

# MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR), caso: (MCH) Micro Central Hidroeléctrica

RISK BASED MAINTENANCE (RBM), case: (MHC) Micro Hydroelectric Plant

Edwin Jesús Alave Alavi\*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMEN
<p>El tratamiento conceptual del riesgo, como apoyo a la gestión dentro de una planificación de Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR, conducente a prevenir fallas en la MCH Micro Central Hidroeléctrica en cuestión, Ha servido para examinar los cuatro subsistemas de la MCH, estableciéndose que los componentes de la turbina hidroeléctrica Pelton corresponden al subsistema que mayoritariamente aporta sobre el riesgo global de la micro central. Además la elaboración de matrices de riesgo, permitieron el ordenamiento relativo de riesgos críticos considerados inadmisibles, destacándose las vibraciones en la turbina, fallas en los tiristores, resistencia de carga secundaria quemada, desalineamiento de acople, entre otros.</p> <p><b>PALABRA CLAVE:</b> Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR, TMEF por consecuencias, matriz de riesgos.</p>	<p>The conceptual treatment of risk, as support for risk management within an MBR Risk-Based Maintenance Plan, leading to the prevention of failures in the MCH Micro Central Hydroelectric in question, has served to examine the four subsystems of the MCH, establishing that the components of the Pelton hydroelectric turbine correspond to the subsystem that mainly contributes to the global risk of the MCH. In addition, the development of risk matrices allowed the relative ordering of critical risks considered inadmissible, especially turbine vibrations, thyristor failures, burnt secondary load resistance, coupling misalignment, among others.</p> <p><b>KEYWORDS:</b> Risk Based Maintenance RBM, MTBF by consequences, risk matrix.</p>	<p>O tratamento conceptual do risco, como apoio à gestão de risco dentro de um plano de Manutenimento Baseada no Riego MBR, conducente um controle fall na MCH Micro Central Hidroeléctrica no questão, Ha para analisar os quatro subsistemas de MCH, estabelecendo-se Que os componentes da turbina hidroeléctrica Pelton correspondem a um subsistema que pode ser umportivo sobre o mundo global da MCH. Además a elaboração de matrices de riesgo, permitindo a ordenação relativa de riesgos críticos considerados inadmissíveis, destacando as vibraciones na turbina, fallas nos tiristores, resistencia de carga secundaria quemada, desalineamiento de acople, entre otros.</p> <p><b>PALAVRAS-CHAVE:</b> Mantenimiento Basado no Riego MBR, MBFT por consecuencias, matriz de riesgos.</p>
<p><b>History of the article:</b> Received 09/05/2018. Style review 15/05/2018. Accepted 25/06/2018.</p>		

## INTRODUCCIÓN

### Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR

El MRB, busca reducir el riesgo, conceptualizado como la eventualidad de estar próximo a la ocurrencia de un daño o falla que afecta total o parcialmente a los: sistemas mecánicos (máquinas, instrumentos), sistemas de energía (suministro, control y distribución de energía) y sistemas informáticos (hardware y software) de uso frecuente en los proceso productivos y/o de servicios.

Ordenando este concepto de riesgo a través de una serie de actividades, es decir, identificando, analizando y evaluando que lugares y sectores de un sistema son los más propensos a presentar fallas, se puede lograr la gestión del riesgo recolectando información que permite aplicar el tratamiento oportuno de reducción, eliminación, minimización y/o control. Actividades que relacionadas con los procesos productivos y de servicios, estructuran el MRB industrial. La figura 1, muestra un esquema para la gestión del riesgo conducente a un plan MBR.

