

**ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD HUMANA EN UNA  
REFINERÍA DE PETRÓLEO. USO DE METODOLOGÍA  
BORROSA**

Jesús Domech Moré  
Universidade Estácio de Sá. Mestrado em Administração e Desenvolvimento  
Empresarial.  
Av. Presidente Vargas, 642 – 22º andar – Centro - Rio de Janeiro - CEP  
20071001- Brasil  
jesus.more@estacio.br

Recibido 17 de noviembre de 2008, aceptado 23 de noviembre de 2009

---

**Resumen**

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el análisis de la confiabilidad humana en una industria de alto riesgo puede ser realizado a partir de información subjetiva y cualitativa sobre factores que influyen en el desempeño humano. Con la ayuda de la teoría de los conjuntos borrosos, se presenta un modelo que permite evaluar analíticamente las posibilidades de fallas humanas en un ambiente de trabajo de una refinería de petróleo.

**Palabras clave:** confiabilidad humana, falla humana, factores influyentes en el desempeño, números borrosos

---

## **HUMAN RELIABILITY ANALYSIS IN AN OIL REFINERY. USE OF FUZZY METHODOLOGY**

Jesús Domech Moré  
Universidade Estácio de Sá. Mestrado em Administração e Desenvolvimento  
Empresarial  
Av. Presidente Vargas, 642 – 22º andar - Centro - Rio de Janeiro - CEP  
20071001- Brasil  
jesus.more@estacio.br

Received November 17<sup>th</sup> 2008, accepted November 23<sup>rd</sup> 2009

---

### **Abstract**

The main aim of this paper is to show how the analysis of the human reliability in an industry of high risk can be done by using subjective and qualitative information about factors that influence the human performance. With the help of the theory of the fuzzy sets, there appears a model that allows evaluating analytically the possibilities of human failures in an oil refinery.

**Keywords:** human reliability, human failure, performance shaping factors, fuzzy numbers

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Las empresas de petróleo y gas demuestran, entre sus principales estrategias, gran preocupación por el aumento de la confiabilidad de sus procesos. Esto se refleja en la necesidad de desarrollar proyectos de investigación en diversas áreas y fundamentalmente en la confiabilidad de los procesos operacionales, de inspección, de mantenimiento, de ejecución de proyectos y durante el montaje de los equipos en estas industrias.

Con el fin de mejorar la confiabilidad de estos procesos es imprescindible hacer estudios sobre la confiabilidad humana, debido a que actualmente se estima el factor humano contribuye entre 60 y 80% a los accidentes tecnológicos, causados muchas veces por las fallas latentes (Moré, 2004).

Las fallas latentes son generalmente originadas por agentes que se encuentran en un ambiente de trabajo, “esperando que surjan condiciones fértiles” para dar lugar a un incidente, un casi accidente o en el peor de los casos, un accidente. Algunos ejemplos pueden ser citados: fallas de proyecto, problemas de ergonomía, falta de entrenamiento, falta de recursos, problemas organizacionales y comunicación deficiente, entre otros.

Se han realizado varios estudios sobre confiabilidad humana. Estos estudios, en general, incluyen técnicas de simulación (basadas en análisis de tarea y simulación Monte Carlo), métodos matemáticos basados en la teoría de las probabilidades y álgebra booleana, diagramas de influencias, árboles de fallas, etc. Estos modelos son muy limitados. En estos casos, la confiabilidad humana es tratada como un valor *crisp*. Sin embargo, el camino que conduce a una persona a cometer un error es “*fuzzy*”. Asociado al error existe una serie de factores psicológicos, sociales, físicos, fisiológicos, ambientales, ergonómicos y otros que al combinarse crean un sistema complejo difícil de evaluar a través de la teoría convencional.

Algunos autores han desarrollado modelos *fuzzy* para evaluar la confiabilidad humana. Gin-Shun Liang y Mao-Jiun J. Wang (1993) utilizaron un modelo de relación *fuzzy*. Onisawa (1988) propuso una función de membresía para representar la posibilidad de falla y la posibilidad de error. Moré et. al. (2007) utilizaron un modelo *fuzzy* de agregación de opiniones de expertos para determinar un índice de confiabilidad humana.

