

Ingeniería de confiabilidad aplicado a una planta hidroeléctrica

Reliability engineering applied to a hydroelectric plant

Victorino Juárez Rivera

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, México

vijuarez@uv.mx

Ignacio Sánchez Bazán

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, México

igsanchez@uv.mx

Omar Juárez Rivera

Universidad Veracruzana, Facultad de Administración, México

ojuarez@uv.mx

Resumen

La ingeniería de confiabilidad ha tenido un auge en el análisis de productos o procesos para realizar su función a través de un lapso de tiempo. La aplicación de la ingeniería en confiabilidad utiliza diversas herramientas para predecir los problemas que pueden surgir, en este trabajo se centra en el proceso de generación de energía eléctrica en una planta hidroeléctrica localizada en la región centro del estado de Veracruz, el objetivo es evaluar los factores causales de falla para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de sus procesos. Las herramientas empleadas identifican las fallas del proceso para lograr ampliar el funcionamiento de las maquinas en el proceso y aumentar su desempeño. A partir de estas herramientas como el análisis de modo de fallas y efectos y el análisis de causa raíz se identificaron y evaluaron las fallas, se caracterizó e señalaron cuáles son sus variables críticas y proporcionaron las acciones para diezmar o eliminar las fallas encontradas. Los resultados en la aplicación de la ingeniería de confiabilidad permiten encontrar estrategias de riesgos en los procesos, cálculo del rendimiento de las máquinas y establecimiento de un programa de mantenimiento sistemático.

Palabras clave: AMFE, confiabilidad, fallas, mantenimiento.

Abstract

Reliability engineering has had a boom in the analysis of products or processes to perform its function over a period of time. The application of reliability engineering uses various tools to predict problems that may arise, in this work focuses on the process of generating electricity in a hydroelectric plant located in the central region of the state of Veracruz, the objective is to evaluate the causal factors of failure to increase the reliability and availability of their processes. The tools used identify the process failures in order to expand the operation of the machines in the process and increase their performance. Based on these tools, such as the failure mode and effect analysis and the root cause analysis, the failures were identified and evaluated, their critical variables were characterized and pointed out, and the actions to decimate or eliminate the failures found were provided. The results in the application of reliability engineering allow finding risk strategies in the processes, calculating the performance of the machines and establishing a systematic maintenance program.

Keywords: FMEA, reliability, failures, maintenance.

Fecha Recepción: Enero 2020

Fecha Aceptación: Julio 2020

Introducción

La ventaja competitiva de cualquier empresa se basa en minimizar los paros en su maquinaria, la planeación para dar mantenimiento a los mismo tiene como consecuencia la eficacia y eficiencia en su producción. la tecnología, los productos son cada vez más complejos, los clientes se tornan cada vez más exigentes y la competencia es alta.

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza “que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. También se define la confiabilidad como la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

El termino de ingeniería de confiabilidad se enfoca en técnicas herramientas y métodos que en conjunto ayudan a determinar que un componente, sistema o producto actúen con seguridad proporcionando la calidad adecuada, bajo las condiciones óptimas y bajo un tiempo determinado, ahora bien dirigido esto hacia las organizaciones de forma global es necesario definir otros términos que nos ayuden en conjunto a determinar soluciones optimas en donde

cada elemento realice su trabajo en el tiempo previsto sin cometer fallas o errores, para alcanzar más que eficiencia y eficacia, la grandeza. (Castillo, 2012)

Esto será posible utilizando las metodologías necesarias para medir y predecir los alcances de los sistemas o componentes de una organización pasando del mantenimiento preventivo al mantenimiento predictivo para que el desarrollo de actividades sea efectivo y eficiente por medio de la comunicación e interacción clara y precisa entre los involucrados.

