



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
1803  
FACULTAD DE INGENIEIRÍA

**PROGRAMA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA CIVIL  
DEL PROCESO GENERAR ENERGÍA**

Michel Gómez Osorio

Ingeniería Civil

Asesor interno:

Guillermo León Chica Chica

Asesor externo:

Johnny Andrés Bedoya Muñoz

Jornada académica  
8 de febrero de 2019



## **PROGRAMA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA CIVIL DEL PROCESO GENERAR ENERGÍA**

### **Resumen**

Las centrales de generación de energía son megaproyectos que para su correcto funcionamiento requieren de una infraestructura civil, por ejemplo, la presa para el almacenamiento de agua, el vertedero para evacuar los excesos, los túneles de conducción y descarga, casa de máquinas, entre otros. Estos activos se deben inspeccionar, monitorear y realizarles mantenimiento según las necesidades, materiales, tipo de falla que puedan presentar y la criticidad que tiene el activo en el proceso de generar energía. Guatapé es una central que está constituida en dos etapas, la primera etapa entró en operación en el año 1971 y la segunda etapa en 1979, por lo tanto, son casi 50 años de operación de los cuales no se tiene registro de inspecciones o un equipo civil debidamente consolidado que se encargue de monitorear el estado de las mismas y prevenir cualquier eventualidad que pueda presentar. La tasajera es una central que entro en operación en el año de 1993, es decir, tiene 25 años de operación y está en contacto directo con altas humedades, cloruros y sulfatos que son perjudiciales para la calidad y propiedades mecánicas de los concretos de la misma, según la bibliografía se tiene concentraciones de sal en el agua de hasta 5 veces mayores que en el agua del mar, esto implica que sus estructuras pueden tener una alta probabilidad de presentar procesos de corrosión, a la fecha se han realizado intervenciones para recuperar los concretos, pero todos estos a demanda, o sea, no cuenta con una planificación de inspecciones y mantenimientos de sus estructuras que permita garantizar la estabilidad y alargar la vida útil de la misma. La criticidad fue otro termino que se reevaluó ya que anteriormente a la luz de los activos civiles el único criterio que se tenía para evaluar si un activo era crítico o no, era si tenía incidencia en el proceso de generar energía, en ese orden de ideas la mayoría de los activos resultan críticos, sin importar que uno pudiera ser más que otro y que por lo tanto requieren una mayor atención. Para la central Guatapé se elaboró una lista de 51 activos civiles, de los cuales se encontraron anomalías en 22 de ellos. Para La Tasajera se realizó un listado de 29 activos civiles, de los cuales en 13 de ellos se encontraros anomalías que deben corregirse. El análisis de criticidad de cada activo se amplió a no solamente si repercute en el proceso de generación de energía, es decir en las finanzas, sino en 5 parámetros: Ambiente, Personas, Calidad, Reputación y Financiero y se incluyó un índice de criticidad que permitirá diferenciar cual activo tiene más prelación que otro.

## Introducción

En la Dirección Operaciones del negocio de energía en EPM se cuenta con una unidad llamada Operación y Mantenimiento, donde se encarga de asegurar que todos los activos tanto electro-mecánicos como civiles se encuentren en óptimas condiciones operativas a fin que el proceso de generar energía sea seguro y duradero. Sin embargo, los equipos eléctricos y mecánicos, son los más consolidados, con mayor personal y recursos para realizar su trabajo de forma efectiva, con un lineamiento y programación anticipada que permite un mayor orden, mientras que el equipo civil, venía trabajando a demanda, es decir, solamente se dedicaban a atender anomalías y no se tenía elaborado un plan de inspección y mantenimiento de sus activos con el fin de disminuir las anomalías que puedan presentar y anticiparse a una posible falla en alguno de los activos con repercusiones perjudiciales en cualquiera de los 5 parámetros evaluados: Ambiente, Personas, Calidad, Reputación y Financiero. Otro problema que se presentaba es que EPM cuenta con 25 centrales de generación de energía y cada una tiene sus particularidades en cuanto a infraestructura se trata y es difícil tener en la memoria de qué tipo de estructura y materiales de cada una, entonces una vez se hacía el llamado con la anomalía de un activo se tenía que realizar una visita de reconocimiento del activo, para saber que estructura se tiene y averiguar con el personal de la central si alguna vez ha sido intervenido o no, lo cual repercute en dilatar el tiempo en el cual el activo va a ser intervenido, tiempo que puede ser valioso para una estructura con alto riesgo de fallar. Razón por la cual se hace necesario establecer un programa de gestión de activos, que defina cuál debe ser la periodicidad de las inspecciones y la fecha en la que deben realizarse; a su vez debe ir acompañado de una gestión documental de la central, ya que la información de interés como son los planos, informes de construcción, manuales de operación y mantenimiento, planos, etc. Se encuentra desorganizada, en varias plataformas y de difícil acceso, razón por la cual se deben condensar en una sola plataforma y así cuando se presenta alguna anomalía en los activos civiles de cada central se pueda acceder a esta información y tener un predimensionamiento del sitio, posibles motivos de la falla, si es de fácil acceso o no y la especialidad del personal que debe hacer la inspección es decir, si es un estructural, un geotecnista, hidráulico, entre otros, y que la información que se tome en la inspección no se guarde solo en la memoria de la persona que la realizó, sino que se plasme en un planilla de inspección en campo con un formato que fue adoptado de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil para la inspección de presas, el cual se complementó y adaptó con una lista de chequeo según las patologías que puedan presentar las estructuras. El presente programa tiene una gran importancia en la infraestructura de las centrales de EPM, ya que va a estandarizar la metodología de cómo se opera y mantiene los activos civiles

de una central, además de cómo debe realizarse la gestión documental en cuanto a la infraestructura civil se refiere y así poder asegurar la vital útil, garantizando un servicio de calidad a la comunidad con el beneficio económico para el país que esto implica.

## **Objetivos**

- **Objetivo general**

Diseñar un programa de gestión de activos civiles de EPM asociados a la central de generación de energía Guatapé, específicamente lo que tiene que ver con la infraestructura civil, es decir, un plan de inspección, operación y mantenimiento de estos elementos con el fin de que el proceso de generación de energía sea un bien continuo y provechoso tanto para la empresa como para los usuarios.

- **Objetivos específicos**

Generar material de apoyo para el personal a cargo de las inspecciones. Es decir, unos formatos y guías de inspección además del orden lógico del mecanismo a seguir y cómo deben ser presentados los registros.

Diseñar la metodología de cómo debe ser analizada la criticidad de los activos y a partir de este tomar la decisión de cuál debe ser la periodicidad de inspección de los activos.

Realizar una gestión documental de la central hidroeléctrica Guatapé y La Tasajera, es decir, llevar a cabo toda la revisión de información técnica que se tenga como informes de construcción, especificaciones técnicas y planos, con el fin de clasificarla por proceso y exportarlos a una ruta donde sea de fácil acceso para todos los interesados en esta información.

Implementar fichas técnicas de cada activo una vez se tenga todo el reconocimiento de información existente resumiendo todas las características de la infraestructura como: material, capacidad y tipo de estructura.

Ejecutar la inspección de la central Guatapé y elaborar el informe de la línea base del estado de la infraestructura civil de la central de generación con el fin de que las inspecciones posteriores se comparen con la línea base y se defina si la estructura empeoró, tuvo una mejora o su estado es constante.

## Marco Teórico

Una central hidroeléctrica es aquella en la que la energía potencial del agua almacenada en un embalse se transforma en la energía cinética necesaria para mover el rotor de un generador y posteriormente transformarse en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas se construyen en los cauces de los ríos, creando un embalse o retención del agua. Para ello se construye una presa de roca, hormigón u otros materiales, apoyada generalmente en alguna montaña. La masa de agua embalsada se conduce a través de una tubería o túnel hacia los álabes de una turbina que suele estar al pie de presa, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, que hace mover los álabes de la turbina.



Ilustración 1. Sección transversal central típica. Tomada de: <https://www.foronuclear.org/es>



## **Clasificación de Centrales:**

Dependiendo de la potencia que son capaces de generar, se pueden agrupar en:

- Centrales hidráulicas de gran potencia: son aquellas capaces de producir más de 20MW de potencia eléctrica, se sitúan en las cuencas de los ríos con grandes caudales.
- Mini centrales hidráulicas: producen entre 1MW y 10MW.
- Micro centrales hidroeléctricas: no generan más de 1MW de potencia, han sido la base para la producción de electricidad para pueblos pequeños y empresas localizados en las proximidades de los ríos.

Según la altura del salto de agua, pueden ser:

- De alta presión: constan de un salto hidráulico superior a los 200 metros de altura. Utilizan caudales relativamente pequeños de 20m<sup>3</sup>/s por turbina. Están situadas en zonas de alta montaña, y aprovechan el agua de torrentes. Se utilizan las turbinas Pelton y Francis
- Centrales de media presión: poseen saltos hidráulicos de entre 20 y 200 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200 m<sup>3</sup>/s por turbina. Se dan en valles de media montaña, dependen de los embalses. Se utilizan las turbinas Francis y Kaplan.
- Centrales de baja presión: sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300 m<sup>3</sup>/s. Las turbinas utilizadas son de tipo Francis y especialmente Kaplan.

## **Procesos**

Existen 4 procesos relacionados con la generación de energía en una central hidroeléctrica, los cuales son: Almacenamiento, Conducción, Conversión y Transformación.

**Almacenamiento:** En este proceso fundamentalmente el agua se almacena en un embalse, con el fin de asegurar las propiedades hidráulicas diseñadas para poder llevar a cabo la generación de energía. También se regula el

recurso hídrico como por ejemplo el máximo nivel del embalse o el caudal ecológico que es el caudal de agua necesaria para preservar los valores ecológicos en el embalse.

**Conducción:** En este proceso el agua almacenada en el embalse es tomada por diferentes tipos de obras de captación y transportada con un caudal y una presión regulada hacia los equipos de generación de energía.

**Conversión:** Se aprovecha la energía mecánica que trae consigo el agua en su proceso de conducción al llegar a las turbinas. El fluido las hace girar obteniendo la fuerza suficiente para hacer girar el rotor de un generador eléctrico, produciendo grandes cantidades de tensiones eléctricas. A este proceso se le llama conversión.

**Transformación:** Se llama transformación al proceso cuando las tensiones eléctricas generadas por la acción giratoria del rotor son entregadas mediante unos cables de potencia al transformador y este a su vez lo lleva a la subestación de alta tensión, para su posterior distribución.

### Obras civiles asociadas a cada proceso

Cada obra asociada a cada uno de los procesos tiene diferentes procedimientos constructivos, funcionalidad y material, mediante estos se puede presentar un tipo diferente de falla o anomalía, por eso es importante identificar el tipo de elemento a inspeccionar y con esto estandarizar los ítems que se revisarán en cada uno de los activos.

Tabla 1. Obras asociadas al proceso de almacenamiento.

Infraestructura Almacenamiento		Funcionalidad
Obras Hidráulicas	Bocatomas vertederos, canales, tanques	Captar, contener, controlar, conducir
Obras Estructurales	Presas, taludes	

Tabla 2. Obras asociadas al proceso de conducción.

Infraestructura Conducción		Funcionalidad
Obras Hidráulicas	Túneles, canales, torres de captación, tuberías	Conducir, contener, soportar
Obras Estructurales	Cámaras de válvulas, cavernas de tuberías, anclajes y silletas de tuberías	

Infraestructura Transformación		Funcionalidad
Obras Hidráulicas	Obras de drenaje	Conducir, controlar, contener
Obras Estructurales	Terraplenes de patios, pórticos de patios, muros de contención, celdas de transformadores	

Tabla 3. Obras civiles asociadas al proceso de transformación.  
Tabela 4. Obras civiles asociadas al proceso de conversión.

Infraestructura Conversión		Funcionalidad
Obras Hidráulicas	Pozos, tanques, descargas	Albergar, contener, controlar, conducir, soportar
Obras Estructurales	Cavernas casa de máquinas, concretos de edificaciones y de soporte de elementos electromecánicos, caverna de transformadores, caverna de almenaras aguas abajo	

Estas obras se pueden dividir generalmente en 5 tipos de estructuras y es según su material, estructuras en concreto, estructuras metálicas, vías, estructuras en roca y mampostería. Hacer esta discriminación del tipo de estructura es muy importante ya que sabiendo cual es el material del que está compuesta esta estructura se puede llevar a cabo de una manera óptima la inspección, porque las patologías que sufre una estructura en concreto no son las mismas que sufre una estructura metálica o un túnel y a raíz de estas diferencias en cuanto a la estructura, las preguntas que van a ir en la planilla de inspección en campo que se va a ejecutar deben ir encaminadas a reconocer las patologías de la estructura que corresponda.

Cabe resaltar que este tipo de obras no siempre es constante, cada central de acuerdo a su topografía y al recurso hídrico con el que cuenta puede optar por tener obras civiles extras o prescindir de alguna de ellas como por ejemplo de los túneles de conducción cuando la casa de máquinas está al pie de la presa. Sin embargo, se puede decir que en un 90% las centrales son similares desde el punto de vista de la infraestructura civil, por lo tanto, el plan no pierde aplicabilidad para cada tipo de central.

### Características de las centrales térmicas

Las centrales térmicas generan energía eléctrica a partir de energía liberada en forma de calor mediante la combustión de gas natural, carbón o combustibles fósiles. Considerando la taxonomía de activos para este tipo de central, respecto a la infraestructura civil, se identifican los siguientes elementos:

Dentro del proceso de almacenamiento está la estructura de contención de los tanques de almacenamiento de combustible líquido, que normalmente corresponde a un dique de concreto reforzado el cual rodea el sitio donde se ubican estos tanques, y que cuenta con sistemas de drenaje embebidos, además de las cimentaciones donde se posicionan los tanques.



En la fase de conducción no se cuenta con infraestructura relevante, ya que solo se tiene allí casetas donde se albergan los sistemas electromecánicos de control del gas natural.

Dentro de la conversión se encuentra las diferentes edificaciones que albergan la casa de máquinas, el tratamiento de agua para el proceso, talleres y bodegas, las estructuras del sistema de refrigeración (captación y descarga) y los tanques de control de inundaciones. Se incluyen aquí las cimentaciones de los equipos y calderas dentro de la casa de máquinas.

Finalmente, en la fase de transformación, se cuenta con las celdas de los transformadores, que similarmente a las centrales hidráulicas corresponden a fosos con sistemas de drenaje y control de derrames de aceite y los respectivos muros cortafuegos.

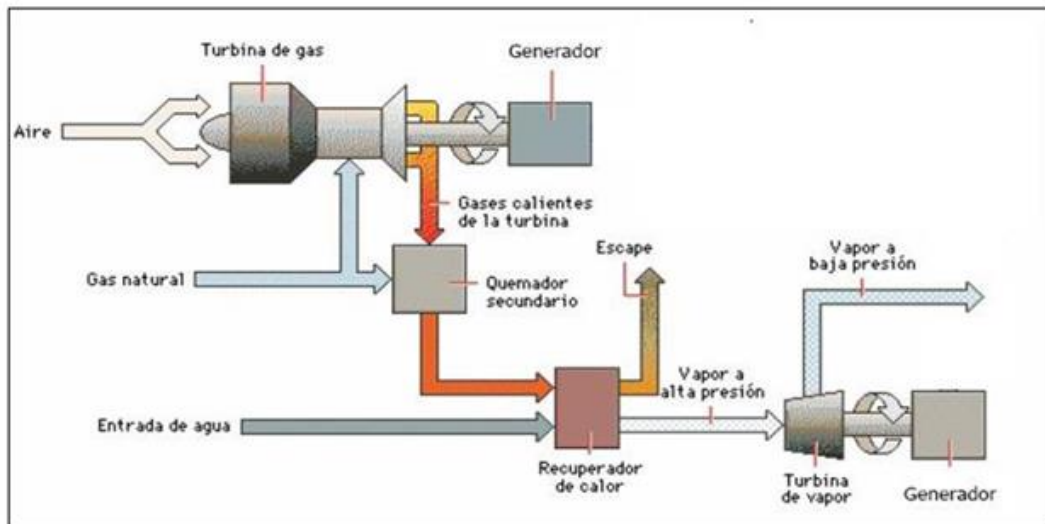


Ilustración 3. Esquema general del proceso de una central térmica.

## Características de las centrales eólicas

Un parque eólico de generación eléctrica consiste en una serie de instalaciones que transforman la energía cinética del flujo del viento en energía eléctrica. Debido a las peculiares características de los vientos, de comportamiento irregular en su intensidad y dirección, el aprovechamiento de esta energía exige una tecnología compleja, con mecanismos de regulación y orientación. En ello consisten los equipos más relevantes de un parque eólico, esto es, los aerogeneradores.

Configuración y principales componentes de un aerogenerador.

Un aerogenerador consta de los siguientes componentes:

**Rotor:** incluye las palas y el buje.

Cuando el viento incide sobre las palas, éste provoca su movimiento rotacional, que se transfiere al buje. Éste, a su vez, está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador, transmitiéndole la potencia del movimiento.

**Góndola:** estructura que contiene en su interior el eje de baja velocidad mencionado, el multiplicador, el eje de alta velocidad, el generador de corriente, la unidad de refrigeración, el controlador electrónico, el freno, el anemómetro y la veleta.

El movimiento del eje de baja velocidad es amplificado mediante la caja de engranajes, o multiplicador, que aumenta la velocidad de rotación del rotor unas 50 veces, para que la velocidad de rotación que recibe el generador, a través del correspondiente eje, sea de unas 1.500 r. p. m.

En el generador se convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Su potencia varía en función de las características técnicas del aerogenerador en cuestión.