La posibilidad de falla humana en un sistema socio-técnico puede ser evaluada a partir del conocimiento que se tenga sobre el comportamiento de determinados factores subjetivos, vagos y complejos que están presentes en cualquier ambiente de trabajo. Estos factores resultan 66 (ver Tabla 1) y son conocidos con el nombre de factores influyentes en el desempeño humano (*performance shaping factors*) (A.D Swain, 1983). En este trabajo, a efectos de plantear el modelo y desarrollar un ejemplo, se consideran cinco factores que influyen en la confiabilidad humana (entrenamiento, experiencia del trabajador, motivación, características del local de trabajo y calidad del ambiente de trabajo).

<b>Factores que modelan el desempeño humano</b>		
<b>Características del local</b>	<b>Identificación con los grupos</b>	<b>Alta velocidad de la tarea</b>
Calidad del ambiente de trabajo : Temperatura, Iluminación, Calidad del aire, Ruido, Vibración	Cultura	Carga pesada de la tarea
Falta de ejercicio físico	Número de trabajadores	Alto riesgo de exposición
Horas de trabajo / descanso	Política de la planta	Amenazas de pérdida del empleo
Disponibilidad y adecuación del equipamiento e instrumentos	Procedimientos (escritos o no escritos)	Trabajo monótono, sin sentido
Cambios de turnos	Comunicación (escrita u oral)	Largos períodos de vigilancia sin acontecimientos
Estructura organizacional	Cuidados o advertencias	Motivos de conflictos
Acciones de los supervisores, colegas	Métodos de trabajo	Refuerzo negativo
Reconocimientos, beneficios	Estructura del equipo	Recompensas, beneficios y reconocimientos
Necesidades motoras	Necesidad de percepción	Privaciones de sensibilidad
Entrenamiento y habilidades	Necesidades físicas (fuerza, velocidad)	Distracciones debido a ruidos, movimientos.
Práctica y experiencia	Necesidad de anticipación	Sugestiones inconsistentes
Conocimiento de los patrones de	Interpretación y toma de decisión	Duración larga del stress

desempeño		
Stress	Complejidad de las informaciones	Fatiga
Nivel de inteligencia	Carga de la memoria	Dolor e inconformidad
Motivación para el trabajo	Necesidades de cálculo	Hambre o sed
Personalidad	Retroalimentación	Deficiencia de oxígeno
Estado emocional	<i>Interface</i> de hardware	Constricción de movimientos
Extremo de temperatura	Control del muestreo	Radiación
Exposición química	Capacidad crítica de la tarea	Repetición de movimientos
Condiciones físicas y de salud	Frecuencia y repetición de tareas	Exposición química
Influencia de la familia o de otras personas.	Inicio inesperado de un evento psicológico	Interrupción del ritmo circadiano

Tabla 1. Factores que influyen en el desempeño humano

## 2. INDICADORES DE CONFIABILIDAD HUMANA

Cada factor está representado por diferentes indicadores del desempeño humano (Tabla 2).

<b>Factores que influyen en las fallas latentes</b>	<b>Indicadores</b>
1.- Entrenamiento y Habilidades (EH).	a) Entrenamiento basado en Análisis de Tareas
	b) Tiempo usado para el entrenamiento cubre todos los eventos anormales posibles de ocurrir
	c) Aplicación periódica de testes y ejercicios.
	d) Cantidad de prácticas anuales
	e) Recalificación de los trabajadores
2.- Experiencia del Trabajador (ET)	a) Frecuencia con que se realizan las prácticas de las tareas relacionadas con procesos importantes para la seguridad.
	b) Calidad de las prácticas realizadas en simuladores
	c) Ejecución de prácticas en los lugares de posibles ocurrencias de incidentes
3.- Motivación (MO)	a) Mejoría de los aspectos ergonómicos
	b) Inclusión durante el entrenamiento de tareas que evalúan habilidades y destrezas de los trabajadores

	c) Existencia de un compromiso claro de la administración superior en relación a la seguridad del trabajador
4.- Características del local de Trabajo (sala de control) (CT).	a) Número de trabajadores en el local en condiciones de emergencia
	b) Facilidad de acceso físico a la sala de control
	c) Distribución de funciones por <i>display</i>
	d) Existencia de indicadores o registros lejos del campo de visión del trabajador
	e) Estado de las etiquetas y leyendas en la sala de control
5.- Calidad del Ambiente de trabajo (CA)	a) Temperatura en el local
	b) Grado de humedad
	c) Calidad del aire
	d) Iluminación
	e) Ruido
	f) Vibración

Tabla 2. Factores e indicadores del desempeño humano

Cada uno presenta un grado de importancia para la falla humana. A medida que aumenta la cantidad de indicadores con índices bajos, se incrementa la posibilidad de que este factor constituya una falla latente. Explicaremos dos factores con sus indicadores.