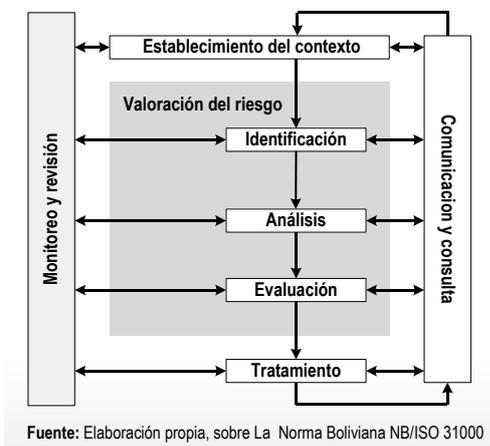


Figura 1: Gestión del riesgo Norma AN/NZS 4360:2004

### Aplicación MBR, Micro Central Hidroeléctrica MCH

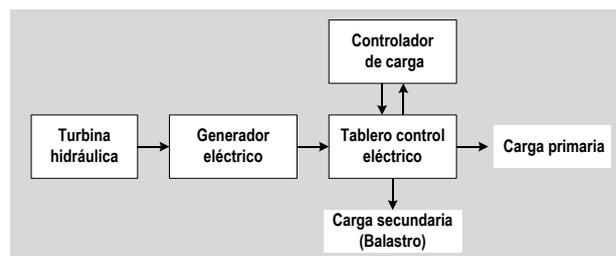
Se efectuó la valoración del riesgo para una Micro Central Hidroeléctrica, considerando la probabilidad de ocurrencia de una falla o no, y en función a esta probabilidad, determinar la situación de criticidad (estado crítico) de los subsistemas y sus consecuencias; en la seguridad, el medioambiente, la instalación y los costos.

Por otra parte se preparó una tabla con indicadores de valor de acuerdo con la gravedad de las fallas y una evaluación de costo económico. Para posteriormente relacionar estos datos en una matriz de riesgos, tomando en cuenta que el riesgo matemáticamente se puede expresar como el producto entre la probabilidad de ocurrencia de un evento y sus consecuencias o efectos valorados a través de una serie de indicadores.

$$Riesgo = \frac{I}{MTBF (\text{año})365} \times Consecuencia \tag{1}$$

## DESARROLLO

La figura 2, muestra los cuatro subsistemas estudiados: turbina hidroeléctrica, generación eléctrica, tablero control eléctrico y controlador de carga electrónico.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Diagrama de bloques del sistema hidroeléctrico (Casa de máquinas)

### Determinación del valor de la probabilidad

En la tabla 1, se presentan cinco juicios expertos, para el MTBF (Mean Time Between Failures) Tiempo Medio Entre Fallas de un sistema, asumiendo que el elemento, o equipo se repara rápidamente como parte de un proceso de renovación (confiabilidad).

**Tabla 1**  
Cinco niveles de probabilidad de falla nominal y su relación con MTBF (Mean Time Between Failures) Tiempo Medio Entre Fallas micro central hidroeléctrica

NIVEL	DEFINICIÓN	MTBF (año)
Muy alta	Ocurre varias veces en un año	MTBF < 1
Alta	Ocurre al menos una vez cada tres años	1 ≤ MTBF < 3
Moderada	Ha ocurrido alguna vez	3 ≤ MTBF < 8
Baja	No ha ocurrido nunca en, pero es probable que ocurra	8 ≤ MTBF < 15
Muy baja	No ha ocurrido nunca, y es improbable que ocurra	MTBF ≥ 15

Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo, la deficiente lubricación en el rodamiento de la turbina, según las encuestas realizadas y el análisis del juicio experto, determinó un valor de MTBF < 1 año, probabilidad de falla muy alta, porque si la lubricación en el rodamiento es deficiente, el aumento de temperatura ocasiona un desgaste adhesivo que puede inutilizar esta pieza y afectar el funcionamiento normal de la micro central.

Para valorar el impacto de las fallas y sus consecuencias o efectos en: seguridad, instalación, medioambiente y los costos. Si bien las fallas, no tienen indicadores directos, pueden relacionarse con indicadores de valor de acuerdo con la gravedad de éstas y la evaluación del costo. Ver tabla 2.

**Tabla 2**  
Indicadores de valor de acuerdo con la gravedad de la falla y la evaluación del costo

IMPACTO DE LA FALLA	COSTO RELACIONAL (Sus)	INDICADOR DE VALOR
(I) Insignificante	> a 30 Sus	0 a 14
(M) Marginal	< 30 y > 100	15 a 24
(G) Grave	< 100 y > 500	25 a 44
(C) Crítica	< 500 y > 1000	45 a 64
(D) Desastrosa	< 1000 y > 5000	65 a 89
(T) Catastrófica	> 5000	90 a 100

Fuente: Elaboración propia

Escala ordinal de indicadores de valor que representan la gravedad de la falla en lo humano, ambiental, operacional y económico, asumiendo que 0 expresa el valor mínimo (insignificante) y 100 el valor máximo (catastrófica).