**Torre:** soporta la góndola y el rotor, y se sustenta en el terreno a través de una zapata de cimentación. La altura de la torre está relacionada con la cantidad de energía generada por el aerogenerador.

Posteriormente un transformador aumentará la tensión eléctrica para ser transportada a la red eléctrica.

Para el caso específico del parque eólico Jepirachi (central eólica ubicada en la Guajira), como parte de la infraestructura civil se cuenta con las edificaciones que albergan la subestación principal y el taller-bodega de la central, además de que cada aerogenerador tiene su respectiva caseta para albergar su sistema de transformación individual.



*Ilustración 4. Partes principales de un aerogenerador.*

## **TIPOS DE MANTENIMIENTO:**

### **Mantenimiento Correctivo**

Es el tipo de mantenimiento que busca la solución a problemas que inhabilitan la estructura, restableciendo las condiciones para la operación. Es decir, se define como el mantenimiento efectuado a una estructura cuando la avería ya se ha producido, con el objeto de restablecerla a su estado operativo habitual de servicio mediante una reparación, una rehabilitación o un reemplazo. Un mantenimiento correctivo integral y eficaz debe considerar la eliminación de los problemas encontrados, sus causas y los posibles efectos posteriores.

### **Mantenimiento Preventivo**

Se define como el conjunto de acciones de mantenimiento y/o reemplazo de componentes de manera cíclica y racional sobre un activo fijo de la planta, entre otros con el objeto de detectar condiciones por fuera del rango bajo el cual fueron diseñados y/o construidos, que pueden ocasionalmente provocar paros en la producción y/o deterioro grave de los elementos de los equipos, máquinas e instalaciones físicas.

También cubre las medidas necesarias para proteger la infraestructura contra el deterioro causado por envejecimiento, agentes agresivos o

acciones que causen detrimento y cuya ocurrencia pueda predecirse en el tiempo mediante inspecciones periódicas.

Este mantenimiento tiene dos aspectos en su ejecución: la inspección con evaluación y las acciones oportunas para la conservación de las estructuras.

Son entre otras actividades propias del mantenimiento preventivo, las inspecciones de funcionamiento y de seguridad (protecciones), los ajustes y la limpieza que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan. Puede indicarse que la principal característica del mantenimiento preventivo, consiste en la inspección periódica de los elementos de los equipos, estructuras, máquinas e instalaciones, con el objeto de detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Entre las principales ventajas que se logran en la ejecución de un mantenimiento preventivo eficaz, se encuentran:

- **Confiabledad.** Las estructuras operan en mejores condiciones de seguridad, pues se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento, lo cual es de suma importancia en el proceso de generación de energía.
- **Disminución del tiempo muerto.** A través de este tipo de mantenimiento, se reduce el tiempo de fuera de servicio de la central ante un fallo.
- **Mayor duración.** A través de las actividades propias del mantenimiento preventivo, las instalaciones, pueden tener una vida útil mayor que la que tendrían sino hubiera implementación de este tipo de mantenimiento.
- **Menor costo de reparación.** Debido a que la estructura se encuentra en buenas condiciones, reduce la probabilidad de que ocurra una falla y sea más costoso rehabilitar.

Dentro de este tipo de mantenimiento, se encuentran las inspecciones técnicas, clasificadas como: inspecciones de rutina, las cuales son ejecutadas en las diferentes centrales directamente por el personal que tiene a su cargo los activos relacionados con las obras civiles; también se pueden realizar inspecciones específicas, las cuales involucran además del personal de la central, profesionales de apoyo desde las Unidades Técnicas de la Dirección Operaciones y atienden una anomalía específica sobre un activo determinado y finalmente las inspecciones especializadas, las cuales involucran un equipo completo de profesionales y especialistas, que pueden ser externos a la VP Generación o al Grupo EPM, para atender una anomalía compleja detectada sobre un activo determinado.

## **Mantenimiento Mayor**

Por lo descrito anteriormente y teniendo en cuenta los objetivos de cada uno de los tipos de mantenimiento, uno de los objetivos que se busca es que La Empresa logre las metas de producción de energía previamente trazadas, en concordancia con los planes de mantenimiento establecidos. Sin embargo, y teniendo en cuenta la inmensa importancia que tiene el mantenimiento para La Empresa, la misma normalmente está relacionada y subordinada a la actividad de comercialización de energía, lo cual permite deducir que el mantenimiento no es un fin en La Empresa, sino una herramienta y como tal su importancia y valoración al interior de la organización.

Aun cuando el mantenimiento mayor es considerado de tipo preventivo, se diferencia de éste, en el grado de detalle en las inspecciones y actividades que se realizan en el mismo, dado que las mismas requieren un mayor grado de ingeniería y conocimiento, y en este sentido se requieren de unos tiempos de atención mucho mayores a los usualmente requeridos en los mantenimientos de tipo preventivo (trimestrales, cuatrimestrales, semestrales, anuales). No obstante, las acciones en el Mantenimiento Mayor, deben tener en cuenta todos los resultados obtenidos durante los mantenimientos de tipo preventivo y correctivo realizados con antelación.

El mantenimiento mayor, busca entre otros aspectos evitar las fallas de los elementos de los equipos, máquinas y/o infraestructura civil, debidos principalmente a las fallas de los mismos, principalmente debidos al desgaste general de los componentes, que pueden indicar en cierto momento, el fin de vida útil de la estructura. Una decisión de este tipo de mantenimiento obedece generalmente a razones de tipo económico influidas por el rápido avance de la tecnología, lo que lleva a la actualización de los equipos, o en el caso de las obras civiles su repotenciación de acuerdo a las exigencias de las normas vigentes.

### **Tipos de inspección**

Dentro del mantenimiento existen tres tipos de inspecciones, orientadas cada una a cumplir con un propósito definido, según el alcance, estas son: inspección rutinaria (general), inspección específica e inspección especializada.

#### **Inspección rutinaria**

Consisten en una evaluación visual que lleva a cabo el personal de mantenimiento civil de la central o de la región. Dichas inspecciones dan cuenta del estado general de la infraestructura y del correcto funcionamiento de la central de generación, permiten identificar de manera oportuna cualquier tipo de anomalía que presente un activo. Los principales aspectos que deben tenerse en cuenta y que son los que con mayor frecuencia se presentan son: filtraciones, asentamientos, agrietamiento, corrosión, deflexiones y pandeos, irregularidades en las conexiones y anclajes. Las observaciones que se tengan a lo largo de la inspección deben quedar plasmadas en la planilla de inspección en campo propuesta, acompañado de un informe escrito. Caso especial cuando se detecten anomalías peligrosas de atención inmediata debe comunicarse con el jefe de operación y mantenimiento, esa persona evaluará el caso y propondrá si la solución al problema puede hacerse con recursos de la empresa o debe acudir a un tercero más especializado como un consultor.

### **Inspección específica**

Estas inspecciones se realizan en un intervalo de tiempo programado según la criticidad de los activos o por la sugerencia de alguno de los encargados de las inspecciones rutinarias. Es una búsqueda más detallada de evidencias del deterioro o de falla que pueda presentar el activo. Este tipo de inspección debe llevarse a cabo una vez se tenga una evaluación previa de los registros que se tienen. Debe efectuarse por personal especializado nombrado directamente por EPM con el criterio suficiente para evaluar el daño y plantear la solución y la ruta a seguir para atender la anomalía.

### **Inspección especializada**

Estas se realizan cuando la magnitud de la anomalía encontrada es significativa y la intervención no es tan clara que se debe acudir a expertos externos que brinden una asesoría especializada en el tema y orienten como debe solucionarse el problema. También se realizan cuando sucede algo extraordinario, es decir, sismos, huracanes, incendios, crecientes, vandalismo, etc. O cuando surgen patrones de comportamientos especiales y de los cuales no se tiene registro. Las inspecciones deben llevarse a cabo con el fin de determinar la magnitud del daño, en caso de que los haya y definir la prioridad de las reparaciones que deben realizarse. Debe contarse con toda la información técnica existente como planos, informes constructivos, memorias de cálculo e informes de antiguas inspecciones. Dicha actividad permitirá tomar las decisiones pertinentes para atender la anomalía.

### **Preparación de la inspección.**

Después de la llegada a la central de generación, hay actividades preliminares que se deben emprender: Repasar los registros, hablar con el personal técnico de la central, y asegurarse de tener las herramientas apropiadas y el equipo necesario para realizar y registrar la inspección.

### **Revisión de registros**

Se deben repasar los registros disponibles de cada uno de los activos de la infraestructura civil antes de comenzar con la inspección. Un aspecto importante de la inspección es monitorear las condiciones y problemas potenciales, para determinar cómo y en qué grado están cambiando. La información histórica y de diseño puede alertar sobre las condiciones y características que son de especial atención y que deben ser monitoreadas y documentadas.

La clase y cantidad de registros disponibles varía considerablemente de una central de generación a otra, de acuerdo con la organización de estos. El tipo de información útil para repasar es la siguiente:

- Criterios de diseño.
- Registros de los materiales utilizados durante la construcción y reparaciones posteriores.
- Expedientes de construcción.
- Expedientes de la operación.
- Expedientes de mantenimiento.
- Registros de instrumentos.
- Informes de inspecciones anteriores.

Es necesario repasar los informes de inspección anteriores, de tal manera que se pueda comparar esta información con la obtenida, lo que permite detectar tendencias en las deficiencias.

### **Hablar con el personal**

El hecho de hablar con el personal de la central de generación es una fuente extremadamente valiosa de información, dado que conoce las deficiencias existentes y potenciales de la infraestructura civil. Los técnicos que están en la central de generación tienen oportunidad de observar, bajo diferentes condiciones, el comportamiento de la estructura, lo cual un inspector no alcanza a percibir en una sola visita.

Por ejemplo, si el vertedero está operando, no se pueden realizar la inspección, debido a restricciones operacionales, y por lo tanto no se pueden percatar o identificar problemas en este. Por lo tanto, es importante hablar con el personal sobre sus experiencias y observaciones para asegurarse de que no se pasa por alto ningún problema cuando se acomete la inspección. También es importante que alguien que esté familiarizado con la central de generación acompañe al inspector durante la inspección.

## Herramientas y equipos

Es importante estar seguro de que se dispone de las herramientas necesarias para realizar la inspección. En la tabla siguiente se incluye un listado de herramientas y equipos que son útiles para realizar una adecuada inspección. Algunos de estos elementos pueden estar disponibles en el sitio.

*Tabla 3. Herramientas necesarias para una adecuada inspección.*

Herramienta / Equipo	Uso
Binoculares	Visualizar áreas inaccesibles a simple vista por ejemplo taludes, vertederos, estructuras de gran altura, entre otros.
Cámara	Tomar fotografías de las deficiencias encontradas y de las condiciones generales de la estructura.
Martillo para roca o "Esclerómetro"	Chequear propiedades del concreto y de la roca (por ejemplo: resistencia a la compresión)
Flexómetro	Medir características de las deficiencias.
Navaja	Raspar la roca, descubrir y raspar grietas, etc.
Pala	Limpiar drenes y despejar canales de drenaje.
Balde y cronómetro	Medir infiltraciones y fugas.
Linterna	Mirar drenes, tubos y para caminar de manera segura en las galerías.
Kit para tomar muestras de agua	Comprobar la calidad del agua de infiltración (por ejemplo, la turbiedad)
Fisurómetro	Medir el espesor de las grietas y fisuras presentes.

A partir de estas inspecciones se desprenderán acciones adicionales, que deben responder a los siguientes aspectos:

### EL QUE:

- Tipo de mantenimiento: Preventivo o correctivo, sumado a los reportes de falla que impliquen mantenimientos mayores.
- Prioridad de la intervención: de acuerdo a los criterios de evaluación de la criticidad según su afectación en caso de falla: financieros,



personas, ambiente, reputación y calidad, que definen si el activo es de criticidad muy alta, alta, media o baja.

- Periodicidad de los mantenimientos: De acuerdo con criterios técnicos, experiencia del personal técnico, recomendaciones de los diseñadores, horas de operación, requerimientos de la operación, estudio estadístico de fallas, fallas reportadas que impliquen un trabajo correctivo importante.
- Programas de reposición, rehabilitación o repotenciación: De acuerdo con la obsolescencia, indisponibilidad, pérdida de capacidad o resistencia, circunstancias técnicas y económicas que lo hagan viable.
- Duración de los mantenimientos: De acuerdo a criterios como experiencia del personal en inspecciones y mantenimientos ya ejecutados, recomendaciones de los diseñadores, análisis de fallas, etc.

#### **EL COMO:**

- Los procedimientos establecidos para mantenimiento preventivos/correctivos; están incluidas aquí las inspecciones de rutina.
- Los procedimientos establecidos para los mantenimientos correctivos generales.
- Elaboración de los procedimientos para los mantenimientos mayores que generalmente requieren un contrato adicional.

#### **CON QUIEN:**

- Determinar la especialidad o perfil del personal que ejecutará la labor o actividad
- Determinar el tiempo que intervendrá cada especialidad y la solicitud de participación de grupos externos en caso de ser necesario (Dirección Operaciones, VP Proyectos e Ingeniería, entre otros.)
- Elaborar el listado de materiales y personal necesarios para el mantenimiento.
- Tener en cuenta el proceso de contratación para todo lo relacionado con elementos de inventario, compra, materiales, mano de obra y contratación de servicios, tiempos de adquisición o de ejecución, etc.
- Capacitación adicional del personal de mantenimiento: mediante la adquisición de destrezas en la ejecución de alguna actividad, uso de alguna herramienta específica, capacitación en procesos particulares de mantenimiento.
- Normas de seguridad: Definir planes y procedimientos de seguridad y salud en el trabajo y elementos de seguridad para garantizar la seguridad de las personas y los activos.

## CUANDO:

Se establecen y acuerdan fechas en que la Central considere pertinente la realización del mantenimiento para obtener el programa de mantenimiento plasmado en un cronograma, la inspección rutinaria se recomienda que se hagan en el primer semestre ya que, si se tienen un hallazgo y requiera un contrato adicional, puedan ser presupuestadas para el próximo año debido a que el presupuesto se define en agosto.

A continuación, se presenta un esquema del proceso a seguir planteado por el plan de operación y mantenimiento.

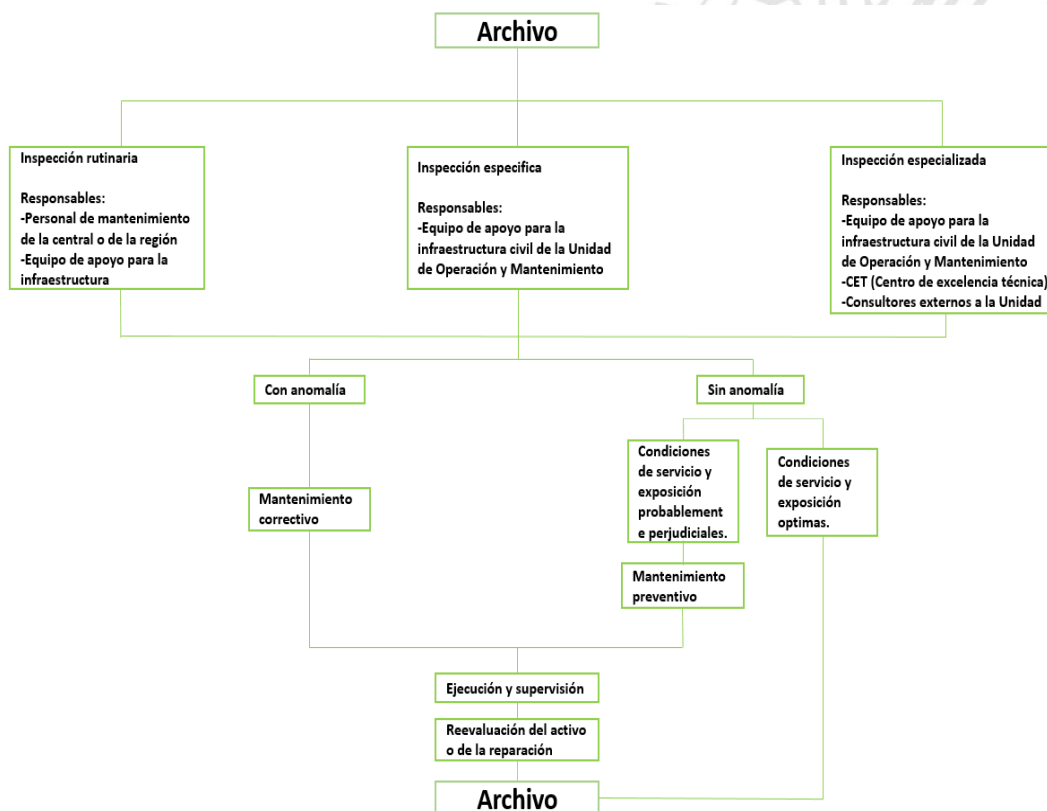


Ilustración 5. Flujo del proceso de inspecciones y mantenimiento.

De las tablas 1, 2, 3 y 4 se identifican la variedad de infraestructura civil que se encuentra en una central de generación de energía, estas se pueden dividir específicamente en 5 categorías según su material y son estructuras en concreto en mayor medida, estructuras metálicas, pavimentos, estructuras en roca y mampostería. Por lo tanto, se debe identificar plenamente las principales patologías que cada una de estas puedan presentar y reunir las en el formato de inspección en campo para que el personal encargado de

realizarlas, las identifique y pueda dar un reporte completo del estado actual en el que se encuentran dichos elementos.

