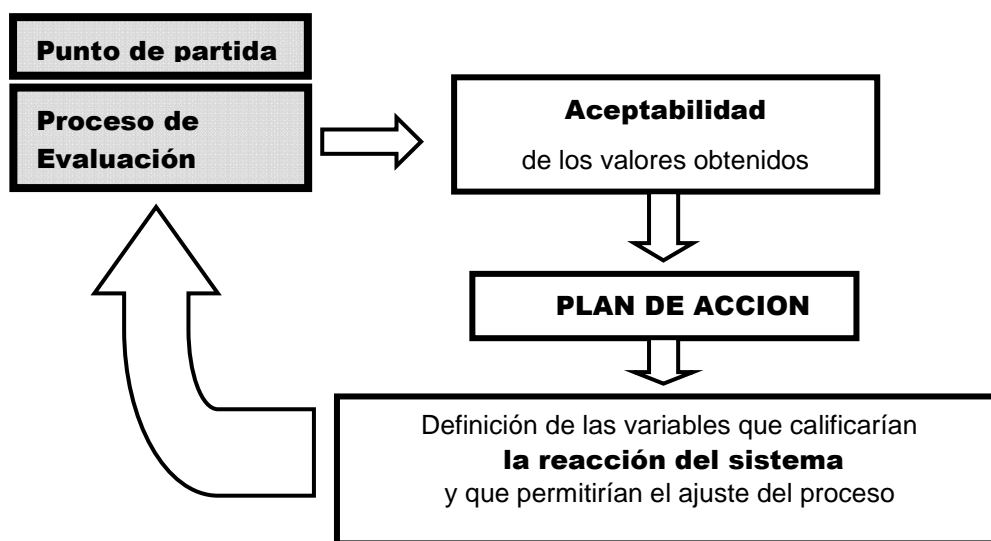


Figura 3: Proceso de Evaluación del FH

7. La teoría de probabilidades como herramienta matemática en la evaluación del FH.

Un modelo de análisis, en el cual el FH es de gran importancia ¿Puede abordarse, con una precisión adecuada, usando un enfoque meramente probabilista?

Analicemos el concepto matemático de probabilidad, siguiendo a Luis Ruiz-Maya Perez-Javier Martin-Pliego Lopez¹². Este comienza con la definición clásica (dada en 1812 por Laplace quien define la probabilidad de un suceso como el cociente entre número de casos favorables y el número total de casos, siempre que todos sean igualmente posibles. Esta definición presenta inconvenientes que hacen su aplicación muy limitada. Primero se deben considerar experimentos con objetos ideales, esto limita su aplicación solo al mundo de las matemáticas. Por otro lado requiere que todos los casos sean igualmente posibles, hace aparecer el definido en la definición.

Las limitaciones de aplicabilidad de la definición clásica de probabilidad, derivaron en la definición frecuentista, establecida formalmente por von Mises en 1919, esta se apoya en la experiencia de la estabilidad de las frecuencias relativas o regularidades estadísticas y en la objetividad de la probabilidad. Matemáticamente la definición frecuentista de probabilidad es la siguiente: sea n la frecuencia absoluta del suceso y N el número total de veces que se repite el experimento aleatorio entonces:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} = P(S)$$

En esta definición no se trabaja con objetos ideales, para obtener la frecuencia

relativa se debe efectuar el experimento, diferencia fundamental con la definición clásica. Por otro lado no se tiene el supuesto de igualmente posibles, lo cual lo hace aplicable a cualquier situación repetitiva. Sin embargo el concepto de límite de la definición frecuentista de probabilidad, supone que el número total de casos en que se repite el experimento es infinito, imposible de lograr en la práctica. Por lo tanto la estabilidad de las frecuencias relativas o regularidades estadísticas no es posible de asegurar.

Debido a lo expuesto anteriormente y a otras limitaciones estrictamente matemáticas de la teoría clásica y frecuentista de probabilidades, hacen imposible una formalización matemática derivada de ellas. Esta se consiguió mediante planteamiento axiomático de Kolmogorov del año 1933, quien puso en relación la teoría de probabilidad, la teoría de conjuntos y la teoría de medida.

La teoría de conjuntos que utiliza Kolmogorov en la formalización axiomática es la teoría clásica de conjuntos derivada de la lógica bivalente. Por lo tanto un enfoque probabilista presupone que un evento es algo inequívoco y bivalente el evento ocurre o no-ocurre. Al analizar y reflexionar sobre cuestiones inherentes al FH vemos que esto no es tan así. Proceder de esta manera con el FH, inevitablemente eliminaría características distintivas que son la esencia de esta variable y nos alejaría de una representación adecuada.

Hasta aquí aparecen dos inconvenientes, uno referido al valor de verdad que pueden tomar las proposiciones referidas al FH. El otro es determinar el grado de pertenencia cuando se considera al FH como un elemento que pertenece a un conjunto. Pues no es cierto que la realidad se ajusta a proposiciones que sólo son verdaderas o falsas, y tampoco es adecuado afirmar que la realidad se ajusta a conjuntos en donde la pertenencia de un elemento a ellos es siempre total o nula, más aun cuando se trata del FH.