En la actualidad no basta que un proceso, sistema o producto cumpla los parámetros y criterios de calidad establecidos, sino que además sea importante que tenga un buen desempeño durante su vida útil, es decir, que sea confiable, es por eso que con la implementación de las herramientas de confiabilidad: Inspección Basada en Riesgo (RBI) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) se tiene como objetivo poder anticipar las posibles fallas en el proceso, así como conocer la probabilidad de que estas ocurran. (Acuña, 2003)

La herramienta Inspección Basada en Riesgo tiene como ventajas reducir el riesgo debido a las fallas de alta consecuencia, mejorar la relación costo beneficio en las actividades de inspección y mantenimiento, además proporciona una metodología sistemática para identificar los factores críticos que contribuyen a la ocurrencia del riesgo.

La herramienta Mantenimiento Centrado en Confiabilidad mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas, analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema, desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, optimiza los costos de mantenimiento, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo. (Nápoles-Villa, Silva & Marrero Fornaris, 2016)

Los beneficios generados por el análisis causal raíz (RCA) son la reducción del número de incidentes, fallos y desperdicios, la reducción de los gastos y de la producción diferida, asociada a los fallos, el mejoramiento de la confiabilidad, la seguridad de los productos y el mejoramiento de la eficiencia, rentabilidad y productividad de los procesos.

Así también los beneficios generados por el análisis modal de fallos y efecto (AMFE) son identificar los modos de fallo que tienen consecuencias importantes respecto a diferentes criterios: disponibilidad, seguridad, etc., precisar para cada modo de fallo los medios y procedimientos de detección, adoptar acciones correctoras o preventivas, de forma que se

supriman las causas de fallo del producto, en diseño o proceso y valorar la eficacia de las acciones tomadas.

Justificación

La generación de electricidad mediante planta hidroeléctricas, la fuera potencias de la caída del agua almacenada convierte en electricidad mediante el equipo necesario que lo convierte en energía. El plan de mantenimiento en la planta hidroeléctrica para conocer el estado actual y prever futuras fallas que pudieran detener la generación de electricidad. Es por ello que el análisis de ingeniería de confiabilidad implementado genera un procedimiento de análisis completo hacia las posibles fallas del sistema.

Metodología

En la actualidad para las empresas hidroeléctricas la principal preocupación se centra en la necesidad de aumentar la seguridad y confiabilidad de los procesos y reducir los costos asociados al fallo de los productos, tanto los costos directos asociados a su reparación, como los indirectos, originados como consecuencia de la pérdida de producción durante la parada de la instalación.

El desarrollo de estas herramientas de ingeniería de confiabilidad permite un estudio más a fondo acerca del desarrollo y mejora del proceso. evaluar los factores causales de falla en una planta hidroeléctrica, así como sus efectos, mediante la aplicación de las herramientas Análisis Modal de Falla y Efecto (AMFE) y Análisis Cusa Raíz (RCA), para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de sus procesos, Incrementar la disponibilidad de los activos, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. Mejorar el rendimiento operacional de los activos. Determinar las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, instalaciones, equipos y ambiente.

Es por este motivo que surge la necesidad de la implementación de las herramientas de ingeniería de confiabilidad: análisis modal de fallas y efecto (AMFE) y análisis causa raíz (RCA), las cuales se utilizan para identificar las causas que originan los fallos o problemas dentro del proceso en una planta hidroeléctrica, y así elaborar planes de acción que supriman las causas de fallo del producto o proceso, evitando la ocurrencia de los mismos. Buscando con esto el mejoramiento de la confiabilidad y seguridad de los procesos.

La ingeniería de confiabilidad surge bajo la necesidad de anticipar fallas y la probabilidad de ocurrencias de las mismas en los procesos o productos. Razón por la cual esta brinda la

oportunidad de diseñar procesos robustos capaces de fabricar productos de alta calidad; previniendo cualquier problema de producción que se presente en la organización, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades del cliente como durabilidad, calidad, precio, tiempo de entrega, confiabilidad y sobre todo que la organización sea capaz de producirlo según la tecnología operativa de manufactura y el presupuesto que posea. (Parra, 2005)

La Ingeniería de Confiabilidad se concentra en procesos de eliminación de fallas a través del uso de diversas herramientas analíticas que permitan mejorar procesos, actividades, recursos, diseños etc., dentro de las tácticas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. (Acuña, 2003)

En su forma más general, la Ingeniería de Confiabilidad puede definirse como la rama de la ingeniería que estudia las características físicas y aleatorias del fenómeno “falla”.