### **Estructuras en concreto:**

- Grietas
- Fisuras
- Dilatación entre juntas
- Manchas
- Hinchamientos
- Exposición de acero de refuerzo
- Desprendimientos de concreto
- Filtraciones
- Erosión
- Lixiviación
- Salinidad
- Eflorescencias
- Porosidad
- Reparaciones previas
- Socavación
- Defectos constructivos
- Corrosión
- Defectos de diseño
- Carbonatación
- Falta de mantenimiento
- Crecimiento de vegetación

### **Estructuras metálicas:**

- Oxidación
- Deformaciones
- Erosión
- Corrosión
- Rotura frágil
- Rotura dúctil
- Falla por tensión
- Par galvánico
- Falla por flexión
- Falla por compresión
- Repercusiones por temperatura
- Falla en conexiones
- Exposición al fuego
- Defectos de diseño



- Defectos constructivos

### **Pavimentos**

En el caso de los pavimentos rígidos, por ser en concreto sus patologías son análogas a las anteriormente mencionadas.

Para el pavimento hecho en afirmado se verifica que:

- Carpeta de rodadura funcional y permita tránsito seguro
- Encharcamientos
- Afloramientos de agua
- Asentamientos o irregularidades
- Trabajo adecuado de las cunetas
- Defectos de diseño
- Defectos constructivos

Para los pavimentos flexibles:

- Grietas de contracción
- Piel de cocodrilo
- Exudación
- Manchas
- Corrugaciones
- Grietas de borde
- Ahuellamiento
- Baches
- Hundimientos
- Desnivel Calzada-hombrillo
- Zanjas reparadas
- Agregados pulidos
- Pérdida de esmalte
- Defectos de diseño
- Defectos constructivos

### **Mampostería**

- Deterioro en la mampostería
- Grietas
- Fisuras
- Dilatación entre bloques
- Manchas
- Asentamientos
- Desalineamientos



- Descascaramiento
- Filtraciones
- Erosión
- Lixiviación
- Presencia de sales
- Porosidad
- Reparaciones previas
- Pérdida de verticalidad
- Aristas desgastadas
- Cavidades
- Defectos constructivos
- Defectos de diseño

### **Estructuras en roca**

Se pueden dividir en dos estructuras fundamentalmente: túneles y taludes. Cada uno de estos puede presentar diferentes patologías que deben ser inspeccionadas.

### **Taludes**

- Crecimiento de vegetación excesivo
- Grietas
- Cárcavas
- Abultamientos
- Desprendimientos
- Asentamientos
- Reptación
- Tubificación
- Erosión
- Obstrucción de drenajes
- Defectos de diseño
- Defectos constructivos

### **Túneles**

- Filtraciones
- Filtraciones con presión y sin arrastre de material
- Filtraciones con presión y con arrastre de material
- Grietas
- Desprendimientos de fragmentos de roca
- Zonas de inestabilidad
- Manchas



- Crecimiento de vegetación
- Drenajes suficientes
- Drenajes obstruidos
- Defectos constructivos
- Defectos de diseño
- Fallas
- Diaclasas

## Metodología

### 1. Elaborar diccionario de términos por proceso incluido términos de mantenimiento:

Este diccionario de términos es un material valioso para el personal a cargo de mantener la infraestructura civil de las centrales de generación de la empresa, puesto que se encontraron casos que algunos empleados no tenían claro cuando se le mencionaba una obra en específica, o se concebían definiciones diferentes según la región de donde sea el empleado o el nivel de estudio que se tenga. Por lo tanto, se hizo un recuento de todos los términos que pueden ser usados en una central desde el punto de vista de ingeniería civil y se procedió a definir cada uno de estos, creándose un documento llamado glosario de términos que fue compartido a todas las centrales y a todo el personal de EPM para que sea estudiado y evitar errores de interpretación ante una situación específica o algún trabajo que se requiera. En el anexo se adjunta algunas de las definiciones que fueron propuestas ya que el documento original cuenta con más de 650 términos.

### 2. Elaborar listado de estructuras civiles incluidas aquellas que apoyan el proceso:

Una central de generación puede contener más de 100 activos civiles. Sin embargo no todos tienen repercusión en el proceso de generación de energía, por lo tanto, desde la dirección se propone que se haga un listado total de cada una de los activos civiles y se depure entre los que tienen influencia directa en el proceso y los que no. El principal objetivo es que los activos que no tienen influencia en el proceso como lo son: campamentos, restaurantes, enfermería, vías de acceso, entre otros. Sean administrados por un contrato adicional de sostenimiento, que sean ellos quienes velen por la seguridad y estabilidad de estos activos, esto a raíz de que el personal a cargo de la inspección y mantenimiento de los activos civiles que influyen el proceso de generación de energía, se enfocaba en mantener obras

secundarias y por la gran cantidad de activos que poseían, dejaban de lado obras con un criticidad alta que deben ser mantenidos en perfecto estado como lo son: Vertederos, Casa de Máquinas, Torres de captación, entre otras. En la central de generación de energía Guatapé se contaba con un listado de 165 activos civiles, una vez depurado se identificaron 51 activos civiles que impactan el proceso de generación de energía, para estos se les diseñó un plan de inspección y mantenimiento, los demás quedan a cargo del contrato de sostenimiento. De manera similar se hizo el ejercicio para la central La Tasajera donde el resultado fue 29 activos asociados directamente al proceso de generar energía.

### 3. Clasificar las estructuras por su criticidad:

El análisis de criticidad se cambió con respecto al que se venía manejando por la dirección, puesto que según ese análisis todos los activos tenían criticidad alta, solo tenía en cuenta si el activo repercutía o no el proceso, es decir, solo se consideraban las consecuencias en dinero de la falla de algún activo y no había un factor diferenciador entre dos activos con un mismo valor de criticidad. Se define entonces que un activo crítico es aquel que tiene un impacto potencial y significativo, que afecta los logros y objetivos de la organización, en este caso, generar energía. Así pues, la criticidad de un activo la va a definir la frecuencia-probabilidad en la que se espera que ocurra un fallo o colapso de una estructura, multiplicada por las consecuencias que esto ocasionaría, sin embargo, las consecuencias de un fallo de algún activo no solamente podrían medirse en dinero, en ocasiones es el aspecto más insignificante, razón por la cual el análisis de criticidad es mucho más amplio que solamente relacionarlo a la repercusión que tiene en la producción de energía. Por lo tanto, el ejercicio contempla el impacto que puede presentar un fallo de un activo en 5 parámetros:

1. **Personas:** Impacto sobre Integridad física individual o colectiva del personal propio, contratistas, la comunidad, clientes o visitantes.
2. **Reputación:** Impacto en la percepción u opinión que tienen los grupos de interés respecto al grupo
3. **Financiero:** Impacto sobre las finanzas de la empresa, comprende tanto costos de reparación como la cantidad de dinero que se deja de percibir por una eventualidad.
4. **Ambiente:** Impacto en el medio ambiente en cualquiera de sus dimensiones: física (agua, aire, suelo), biótica (fauna, flora) y social.

**5. Calidad:** Impacto sobre el nivel de satisfacción de las expectativas de la totalidad de las características y funciones especificadas de los productos, servicios o resultados.

Una vez definidas tanto las frecuencias-probabilidades de ocurrencia del fallo o colapso de una estructura que se expresa en los siguientes valores: Muy alta (5), Alta (4), Media (3), Baja (2) y muy baja (1). Se definen las consecuencias que tendría una falla del activo en cada uno de los 5 renglones anteriormente mencionados y se expresa en valores del orden de: Mínima (1), Menor (2), Moderada (4), Mayor (8) y Máxima (16) se toma la consecuencia más grande de cada activo y se multiplica por la frecuencia y se ubica en la matriz de riesgo. El valor que genera la multiplicación entre la frecuencia-probabilidad y la consecuencia, se le llama criticidad.

Tabla 5. Matriz de criticidad.

FRECUENCIA		CONSECUENCIA				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy baja	1	1	2	4	8	16

Tabla 6. Convenciones criticidad.

CONVENCIONES	
	Criticidad Baja
	Criticidad Media
	Criticidad Alta
	Criticidad Muy Alta

En la siguiente ilustración se presenta un ejemplo del análisis de criticidad del Vertedero Riogrande II.

### Evaluación criticidad VERTEDERO RIOGRANDE II



Ilustración 6. Análisis criticidad vertedero La Tasajera.



#### **4. Establecer tipo y periodicidad de inspección:**

Anteriormente las inspecciones se venían manejando una vez por año, sin embargo de acuerdo con el análisis de criticidad hay activos que por su magnitud y complejidad esta periodicidad debería aumentar. Por lo tanto se definió una metodología para definir las inspecciones rutinarias, mientras que las específicas y especializadas se van a seguir manejando a demanda, cuando los hallazgos que se tienen en algún activo civil son de tal magnitud que requiera la visita de un especialista o un grupo interdisciplinario. El índice de criticidad es un valor que habla en propiedad de la importancia y repercusión de cada activo, es el resultado de la suma del valor de la consecuencia alcanzada en cada impacto por el valor de la probabilidad/frecuencia de ocurrencia de la falla, por lo tanto, esto permite jerarquizar los activos para priorizar la atención y en consecuencia es un valor que sirve de referencia para definir periodicidad de inspección. Considerando que el índice de criticidad se podría designar de acuerdo a que su frecuencia de falla en su mayoría es muy baja, resultando un valor a lo sumo de 80; este último valor define una escala, donde el resultado de los índices de criticidad superiores a 50 indican que su inspección se recomienda 2 veces por año, mientras que los activos cuyo índice de criticidad sea menor o igual que 50 su inspección se recomienda 1 vez por año.

*Índice de Criticidad= ( $\Sigma$ Consecuencia valorada en cada parametro) x Probabilidad de falla*

Si, Índice de Criticidad >50 →La inspección debe hacerse 2 veces por año








Si, Índice de Criticidad ≤50 →La inspección debe hacerse 1 vez por año

#### **5. Levantar la información técnica básica de las estructuras (diseño, planos e informes construcción) y Revisión de documentos existentes (OT's, informes de inspección, etc):**

Realizar una buena gestión documental de la central es una pieza clave para darle el orden y la uniformidad que el programa requiere, puesto que actualmente toda la información esta almacenada en diferentes plataformas y sin un orden adecuado que permita encontrar la información requerida más rápidamente. Por tal motivo se recopiló en todas las bases de datos, se visitó las planotecas de cada una de las centrales y se almacenó en una carpeta dispuesta para cada una de las centrales, dicha información se depuro con el fin de

que la información que se guarde sea actualizada y relevante para la Unidad Operación y Mantenimiento, y se dividió por cada uno de los cuatro procesos.

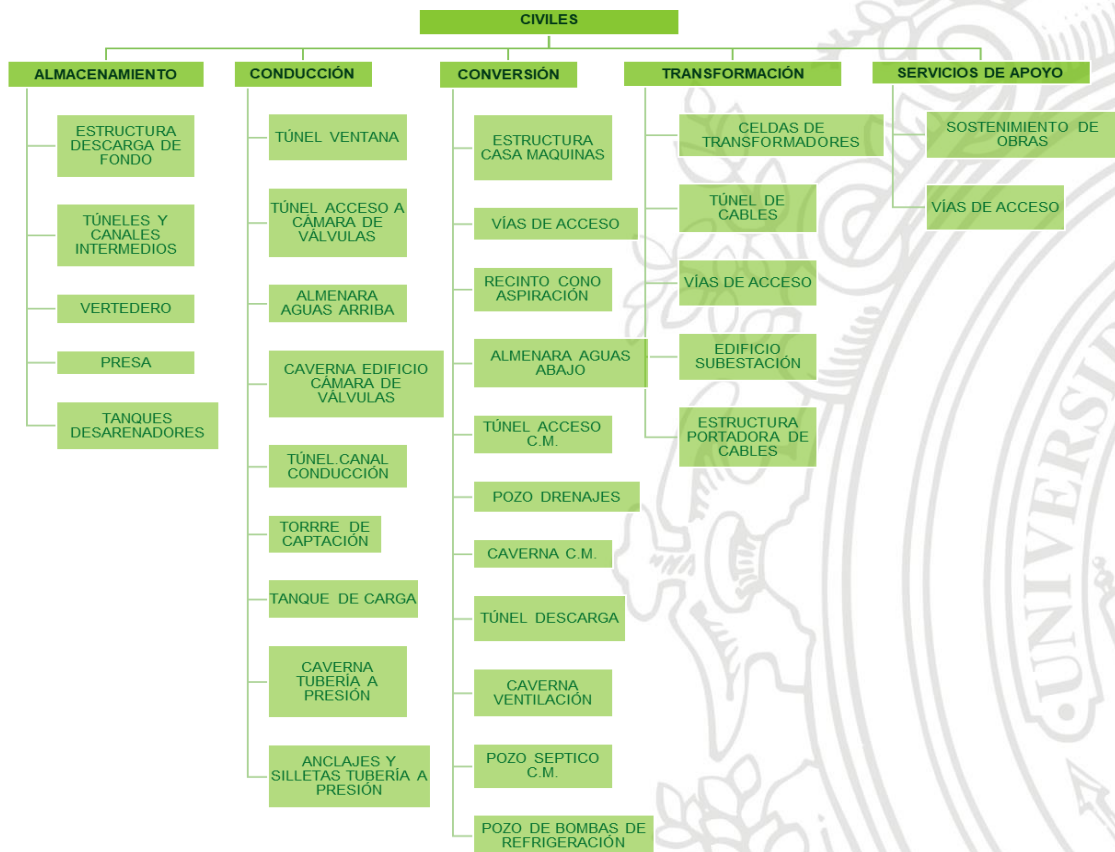
A continuación se presenta el orden que se le dio a la carpeta de cada una de las centrales:

 FICHA TECNICA	06/08/2018 6:55 a. ...	Carpeta de archivos
 FOTOS	17/07/2018 7:51 a. ...	Carpeta de archivos
 INFORME LINEA BASE	03/08/2018 1:46 p....	Carpeta de archivos
 PLANOS	12/07/2018 2:25 p....	Carpeta de archivos
 REGISTROS	02/08/2018 1:21 p....	Carpeta de archivos
 VARIOS	06/08/2018 8:54 a. ...	Carpeta de archivos
 PLATAFORMA MAESTRA	03/08/2018 8:15 a. ...	Hoja de cálculo d...

- **FICHAS TECNICAS:** se diseñaron fichas técnicas para cada uno de los activos civiles, con el fin de que el personal que labora en la empresa o que vaya a realizar un trabajo en algún activo pueda tener un primer acercamiento con el activo para conocer qué tipo de estructura se trata, el modo de inspeccionarlo si requiere curso de alturas o no. Se encuentran cada uno de los activos identificados por su código, asociado al proceso al cual pertenece, los elementos asociados del activo, las características funcionales y descriptivas del mismo y un registro fotográfico de los principales elementos constitutivos.
- **FOTOS:** registro gráfico de las inspecciones realizadas a lo largo del tiempo, se dividen por año de inspección y de igual forma en los cuatro procesos de generación.
- **INFORME LINEA BASE:** se deja allí almacenado el informe de evaluación del estado de la línea base de los activos.
- **PLANOS:** contiene una carpeta con los planos asociados a cada uno de los procesos de la central: almacenamiento, conducción, conversión y transformación y existe una carpeta auxiliar llamado "05. SERVICIOS DE APOYO" donde se tienen planos de infraestructura no asociados directamente, además se cuenta con un archivo en Excel con la lista de todos los planos con el vínculo para su visualización en la plataforma Vault (Plataforma adquirida por EPM para el almacenamiento de planos y toda la información técnica de sus activos). Dicha información fue depurada por ejemplo en la búsqueda de todos






los planos civiles de la central hidroeléctrica Guatapé se localizaron un total de 2730 planos divididos en los 4 procesos, sin embargo muchos de ellos eran de licitación o tenían información importante en el proceso de diseño pero que ahora no tienen mayor incidencia, por lo tanto la lista de planos se concluyó con un total de 627 planos que abarcan el total de 51 activos.

Ilustración 7. Contenido de la carpeta para cada central de generación.



- **REGISTROS:** se almacenan allí los informes de construcción, las inspecciones de cada año especializadas, específicas, rutinarias y los instructivos para las inspecciones de rutina.

En la carpeta "REGISTROS" se cuenta con la siguiente estructura documental:

 INFORMES CONSTRUCCION	19/07/2018 9:05 a. ...	Carpeta de archivos
 INSPECCIONES ESPECIALIZADAS	10/07/2018 8:11 a. ...	Carpeta de archivos
 INSPECCIONES ESPECIFICAS	10/07/2018 8:31 a. ...	Carpeta de archivos
 INSPECCIONES RUTINARIAS	02/08/2018 1:21 p....	Carpeta de archivos
 INSTRUCTIVOS	08/08/2018 1:12 p....	Carpeta de archivos

*Ilustración 8. Contenido de la carpeta registros.*

En la carpeta "INFORMES DE CONSTRUCCIÓN" se encuentra guardada toda la información recopilada con respecto a informes y detalles antes, durante y después de la construcción de la central. En la carpeta "INFORMES ESPECIALIZADAS" se tiene el registro anual de las inspecciones especializadas si se han realizado, de manera análoga en "INSPECCIONES ESPECIFICAS". Para la carpeta de "INSPECCIONES RUTINARIAS" se encuentra almacenada el contenido de todas las inspecciones realizadas por año, también se tiene la inspección del 2018 que se tomara como línea base, que como se mencionó anteriormente servirá como material de comparación de cómo se encontraron las estructuras y como ha sido su evolución a lo largo del tiempo. Por último, la carpeta "INSTRUCTIVOS" debe llenarse con la información que corresponde a las planillas de inspección en campo escaneadas, las cuales se deben consignar ahí, como evidencia de la respectiva inspección, además de que puede existir algún tipo de error en un informe o se necesita corroborar alguna información.