El primer factor “Entrenamiento y Habilidades” depende de 5 indicadores: el entrenamiento debe basarse en análisis de tareas, o sea, debe analizarse tarea por tarea durante los entrenamientos; el tiempo usado durante los entrenamientos debe cubrir todos los eventos anormales posibles de ocurrir en la refinería; se deben aplicar periódicamente pruebas y ejercicios; los trabajadores deben realizar una determinada cantidad de prácticas anuales de forma tal que sean creadas las habilidades necesarias para poder mitigar cualquier incidente que pueda ocurrir en la refinería y debe existir periódicamente la recalificación de los trabajadores.

Las características del local de trabajo son también un factor que influye en el desempeño humano y depende de cinco indicadores: número de trabajadores en el local en condiciones de emergencia, facilidad de acceso físico a la sala de control, distribución de controles y funciones por *display*, existencia de indicadores o registros lejos del campo de visión del trabajador, y estado de las etiquetas y leyendas en la sala de control. Para explicar el comportamiento del factor debemos considerar el significado de los cinco indicadores.

El primer indicador significa que en condiciones de emergencia debe haber una cantidad óptima de trabajadores en la sala de control, que

es donde ocurre la función de operación de los procesos. Poca cantidad puede provocar sobrecarga en los operadores y mucha cantidad provoca interferencia en las comunicaciones orales. Estas situaciones influyen en el desempeño humano.

El segundo indicador es la facilidad de acceso a la sala de control. De existir dificultades en el acceso físico, en condiciones de emergencia esto podría ser un inhibidor del buen desempeño humano.

La distribución de los controles automatizados sobre los procesos de la unidad que se está operando debe hacerse a través de diferentes *display* y de la forma más adecuada. La existencia de indicadores o registros lejos del campo de visión del operador puede contribuir a las fallas humanas. Por último, las etiquetas y leyendas en la sala de control deben estar en buen estado, con escritas legibles, claras y sin borrosidad.

Los otros tres factores (experiencia del trabajador, la motivación y la calidad del ambiente de trabajo) también poseen sus respectivos indicadores. Cada indicador constituye un subsistema del factor en cuestión. Las relaciones entre los factores y los indicadores crean una estructura borrosa la cual indicará un determinado nivel de confiabilidad humana para cada factor considerado.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Seleccionar los valores lingüísticos apropiados para describir el conocimiento vago o impreciso**

Los valores lingüísticos que se presentan como alternativas a escoger por los expertos de forma tal que puedan evaluar el grado de importancia de cada factor que influye en la confiabilidad humana son: *sin importancia, poco importante, moderadamente importante, importante y muy importante*. En el caso de evaluación del grado de desempeño de cada indicador por parte de los operadores, los valores lingüísticos son: *pésimo, mal, regular, bueno y óptimo*.

#### **3.2. Escoger las funciones de pertenencia más adecuadas para capturar la vaguedad de las estimaciones**

Los grados de importancia y grados de desempeño estarán representados por los números borrosos triangulares (NBT) indicados en la Tabla 3.

Grado de importancia	Grado de Desempeño	NBT
Muy importante (MI)	Óptimo (OT)	(3;4;4)
Importante (IM)	Bueno (BU)	(2;3;4)
Moderadamente importante (Mol)	Regular (RG)	(1;2;3)
Poco importante (PI)	Mal (ML)	(0;1;2)
Sin importancia (SI)	Pésimo (PE)	(0;0;1)

Tabla 3. Números borrosos triangulares

### 3.3. Aplicar el cuestionario a los expertos para determinar el grado de importancia de cada factor

Los factores presentan cierto grado de ambigüedad o vaguedad en su entendimiento. Fueron entrevistados 10 expertos (A, B, C, D, E, F, G, H, I y J) sobre el grado de importancia que presenta cada uno de los cinco factores. En la Tabla 4 aparecen los resultados de las evaluaciones.