El término de Ingeniería de confiabilidad está relacionado con los mantenimientos preventivo y correctivo.

Descripción de las herramientas aplicadas en el proceso de generación de energía eléctrica.

En Ingeniería de confiabilidad se utilizan métodos, técnicas y herramientas que sirven para determinar el grado de seguridad en el cual un dispositivo, producto o sistema trabajará en condiciones óptimas durante un determinado periodo de tiempo.

En el presente trabajo se Implementarán las herramientas AMFE Y RCA en una hidroeléctrica.

Descripción de la planta hidroeléctrica

En la planta hidroeléctrica se trabaja las 24 horas del día los 365 días del año, esta planta cuenta con 18 operarios y un ingeniero a cargo. Trabaja con cuatro turnos los cuales se rolan cada 2 meses:

Tabla 1. Turnos, fechas y horarios de trabajo en la planta hidroeléctrica.

Turnos	Horarios	Días
Primer turno	6:00 am a 2:00 pm	Lunes a Sábado
Segundo turno	2:00 pm a 10:00 pm	Domingo a Jueves
Tercer turno	10:00 pm a 6:00 pm	Miércoles a Domingo
Cuarto turno	8:00am a 4:00pm	Cubre los días de descansos

(Elaboración propia)

En la planta hidroeléctrica el ingeniero encargado clasifica la producción de energía en dos temporadas: temporada alta y temporada baja.

La temporada alta se toma de julio a diciembre ya que en esta época hay más agua por las lluvias, por lo tanto, las maquinas trabajan más rápido y generan más energía, al igual que más trabajo y dinero. La temporada baja es de enero a mayo, en esta hay poco flujo de agua y por consiguiente se genera menos energía, menor trabajo y dinero. En esta temporada se para una de las maquinas mientras funciona la otra y viceversa.

Los elementos que conforman esta planta hidroeléctrica son los siguientes:

Tabla 2. Elementos de la planta hidroeléctrica

Elemento	Componente
Presa o represa	1
Embalse	1
Toma de agua	1
Tubería Forzada o Tubería de Presión	1
Aliviaderos	1
Casa de Máquinas o Sala de Turbinas	1
Transformadores	3
Líneas de Transporte de Energía Eléctrica	5
Turbina	2
Tableros de control	2
Compuertas	3

(Elaboración propia)

En la planta hidroeléctrica se realizan tres tipos de mantenimiento: mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo.

El mantenimiento predictivo se realiza cada 20 años, en el cual hay un paro total de las máquinas y estas son desarmadas por completo para hacer cambios de algunas piezas.

El mantenimiento preventivo se realiza cada 3 años, este solo se realiza a las turbinas y solo a los componentes significativos de esta, para prevenir los posibles fallos. También se realiza mantenimiento en uso diario o preventivo en el cual se toman datos, de inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos, etc.

El mantenimiento correctivo se realiza cuando se presenta algún imprevisto o desperfecto de los componentes de la planta hidroeléctrica.

Dentro de la planta hidroeléctrica los mantenimientos son esenciales para prolongar y mantener la vida, seguridad y la confiabilidad de los equipos, también ayudan a eliminar los

riesgos laborales, además de que si ocurre una falla no prevista dentro de esta las pérdidas económicas son elevadas. Por una hora que se paren las maquinas las pérdidas económicas son de \$5,000.00. La falta de mantenimiento o un mantenimiento inadecuado puede provocar situaciones peligrosas, accidentes y problemas de salud para su equipo.

Descripción de fallas en el proceso en la planta hidroeléctrica.

La planta hidroeléctrica no se han presentado tantas fallas, puesto que no tiene mucho tiempo en funcionamiento, pero analizando cada una de las etapas que conforman el proceso, como lo son el canal, la tubería de presión, la turbina, el excitador, el transformador, el generador etc. se puede apreciar que existen infinidad de posibles fallas, ya sean mecánicas, eléctricas, humanas o por factores externos (naturaleza).