- VARIOS: se guarda allí información técnica asociada a planes de mantenimiento, intervenciones específicas en alguno de los activos y demás información relacionada con la central en mención, pero sin un tema en específico.

#### **6. Elaborar fichas de inspección en campo para los activos civiles de las centrales GUATAPE y LA TASAJERA:**

Se elaboraron con un formato que fue adoptado de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil para la inspección de presas, el cual se complementó y adaptó con una lista de chequeo según las patologías que puedan presentar las estructuras que se inspeccionan. Este formato de inspección en campo se compone de tres secciones, información general del activo a inspeccionar, convenciones donde se explica las variables a analizar y por último la planilla de inspección. A continuación, se muestra como debe ser diligenciada la sección de información general. En rojo están los campos que deben diligenciarse y la información que pide.

- **Información general**

Se plasma la información general del activo por ejemplo: la central de la que hace parte, el proceso del activo y el elemento que se está inspeccionando, es decir, cuando se

inspecciona el activo civil como el vertedero, no se puede inspeccionar de manera global sino que se debe diferenciar los elementos que componen el vertedero como el azud, los muros laterales, el canal de descarga, el deflector, el cuenco amortiguador y el canal de aproximación, cada uno de estos elementos puede ser de diferentes materiales por esta razón este formato de inspección utiliza cada una planilla por elemento y no por activo. Se deben dejar plasmadas todas las personas responsables de la inspección, con su nombre completo y número de registro.

Tabla 7. Planilla de información general.

<b>Central Hidroeléctrica</b>	Nombre de la central donde se va a realizar el trabajo					
<b>Proceso</b>	Proceso al que se encuentra sujeto el activo: Almacenamiento, Conducción, Conversión o Transformación.					
<b>Activo</b>	Nombre del activo					
<b>Código</b>	Código con el que se encuentra matriculado.					
<b>Elementos a inspeccionar</b>	Lista de los elementos que componen el activo.					
<b>No. O.T. generada</b>	Número de la orden de trabajo arrojada.					
<b>Fecha de la inspección</b>	Fecha en la cual se realiza la inspección.					
<b>Personal a cargo de la inspección</b>	Nombre y registro de todo el personal a cargo de la inspección, tanto de los responsables como el personal de apoyo.					
<b>Observaciones en Inspección anterior</b>	Nota: Antes de realizar la inspección de campo se recomienda leer el informe anterior para verificar si fueron atendidas las anomalías encontradas					
<b>Tipo de inspección</b>	<b>Rutinaria</b>	Marcar con una X en caso de ser rutinaria	<b>Específica</b>	Marcar con una X en caso de ser específica	<b>Especializada</b>	Marcar con una X en caso de ser especializada
<b>Equipo necesario</b>	Bitácora, plomada, linterna, casco, flexómetro, cámara fotográfica, regla de fisurómetro, otros necesarios					

### Convenciones

Las convenciones deben ser bien comprendidas por el personal que ejecuta las inspecciones, por tal motivo en cada planilla van a estar presentes a modo de recordatorio para evitar mal diligenciamiento de la planilla, ya que cada una de estas variables son de vital importancia para definir el tiempo en que

se debe ejecutar la anomalía, cabe resaltar que a pesar de que dicho análisis define un tiempo de ejecución la realización o no va a estar sujeta siempre de los recursos con que cuente la central, así como del personal y la capacidad para contratar.

Tabla 8. Tabla de convenciones.

Situación	Magnitud	Nivel de peligro
NA –Este ítem no es aplicable	B	1
NE –Anomalía no existente	M	2
PV -Anomalía encontrada por primera vez	A	3
DS – Anomalía desaparecida	MA	4
DI – Anomalía disminuyo		
PC – Anomalía permanece constante		
AU – Anomalía aumento		
NI – Este elemento no fue inspeccionado		

### Situación

- **NA –Este ítem no es aplicable:** El ítem inspeccionado no pertenece al elemento en mención.
- **NE –Anomalía no existente:** Cuando no existe anomalía en relación con el elemento examinado.
- **PV -Anomalía encontrada por primera vez:** Cuando la inspección constata por primera vez, es decir que no se tiene registro en inspecciones anteriores.
- **DS – Anomalía desaparecida:** Cuando en la inspección actual, una determinada anomalía encontrada anteriormente no se tienen registros de existencia.
- **DI – Anomalía disminuyo:** Cuando en una determinada anomalía se presenta en menor magnitud en comparación a inspecciones anteriores.
- **PC – Anomalía permanece constante:** Cuando la anomalía encontrada no cambia en relación con la inspección anterior.

- **AU – Anomalía aumento:** Cuando una determinada anomalía se presenta con una mayor intensidad en comparación con la inspección anterior.
- **NI – Este elemento no fue inspeccionado:** Cuando por motivos ajenos no se logra inspeccionar un elemento que debería ser inspeccionado.

### Magnitud

- **B- Baja:** Anomalía que puede ser resuelta inmediatamente.
- **(2) M- Media:** Anomalía que puede ser resuelta por el equipo de mantenimiento de la central.
- **(3) A- Alta:** Anomalía que puede ser resuelta en conjunto con el personal de la central y con el personal de operación y mantenimiento.
- **(4) MA- Muy alta:** Anomalía que debe ser resuelta con apoyo de otras unidades, como el CET de proyectos, consultores externos etc.

### Nivel de peligro (NP)

- **Ninguno:** No compromete la seguridad del elemento.
- **(2) Atención:** No compromete la seguridad del elemento a corto plazo, pero debe ser controlada a largo plazo. Por qué puede significar un daño a la estructura.
- **(3) Alerta:** El elemento tiene un alto riesgo de fallar, deben tomarse medidas para contrarrestar el problema.
- **(4) Emergencia:** Inminente fallo de la estructura.

### Planilla de inspección en campo

Una vez diligenciados todos los anteriores campos, se presenta la planilla en propiedad de la inspección, la cual se debe diligenciar en campo y va acompañada de una serie de patologías que puede presentar el activo según sea el tipo de estructura y el material que lo compone.

Tabla 9. Planilla de inspección en campo.

ACTIVO	Nombre del activo	SITUACIÓN	MAGNITUD	NP
ELEMENTO	Elemento asociado al activo			
Inspección				

1	Lista de posibles anomalías que pueda presentar el activo.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	B	M	A	MA	Diligenciar con el nivel de peligro del elemento.
Observaciones	Diligenciar las observaciones encontradas en el activo, como medidas de grietas o fisuras, posible causa de anomalía etc.													

- **SITUACIÓN:** Marcar con una X según la situación en que se encuentre el elemento.
  - **MAGNITUD:** Marcar con una X la magnitud de la anomalía que se encontró, en caso de no encontrar ningún tipo de anomalía dejar en blanco.

**7. Prioridad del mantenimiento (tiempo de atención de anomalías):**

Una vez finalizado el trabajo de campo se procede a realizar un análisis para determinar cuál debe ser el tiempo prudente para atender las anomalías. Para esto se utilizarán 4 variables Magnitud (definida en numeral 4.5.1.2), Nivel de peligro (definida en numeral 4.5.1.2), Prioridad de atención y la Criticidad del activo. Identificada la anomalía y de acuerdo a la planilla de campo se define su valor de magnitud de acuerdo a lo planteado en las convenciones anteriores, (1) B- Baja, (2) M- Media, (3) A- Alta y (4) MA- Muy alta. De igual manera se procede con el nivel de peligro (1) Ninguno, (2) Atención, (3) alerta y (4) Emergencia y se implementa la siguiente matriz, magnitud vs nivel de peligro, donde se multiplican linealmente sus valores y a este resultado se le nombra Prioridad de intervención.

**Prioridad de intervención =Magnitud\*Nivel de peligro.**

Tabla 10. Matriz para la priorización "Prioridad de intervención".

Nivel de peligro		Magnitud			
		Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4
Ninguno	1	1	2	3	4
Atención	2	2	4	6	8
Alerta	3	3	6	9	12
Emergencia	4	4	8	12	16



De acuerdo con la Tabla de la ilustración 10, se define la escala del valor de la prioridad de intervención, si el valor de la prioridad está entre 1 y 3 es baja, si el valor de la prioridad está entre 4 y 8 es media y si está entre 9 y 16 la prioridad de la intervención es alta. Luego se le asignan los siguientes valores si es Baja (1), si es Media (2) y si es Alta (3). Como se mencionó con anterioridad a la criticidad se le asignaron los siguientes valores: (1) Baja, (2) Media, (3) Alta y (4) Muy alta. Por último, se plantea una matriz que relaciona la Prioridad de atención y la Criticidad, tiene como resultado el tiempo para ejecutar la intervención.

**Tiempo para ejecutar la intervención:** Criticidad\*Prioridad de atención

*Tabla 11. Matriz de tiempo para ejecutar la intervención.*

	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)
Baja (1)	1	2	3
Media (2)	2	4	6
Alta (3)	3	6	9
Muy alta (4)	4	8	12

De acuerdo con la Tabla 11, se define la escala del Tiempo para ejecutar la intervención, si el valor 1 y 3 se define como Mediano plazo, si el valor está entre 4 y 6 se define como Corto plazo y si está entre 9 y 12 el Tiempo para ejecutar la intervención es Inmediato.

**Mediano plazo:** 12 meses a partir de la inspección.

**Corto plazo:** 6 meses a partir de la inspección.

**Inmediato:** 3 meses a partir de la inspección.

Cabe resaltar que estos tiempos son solo una recomendación ya que cumplirlos a cabalidad va a depender del recurso que se tenga en la central o en la región (monetario, personal, tiempo, etc.) por lo tanto es posible que se puedan extender un poco.

## 8. Inspecciones para el diagnóstico:

Se realizaron las inspecciones a las obras civiles de las centrales Guatapé y La Tasajera, pertenecientes a la región central del proceso de generación de energía. En Guatapé se llevaron a cabo en la segunda semana de septiembre, mientras que para La Tasajera se

realizaron a mediados de noviembre, en ella se estuvo acompañado de los ingenieros de la Unidad de Operación y Mantenimiento, cada uno de ellos con diferentes especialidades que aportaron cada uno desde su perspectiva el hallazgo que se tiene y el procedimiento que debe ejecutarse para corregir la anomalía. Además se apoyó con informes e inspecciones anteriores para identificar posibles zonas de falla o lugares donde el personal de la central ya había manifestado con anterioridad apreciar cierta deficiencia de la estructura, es decir, se tenían puntos identificados donde ya se había evidenciado algún tipo de anomalía en su estructura o se había ejecutado una reparación por lo tanto, esos puntos debían tener una exhaustiva inspección para verificar si la anomalía estuviera activa o sea hubiera aumentado en magnitud, o si por el contrario estuviera constante. Para posteriormente recomendar una intervención definitiva que corrija por completo la anomalía y asegure la vida útil del activo y por ende de la central.

**9. Diagnóstico y recomendaciones (Línea Base):**

Una vez se realizó la inspección, con todo el registro de las anomalías y el estado general de la estructura sea bueno, regular o mal, se llevó a cabo el trabajo de oficina y el cual es consolidar toda la información tomada en campo, planillas diligenciadas, fotografías y observaciones hechas por el personal que hizo parte de la inspección y elaborar un informe para la Gerencia de la Región Central, en el cual se especifique de forma detallada el estado en el que se encuentran sus activos, la anomalía encontrada y la recomendación pertinente para recuperarlas.

**10. Ajustes:**

Luego de que el informe se terminó se realizó una reunión de retroalimentación con los ingenieros de la Unidad de Operación y Mantenimiento, el grupo de Hidrometría y los ingenieros de la Unidad Gestión Producción, dicho grupo interdisciplinario se encargó de leer el informe y recomendar los ajustes respectivos, puesto que es un informe que se le va a presentar a la Gerencia y por lo tanto debe ser de una riqueza verbal y técnica, además de ser lo más claro y conciso posible, puesto que son personas muy ocupadas y sus responsabilidades diarias no permiten que se puedan dar el lujo de leer un informe con errores de algún tipo. Siempre haciendo claridad que la finalidad del informe es que su infraestructura se encuentre en las mejores condiciones operativas posibles y que son estructuras que si bien tienen un riesgo inminente de falla, son activos que están un poco desgastados bien sea por los años y el uso normal y otras veces por descuido y falta de mantenimiento.

## **11.Divulgación:**

Se realizó la reunión con el gerente de la Región Central y los jefes de las centrales Guatapé y La Tasajera, con el fin de no solo mostrarle cada informe y contextualizarlo en el estado en el que se encuentra su infraestructura, sino de mostrarles la metodología adoptada; teniendo en cuenta que ellos son quienes la llevarían a cabo, se debe conocer si tienen el recurso de personal y de dinero para ejecutar un programa de gestión de activos civiles adecuado y que asegure la vida útil de estos. La reunión tuvo resultados muy positivos puesto que a ellos les pareció muy pertinente la metodología y están de acuerdo en que los activos civiles de estas centrales están un poco descuidados y que se requiere una metodología más rigurosa que asegure el proceso de generar energía. Se quedó con el compromiso de realizar algunas reuniones más para mostrar el avance de las intervenciones recomendadas y desde la Unidad de Operación y Mantenimiento quedo con el papel de interventor que vigile que estas intervenciones si se realicen, definir las especificaciones técnicas para recuperar los activos y ser una asesoría permanente para el personal de la central.

## **12.Capacitación inicial:**

Aprobado el Programa Para el Mantenimiento de la Infraestructura Civil del Proceso Generar Energía, se ejecutaron las siguientes actividades con el personal de las diferentes centrales para darles a conocer la metodología y que se lleve a cabo de una manera óptima:

- Mostrarles cuales son los activos civiles que están bajo su responsabilidad.
- Donde va a quedar ubicada la información técnica como planos, informes, etc. Y mostrarles la trazabilidad de donde deben ser almacenadas el material siguiente que surja.
- Exponerles las fichas técnicas de los activos donde van a encontrar datos específicos de cada activo que le competen al personal civil.
- Enseñar las nuevas fichas de inspección en campo, la metodología de cómo deben ser diligenciadas y el análisis posterior que resulta de ellas.
- Como se define el tiempo de las intervenciones.
- La forma en que deben ser presentados los informes y el tiempo adecuado, ya que si se requiere un presupuesto adicional pueda ser incluido.
- Charlas técnicas de las anomalías que pueden presentar las estructuras, como identificarlas y cuál debe ser el proceso de intervenirlas.

## Resultados y análisis

### Gestión documental

Para Guatapé se estableció una lista de 51 activos que a su vez están compuestos por 164 elementos, es decir, las partes que complementan un activo por ejemplo de un túnel; los hastiales, bóvedas, solera, cuneta, entre otros. Mientras que para La Tasajera de 29 activos y 105 elementos, divididos en los 4 procesos de la siguiente manera.

### Guatapé

#### Almacenamiento:

- Vertedero Santa Rita

#### Conducción:

- Túnel vertical etapa 1
- Túnel vertical etapa 2
- Túnel de acceso a c.v.
- Túnel conducción etapa 1
- Túnel conducción etapa 2
- Caverna c.v. etapa 1
- Caverna c.v. etapa 2
- Torre de captación etapa 1
- Torre de captación etapa 2
- Almenara aguas arriba etapa 1
- Almenara aguas arriba etapa 2

#### Conversión:

- Pozo de bombas de refrigeración etapa 1
- Pozo de bombas de refrigeración etapa 2
- Pozo de bombas la clara
- Pozo séptico C.M.
- Recinto generador u1
- Recinto generador u2
- Recinto generador u3
- Recinto generador u4
- Recinto generador u5
- Recinto generador u6
- Recinto generador u7
- Recinto generador u8



- Recinto turbina u1
- Recinto turbina u2
- Recinto turbina u3
- Recinto turbina u4
- Recinto turbina u5
- Recinto turbina u6
- Recinto turbina u7
- Recinto turbina u8
- Tanque de impacto la clara
- Tanque de carga la clara
- Tanque dissipador la clara
- Embalse la clara
- Presa la clara
- Anclajes tubería la clara
- Túnel de acceso a C.M.
- Túnel descarga etapa 1
- Túnel descarga etapa 2
- Edificio de bombeo
- Caverna dissipadora
- Caverna de refrigeración
- Caverna principal C.M.

#### **Transformación:**

- Estructura portadora de cables
- Túnel de cables
- Edificio de mando subestación
- Edificio 13.2 kv
- Caverna de transformadores
- Patio subestación

#### **La Tasajera**

#### **Almacenamiento:**

- Edificio de descarga presa
- Vertedero

#### **Conducción:**

- Túnel ventana 1
- Caverna C.V.
- Túnel conducción
- Túnel ventana 2
- Túnel ramal inclinado
- Torre de captación r2



- Almenara aguas arriba
- Pozo de presión

### **Conversión:**

- Pozo de presión
- Pozo de bombas de refrigeración u1
- Pozo de bombas de refrigeración u2
- Pozo de bombas de refrigeración u3
- Pozo séptico C.M.
- Pozo de infiltraciones C.M.
- Recinto de generador u1
- Recinto de generador u2
- Recinto de generador u3
- Recinto de turbina u1
- Recinto de turbina u2
- Recinto de turbina u3
- Túnel acceso C.M.
- Caverna de ventilación C.M.
- Caverna principal C.M.
- Túnel descarga gen C.M.

Cabe hacer mención que en esta lista no se incluyó las presas Santa Rita y Riongrande II de Guatapé y La Tasajera respectivamente, puesto que estas son monitoreadas, operadas, inspeccionadas y mantenidas por la Unidad de Hidrometría, de la misma Dirección Operaciones por lo tanto no es un activo que sea objeto de estudio para el presente estudio.