Factor eval.	Evaluación de los expertos									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
EH	(3;4;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)
ET	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(2;3;4)
MO	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(3;4;4)
CT	(3;4;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(0;1;2)	(2;3;4)
CA	(2;3;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(2;3;4)

Tabla 4. Evaluación hecha por los 10 expertos a cada factor

### 3.4. Agregar las opiniones de los expertos

En este trabajo ha sido utilizada la función media, el método de agregación más utilizado ya que facilita los cálculos (Buckley, 1984).

$$VE_a = \frac{\left( \sum_{k=1}^q VE_i \right)}{q}, \quad VM_a = \frac{\left( \sum_{k=1}^q VM_i \right)}{q}, \quad VD_a = \frac{\left( \sum_{k=1}^q VD_i \right)}{q} \quad (1)$$

$VE_a, VM_a, VD_a$ .- valor extremo izquierdo, valor medio y valor extremo derecho del triángulo agregado y  $q$  es la cantidad de expertos. En la

Tabla 5 aparecen los números borrosos triangulares medio obtenidos para cada factor.

<b>Factor evaluado</b>	<b>NBT</b>
Entrenamiento y habilidades	(2,8; 3,8; 4)
Experiencia	(2,1; 3,1; 3,9)
Motivación	(2,2; 3,2; 3,7)
Características del local de trabajo	(2,1; 3,1; 3,7)
Calidad del ambiente de trabajo	(1,8; 2,8; 3,6)

Tabla 5. Resultados de la agregación de opiniones de los expertos

### 3.5. Realizar el procedimiento de aproximación lingüística

Este procedimiento consiste en calcular la distancia de cada número borroso triangular medio a cada una de las etiquetas utilizadas, asignando como resultado de la opinión agregada aquella etiqueta cuya distancia al número borroso triangular correspondiente sea mínimo.

<b>Factor evaluado</b>	<b>NBM</b>	<b>Etiqueta</b>
Entrenamiento y Habilidades	(2,8; 3,8; 4)	Muy importante
Experiencia	(2,1; 3,1; 3,9)	Importante
Motivación	(2,2; 3,2; 3,7)	Importante
Características del local de trabajo	(2,1; 3,1; 3,7)	Importante
Calidad del ambiente de trabajo	(1,8; 2,8; 3,6)	Importante

Tabla 6. Resultados de la evaluación hecha por los expertos

### 3.6. Aplicar los cuestionarios a 20 operadores de una industria de refinería de petróleo

In	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10
1a	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)	(1;2;3)
1b	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;1;2)
1c	(0;1;2)	(2;3;4)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)
1d	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)
1e	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)
2a	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)
2b	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)
2c	(0;0;1)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;1;2)
3a	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)
3b	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)
3c	(2;3;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(3;4;4)	(3;4;4)
4a	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)
4b	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)

4c	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)
4d	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)
4e	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)
5a	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)	(3;4;4)
5b	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(2;3;4)
5c	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)
5d	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(0;1;2)	(2;3;4)	(0;1;2)	(2;3;4)
5e	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)
5f	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(3;4;4)	(3;4;4)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(3;4;4)

Tabla 7. Resultados de las evaluaciones realizadas a cada indicador por los operadores 1 hasta 10

En las tablas 7 y 8 aparecen las respuestas de los operadores (O) a los cuestionarios con el objetivo de medir el grado de desempeño de los indicadores que forman parte de los cinco factores.

In	O11	O12	O13	O14	O15	O16	O17	O18	O19	O20
1a	(3;4;4)	(0;1;2)	(0;1;2)	(3;4;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)
1b	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)
1c	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;1;2)
1d	(2;3;4)	(0;1;2)	(0;0;1)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)
1e	(3;4;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)
2a	(3;4;4)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(3;4;4)
2b	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;1;2)
2c	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;0;1)	(2;3;4)	(0;0;1)	(0;0;1)	(0;1;2)	(0;1;2)
3a	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(3;4;4)	(0;0;1)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)
3b	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;0;1)	(3;4;4)	(0;1;2)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)
3c	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)
4a	(3;4;4)	(1;2;3)	(0;0;1)	(0;0;1)	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)
4b	(2;3;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)
4c	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)
4d	(1;2;3)	(0;1;2)	(2;3;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)
4e	(2;3;4)	(1;2;3)	(0;1;2)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(1;2;3)
5a	(2;3;4)	(0;0;1)	(2;3;4)	(3;4;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)
5b	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(1;2;3)	(2;3;4)	(3;4;4)
5c	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(3;4;4)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)
5d	(2;3;4)	(0;1;2)	(3;4;4)	(0;0;1)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;0;1)	(1;2;3)	(1;2;3)
5e	(0;1;2)	(1;2;3)	(1;2;3)	(0;1;2)	(1;2;3)	(2;3;4)	(0;1;2)	(0;1;2)	(1;2;3)	(0;1;2)
5f	(3;4;4)	(0;1;2)	(3;4;4)	(1;2;3)	(1;2;3)	(2;3;4)	(2;3;4)	(0;1;2)	(2;3;4)	(2;3;4)