Resultados

Los resultados del análisis de ingeniería de confiabilidad con la técnica de inspección basada en riesgos. Se determinaron las muestran los posibles fallos en el proceso como se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de las fallas en el proceso.

	Fallos en el proceso		
	Falla	Causas de falla	Efecto de falla
Mecánicos	Desgaste de banda principal: al pasar eso el sistema o gobernador manda a cerrar (parar la máquina).	Fricción, propiedades de los materiales: (calidad, resistencia, fatiga, etc.) o proveedores.	Elevación de la temperatura y por consiguiente se eleva la potencia reactiva, paró de la máquina. Van dos años de operación y esta falla solo ha ocurrido una vez.
	En la turbina: Caída de la cuña de la violeta. Acciones	Erosión, gravitación, desgaste, falta de lubricación (niveles de aceite), sellos mecánicos, revolución (se revoluciona la maquina).	Desperfectos en la flecha, muñones, la máquina ya no cierran bien y esto ocasiona que la máquina revolucione muy rápido.

	recomendadas: Análisis de vibraciones mediante equipo de medición.	Vibraciones mecánicas, desgaste de la cuña, mala calidad o material inadecuado.	Que la turbina revolucione y tenga que haber un paro por que el alabe no tiene la articulación adecuada.
Eléctricos	En el transformador.	Fugas de aceite, desgaste de carbones, fallas del TP, elevación de temperatura, corto circuito, histéresis, falta de mantenimiento o supervisión, etc. En este caso el fallo fue originado al romperse un empaque de corcho de neopreno, ocasionando que este empezará a escurrir aceite, el cual se utiliza como aislante y a la vez que se calentará.	Paro de emergencia de la máquina y se rechaza el agua. En este caso no se realizó el mantenimiento oportuno sino hasta que el transformador empezó a tirar el aceite por chorros y se tuvo que parar la máquina, lo que ocasiona para la empresa una pérdida de 5000 por hora. En este caso se desarmo el transformador y se le dio mantenimiento correctivo. Esta falla si es grave ya que el aceite actúa como un aislante en el transformador y si este se queda sin aceite se podría ocasionar una explosión generando daños mayores en la planta, El aislante de los transformadores es de 940 litros de aceite.
	Desgaste de sellos mecánicos.	Falta de lubricación.	
	Falso contacto.	Mala calidad del cable.	Brincos de corriente.
	Elevación de la potencia reactiva.	Se boten o cierran los interruptores, la banda principal de la turbina se rompe, contacto de una línea con una varilla	Sanción, penalización, acta administrativa. Solución: meter carga, hablar a CFE. CFE hace juego de bujes y mete potencia al sistema.

		de construcción y se aterriza el sistema, se eleva la temperatura, exceso de basura.	
De la Naturaleza	Canal	Ruptura del canal, desborde del canal, grietas por antigüedad, desgaste de la cortina, intensidad, fuerza o presión del caudal, lluvias, etc.	Al subir el nivel del agua se inundan las calles, se socavan las banquetas o calles, baja el nivel de generación de la energía eléctrica (ocasionando pérdidas económicas). Esta falla afecta tanto de manera externa como interna. Se cierran las compuertas y se paran las máquinas.
	Ruptura de la cámara de carga.	Grietas de antigüedad, terremoto, etc.	Se pierde presión y baja el nivel de generación de la energía eléctrica.
	Tubería forzada o de presión.	Desgaste de la tubería por antigüedad (reventar la tubería), presión del agua, grietas, corrosión.	Inundación de la planta hidroeléctrica. Hace muchos años, ocurrió una falla en la tubería de presión, este exploto.

(Elaboración propia)

En este apartado se encuentra la tabla que evalúa metodologías empleadas en el proceso Para obtener la información necesaria para la realización del análisis modal de fallo y efecto, se recopilaron los datos que fueran útiles para dicha aplicación (datos de inspecciones, posibles fallas, causas de las fallas, impactos de las fallas, así como la probabilidad de ocurrencia de estas, frecuencia de falla y ocurrencia).