Una vez recuperada toda la información técnica de cada una de las centrales se almaceno según se planteó en la metodología anterior y se llegó al siguiente resultado:

En Guatapé se tenía una base de datos de 2730 planos, una vez analizada y depurada se consiguió disminuirla a un valor de 627 planos divididos así: 75 almacenamiento, 184 conducción, 246 conversión y 74 transformación y 48 en servicios de apoyo.

Mientras que para La Tasajera no se contaba con una buena base de datos de planos, por lo tanto se debió ir a la planoteca ubicada en la subestación de la central y buscar entre montones de planos mecánicos y eléctricos, planos civiles que sirvan de insumo para ejecutar labores de mantenimiento y diligenciar las fichas técnicas de cada activo. Se recopilaron en total 439 planos, distribuidos así: 89 Almacenamiento, 146 Conducción, 124 Conversión, 61 Transformación y 19 Servicios de apoyo.

Los servicios de apoyo si bien no son activos que están directamente ligados con el proceso de generación resulta conveniente tener una base de datos con los activos más próximos a estos, por ejemplo, vías de acceso, casetas de operación o vigilancia, la idea de esto es que si resulta un fallo en alguno de estos se pueda recomendar una intervención rápida de modo que no imposibilite la generación.

### Criticidad

Se realizó el análisis de criticidad para los activos civiles que influyen en el proceso de generación de energía, la metodología se dejó documentada en la empresa con la idea de que sea replicada en cada una de las otras centrales de generación de energía y así poder estandarizar la forma de cómo se inspeccionan los activos civiles y cuáles son los tiempos adecuados para ejecutar las labores de mantenimiento.

Tabla 12. Resultados criticidad Guatapé.

FRECUENCIA		CONSECUENCIA					
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima	
		1	2	4	8	16	
Muy alta	5	5	10	20	40	80	
Alta	4	*EMBALSE LA CLARA	8	16	32	64	
Media	3	3	6	12	24	48	
Baja	2	2	4	8	16	32	
Muy baja	1	*POZO DE BOMBAS LA CLARA *POZO SEPTICO C.M. *TANQUE DE IMPACTO LA CLARA *TANQUE DE CARGA LA CLARA *TANQUE DISIPADOR LA CLARA *PRESA LA CLARA *ANCLAJES DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN LA CLARA *EDIFICIO DE BOMBEO LA CLARA *EDIFICIO 13.2 KV	2	4	8	*VERTEDERO *TÚNEL VERTICAL ETAPA 1 Y 2 *TÚNEL DE ACCESO CÁMARA DE VÁLVULAS *TÚNEL DE CONDUCCIÓN ETAPA 1 Y 2 *CAVERNA CÁMARA DE VÁLVULAS ETAPA 1 Y 2 *TORRE DE CAPTACIÓN ETAPA 1 Y 2 *ALMENARA AGUAS ARRIBA ETAPA 1 Y 2 *POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN ETAPA 1 Y 2. *RECINTOS DE GENERADOR DEL 1 AL 8	*RECINTOS DE TURBINA DEL 1 AL 8 *TÚNEL DE ACCESO C.M. *TÚNEL DE DESCARGA ETAPA 1 Y 2 *CAVERNA DISIPADORA *CAVERNA REFRIGERADORA *CAVERNA PRINCIPAL C.M. *ESTRUCTURA PORTADORA DE CABLES *TÚNEL DE CABLES *EDIFICIO DE MANDO SE. *CAVERNA DE TRANSFORMADORES *PATIO SUBESTACIÓN

A continuación en las tablas 12 y 13 se presenta el resultado de la criticidad de los activos civiles de la central Guatapé y La Tasajera.

Tabla 13. Resultados de criticidad La Tasajera.

FRECUENCIA		CONSECUENCIA					
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima	
		1	2	4	8	16	
Muy alta	5	5	10	20	40	80	
Alta	4	4	8	16	32	64	
Media	3	3	6	12	24	48	
Baja	2	2	4	8	16	32	
Muy baja	1	*TÚNEL VENTANA 1 *TÚNEL VENTANA 2 *POZO SEPTICO C.M. *POZO DE INFILTRACIONES C.M. *EDIFICIO DESCARGA PRESA	*CAVERNA DE VENTILACIÓN C.M.	4	*POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U1 *POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U2 *POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U3	*CAVERNA C.V. *TÚNEL CONDUCCIÓN *TÚNEL RAMAL INCLINADA *TORRE DE CAPTACIÓN R2 *ALMENARA AGUAS ARRIBA *POZO DE PRESIÓN *POZO DE TRANSFORMADORES *EDIFICIO DE MANDO SUBESTACIÓN *CAVERNA TRANSFORMADORES C.M. *PLAZOLETA SUBESTACIÓN	*RECINTO GENERADOR U1 *RECINTO GENERADOR U2 *RECINTO GENERADOR U3 *RECINTO TURBINA U1 *RECINTO TURBINA U2 *RECINTO TURBINA U3 *TÚNEL ACCESO C.M. *CAVERNA PRINCIPAL C.M. *TÚNEL DESCARGA C.M. *VERTEDERO

De manera similar y siguiendo la metodología adoptada se calculó el índice de criticidad de cada uno de los activos civiles y con este índice se estableció cuales deben inspeccionarse semestralmente y cuales deben realizarse anualmente.

A continuación en la tabla 14 se presenta el resultado para la Central hidroeléctrica Guatapé.

Tabla 14. Índice de criticidad de los activos civiles central Guatapé.

N°	CODIGO ACTIVO	NOMBRE	INDICE DE CRITICIDAD
1	6455	VERTEDERO	72
2	6677	TÚNEL VERTICAL ETAPA 1	50
3	6678	TÚNEL VERTICAL ETAPA 2	50
4	6681	TÚNEL DE ACCESO A C.V.	20
5	6682	TÚNEL CONDUCCIÓN ETAPA 1	35
6	6683	TÚNEL CONDUCCIÓN ETAPA 2	35

7	6713	CAVERNA C.V. ETAPA 1	27
8	6718	CAVERNA C.V. ETAPA 2	27
9	6719	TORRE DE CAPTACIÓN ETAPA 1	53
10	6720	TORRE DE CAPTACIÓN ETAPA 2	53
11	6722	ALMENARA AGUAS ARRIBA ETAPA 1	35
12	6723	ALMENARA AGUAS ARRIBA ETAPA 2	35
13	5863	POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN ETAPA 1	20



14	5864	POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN ETAPA 2	20
15	5865	POZO DE BOMBAS LA CLARA	5
16	5866	POZO SEPTICO C.M.	8
17	6045	RECINTO GENERADOR U1	21
18	6048	RECINTO GENERADOR U2	21
19	6051	RECINTO GENERADOR U3	21
20	6054	RECINTO GENERADOR U4	21
21	6057	RECINTO GENERADOR U5	21
22	6060	RECINTO GENERADOR U6	21
23	6063	RECINTO GENERADOR U7	21
24	6066	RECINTO GENERADOR U8	21
25	6046	RECINTO TURBINA U1	42
26	6049	RECINTO TURBINA U2	42
27	6052	RECINTO TURBINA U3	42
28	6055	RECINTO TURBINA U4	42
29	6058	RECINTO TURBINA U5	42
30	6061	RECINTO TURBINA U6	42
31	6064	RECINTO TURBINA U7	42
32	6067	RECINTO TURBINA U8	42
33	6157	TANQUE DE IMPACTO LA CLARA	5

34	6159	TANQUE DE CARGA LA CLARA	5
35	6160	TANQUE DISIPADOR LA CLARA	5
36	6174	EMBALSE LA CLARA	20
37	6336	PRESA LA CLARA	5
38	6499	ANCLAJES TUBERIA LA CLARA	5
39	6675	TUNEL DE ACCESO A C.M.	57
40	6679	TUNEL DESCARGA ETAPA 1	42
41	6680	TUNEL DESCARGA ETAPA 2	42
42	6704	EDIFICIO DE BOMBEO	5
43	6715	CAVERNA DISIPADORA	27
44	6716	CAVERNA DE REFRIGERACIÓN	27
45	116823	CAVERNA PRINCIPAL C.M.	65
46	6506	ESTRUCTURA PORTADORA DE CABLES	48
47	6676	TÚNEL DE CABLES	34
48	6696	EDIFICIO DE MANDO SUBESTACIÓN	38
49	6703	EDIFICIO 13.2 KV	5
50	6714	CAVERNA DE TRANSFORMADORES	43
51	6756	PATIO SUBESTACIÓN	22

De acuerdo con la tabla anterior se concluye que los activos que deben ser inspeccionados 2 veces por año son: Vertedero Santa Rita, Torres de captación etapa 1 y 2, Túnel de acceso C.M. y la Caverna principal C.M, la periodicidad del resto de activos es 1 vez por año. Este resultado es muy coherente puesto que son activos que bien sea por su magnitud, su importancia en el proceso y al riesgo para la sociedad que alguno de estos falle, son activos que se deben mantener en óptimas condiciones y por lo tanto requieren una mayor atención.

A continuación se presenta el resultado para la central hidroeléctrica La Tasajera.

Tabla 15. Índices de criticidad de los activos civiles central La Tasajera.

Nº	CODIGO ACTIVO	NOMBRE	INDICE DE CRITICIDAD
1	4676	EDIFICIO DE DESCARGA PRESA	5
2	4693	VERTEDERO	80
3	2500	TÚNEL VENTANA 1	5
4	2516	CAVERNA C.V.	35
5	4671	TÚNEL CONDUCCIÓN	35
6	4672	TÚNEL VENTANA 2	5
7	4674	TÚNEL RAMAL INCLINADO	65
8	4681	TORRE DE CAPTACIÓN R2	68
9	4683	ALMENARA AGUAS ARRIBA	50
10	116842	POZO DE PRESIÓN	50
11	2898	POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U1	13
12	2899	POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U2	13
13	2900	POZO DE BOMBAS DE REFRIGERACIÓN U3	13
14	3016	POZO SEPTICO C.M.	5

15	3017	POZO DE INFILTRACIONES C.M.	5
16	3023	RECINTO DE GENERADOR U1	36
17	3024	RECINTO DE GENERADOR U2	36
18	3025	RECINTO DE GENERADOR U3	36
19	3026	RECINTO DE TURBINA U1	36
20	3027	RECINTO DE TURBINA U2	36
21	3028	RECINTO DE TURBINA U3	36
22	4670	TÚNEL ACCESO C.M.	51
23	4679	CAVERNA DE VENTILACIÓN C.M.	6
24	4680	CAVERNA PRINCIPAL C.M.	65
25	4684	TÚNEL DESCARGA GEN C.M.	50
26	2901	POZO TRANSFORMADORES DE POTENCIA	20
27	4675	EDIFICIO DE MANDO SUBESTACIÓN	35
28	4678	CAVERNA DE TRANSFORMADORES C.M.	51
29	4692	PLAZOLETA S.E.	20

De acuerdo con la tabla 15 se concluye que los activos que deben ser inspeccionados 2 veces por año son: Vertedero Riogrande II, Torre de captación R2, Túnel Ramal Inclinado, Túnel acceso C.M., la Caverna principal C.M y la Caverna de Transformadores, la periodicidad del resto de activos es 1 vez por año.

### Fichas técnicas:

Se elaboraron en total 80 fichas técnicas de los activos civiles suscritos a Guatapé y La Tasajera, dichas fichas se hicieron con el único fin de que el personal encargado de estos se pongan en contexto de cuáles son las estructuras que tienen a su cargo, que características tienen y contiene datos relevantes como caudales máximos que puede evacuar el vertedero, la altura máxima del embalse y los caudales máximos de aducción de las captaciones, esta información sirve de insumo cuando se deben operar compuertas o cuando se debe realizar una descarga para cumplir alguna necesidad técnica o legales, también contiene medidas, espesores, resistencia, notas u observaciones de diseño y además del resultado del análisis de criticidad del activo en mención. En la siguiente ilustración se ilustra una muestra de la ficha técnica de un pozo séptico.


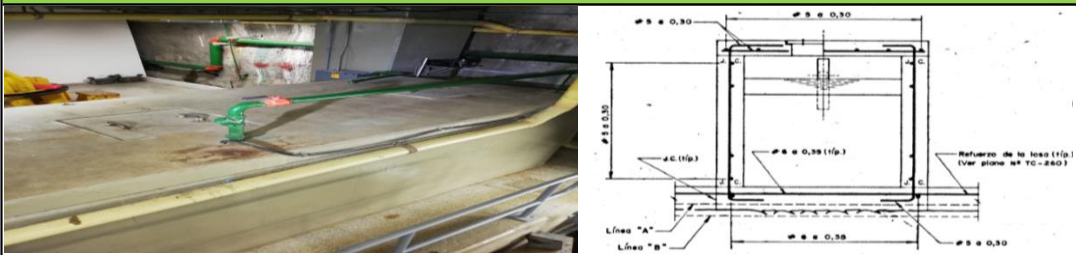
 <b>FICHA TÉCNICA</b> Empresas Públicas de Medellín E.S.P VP Generación Energía rección Operaciones Generación Energía		
<b>Central Hidroeléctrica</b>	CENTRAL LA TASAJERA	
<b>Proceso</b>	CONVERSIÓN	
<b>Activo</b>	3016 POZO SEPTICO C.M.	
<b>Elementos asociados al activo</b>	ESTRUCTURA EN CONCRETO ELEMENTOS METÁLICOS	
<b>Criticidad y Periodicidad</b>	RIESGO PERSONAS	Bajo
	RIESGO AMBIENTE	Bajo
	RIESGO CALIDAD	Bajo
	RIESGO REPUTACIÓN	Bajo
	RIESGO FINANCIERO	Bajo
	RIESGO TOTAL	5
	CRITICIDAD	Bajo
	PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN	1 vez por año
<b>Características</b>	f'c (Mpa)	24.5
	Tipo de estructura	Tanque en concreto reforzado.
	Altura (m)	2.85
	Ancho (m)	2
	Largo (m)	4
	Espesor muros (m)	30cm
	Espesor losa superior (m)	30
Espesor Losa inferior (m)	45 cm	
<b>Registro fotográfico</b>		
		
<b>Generalidades</b>	Tanque con una capacidad de almacenamiento de 22.8 m <sup>3</sup>	

Ilustración 9. Ficha técnica del activo 3016 POZO SEPTICO C.M.

## Formatos de inspección en campo

Como se mencionó anteriormente se identificaron 5 tipos de estructuras: estructura en concreto, estructuras metálicas, pavimentos, estructuras en roca y mampostería, entonces con la ayuda de las fichas técnicas se puede verificar de material está compuesto cada uno de los elementos y con esto se imprime y diligencia la ficha respectiva.

### Estructura en concreto:

Tabla 16. Planilla de inspección en campo para estructuras en concreto.

ACTIVO		SITUACIÓN										MAGNITUD	NP
ELEMENTO	Elemento en concreto												
Inspección													
1	Grietas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Fisuras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G

3	Dilatación entre juntas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Manchas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Hinchamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Exposición de acero de refuerzo	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Desprendimientos de concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Filtraciones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Erosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Lixiviación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Salinidad	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Eflorescencias	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
13	Porosidad	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Reparaciones previas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
15	Socavación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
16	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
17	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
18	Corrosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
19	Carbonatación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
20	Falta de mantenimiento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
21	Crecimiento de vegetación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
<b>Observaciones</b>														

## Estructura metálica:

Tabla 17. Planilla de inspección en campo para Estructura Metálica.

ACTIVO		SITUACIÓN											MAGNITUD	NP
ELEMENTO	Elemento metálico													
Inspección														
1	Oxidación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Deformaciones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Erosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4	Corrosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Rotura frágil	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Rotura dúctil	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
7	Falla por tensión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
8	Par galvánico	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
9	Falla por flexión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
10	Falla por compresión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
11	Repercusiones por temperatura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
12	Falla en conexiones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
13	Exposición al fuego	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
14	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
15	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
<b>Observaciones</b>													

## Pavimento en afirmado:

Tabla 18. Planilla de inspección en campo para pavimentos en afirmado.

ACTIVO		SITUACIÓN											MAGNITUD	NP
ELEMENTO	<b>Pavimento en afirmado</b>													
<b>Inspección</b>														
1	Carpeta de rodadura funcional y permita tránsito seguro	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Encharcamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Afloramientos de agua	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Asentamientos o irregularidades	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Trabajo inadecuado de las cunetas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
<b>Observaciones</b>														

--	--

**Pavimento flexible:**

*Tabla 19. Planilla de inspección en campo para pavimentos flexibles.*

ACTIVO		SITUACIÓN										MAGNITUD	NP
ELEMENTO	<b>Estructura en pavimento flexible</b>												
Inspección													
1	Grietas de contracción	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Piel de cocodrilo	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Exudación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Manchas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Corrugaciones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Grietas de borde	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
7	Ahuellamiento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
8	Baches	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
9	Hundimientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
10	Desnivel Calzada-hombrillo	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
11	Zanjas reparadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
12	Agregados pulidos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
13	Perdida de esmalte	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
14	Reparaciones previas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
15	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
16	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
<b>Observaciones</b>													

**Mampostería:**

Tabla 10. Planilla de inspección en campo para mampostería.