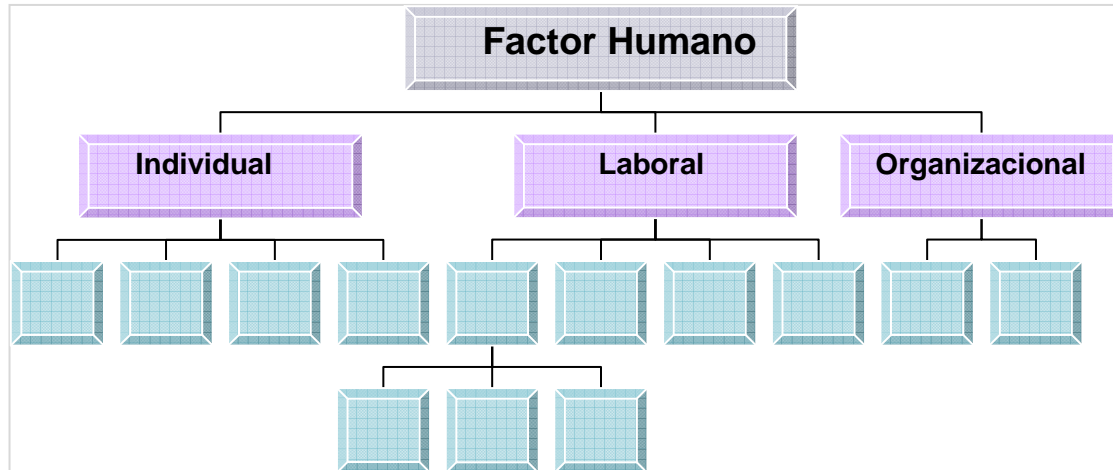
Una alternativa para sortear las dificultades expuestas, que este grupo de investigación evalúa seguir, es trabajar con una lógica multivalente y la teoría matemática de conjuntos borrosos derivada de ella. En este tipo de lógicas las proposiciones poseen grados de verdad, no solo verdadero o falso. De igual manera ocurre con la teoría de conjuntos borrosos, pues la pertenencia de elementos a estos conjuntos es también por grados. Esto parece ser más representativo del FH.

Por último debido a la complejidad en la representación del FH, aparece una nueva problemática: cómo modelizar el agregado de partes al considerar el FH como una variable.

8. Propuesta: Lineamientos Generales

Se toma como punto de partida la definición del FH planteada por el HSE, presentado en el apartado 3, la cual desagrega el FH en tres componentes: individual, laboral y organizacional. Cada una de estas componentes es definida mediante el diseño de una estructura jerárquica y holística. Esta estructura define cada componente desagregándola en subcomponentes de menor contenido conceptual pero de mayor precisión cuando se las califica. Estas ideas se muestran

en la Figura 4.



Individual	Laboral	Organizacional
Competencias	Tarea	Cultura
Habilidades	Carga de Trabajo	Liderazgo
Percepción del riesgo	Procedimientos	Comunicaciones
Personalidad	Entorno	Pautas de Trabajo
Actitudes	Ergonomía	Comunicaciones

Figura 4: Estructura Jerárquica Holística

De esta manera el proceso global que realiza el FH queda representado a través de un conjunto de subprocesos, modelizados como holones, en distintos niveles de definición para su descripción y evaluación. Los distintos subprocesos se encuentran vinculados mediante una red de relaciones altamente interactiva.

La solución del problema va mucho más allá de encontrar un valor de FH. En el resultado, el proceso global queda estructurado en función de niveles jerárquicos, cada uno definido con distintos grados de precisión. La estructura así determinada facilita la toma de decisiones del ingeniero y permite no sólo definir el tipo y grado de las acciones que eventualmente se deban tomar, sino también dónde tomarlas, pues la jerarquía planteada es un verdadero mapa de procesos.

La evaluación consiste en agregar los holones de la estructura para poder calificar cada una de las tres componentes que define el FH. En cada nivel de definición de la jerarquía se pueden utilizar herramientas matemáticas que permitan definir estados de aceptabilidad, previamente planteados y consensuados.

El proceso de evaluación comienza analizando las distintas partes que intervienen en el proceso, no descartándose a priori ninguna de ellas. Seguidamente, se representa holísticamente la totalidad mediante un árbol jerárquico, Figura 3. En él se incluyen todas las variables que a juicio de los expertos intervienen en el mismo, quienes determinan hasta qué nivel de precisión llegar. Sus valores podrán ser determinísticos, aleatorios o borrosos. El diseño de la estructura jerárquica, así como la cantidad de holones que definan cada una de las tres componentes del FH tomadas como referencia en este trabajo, son muy dependientes del problema en estudio así como también del contexto e información disponible. También se definen las interacciones entre holones del mismo nivel y las influencias entre los de distinto nivel. El árbol se carga en el nivel más bajo. El diseño de la estructura jerárquica, así como la cantidad de holones que definan cada una de las tres componentes del FH tomadas como referencia en este trabajo, son muy dependientes del problema en estudio así como también del contexto e información disponible.