La planta hidroeléctrica no ha presentado tantas fallas, pero analizando cada uno de los componentes de esta, como lo son el canal, la tubería de presión, la turbina, el excitador, el transformador, el generador etc. se puede apreciar que existen infinidad de posibles fallas, ya sean mecánicas, eléctricas, humanas o condiciones climatológicas.

Aplicación del análisis modal de fallas y efecto (AMFE) empleadas en la planta hidroeléctrica.

La aplicación de la metodología análisis modal de fallo y efecto nos muestra en pocas palabras errores o defectos en el proceso. En un AMFE, se otorga una prioridad a los fallos dependiendo de cuan serias sean sus consecuencias, la frecuencia con la que ocurren y con qué dificultad pueden ser localizadas. Un AMFE también documenta el conocimiento existente y las acciones sobre riesgos o fallos que deben ser utilizadas para lograr una mejora continua. En la metodología de la Inspección Basada en Riesgos (RBI) el riesgo se define como la combinación de la consecuencia y la probabilidad de una pérdida, así, los eventos de alto riesgo tienen una alta probabilidad que resultan en grandes consecuencias o pérdidas, los eventos de bajo riesgo son aquellos con una probabilidad de ocurrencia muy baja y sin pérdidas significativas. La ejecución completa de un análisis bajo la metodología RBI comprende las fases: Recolección, clasificación y procesamiento de la información, análisis de datos, evaluación de las consecuencias y análisis de riesgo cualitativo.

Recolección de datos

Tabla 4. Evaluación de riesgo

		TIPO DE RIESGO			
FACTOR DE RIESGO	RIESGO	INTERNO	EXTERNO	DESCRIPCION	PROBABILIDAD
Proceso	Desgaste de banda principal	X		Al desgastarse la banda, el sistema o gobernador manda a cerrar (parar la máquina).	1
Proceso	Elevación de la potencia reactiva.	X		Se boten o cierren los interruptores, la banda principal de la turbina se rompe, contacto de una línea con una varilla de construcción y se aterriza el sistema, se eleva la temperatura, exceso de basura, CFE hace juego de bujes y mete potencia al sistema.	1
Proceso	Falso contacto.	X		El falso contacto ocurre por la mala calidad del cable.	1
Proceso	Falla en el transformador			Fugas de aceite, desgaste de carbones, fallas del TP, elevación de temperatura, corto circuito, histéresis, falta de mantenimiento o supervisión, etc.	2
Proceso	Falla de caída de la cuña de la violeta.			Vibraciones mecánicas, desgaste de la cuña, ruptura de la cuña, ruido, mala calidad o material inadecuado.	1
Proceso	Desborde del canal.	X	X	Ruptura del canal, grietas por antigüedad, intensidad, fuerza o presión del caudal, lluvias, etc.	2
Proceso	Ruptura de la cámara de carga	X		Grietas de antigüedad, terremoto, etc.	1
Proceso	Falla en la tubería de presión.	X		Puede reventar por la antigüedad, corrosión, presión del agua, grietas, etc.	1
Proceso	Falla de la turbina.	X		La turbina falla por erosión, gravitación, desgaste, falta de lubricación.	1

(Elaboración propia)

En la planta se lleva una bitácora como la que se muestra en la tabla 5 de las inspecciones que se realizan por hora a diario, en la cual se registran los siguientes datos.

Tabla 5. Bitácora de información de la planta.

Hidroeléctrica									
Fecha	XX/XX/XX								
Mediciones						Temperatura de Chumaceras			
HORA	VOLTAJE	AMPERS	F.P.	KVAR	KW	T -L-	T -L-	G-L-	4-G-L-L
01:00	505.76	847	0.81	-426	604	41	40	55	49
02:00	506.961	1006.67	0.77	-566	686	41	40	55	49
03:00	505.18	996.3	0.92	-338	803	41	41	58	50
04:00	504.03	1000.3	0.9	-378	782	41	41	58	50
05:00	505.18	1013.5	0.88	-414	779	41	41	58	50
06:00	505.18	889.57	0.89	-395	777	42	41	59	51
07:00	505.18	889.59	0.89	-395	777	42	41	59	51
NOTA:	Ya no verte al río. Se presenta falla en el NTU (Unidad terminal de red) correspondiente al internet. Empresarial dedicado al cual es el enlace entre HGZ y CFE-Xalapa.								