ACTIVO		SITUACIÓN										MAGNITUD	NP		
ELEMENTO	Elemento en mampostería														
Inspección															
1	Deterioro en la mampostería	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
2	Grietas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
3	Fisuras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
4	Dilatación entre bloques	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
5	Manchas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
6	Asentamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
7	Desalineamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
8	Descascaramiento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
9	Filtraciones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
10	Lixiviación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
11	Erosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
12	Presencia de sales	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
13	Porosidad	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
14	Reparaciones previas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
15	Pérdida de verticalidad	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
16	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
17	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
18	Aristas desgastadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
19	Cavidades	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
<b>Observaciones</b>															

**Taludes:**

Tabla 21. Planilla de inspección en campo para Taludes.

ACTIVO		SITUACIÓN										MAGNITUD	NP
ELEMENTO	Taludes												

Inspección													
1	Crecimiento de vegetación excesivo	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Grietas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Cárcavas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Abultamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Desprendimientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Asentamientos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
7	Reptación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
8	Tubificación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
9	Erosión	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
10	Obstrucción de drenajes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
11	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
12	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
<b>Observaciones</b>													

## Túneles:

Tabla 22. Planilla de inspección en campo para los Túneles.

ACTIVO		SITUACIÓN										MAGNITUD	NP
ELEMENTO	<b>Túneles</b>												
Inspección													
1	Filtraciones	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
2	Filtraciones con presión y sin arrastre de material	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
3	Filtraciones con presión y con arrastre de material	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
4	Grietas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
5	Desprendimientos de fragmentos de roca	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
6	Zonas de inestabilidad	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G
7	Manchas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G



8	Crecimiento de vegetación	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Drenajes suficientes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Drenajes obstruidos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Defectos constructivos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Defectos de diseño	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
13	Fallas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Diaclasas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
<b>Observaciones</b>														

Una vez realizada la gestión documental y diseñada la metodología de cómo deben ser inspeccionados los activos civiles de una central hidroeléctrica se procede a ejecutar las inspecciones en Guatapé y La Tasajera respectivamente, además de servir de insumo para hacer un levantamiento de la línea de base, es decir, el estado en el que se encuentran todas las estructuras civiles, sirvió también para ajustar detalles de la metodología, de que tan factible es o no y si se deben hacer ajustes.

### **Resultados de inspección central Guatapé**

Como se mencionó anteriormente se encontraron anomalías en 22 de los 51 activos. En términos generales la central se encuentra en buenas condiciones estructurales y funcionales, no obstante se apreciaron ciertas anomalías que a pesar de que no impiden el proceso de generar energía, se recomienda que los hallazgos más significativos sean tratados en el corto plazo, estos son: el desgaste en el concreto que presenta el cielo raso en arco (Losa de cubierta) de la Caverna Principal de Casa Máquinas para asegurar su capacidad estructural y evitar desprendimientos que puedan ocasionar accidentes al personal de la central o daños a los equipos, Las grietas y baches que se tienen en la losa del canal de descarga del Vertedero para que evitar que ante futuros vertimientos se presente exposición en el acero o se pierda sección de losa, el revoque de la mampostería de Almenara Aguas arriba etapa 1 para evitar que la erosión y la humedad debiliten los bloques que se encuentran expuestos y puedan caer hacia la conducción ocasionando un fallo en alguna de las unidades y

por último la rehabilitación de los elementos que albergan los Túneles Verticales para garantizar un correcto funcionamiento de la conducción y en caso de transitar por estos sea una labor complemente segura.

Los túneles verticales I Y II, desde el punto de vista estructural no presentan desprendimientos de roca, zonas de falla o deformaciones que puedan ocasionar un colapso de la estructura, no obstante, se tienen altas filtraciones que no son captadas o controladas de manera pertinente y los elementos más afectados son los metálicos y la tubería a presión, piezas que presentan ataque corrosivo considerable, como se podrá apreciar en el anexo, dada la criticidad que tienen estos activos respecto al proceso y los graves daños no solo económicos que ocasionaría un colapso de las tuberías, se recomienda que se tomen acciones de recuperación de la tubería, los pernos y platinas de amarre a las silletas para garantizar su confiabilidad, también se debe trabajar en los pasamanos para garantizar que el recorrido por dicho túnel sea una maniobra segura, teniendo en cuenta que ante eventos de emergencia como lo fue el incendio en el túnel de cables el 15 de febrero de 2016, cumple las funciones de salida de emergencia. Según un estudio de espesores que se le realizó a la tubería a presión en el año 2018, se observó que la perdida de sección por efectos de la corrosión no es muy considerable y que aún se encuentra en condiciones seguras, sin embargo, de no controlar las filtraciones en los túneles este fenómeno va a seguir aumentando hasta llegar a un punto donde la recuperación sea costosa y engorrosa como puede ser reemplazar secciones o llegar a un colapso con todas las repercusiones económicas, humanas y demás que podría generar.

A continuación se presentan los hallazgos más importantes que deben ser tratados en el menor tiempo posible.

*Tabla 11. Resultado de la inspección del Vertedero Santa Rita.*

Central	Hidroeléctrica Guatapé
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	12/09/2018
Activo	6455 VERTEDERO



**FOTO 1**

Elemento: AZUD

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales, solo se aprecian manchas debido a la exposición normal.

Recomendación:



**FOTO 2**

Elemento: CANAL DE DESCARGA

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Baches y pérdida de esmalte debido a la erosión.

Recomendación: Aplicar mortero de reposición sobre los baches para evitar mayor deterioro a causa de la socavación en la superficie y la exposición de acero o una pérdida significativa del espesor de la losa.



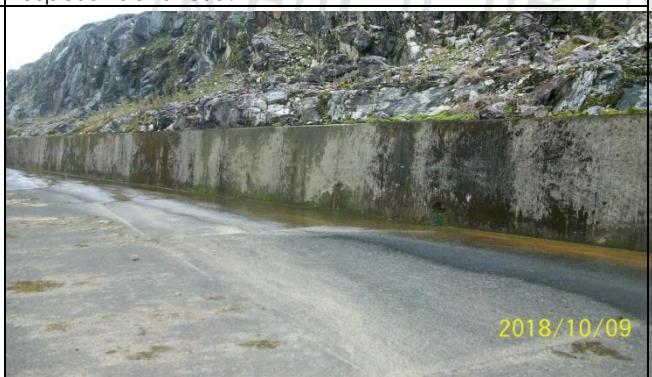
**FOTO 3**

Elemento: CANAL DE DESCARGA

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Crecimiento de vegetación.

Recomendación: Limpiar o remover la vegetación existente en canal.



**FOTO 4**

Elemento: MUROS DE CANAL

Descripción: Estructura en Concreto

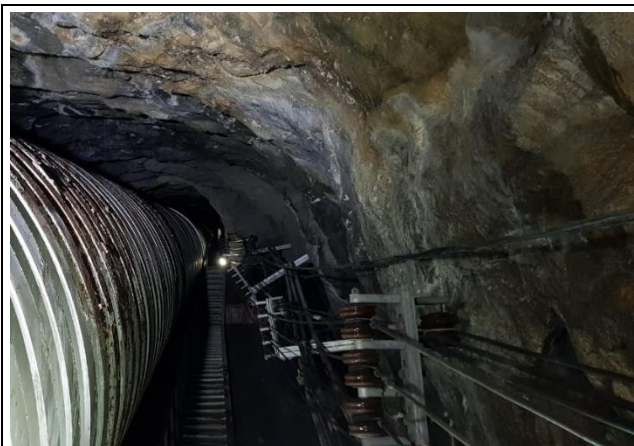
Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales solo se aprecia crecimiento de vegetación.

Recomendación: Limpiar o remover la vegetación existente en los muros.

 <p>2018/10/09</p>	 <p>2018/10/09</p>
<p align="center"><b>FOTO 5</b></p>	<p align="center"><b>FOTO 6</b></p>
<p>Elemento: DEFLECTOR</p> <p>Descripción: Estructura de Concreto</p> <p>Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales.</p> <p>Recomendación:</p>	<p>Elemento: PILAS Y TABLERO DE PUENTE</p> <p>Descripción: Estructura de Concreto</p> <p>Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales, solo se aprecia crecimiento de vegetación en algunas de las pilas.</p> <p>Recomendación: Limpiar o remover la vegetación existente en las pilas</p>
 <p>2018/10/09</p>	
<p align="center"><b>FOTO 7</b></p>	<p align="center"><b>FOTO 8</b></p>
<p>Elemento: CANAL DE DESCARGA</p> <p>Descripción: Estructura en Concreto</p> <p>Hallazgo: Desnivel entre juntas transversales que pueden empozar el agua y socavación.</p> <p>Recomendación: Realizar seguimiento a las zonas que tienen desnivel entre juntas de construcción para garantizar que no se presente exposición del acero</p>	<p>Elemento: CANAL DE DESCARGA</p> <p>Descripción: Estructura en Concreto</p> <p>Hallazgo: Grietas longitudinales</p> <p>Recomendación: Aplicar mortero de reposición sobre los baches para evitar mayor deterioro a causa de la socavación en la superficie y la exposición de acero o una pérdida significativa del espesor de la losa.</p>

Tabla 12. Resultados de la inspección Túnel vertical etapa I.

Central	Hidroeléctrica Guatapé
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	10/10/2018
Activo	6677 TÚNEL VERTICAL ETAPA 1



**FOTO 9**

Elemento: BOVEDAS Y HASTIALES

Descripción: Estructura en Roca

Hallazgo: Se aprecian altas filtraciones no controladas en especial en el tramo final del túnel que están generando problemas de oxidación y corrosión considerables en tubería a presión, amarres de silletas y demás elementos metálicos

Recomendación: Impermeabilización con geomembrana y correcto encauce de las filtraciones de la caverna que alberga la tubería de presión.



**FOTO 10**

Elemento: SOLERA

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Estructura en perfectas condiciones, solo se aprecian drenajes no canalizados.

Recomendación: Instalar cunetas y drenajes mediante una tubería para captar y evitar que el agua fluya por las escaleras y entre en contacto con los demás elementos metálicos e impermeabilice la escalera.



**FOTO 11**

Elemento: ESCALERA EN CONCRETO

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales, solo se aprecian en algunos tramos acumulación de sales.

Recomendación: Remover las sales acumuladas con el fin de evitar que el fenómeno de carbonatación le incida al acero.



**FOTO 12**

Elemento: SILLETAS

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Concretos en perfectas condiciones estructurales y estéticas, solo se aprecia oxidación en las platinas y pernos de amarre de las silletas.

Recomendación: Proteger con pintura anticorrosiva para evitar pérdida de sección y desprendimientos en las uniones de las silletas.



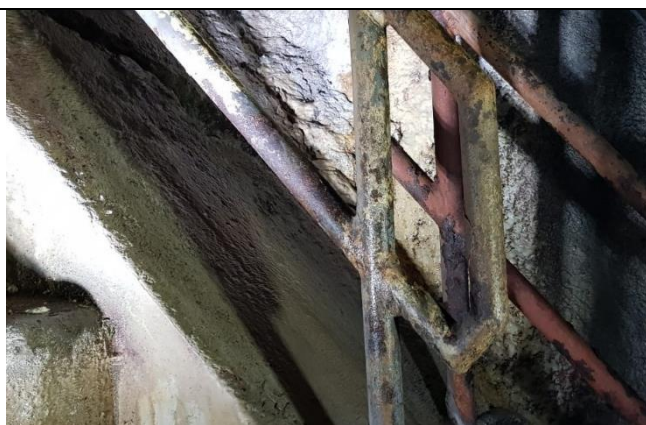
**FOTO 13**

Elemento: ANCLAJES

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales.

Recomendación:



**FOTO 14**

Elemento: PASAMANOS

Descripción: Elemento metálico

Hallazgo: Presenta oxidación en algunos tramos.

Recomendación: Proteger con pintura anticorrosiva para evitar pérdida de sección y desprendimientos.



**FOTO 15**

Elemento: ESCALERA METÁLICA

Descripción: Elemento metálico

Hallazgo: Estructura que presenta oxidación y en algunos tramos se evidencia desgaste y pérdida de capacidad estructural.

Recomendación: Proteger con anticorrosivo, además reemplazar las secciones de las huellas que estén más deterioradas.

Tabla 25. Resultados de la inspección del Túnel Vertical etapa II.

Central	Hidroeléctrica Guatapé
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	13/09/2018

Activo

6678 TÚNEL VERTICAL ETAPA 2



**FOTO 16**

Elemento: HASTIALES Y BOVEDAS

Descripción: Estructura en Roca

Hallazgo: Se aprecian altas filtraciones no controladas.

Recomendación: Impermeabilización con geomembrana, correcto encauce de las filtraciones de la caverna que alberga la tubería de presión, limpieza de cunetas y drenajes obstruidos, además de darle continuidad a tubería de PVC que colecta los drenajes para que sus discontinuidades no filtre el agua por las escaleras o por la losa.



**FOTO 17**

Elemento: LOSA INFERIOR

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Se aprecian altas filtraciones no controladas.

Recomendación: Captar las filtraciones de una manera adecuada de las filtraciones que recorren por esta para evitar más pérdida de esmalte y fenómeno de carbonatación.



**FOTO 18**

Elemento: ESCALERAS

Descripción: Estructura en Concreto

Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales.

Recomendación:



**FOTO 19**

Elemento: SILLETAS

Descripción: Estructura en Concreto.

Hallazgo: Concreto en buenas condiciones estructurales, pero los pernos y las platinas de amarres se aprecian con ataques corrosivos considerables.

Recomendación: Proteger con pintura anticorrosiva para evitar pérdida de sección y desprendimientos en las uniones de las silletas.





	
<p align="center"><b>FOTO 20</b></p> <p>Elemento: ANCLAJES</p> <p>Descripción: Estructura en Concreto</p> <p>Hallazgo: Elemento en buenas condiciones estructurales.</p> <p>Recomendación:</p>	<p align="center"><b>FOTO 21</b></p> <p>Elemento: PASAMANOS</p> <p>Descripción: Elemento metálico</p> <p>Hallazgo: Elemento con alto grado de ataque corrosivo y en malas condiciones estructurales.</p> <p>Recomendación: Reemplazar pasamanos por uno en acero inoxidable.</p>
	
<p align="center"><b>FOTO 22</b></p> <p>Elemento: TUBERÍA A PRESIÓN</p> <p>Descripción: Elemento metálico</p> <p>Hallazgo: Elemento con ataque corrosivo</p> <p>Recomendación: Proteger la tubería a presión con pintura anticorrosiva.</p>	<p align="center"><b>FOTO 23</b></p> <p>Elemento: Elementos metálicos</p> <p>Descripción: Elemento metálicos</p> <p>Hallazgo: Elemento con grado de oxidación.</p> <p>Recomendación: Proteger demás elementos con pintura anticorrosiva.</p>

Tabla 26. Resultados de inspección Almenara etapa I.

Central	Hidroeléctrica Guatapé
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	12/09/2018
Activo	6722 ALMENARA AGUAS ARRIBA ETAPA 1





**FOTO 24**

**Elemento:** Estructura cilíndrica.

**Descripción:** Estructura en mampostería.

**Hallazgo:** Elemento con un pésimo estado del revoque debido a la erosión.

**Recomendación:** Revocar la estructura asegurando la estabilidad, vida útil de la estructura y seguridad en el proceso de generación.

*Tabla 27. Resultados de inspección Caverna principal C.M.*

Central	Hidroeléctrica Guatapé
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	11/09/2018
Activo	116823 CAVERNA PRINCIPAL C.M.
<p><b>FOTO 25</b></p>	<p><b>FOTO 26</b></p>
<p><b>Elemento:</b> PERNOS DE ROCA.  <b>Descripción:</b> Elementos metálicos.  <b>Hallazgo:</b> elementos que presenta oxido en su cabezal.  <b>Recomendación:</b> Investigar que tanta incidencia tienen estos fenómenos de oxidación en la estabilidad de la estructura.</p>	<p><b>Elemento:</b> BOVEDA  <b>Descripción:</b> Estructura en roca.  <b>Hallazgo:</b> Altas filtraciones no controladas en la bóveda que inciden directamente sobre la losa superior de la bóveda.  <b>Recomendación:</b> Captar y evacuar las infiltraciones de forma que no perjudique el concreto de la losa.</p>



**FOTO 27**

**Elemento:** LOSA SUPERIOR

**Descripción:** Estructura en concreto.

**Hallazgo:** descascaramiento en el concreto debido a las filtraciones con incidencia directa sobre la losa superior que ya genera exposición y corrosión en el acero.

**Recomendación:** Retirar todo el concreto reventado por la humedad, reponer el acero de refuerzo y cubrir con mortero o lechada.

## Resultados de inspección Central La Tasajera

Los activos civiles que componen la central hidroeléctrica La Tasajera en términos generales se encuentran en buenas condiciones estructurales incluso los activos que componen Casa de Maquinas, según un estudio de INTEGRAL entregado en el presente año, sin embargo, existen anomalías que deben ser atendidas prontamente porque si bien no representan una amenaza a corto plazo el daño podría seguir aumentando hasta tener un inminente colapso de alguno de ellos. Por ejemplo, los apoyos de los cables de potencia, la losa del Túnel de Acceso a Casa Maquinas, Revestimiento en concreto reforzado del mismo túnel y los concretos tanto de la Caverna Principal como de la Caverna de Transformadores que, a causa de estar ubicada en un ambiente con alto contenido de cloruros, según la bibliografía presenta concentraciones de sal en el agua 5 veces mayores que en el mar, representa una amenaza fuerte para el concreto y el acero de refuerzo puesto que propicia y acelera (una vez iniciada) el fenómeno de corrosión.

En el momento de la inspección del Vertedero, el nivel del embalse se encontraba en la cota 2269msnm, por lo tanto, la losa del canal de aproximación se encuentra completamente sumergida ya que esta se ubica en la cota 2268msnm. Razón por la cual no fue realizar la inspección del elemento, se posterga para cuando el nivel del embalse exponga completamente la estructura.