Estos indicadores para acercarse más a una distribución no lineal, forma habitual como se presentan las fallas (realidad), pueden elevarse al cuadrado y así, expandir su rango de 0 a 10000 respectivamente.

### Aplicación

Analizados los cuatro subsistemas de la MCH, a partir de la opinión de las personas encuestadas y con la ayuda de los cinco juicios expertos, la sumatoria de los riesgos asociados a cada subsistema se muestra en la figura 3.

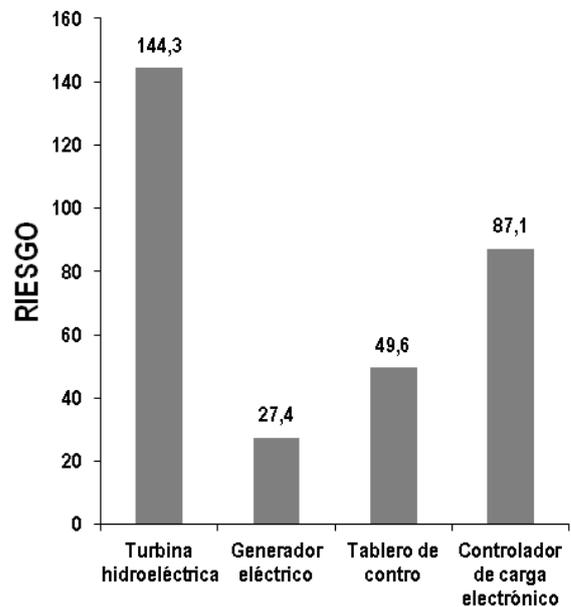


Figura 3: Contribución de los subsistemas al riesgo global de la MCH

Este resultado muestra que el subsistema que tiene una mayor probabilidad de presentar fallas es la turbina, y en segundo lugar el controlador de carga electrónico.

### Matriz de riesgos

Por metodología, la matriz relaciona los respectivos MTBF (probabilidades de juicio experto) con los indicadores de valor de acuerdo a la gravedad de la falla y el costo que el daño puede ocasionar. Por la expresión 1 y tomando el cuadrado de los indicadores de valor tope tabla 2, el modelo matriz de riesgos y sus resultados se muestra en la figura 4.

Juicio experto		MTBF <sup>-1</sup>	INDICADORES DE VALOR (CONSECUENCIAS)						
			I	M	G	C	D	T	
MA	MTBF < 1	1,000	L 196	M 576	H 1936	VH 4096	VH 7921	VH 10000	
	1 ≤ MTBF < 3	0,333	L 65	M 192	M 645	S 1364	H 2638	H 3330	
M	3 ≤ MTBF < 8	0,125	L 25	L 72	L 242	M 512	S 990	S 1250	
B	8 ≤ MTBF < 15	0,067	L 13	L 38	L 129	M 273	M 528	M 667	
MB	MTBF ≥ 15	0,050	L 10	L 29	L 97	L 205	M 396	M 500	

Figura 4: Modelo matriz de riesgos desarrollada para los subsistemas de la MCH

Por ejemplo, esta matriz permite obtener 30 respuestas para el riesgo asociado a un determinado subsistema, estableciendo distintos valores que pueden clasificarse de acuerdo al nivel de probabilidad y MTBF, con la gravedad de la falla y la evaluación del costo. Para el modelo se tienen cinco intervalos que van de menor a mayor:

Intervalo	0 250	251 700	701 1500	1501 2500	2501 10000
Intensidad del riesgo	L Low, Baja	M Moderate, Moderada	S Strong, Fuerte	H High, Alta	VH Very High, Muy Alta
Alternativas	12	9	3	3	3

Los valores altos, que por lo general se encuentran en el extremo superior derecho de la matriz, identifican alternativas muy riesgosas que se deben controlar para evitar la ocurrencia de fallas en los subsistemas. Por ejemplo para la turbina, las vibraciones en la turbina, la falla de los tiristores, la resistencia de carga secundaria quemada, el desalineamiento en el acople y montaje defectuoso, están en las zonas H y VH, manifestando el potencial riesgo o daño que se puede presentar en la turbina, por lo que las tareas de mantenimiento sobre estos aspectos deben ser atendidas con prioridad.