(Elaboración propia)

Las posibles fallas en el proceso de generación de electricidad en la planta hidroeléctrica.

A continuación, del análisis de la tabla 5 de evaluación de riesgos y consecuencias se obtiene

Tabla 6. Valor de probabilidad y valor de impacto.

Valor de la probabilidad	Nivel de la probabilidad	Descripción
1	Muy bajo	Es muy poco probable que ocurra
2	Baja	Solo ocurre en circunstancias excepcionales
3	Media	Es posible que ocurra algunas veces
4	Alta	Ocurre muy seguido
5	Muy alta	Ocurre en la mayoría de las circunstancias
Valor del impacto	Nivel del impacto	Descripción
5	Muy alto	Grandes pérdidas
4	Alto	Pérdidas considerables
3	Medio	Posibilidad de incumplimiento de metas y objetivos
2	Bajo	Pérdidas insignificantes
1	Muy bajo	Ninguna pérdida, solo hacer inspecciones preventivas

(García & Salazar, 2005)

Tabla 7. Matriz de riesgo

Riesgo	Aparición	Gravedad (Impacto)	Valor del riesgo	Nivel de riesgo
Desgaste de banda principal	1	4	4	Apreciable
Elevación de la potencia reactiva	1	2	2	Marginal
Falta de contacto	2	2	4	Apreciable
Falla en el transformador	3	5	15	Muy grave
Falla de caída de la cuña	1	3	3	Apreciable
Desborde del canal	3	5	15	Muy grave
Ruptura de la cámara de carga	2	5	10	Importante
Falla de la turbina	2	5	10	Importante
Falla en el circuito RBO-4010	1	3	3	Apreciable
Falla en la unidad terminal de red	1	2	2	Marginal

(Elaboración propia)

En la tabla 8 se muestra la matriz de riesgo realizada de acuerdo a la gravedad de impacto y probabilidad de aparición de riesgos.

Tabla 8. Matriz de riesgo.

Aparición (Probabilidad)	Gravedad (Impacto)					
		MUY BAJO 1	BAJO 2	MEDIO 3	ALTO 4	ALTO MUY ALTO 5
MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
ALTA	4	4	8	12	16	20
MEDIA	3	3	6	9	12	15
BAJA	2	2	4	6	8	12
MUY BAJA	1	1	2	3	4	5

(Elaboración propia)

Los riesgos se clasifican en graves, importantes, apreciables y marginales.

Riesgo muy grave. Estos riesgos requieren medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proceso sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.

Riesgo Importante. Se deben tomar medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proceso.

Riesgo apreciable. Estudiar económicamente, ahí es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible mantener las variables controladas.

Riesgo marginal. Se vigilará, aunque no requiere medidas preventivas de partida.

Discusión

Esta investigación tuvo como propósito poner en práctica las herramientas de la ingeniería de confiabilidad, la técnica aplicada a la empresa hidroeléctrica permitió el seguimiento de mantenimiento en los equipos que intervienen en la producción de electricidad. La identificación de factores clave en el proceso mediante indicadores basados en probabilidad e impacto dejó establecidas en los trabajadores los rubros que deben tener en cuenta para llevar un buen funcionamiento de los equipos.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede sentar que las fallas en el transformador y el desborde del canal, aunque es un factor natural, puede presentarse mejoras para disminuir los efectos que provoca en paros en la hidroeléctrica, las programaciones de los mantenimientos preventivos disminuyen los costos y paros que pudieran ocurrir.