El diseño del canal de descarga es una sección trapezoidal revestida en concreto reforzado a excepción de los últimos 100 metros donde se tiene una sección cubierta en roca. Dicho tramo está invadido completamente por vegetación, sin embargo, en la margen derecha en la confluencia de la descarga con el Río Medellín por la vorticidad y turbulencia que se genera en esta zona se está presentando una socavación importante del talud, se entiende que esos predios no hacen parte de EPM, a pesar de ello, se recomienda hacer seguimiento a esta zona con el fin de confirmar que no se siga deteriorando la estructura.

Los taludes que conforman los portales de ingreso al Túnel Ventana 1 y 2 presentan un crecimiento excesivo de vegetación (VER FOTO 38 Y FOTO 42), impidiendo una inspección de la estabilidad de los mismos o algunas señales que indiquen un posible deslizamientos como grietas, cárcavas, abultamientos, desprendimientos y asentamientos; por lo tanto se recomienda aumentar las frecuencias en las que se programa la rocería de estos con el fin de garantizar que se pueda identificar una anomalía a tiempo y corregirla antes de que pueda fallar y obstruya el ingreso o la salida de los Túneles.

Para asegurar la vida útil de los concretos del Túnel de Acceso y la Casa de Máquinas, se hacen las siguientes recomendaciones según las anomalías encontradas en campo y en conformidad con el estudio de corrosión y ensayos de resistencia de los concretos y acero de refuerzo elaborado por INTEGRAL. Para los apoyos de los cables de potencia tipo Ménsula se recomienda extenderlos hasta nivel de piso ya que estos se encuentran anclados con pernos que, debido a los agentes agresivos presentes en la roca, es posible que estas barras pierdan toda su capacidad estructural perjudicando el transporte de energía hasta la subestación, además con el fin de darle una mayor protección contra la corrosión al concreto se recomienda usar productos impermeabilizantes aplicados a la superficie para proteger en profundidad los concretos de los apoyos de los cables de potencia así como la margen izquierda de la losa de piso del Túnel de acceso, que sirve como pared de la cuneta de las aguas de infiltración con altos contenidos de cloruros y sulfatos que por esta circulan, razón por la cual se encuentra muy desgastada, se sugiere el uso de PENETRON® o un producto equivalente, se debe aplicarse siempre y cuando no se encuentren fisuras considerables o desprendimientos de concreto que ya exponga el acero de refuerzo, la recomendación para esos casos es diferente. Cuando se presenten exposición de acero se debe remover el concreto y exponer el acero para verificar la sección transversal del mismo, si su sección transversal ha perdido 20% o menos se debe proteger el acero con un inhibidor y cubrir de nuevo con un producto como SikaTop-122 Plus o

equivalente, mientras que si el acero de refuerzo presenta una pérdida de sección superior al 20% se debe retirar el acero corroído y 30 cm a cada lado y reemplazarlo, dejando un empalme mínimo entre barras.

El tratamiento de fisuras mayores a 0.4mm se va a efectuar mediante un adhesivo epóxico tipo Sikadur 31 Adhesivo o equivalente, si el concreto se encuentra desgastado como en la viga del pórtico de la Casa de Maquinas se deberá abrir un poco más la fisura con un espesor de hasta 1 cm y luego aplicar el sello y por último para el sellado de las juntas de la losa de piso del Túnel de Acceso se deberá limpiar la superficie y aplicar con pistola manual un producto tipo Sikaflex 1A o similar.

El Túnel Ramal inclinado, desde el punto de vista estructural no presentan desprendimientos de roca, zonas de falla o deformaciones que puedan ocasionar un colapso de la estructura, no obstante, se tienen filtraciones que no son captadas o controladas de manera pertinente y los elementos más afectados son los metálicos y la tubería a presión, piezas que presentan corrosión, como se podrá apreciar en la tabla 31, dada la criticidad que tienen estos activos respecto al proceso y los graves daños no solo económicos que ocasionaría un colapso de las tuberías, se recomienda que se tomen acciones de recuperación de la tubería, los pernos y platinas de amarre a las silletas para garantizar su confiabilidad, también se debe trabajar en los apoyos de los pasamanos e instalar una línea de vida para garantizar que los trabajos de mantenimiento en dicho túnel sea una maniobra segura. Además de recuperar los concretos de las escalares que presenta desprendimientos y acumulaciones excesivas de sales, cubrir la zona de los hastiales donde se han presentado desprendimientos del concreto lanzado, poner en operación los drenajes colmatados, recuperar y proteger los tomacorrientes dispuestos a lo largo del Túnel y por último proteger contra la corrosión los soportes metálicos porta cables y retirarlos de la cota clave del túnel, para facilitar la colocación de andamios o demás obra falsa necesaria para ejecutar trabajos al interior de este.

Tabla 28. Resultados de inspección Vertedero Riogrande II.

Central	Hidroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	7/11/2018
Activo	4693 VERTEDERO R2



**FOTO 28**

**Elemento:** AZUD  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Estructura en muy buenas condiciones.  
**Recomendación:**



**FOTO 29**

**Elemento:** CANAL DE DESCARGA  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Grietas longitudinales en la zona de aireadores.  
**Recomendación:** Sellar las grietas con resina epóxica con el fin que no presente exposición de acero y tenga repercusiones importantes en la estructura y monitorear las que no se intervengan.



**FOTO 30**

**Elemento:** CANAL DE DESCARGA  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Perdida de esmalte y pequeños baches generados por la abrasión y el lavado que produce el vertimiento.  
**Recomendación:** Monitorear las zonas donde se han hecho reparaciones y se presente erosión en el concreto para asegurar que el fenómeno no avance.



**FOTO 31**

**Elemento:** MUROS DEL CANAL  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Estructura en muy buenas condiciones.  
**Recomendación:**

<b>FOTO 32</b>	<b>FOTO 33</b>
<p><b>Elemento:</b> DEFLECTOR  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto  <b>Hallazgo:</b> Fisuras menores y concreto afectado superficialmente por la abrasión y erosión.  <b>Recomendación:</b> Monitorear que las fisuras presentes y la pérdida de esmalte que se tiene en el concreto no avance, en caso tal se debe entrar a corregir dicha anomalía.</p>	<p><b>Elemento:</b> LOSA DE SALIDA  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto  <b>Hallazgo:</b> Concreto afectado superficialmente por la abrasión y erosión.  <b>Recomendación:</b> Monitorear que las fisuras presentes y la pérdida de esmalte que se tiene en el concreto no avance, en caso tal se debe entrar a corregir dicha anomalía.</p>

Tabla 29. Resultados de la inspección de Túnel ventana 1.

Central	Hidroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	8/11/2018
Activo	2500 TÚNEL VENTANA 1
<b>FOTO 34</b>	<b>FOTO 35</b>
<p><b>Elemento:</b> HASTIALES  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto y Estructura en Roca  <b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas y desprendimientos menores en la roca.  <b>Recomendación:</b> Controlar las infiltraciones e investigar si la zona está activa geológicamente para estudiar la posibilidad de instalar pernos o malla de protección de desprendimientos.</p>	<p><b>Elemento:</b> BOVEDA  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto y Estructura en Roca  <b>Hallazgo:</b> Estructura en muy buenas condiciones.  <b>Recomendación:</b></p>



**FOTO 36**

Elemento: CALZADA

Descripción: Estructura en afirmado.

Hallazgo: Se aprecian encharcamientos debido a un drenaje inadecuado y crecimiento de vegetación en el tramo de ingreso.

Recomendación: Perforar el borde de la cuneta, con el fin de que las aguas de la calzada puedan migrar hasta la misma y evitar acumulación de agua sobre la calzada y retirar toda la vegetación existente.



**FOTO 37**

Elemento: REVESTIMIENTO

Descripción: Estructura en Concreto Lanzado.

Hallazgo: Eflorescencias y desgaste en el concreto con exposición de acero de refuerzo.

Recomendación: Limpiar eflorescencia y verificar que no se encuentren fisuras y proteger el acero expuesto con pintura anticorrosiva y cubrir con mortero.



**FOTO 38**

Elemento: ELEMENTOS METÁLICOS

Descripción: Puerta reja y ducto de ventilación

Hallazgo: Elementos que presentan corrosión.

Recomendación: Proteger con pintura anticorrosiva y pintura acrílica la puerta reja y el ducto de ventilación.

Tabla 30. Resultados de inspección Túnel ventana 2.









Central	Hydroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	8/11/2018
Activo	4672 TÚNEL VENTANA 2
	
<b>FOTO 39</b>	<b>FOTO 40</b>
<p>Elemento: HASTIALES Y BOVEDAS</p> <p>Descripción: Estructura en Roca</p> <p>Hallazgo: Se encuentra en muy buenas condiciones, sin embargo, no cuenta con iluminación a lo largo del túnel.</p> <p>Recomendación: Garantizar iluminación a lo largo del túnel, con el fin de hacer seguro el desplazamiento, trabajos e inspecciones que se vayan a realizar.</p>	<p>Elemento: CALZADA</p> <p>Descripción: Estructura en afirmado</p> <p>Hallazgo: Estructura en muy buenas condiciones.</p> <p>Recomendación:</p>
	
<b>FOTO 41</b>	<b>FOTO 42</b>
<p>Elemento: REVESTIMIENTO</p> <p>Descripción: Estructura en concreto</p> <p>Hallazgo: Estructura en muy buenas condiciones.</p> <p>Recomendación:</p>	<p>Elemento: ELEMENTOS METÁLICOS</p> <p>Descripción: Puerta reja</p> <p>Hallazgo: Estructura presenta cierto grado de oxidación.</p> <p>Recomendación: Proteger con pintura anticorrosiva y pintura acrílica.</p>



Tabla 131. Resultados inspección Túnel Ramal inclinado.

Central	Hydroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	18/10/2018
Activo	4674 TÚNEL RAMAL INCLINADO
 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 43</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 44</b></p>
<p><b>Elemento:</b> HASTIALES  <b>Descripción:</b> Estructura en Roca y en Concreto Lanzado  <b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas que inciden sobre las escalas y elementos metálicos.  <b>Recomendación:</b> Control adecuado de las infiltraciones, con el fin de que no tengan repercusión sobre los demás elementos.</p>	<p><b>Elemento:</b> HASTIALES  <b>Descripción:</b> Estructura en Roca y en Concreto Lanzado  <b>Hallazgo:</b> Desprendimientos del concreto lanzado con exposición de la malla de refuerzo y además se tienen drenajes completamente colmatados.  <b>Recomendación:</b> Recuperar o cubrir las zonas donde se tiene un desprendimiento en el concreto lanzado, poner en operación los drenajes colmatados.</p>
 <p style="text-align: right; color: yellow;">2018/10/18</p> <p style="text-align: center;"><b>FOTO 45</b></p>	 <p style="text-align: right; color: yellow;">2018/10/18</p> <p style="text-align: right; color: yellow;">2018/10/18</p> <p style="text-align: center;"><b>FOTO 46</b></p>
<p><b>Elemento:</b> BOVEDA  <b>Descripción:</b> Estructura en Roca y en Concreto Lanzado  <b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas, con incidencia directa sobre la tubería a presión y las escaleras.  <b>Recomendación:</b> Control adecuado de las infiltraciones, con el fin de que no tengan repercusión sobre la tubería y escaleras.</p>	<p><b>Elemento:</b> SOLERA  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto  <b>Hallazgo:</b> Se aprecia erosión debido a las aguas de infiltración que por esta transcurren, además se aprecia tanto deposición de sales como de material fino.  <b>Recomendación:</b> Canalizar las aguas infiltradas con tubería de PVC, con el fin de no seguir desgastando la solera y limpiar acumulaciones.</p>



**FOTO 47**

**Elemento:** ESCALERAS  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Descascaramiento en el concreto.  
**Recomendación:** Recuperar el concreto desprendido de las escaleras, para evitar más pérdida de material y una futura exposición del acero.



**FOTO 48**

**Elemento:** ESCALERAS  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Acumulación de sales y manchas debido al constante tránsito de agua que tienen.  
**Recomendación:** Limpiar la acumulación de sales para evitar corrosión en el acero y brindar una mejor servicialidad del elemento.



**FOTO 49**

**Elemento:** ANCLAJES  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Acumulación de basuras en la sección aguas arriba de cada anclaje.  
**Recomendación:** Limpiar la acumulación de basura que se tiene en la sección aguas arriba de cada anclaje.



**FOTO 50**

**Elemento:** SILLETAS  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Concretos en muy buenas condiciones, sin embargo, las platinas y amarres presentan corrosión.  
**Recomendación:** Realizar un estudio del estado de pérdida de sección que pueden presentar las platinas y proteger con pintura anticorrosiva.



**FOTO 51**

**Elemento:** PASAMANOS

**Descripción:** Elementos metálicos

**Hallazgo:** Elemento en buenas condiciones estructurales, pero en los apoyos se tiene un grado de oxidación y corrosión considerable.

**Recomendación:** Realizar un estudio del estado de corrosión en que se encuentran los apoyos de los pasamanos y proteger con pintura anticorrosiva.



**FOTO 52**

**Elemento:** TOMAS DE ENERGÍA

**Descripción:** Elementos metálicos

**Hallazgo:** En estado de corrosión y colmatados por la sal.

**Recomendación:** Recuperar los tomacorrientes para evitar corto circuito y asegurar su operación para cuando se requiera la utilización de alguno de estos.



**FOTO 53**

**Elemento:** TUBERÍA A PRESIÓN

**Descripción:** Elementos metálicos

**Hallazgo:** Acumulación de sal sobre la tubería, corrosión y pérdida de espesor evidente

**Recomendación:** Realizar un estudio de espesor de la tubería, para conocer la funcionalidad y la seguridad de dicho activo, una vez hecho este estudio tomar la decisión de cuál debe ser el procedimiento para recuperar la tubería.



**FOTO 54**


**Elemento:** SOPORTE METÁLICO PORTA CABLES

**Descripción:** Elemento metálico

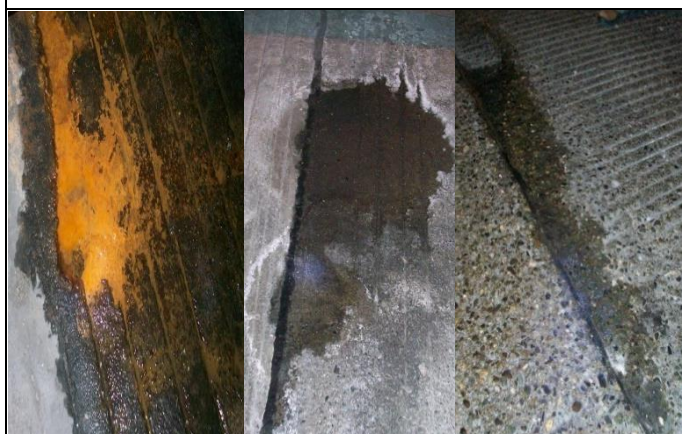
**Hallazgo:** Soportes en estado de corrosión y formaciones salinas adheridas a los cables.

**Recomendación:** Recuperar proteger con pintura anticorrosiva los soportes metálicos y cambiarlo de posición de la clave del túnel para facilitar trabajos en el túnel.

Tabla 32. Resultados de inspección al Túnel acceso C.M.

Central	Hydroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	8/11/2018
Activo	4670 TÚNEL DE ACCESO C.M.
	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span><b>FOTO 55</b></span> <span><b>FOTO 56</b></span> </div>	
<p><b>Elemento:</b> HASTIALES</p> <p><b>Descripción:</b> Estructura en Roca</p> <p><b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas y drenajes colmatados. Geomembrana interrumpida inadecuadamente y por ende el agua fluye a lo largo de todo el hastial perjudicando los apoyos de cables de potencia y manchas debido a eflorescencias.</p> <p><b>Recomendación:</b> Darle continuidad a la geomembrana o captar sus aguas de manera más óptima para evitar un daño significativo en la estructura, limpiar eflorescencias para evitar acumulación de sales.</p>	<p><b>Elemento:</b> BOVEDA</p> <p><b>Descripción:</b> Estructura en Roca y en Concreto</p> <p><b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas que inciden directamente sobre la losa, eflorescencias en el concreto, no existen drenajes suficientes para las filtraciones que se presenta.</p> <p><b>Recomendación:</b> Controlar las infiltraciones presentes con el fin de evitar que incidan sobre la losa o elementos metálicos, limpiar las eflorescencias en los concretos y verificar que no haya generado fisuras.</p>
	
<b>FOTO 57</b>	
<p><b>Elemento:</b> SOLERA</p> <p><b>Descripción:</b> Estructura en Concreto.</p> <p><b>Hallazgo:</b> Estructura muy deteriorada, con desprendimientos significativos en el concreto con exposición y corrosión del acero. Grietas transversales y longitudinales, hinchamientos del concreto y pérdida de esmalte del con exposición de acero.</p> <p><b>Recomendación:</b> Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero para analizar el tipo de intervención que se debe ejecutar si se trata de reparar y proteger con pintura anticorrosiva el acero y recuperar con mortero resistente a los cloruros o si definitivamente se deban reemplazar secciones de acero. Además, cubrir con mortero resistente a los cloruros las secciones donde se ha erosionado el concreto con exposición del</p>	

agrado grueso.



**FOTO 58**

**Elemento:** SOLERA  
**Descripción:** Estructura en concreto  
**Hallazgo:** Afloramientos de agua y manchas debido a la humedad.  
**Recomendación:** Generar surcos para evitar que el agua se acumule y realizar seguimiento verificando que no se tenga arrastre de material.