El propósito del programa de Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR es; identificar a través de esta matriz los puntos críticos que merecen mayor atención y actuación del mantenimiento e implementar opciones de tratamiento específico o acciones anticipadas para contrarrestar la eventualidad de fallas en el funcionamiento de la turbina.

## CONCLUSIONES

El tratamiento conceptual del riesgo, como apoyo a su gestión dentro de un plan de Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR, conducente a prevenir fallas en la MCH Micro Central Hidroeléctrica en cuestión, plantea la estimación de múltiples subjetividades de probabilidad y consecuencias, por la falta del historial de fallas de la MCH, que se subsanó con el aporte de juicio expertos de distintas disciplinas, también la metodología recurre a utilizar matrices de riesgo y tablas guías para conversión de cualidades en cantidades.

Analizados los cuatro subsistemas se pudo establecer que los equipos componentes de éstos, presentan irregularidades, como la turbina hidroeléctrica Pelton que mostró problemas en los rodamientos por una mala alineación del bloque turbina-generador, provocando vibraciones anómalas.

La turbina como el subsistema que mayoritariamente aporta sobre el riesgo global de la MCH y su análisis por matriz de riesgo, ha permitido el ordenamiento relativo de riesgos críticos considerados inadmisibles, destacándose las vibraciones en la turbina, las fallas en los tiristores, la resistencia carga secundaria quemada, desalineamiento en el acople, montaje defectuoso, entre otros.

Se identificaron 80 causas de falla, que sirvieron de base para la selección de herramientas correctivas, preventivas y predictivas. Además de la práctica de inspecciones para identificar señales de falla prematuras, utilizando en el analizador de vibraciones y termógrafo.

Finalmente, a través del programa de Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR, es posible mejorar los subsistemas de la MCH, disminuir las horas de parada por acciones imprevistas y/o descuidos por parte de los operadores; siempre y cuando el elemento, o equipo diagnosticado se repare rápidamente como parte de un proceso de renovación (confiabilidad) incluido en el MBR para esta micro central hidroeléctrica.

## BIBLIOGRAFÍA

Rubio, R. J.C., 2004, Métodos de evaluación de riesgos laborales, Díaz de Santos S.A., Madrid-España,

Ortiz, F., 2001, Pequeñas centrales hidroeléctricas, Nomos S.A., Bogotá – Colombia,

Gonzales, F., F.J., 2005, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, Fundación Confemetal, 2da. Edición, Madrid-España,

Rey S.F., 2002, El auto mantenimiento en la empresa, Etapas y experiencias para su implantación, Fundación. Confemetal, Madrid-España,

Acuña A.J., 2003, Ingeniería de confiabilidad, Tecnológico de Costa Rica, Cartago-Costa Rica,

La gestión de riesgos (En línea)  
<<http://www.monografias.com/trabajos-pdf3/gestion-riesgo/gestion-riesgo.pdf>>, Consulta: 05/04/2013

Creus, S.A., 1991, Fiabilidad y seguridad de procesos industriales, Marcombo S.A., Barcelona-España,

Martínez, P de L. J.G., 2002, Introducción al análisis de riesgos, Limusa S.A., México,

Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR (En línea)  
<<http://alterevoingenieros.blogspot.com/2013/07/mantenimiento-basado-en-riesgo-la-mas.html>> Consulta: 05/04/2018,

Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR (En línea)  
<http://campuscurico.utralca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20MBR%20MANTENIMIENTO%20BASADO%20EN%20EL%20RIESGO.pdf>, Universidad de Talca, Consulta: 05/04/2018,

Universidad Politécnica de El Salvador, Conceptos generales de turbinas (En línea)  
<http://aulaweb.upes.edu.sv/claroline/backends/download.php?url=10nptknfve9tx0dftkvsquxfu19erv9uvvjcsu5buy5wzgy%3D&cidReset=true&cidR=GTE023>, Consulta: 05/04/2018,

Norma boliviana NB/ISO 31000, 2012, Gestión del riesgo, principios y directrices, Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA),

Peralta, U. R., 2002, Principios y fundamentos de ingeniería del mantenimiento, Ed. Nuevo Amanecer. La Paz-Bolivia.

(\*), Licenciado en Electromecánica,  
Docente carrera de Electrónica y Telecomunicaciones,  
Facultad de Tecnología – UMSA.