Una limitante encontrada en esta investigación es la inversión que por fuentes privadas sostienen a la hidroeléctrica, el estudio reveló que es necesario apostar por nueva maquinaria debe ser comprada para mejorar la eficiencia en la generación de energía, el potencial que tiene esta planta beneficiara la parte social o como se utiliza para fines privados para otras empresas.

Conclusiones

La aplicación de las herramientas de ingeniería de confiabilidad permite minimizar las fallas que ocurren tanto en las máquinas como en el proceso, el tratamiento de las fallas tiene impacto en paros de producción y para este estudio es muy caro el detener el suministro eléctrico.

Este trabajo tiene beneficios para la planta hidroeléctrica con la implementación del estudio de análisis de modo de fallas y efectos el cual identifica las fallas antes de que ocurra el desperfecto, incrementa la confiabilidad de los equipos dado su mantenimiento planeado, registra lo sucedido en el proceso para su futuro diagnóstico, menos paros por avería y disminuye los riesgos del funcionamiento.

La aplicación de inspección basada en riesgo aporta un estado de las condiciones del equipo, basado en el riesgo dada una probabilidad por la consecuencia, la estimación del riesgo, su evaluación y la planeación del mantenimiento.

Referencias

- Acuña, J. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- AMH. Memorias. (2010). Congreso Nacional de Hidráulica XXI, Zapopan Jalisco Asociación mexicana de Hidráulica,
- American Petroleum Institute. API Publication. (2000). Risk-based inspection base resource documentation. 1st ed. Washington (DC, USA): American Petroleum Institute; 2000
- Castillo Tzec, Y. M. (2012). Confiabilidad de sistemas fundamentos y aplicaciones. Editorial Académica Española.
- Consuegra, O. (2015) Metodología AMFE como herramienta de gestión de riesgo de un hospital universitario. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, Vol. XI, núm.
- Escobar R. L., Villa D. E., & Yáñez C. S. (2003) Confiabilidad. Historia, estado del arte y desafíos futuros. Dyna
- García, J., & Salazar., P. (2005). Métodos Administrativos y evaluación de riesgos. Universidad de Chile. Facultad de Economía y Negocio.
- Kalpakjian S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. México. Editorial: Pearson education.
- Materán Linares, E. D. J., Rojas Monsalve, E. A., Hernández Mosqueda, J. A., & Gutiérrez Urdaneta, E. E. (2015). Aplicación de la tecnología de inspección basada en riesgo (IBR) para la generación de planes óptimos de inspección a equipos estáticos en la industria del petróleo y gas. Ingeniería petrolera, 55(1), 38-56.
- Mesa Grajales, D., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. L (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento Scientia Et Technica, vol. XII, núm. 30, pp. 155-160, Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia.
- Nápoles-Villa, A.V., Silva R. Yunia & Marrero Fornaris, C. (2016) Análisis modal de fallo y sus efectos de las normas de competencia. Ciencias Holguín
- Ocampo, R., De la Cruz, C.& Ortiz F.E. (2020). Análisis de confiabilidad y riesgo para programar el mantenimiento en equipos electromecánicos. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de sistemas (CNIES 2020). Congreso llevado a cabo en Ciudad de México, México.

- Ortiz Flores, R. (2001). Pequeñas centrales hidroeléctricas – Ed. Mc Graw Hill.
- Parra, C. (2005). Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en un sistema de producción, Sevilla, España.
- Prando., R. (2005) Manual Gestión de Mantenimiento, Editorial Piedra Santa, Uruguay.
- Sánchez Silva, M. (2010). Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos. teoría y aplicaciones en ingeniería. Ediciones U.
- Tovar Sánchez, G. (2008) Fundamentos de Análisis de Fallas, Editorial Colombiana de Ingeniería.
- Troncoso, M & Acosta H. (2011) El mantenimiento en la confiabilidad y disponibilidad de un sistema de generación de vapor. Ingeniería Mecánica. Vol. 4, núm. 2.
- Turnero. P. R. E. (2016). Metodología de inspección basada en riesgo (IBR) a través de un sistema de control de mediciones de espesor en la zona de convección de los hornos de gas reductor, orinoco iron scs. Trabajo, 101(18.666), 031.