Tabla 8. Resultados de las evaluaciones realizadas a cada indicador por los operadores 11 hasta 20

Para entender las tablas 7 y 8 vamos a tomar como ejemplo el indicador 1a (Entrenamiento basado en Análisis de Tareas). De un total de 20 operadores entrevistados, 6 consideraron que este indicador tiene un mal comportamiento, 8 prefirieron evaluarlo como regular, mientras que 3 operadores lo calificaron de bueno y otros 3, de óptimo. Al aplicar la fórmula 1 obtuvimos los resultados de valores *fuzzy* de desempeño que aparecen en la Tabla 9.

<b>Factor</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Desempeño</b>
1.- EH	a) Entrenamiento basado en análisis de tareas	(1,15; 2,15; 3)
	b) Tiempo usado para el entrenamiento cubre todos los eventos anormales posibles de ocurrir	(0,4; 1,2; 2,2)
	c) Aplicación periódica de testes y ejercicios.	(0,45; 1,25; 2,25)
	d) Cantidad de prácticas anuales	(0,5; 1,35; 2,65)
	e) Recalificación de los trabajadores	(1,1; 2,05; 3)
2.- ET	a) Frecuencia con que se realizan las prácticas de las tareas relacionadas con los procesos de seguridad.	(1,3; 2,25; 2,95)
	b) Calidad de las prácticas realizadas en simuladores	(0,2; 0,7; 1,7)
	c) Ejecución de prácticas en los lugares de posibles ocurrencias de incidentes	(0,4; 1,0; 2,0)
3.- MO	a) Mejoría de los aspectos ergonómicos	(0,95; 1,8; 2,6)
	b) Inclusión de tareas durante el entrenamiento que evalúa las habilidades y destrezas de los trabajadores	(0,9; 1,75; 2,65)
	c) Existencia de un compromiso claro de la administración superior con relación a la seguridad del trabajador	(2,15; 3,15; 3,75)
4.- CT	a) Número de trabajadores en el local en condiciones de emergencia	(0,75; 1,35; 2,3)
	b) Facilidad de acceso físico a la sala de control	(1,3; 2,35; 3,25)
	c) Distribución de <i>display</i> por funciones	(1,3; 2,3; 3,2)
	d) Existencia de indicadores o registros lejos del campo de visión del trabajador	(1,2; 2,2; 3,15)
	e) Estado de las etiquetas y leyendas en la sala de control	(1,2; 2,4; 3,2)
5.- CA	a) Temperatura en el local	(1,55; 2,5; 3,3)
	b) Grado de humedad	(1,6; 2,65; 3,45)
	c) Calidad del aire	(1,5; 2,5; 3,35)
	d) Iluminación	(1,35; 2,2; 3,05)
	e) Ruido	(1,15; 2,15; 3,15)
	f) Vibración	(1,9; 2,95; 3,65)

Tabla 9. Resultados de los valores *fuzzy* de desempeño de los indicadores

Seguidamente utilizamos el procedimiento de aproximación lingüística (Tabla 10).

<b>Factor</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Desempeño</b>
1.- EH	a) Entrenamiento basado en Análisis de Tareas	Regular
	b) Tiempo usado para el entrenamiento cubre todos los eventos anormales posibles de ocurrir	Mal
	c) Aplicación periódica de testes y ejercicios.	Mal
	d) Cantidad de prácticas anuales	Mal
	e) Recalificación de los trabajadores	Regular
2.- ET	a) Frecuencia con que se realizan las prácticas de las tareas relacionadas con los procesos de seguridad.	Regular
	b) Calidad de las prácticas realizadas en simuladores	Mal
	c) Ejecución de prácticas en los lugares de posibles ocurrencias de incidentes	Mal
3.- MO	a) Mejoría de los aspectos ergonómicos	Regular
	b) Inclusión de tareas durante el entrenamiento que evalúan habilidades y destrezas de los trabajadores	Regular
	c) Existencia de un compromiso claro de la administración superior con relación a la seguridad del trabajador	Bueno
4.- CT	a) Número de trabajadores en el local en condiciones de emergencia	Mal
	b) Facilidad de acceso físico a la sala de control	Regular
	c) Distribución de <i>display</i> por funciones	Regular
	d) Existencia de indicadores o registros lejos del campo de visión del trabajador	Regular
	e) Estado de las etiquetas y leyendas en la sala de control	Regular
5.- CA	a) Temperatura en el local	Regular
	b) Grado de humedad	Bueno
	c) Calidad del aire	Regular
	d) Iluminación	Regular
	e) Ruido	Regular
	f) Vibración	Bueno