Se asume que quien elabora la estructura jerárquica del FH, lo conoce en profundidad y trabaja en esta tarea en colaboración y consenso con miembros de la supervisión (auditoria) de la obra.

Para evaluar las evidencias recogidas de distintas fuentes es necesario contar con herramientas rigurosas que las representen y al mismo tiempo una lógica consistente para combinarlas. La evidencia relativa a factores técnicos será evaluada en general con las herramientas matemáticas tradicionales. Cuando la evidencia no lo es se podrían utilizar herramientas matemáticas alternativas (Teoría de conjuntos borrosos, Intervalos de Probabilidad entre otras).

El grupo de investigación ha publicado trabajos en congresos en los que se aborda esta problemática^{13,14,15}. Se sigue investigando orientando la tarea a sortear las dificultades expuestas, mediante la utilización de herramientas alternativas que permitan representar el agregado de información de distinta naturaleza con fuertes interacciones entre ellas asociadas a la problemática del riesgo.

9. Conclusiones

- Los valores que describen la seguridad en los códigos asumen que el FH cumple características tales que no interviene en los algoritmos de diseño de la estructura. Plantean, que el nivel de confiabilidad se alcanzará sí y solo sí, no se alcanzan los estados límites y se implementan y verifican las estrategias del control de calidad (Q.A.). En base a estas premisas se debería contar con procedimientos objetivos y sencillos que permitan mantener en niveles aceptables el valor de FH. Estos valores validarían el nivel de confiabilidad establecido en los códigos.
- La complejidad de evaluar el FH con niveles aceptables de precisión está basada en su esencia poco predecible, con alto contenido de subjetividad y multidisciplinaria, la cual dificulta su descripción y representación de manera adecuada mediante herramientas matemáticas tradicionales. Investigaciones

tendientes a mejorar el nivel de representación del FH mediante herramientas matemáticas alternativas complementará y/o mejorará el proceso de control de este factor, principal causa de fallas estructurales.

- Reconocer, determinar, evaluar e incorporar todas las incertidumbres presentes en un problema de ingeniería, es tarea primordial para el proceso de evaluación de la seguridad.
- La teoría de probabilidades es una herramienta útil para representar las variables aleatorias que intervienen en los algoritmos del diseño estructural. Sin embargo no todas las variables que intervienen en el proceso son aleatorias, inclusive algunas que si lo son, no pueden ser adecuadamente descriptas por esta teoría ya que no se cuenta con una cantidad de datos suficientes en calidad y cantidad.
- La evaluación del FH surge de agregar gran cantidad de información, de distinta fuente y calidad con incertidumbres de distinto tipo. Es aquí donde herramientas lógico-formales, alternativas a la teorías de probabilidad permitirían pensar planteos más racionales, completos y ajustados a la realidad.

Bibliografía

1. Elms D. (1999). *“Achieving Structural Safety: Theoretical Considerations”*. Structural Safety 21, p.311-333
2. Matousek, M. (1977). *Outcome of a survey of 800 construction failures*. Proc. IABSE Colloq. On Inspection and Quality Control. Swiss Federal Inst. of Technology, Zürich
3. Matousek M. (1992). *Engineering Safety*. Mc Graw Hill. UK. p 72-88
4. Melchers R., (1999). *Structural Reliability Analysis and Prediction*. Wiley
5. Health and Safety Executive HSE (2012) *Reducing error and influencing behaviour (HSG48)*
6. Blockley, D. and Godfrey, P. (2000). *Doing it Differently Systems for rethinking Construction* – Thomas Telford – London.
7. Koestler A. (1989). *The ghost in the machine*. Arkana
8. Elms, David, (2006). *Balancing Uncertainty in Structural Decisions* - International Forum on Engineering Decision Making Second IFED Forum, Canada.
9. Reason, J. (1990). *Human Error*, Cambridge University Press
10. Stransky, W. (1999): “Fuzzy-Unschärfen und ihre Berücksichtigung in der Tragwerksplanung“. Fortschritt-Berichte VDI, 11. Forum Bauinformatik“, TU Darmstadt 4(156). VDI-Verlag, Düsseldorf
11. Möller Bernd, Graf Wolfgang, Beer M.,(2003): “Safety assessment of structures in view of fuzzy randomness”, Institute of Structural Analysis, Dresden University of Technology, Germany
12. Ruiz-Maya Luis, Perez Javier, Pliego Lopez Martin, (2004) *Estadística I probabilidad*, International Thompson Editores Spain Paraninfo, S.A. Madrid
13. Ferraris I., de la Canal, M. , (2012). *“Risk Analysis in Engineering Facilities-A Holistic Approach”* Proceedings of the 1st International Symposium on Uncertainties Quantification and Stochastic Modeling, Brasil
14. de la Canal, M., Ferraris I, (2013). *“Risk Analysis Holistic Approach as a Base for Decision Making under Uncertainties”* Chemical Engineering Transactions. Vol. 33, Italia
15. de la Canal M., Ferraris I (2014), *Human Factor Evaluation as a Validation of Risk Assessment* ICVRAM2014 Liverpool UK