Tabla 10. Resultados de la evaluación agregada de los trabajadores con respecto al desempeño de los indicadores

#### **4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Según los expertos, la calidad del ambiente de trabajo, a pesar de ser importante, es el factor de menor importancia entre los cinco factores analizados.

Observando la Tabla 10, vemos que el factor “Entrenamiento y Habilidades” constituye el más importante para el desempeño humano y al mismo tiempo, los cinco indicadores de este factor poseen un bajo desempeño, pudiéndose catalogar de forma general como malo. En este caso, el factor “Entrenamiento y Habilidades” posee una alta posibilidad de ser considerado una falla latente en el ambiente de la refinería en estudio.

Así mismo, tenemos que la experiencia del trabajador, la motivación y las características del local de trabajo, todos evaluados como importante para la confiabilidad humana, se encuentran “deteriorados” por tres, dos y cinco indicadores respectivamente. El factor “Características del ambiente de trabajo”, clasificado como importante para la confiabilidad humana (peso = 0,73), se encuentra “deteriorado” por cuatro indicadores. Estos factores también constituyen “fallas latentes”.

#### **5. CONCLUSIÓN**

El concepto básico de confiabilidad se relaciona con la idea de la probabilidad que existe en un ambiente específico de una persona de permanecer sin fallar (cumplir las funciones para las que fue cualificada y entrenada) durante un número de horas determinada.

El nivel de confiabilidad humana depende en gran medida de la cantidad de factores afectados y que pueden constituir “fallas latentes”. El comportamiento de un factor de desempeño humano depende de indicadores. Las relaciones entre los factores y los indicadores crean una estructura borrosa, la cual indicará un determinado nivel de confiabilidad humana para cada factor considerado.

Las posibilidades de fallas humanas pueden ser evaluadas a partir del conocimiento que se tenga sobre el desempeño de determinados factores subjetivos, vagos y complejos, que están presentes en cualquier ambiente de trabajo. La modelación borrosa utiliza como datos las evaluaciones subjetivas de expertos y operadores de la refinería de petróleo para cuantificar la información cualitativa.

En la medida que aumenta el número de indicadores “deteriorados”, aumenta la posibilidad de que el factor correspondiente sea considerado una “falla latente”. A su vez se incrementan las posibilidades de fallas humanas.

En la refinería estudiada, las posibilidades de fallas humanas son elevadas por lo que se requiere aplicar recursos buscando la mejoría de los indicadores, evitándose de esta forma la presencia de fallas latentes.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Buckley, J.J. (1984). “The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach”. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 13, pp.25-37

Hsi, M-H.; Chen, T-C. (1996). “Aggregation of fuzzy opinions under group decision making”. *Fuzzy Sets and Systems*. Vol 29, pp.279-285.

Kaufmann, A.; Gil Aluja, J. (1987). *Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre*. Editorial Hispano Europea, Barcelona.

Liang, G-S; Wang, M-J. J. (1993). “Evaluating Human Reliability Using Fuzzy Relation”. *Microelectronic Reliability*. Vol. 33, N° 1, pp.63-80.

Moré, J. D. (2004). “A fuzzy approach to evaluation the human reliability in the ultrasonic nondestructive examinations,” *unpublished Doctoral dissertation*, Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE). Departament Materials and Metallurgical Engineering, Brazil.

Moré, J. D. Tanscheit R.; Vellasco M. M.; Pacheco M. M. A.; Swarcman D. (2007). “A fuzzy Approach to the Study of Human Reliability in the Petroleum Industry”. In: O. Castillo, P. Melin, O. Montiel Ross, R. Sepúlveda Cruz, W. Pedrycz, J. Kacprzyk. (Org.). *Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic and Soft Computing*. Berlin, Springer. Vol. 42, pp.415-424.

Onisawa, T. (1988). “An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility”. *Fuzzy Sets and Systems*. Vol 27, pp.87-103.

Swain, A. D.; Guttman, H. E. (1983). *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*. NUREG/CR-1278.