**FOTO 59**

**Elemento:** COLUMNAS (APOYOS DE CABLES DE POTENCIA)  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Estructuras afectadas por su contacto directo con cloruros y altas humedades, pérdida de sección del concreto con exposición de acero y Eflorescencias algunas muy concentradas, erosión debido a las filtraciones.  
**Recomendación:** Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta estructura. Cubrir con mortero resistente a los cloruros las secciones donde se tiene un desprendimiento significativo en el concreto y que se encuentra expuesto el acero de refuerzo.



**FOTO 60**

**Elemento:** REVESTIMIENTO  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Estructura que presenta descascaramiento con exposición de acero de refuerzo y desprendimientos y pérdida de sección en el concreto lazando.  
**Recomendación:** Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta



**FOTO 61**

**Elemento:** REVESTIMIENTO  
**Descripción:** Estructura en Concreto  
**Hallazgo:** Eflorescencias algunas muy concentradas y manchas debido a la humedad.  
**Recomendación:** Limpiar eflorescencia y verificar que no se encuentren fisuras.

estructura. Además, reponer las zonas donde se han presentado desprendimientos del concreto lanzado, exponiendo la malla de refuerzo.

Tabla 33. Resultados de inspección Caverna principal C.M.

Central	Hidroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	18/10/2018
Activo	4680 CAVERNA PRINCIPAL C.M.
 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 62</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 63</b></p>
<p><b>Elemento:</b> HASTIALES</p> <p><b>Descripción:</b> Estructura en Roca, cubierta en concreto lanzado</p> <p><b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas, manchas y eflorescencias que perjudican las estructuras adyacentes a estas.</p> <p><b>Recomendación:</b> Control adecuado de las infiltraciones, limpiar las eflorescencias con el fin de evitar que se acumulen estas sales, perjudicando más la estructura.</p>	<p><b>Elemento:</b> BOVEDA</p> <p><b>Descripción:</b> Estructura en concreto</p> <p><b>Hallazgo:</b> Estructuralmente en buenas condiciones, sin embargo, se aprecian filtraciones no controladas, con incidencia sobre la losa del cielo raso que en este momento se encuentra protegida con un plástico y pérdida de esmalte.</p> <p><b>Recomendación:</b> Control de infiltraciones de forma adecuada, de manera que no incida en la losa superior y pueda ocasionar problemas en el concreto.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 64</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>FOTO 65</b></p>
<p><b>Elemento:</b> VIGAS</p>	<p><b>Elemento:</b> PASAMANOS, ESCALERAS, REJAS ETC.</p>

<p><b>Descripción:</b> Estructura en Concreto  <b>Hallazgo:</b> Viga del extremo izquierdo a nivel de válvulas de admisión presenta desprendimientos en el concreto y exposición de aceros de refuerzo en estado de corrosión, Eflorescencias y fisuras.  <b>Recomendación:</b> Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta estructura. Sellado de fisuras con una resina epóxica tipo sikadur o similar.</p>	<p><b>Descripción:</b> Elementos metálicos  <b>Hallazgo:</b> Elementos en muy buenas condiciones.  <b>Recomendación:</b></p>
	
<p><b>FOTO 66</b></p>	<p><b>FOTO 67</b></p>
<p><b>Elemento:</b> COLUMNAS  <b>Descripción:</b> Estructura en concreto  <b>Hallazgo:</b>  *Columna con desprendimientos en el concreto y que presenta exposición de aceros de refuerzo en estado de corrosión.   *Eflorescencias debido a las sales y las filtraciones.  <b>Recomendación:</b>  * Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta estructura.   *Limpiar eflorescencia y verificar que no se encuentren fisuras</p>	<p><b>Elemento:</b> LOSAS  <b>Descripción:</b> Estructura en Concreto  <b>Hallazgo:</b> Estructura en buenas condiciones.  <b>Recomendación:</b></p>

Tabla 14. Resultados de inspección Túnel descarga.

<p><b>Central</b></p>	<p>Hidroeléctrica La Tasajera</p>
<p><b>Tipo de inspección</b></p>	<p>Rutinaria</p>
<p><b>Fecha de inspección</b></p>	<p>18/10/2018</p>
<p><b>Activo</b></p>	<p>4684 TÚNEL DESCARGA GEN C.M.</p>



**FOTO 68**

Elemento: ESTRUCTURA DESCARGA  
Descripción: Estructura en concreto  
Hallazgo: Estructura en muy buenas condiciones.  
Recomendación:



**FOTO 69**

Elemento: PAREDES DEL CANAL  
Descripción: Estructura en concreto  
Hallazgo: Crecimiento de vegetación excesivo  
Recomendación: Refirar toda la vegetación existente para evitar fisuras en el concreto, pérdida de esmalte y debilitamiento de sus propiedades mecánicas.



**FOTO 70**

Elemento: PAREDES DEL CANAL  
Descripción: Estructura en concreto  
Hallazgo: Descascaramiento en el concreto y pérdida de esmalte.  
Recomendación: Realizar un seguimiento al concreto que ha sufrido un descascaramiento, en caso de que la anomalía aumente Sellar de fisuras con una resina epóxica tipo sikadur o similar.



**FOTO 71**

Elemento: PASAMANOS  
Descripción: Elementos metálicos  
Hallazgo: Pasamanos que presenta oxido.  
Recomendación: Proteger elemento con pintura anticorrosiva y acrílica.





**FOTO 72**

**Elemento:** ENROCADO

**Descripción:** Estructura en Roca.

**Hallazgo:** Estructura cubierta completamente por vegetación y pérdida de banca debido a la turbulencia que se presenta en la confluencia de la descarga con el Río Medellín.

**Recomendación:** Realizar un seguimiento a la banca para verificar que no se siga perdiendo el material y en caso de que se siga perdiendo banca implementar obras hidráulicas en dicha sección para evitar la socavación.

*Tabla 15. Resultados de inspección Caverna de Transformadores.*

Central	Hidroeléctrica La Tasajera
Tipo de inspección	Rutinaria
Fecha de inspección	6/11/2018
Activo	4678 CAVERNA TRANSFORMADORES
<b>FOTO 73</b>	<b>FOTO 74</b>
<b>Elemento:</b> HASTIALES	<b>Elemento:</b> BOVEDA
<b>Descripción:</b> Estructura en Roca con recubrimiento en concreto lanzado.	<b>Descripción:</b> Estructura en Roca con recubrimiento en concreto
<b>Hallazgo:</b> Eflorescencias.	<b>Hallazgo:</b> Filtraciones no controladas que inciden directamente sobre la losa superior de la celda de transformadores, generando corrosión en el acero de refuerzo y desprendimiento en el concreto.
<b>Recomendación:</b> Limpiar las eflorescencias y verificar que no hayan generado fisuras en el concreto lanzado.	

**Recomendación:** Limpiar las eflorescencias y verificar que no hayan generado fisuras en el concreto lanzado.



**FOTO 75**



**FOTO 76**

**Elemento:** LOSA SUPERIOR

**Descripción:** Estructura en concreto.

**Hallazgo:** Contacto directo con fuentes salinas y filtraciones en la losa superior de la celda de transformadores, que generan desprendimientos en el concreto.

**Recomendación:** Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta estructura.

**Elemento:** COLUMNAS

**Descripción:** Estructura en concreto.

**Hallazgo:**

\*Desprendimientos en el concreto, grietas e hinchamientos, con exposición de acero de refuerzo en un estado considerable de corrosión.

**Recomendación:**

\* Estudiar el grado de corrosión que se tiene en el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal, para determinar la forma de intervenir esta estructura.



**FOTO 77**

**Elemento:** PASAMANOS Y ESCALERAS

**Descripción:** Elementos metálicos.

**Hallazgo:** Estructura en buenas condiciones estructurales.

**Recomendación:**

Existen activos que debido a la constante operación de las centrales no se les realizó la inspección completa, estos son: túneles de conducción, almenaras, recintos de turbina, recintos de generados y túneles de descarga, con excepción de los túneles de conducción a estos activos solo se les pudo inspeccionar de manera parcial a los elementos que están a la vista como el exterior de todos los recintos, el canal de descarga y la estructura de la almenara. Razón por la cual se recomienda que, así como existe un plan de mantenimiento mecánico y eléctrico, se pueda convenir entre todas las unidades y grupos de trabajo un periodo donde se puedan ejecutar inspecciones visuales de estos activos, dejando la salvedad que dejar de generar un corto periodo de tiempo puede resultar menos costoso que un colapso de la estructura ante un evento o anomalía que se puede detectar a tiempo y tomar los correctivos correspondientes.

Cabe mencionar que, si bien se tienen los hallazgos anteriores en los túneles inclinados, la Unidad Planeación de Infraestructura Generación Energía está elaborando un proyecto para la rehabilitación de la tubería de presión de las centrales hidroeléctricas de Guatapé y La Tasajera, el cual se encuentra en proceso de Pre-factibilidad y Factibilidad y se espera que para finales de marzo se tenga el proyecto completamente consolidado y listo para ser sujeto de aprobación de presupuesto. El cual incluye manejo adecuado de las aguas de infiltración en la caverna, instalación de la línea de vida, rehabilitación de los pasamanos, protección contra la corrosión de platinas de los amarres a las silletas, la recuperación del recubrimiento de las tuberías a presión y la protección de los fenómenos corrosivos en las mismas. A continuación, se presenta un esquema con los hitos para ejecutar proyecto y el cronograma con las actividades necesarias para la formulación del mismo.

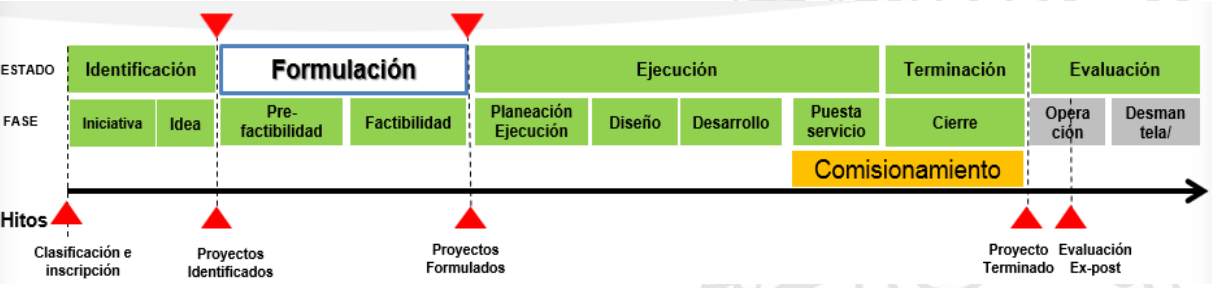


Ilustración 10. Línea cronológica de hitos para la ejecución del proyecto.

Tabla 16. Cronograma de actividades para ejecutar el proyecto.

CRONOGRAMA FORMULACIÓN REHABILITACIÓN TUBERAS DE PRESIÓN CENTRALES GUATAPÉ Y TASAJERA																																																
ACTIVIDAD	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Recopilación de información secundaria (diagnóstico, pruebas preliminares)	■	■	■	■																																												
Visita reconocimiento de tuberías					■	■	■	■																																								
Busquedas de revestimiento de alto rendimiento y superficies de baja preparación									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Busqueda de metodologías y equipos para la preparación de superficie en condiciones críticas de espacio									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Visitas con expertos en tratamientos corrosión, revestimientos metálicos, preparación de superficies con sistemas manuales y mecánicos, impermeabilización de tuneles, líneas de vida, evaluación y recomendación de la reubicación de los cables de 13.3 kV. Cambio de pasamanos y escaleras metálicas									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Ensayos de alternativas									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Análisis de riesgo operativo del tunel y casa de maquinas									■	■	■	■	■	■	■	■																																
Reuniones con unidades ejecutoras									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Estudio de alternativas													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Selección de alternativas																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Análisis de alternativa seleccionada																					■	■	■	■	■	■	■	■																				
Informe final formulación técnica																									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								

Por último se programa las fechas en las cuales deben ejecutarse las primeras inspecciones del año 2019, cumpliendo con uno de los objetivos y es tener un programa bien elaborado y con un horizonte claro de cuáles son las actividades a ejecutar con anticipación. A continuación en la ilustración 11 se presenta el cronograma diseñado y aprobado para las inspecciones del primer semestre del 2019, las casillas azules son semanas de inspección, mientras las verdes son las semanas disponibles para consolidar todos los

informes y entregarlos antes de Julio, dado que puede requerirse un presupuesto adicional para corregir alguna anomalía.

CENTRAL	ENERO					FEBRERO					MARZO					ABRIL					MAYO					JUNIO				
	semana					semana					semana					semana					semana					semana				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PLAYAS			■	■																		■	■	■	■	■	■	■	■	
LA TASAJERA				■	■	■																■	■	■	■	■	■	■	■	
GUATAPÉ						■	■	■														■	■	■	■	■	■	■	■	
TRONERAS								■	■	■												■	■	■	■	■	■	■	■	
GUADALUPE III										■	■											■	■	■	■	■	■	■	■	
GUADALUPE IV											■	■	■									■	■	■	■	■	■	■	■	
PORCE II														■	■							■	■	■	■	■	■	■	■	
PORCE III																■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	
TERMoeLECTRICA LA SIERRA																			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
PARQUE EOLICO JEPİRACHI																				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Ilustración 11. Programación de las inspecciones primer semestre 2019.

## Conclusiones

- Los formatos de inspección en campo son una herramienta muy valiosa a la hora de realizar una inspección, puesto que con su lista de patologías, permite levantar de manera secuencial el estado en el que se encuentra una estructura sin la necesidad de un patólogo experto a cargo de la inspección.
- Las fichas técnicas de un activo civil son un material que contextualiza sobre el tipo de estructura que se tiene, y permite a raíz de ella, preparar la inspección, operar el activo de manera idónea sin sobrepasar sus niveles máximos y tener una base de datos actualizada y precisa de los activos que están a cargo de la Unidad Operación y Mantenimiento.
- Definir la criticidad de un activo desde un concepto más amplio al de simplemente definir si se tiene o no impacto en la generación, es un avance muy significativo para la gestión de activos, puesto que hay activos como pueden ser la presa, vertedero o las conducciones que en caso de fallar pueden tener repercusiones catastróficas desde el punto de vista humanitario o del ambiente, por lo tanto, desde el punto de vista de responsabilidad ciudadana y seguridad operacional debe permanecer en perfectas condiciones.
- Ante un colapso simultaneo en varias estructuras se debe definir cuál de ellos intervenirlos inmediatamente, allí toma importancia el índice de criticidad de los activos, que para un mismo valor de criticidad sea

muy alto, alto, medio o bajo, discrimina numéricamente cual es más relevante que otro.

- En total se revisaron más de 3000 planos entre las dos centrales, se depuraron y organizaron por proceso de generación y la taxonomía definida por Generación de Energía; creando una nueva carpeta con información actualizada, organizada y depurada de todo lo relevante a la central, facilitando así futuras labores de mantenimiento o futuras intervenciones donde se deba verificar, espesores, longitudes, posición del refuerzo y resistencia de los concretos u otro tipo de material.
- Los vertederos son estructuras que al estar a la intemperie y expuestas a la abrasión y erosión, son estructuras que presentan desgastes menores, sin embargo con la experiencia de la presa de Oroville, la cual fallo por su vertedero se recomienda que se intervenga lo más pronto posible.
- Unos de los fenómenos que más daños causa en las estructuras tanto civiles como electromecánicas es el agua y al ser estructuras en su mayoría en cavernas donde se tienen altas filtraciones, se recomienda que se haga un manejo adecuado de las aguas para evitar corrosión en el concreto y demás elementos.
- En Guatapé se obtuvieron anomalías en 22 de los 51 activos civiles que hacen parte del proceso de generación de energía, sin embargo todas ellas se pueden ejecutar con el contrato de mantenimiento con excepción de la rehabilitación de los túneles verticales.
- En La Tasajera se obtuvieron anomalías en 13 de los 29 activos civiles que hacen parte del proceso de generación de energía, solo requieren un contrato adicional la reparación de los concretos del túnel de acceso a la casa de máquinas y la caverna principal.
- A pesar de que los concretos de la central La Tasajera se observan en una condición muy deplorable, de acuerdo con un estudio de patología elaborado por la empresa INTEGRAL, se obtuvo que actualmente en términos de resistencias todos cumplen de manera satisfactoria, sin embargo el termino durabilidad es el que no se puede asegurar, por lo tanto, se recomienda que se rehabiliten lo antes posible.

## Referencias Bibliográficas

- Comisión federal de electricidad. Subdirección de generación (1993). Manual de mantenimiento para casa de máquinas de centrales hidroeléctricas (edición 1). México D.F, México. Editorial Taller de imprenta C.F.E.
- Comisión federal de electricidad. Subdirección de generación (1993). Manual de mantenimiento para sistemas de conducción de centrales hidroeléctricas (edición 1). México D.F, México. Editorial Taller de imprenta C.F.E.
- Agencia Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente(2016). Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem (Volumen II). Brasilia-DF. Brasil.
- Sánchez de guzmán. D (2006). Durabilidad y Patología del concreto. (segunda edición). Bogotá. Colombia. Asocreto.
- ACI, ACI 562M-13: Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings, Ed 1, Farmington Hills, Advancing concrete knowledge, 2013, ISBN: 0-87031-813-6.
- Escobar Potes, Duque Escobar, Carlos Enrique, Gonzalo. Geotecnia para trópico andino. Biblioteca digital Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Manizales, 2017.

## Anexos

A continuación se presentan algunos de los términos que hacen parte del documento creado Glosario de términos.

**Cuenca:** es una superficie de terreno tal que el agua superficial y lluvia que llega a cualquiera de sus puntos confluye a un mismo sitio. En otras palabras, por dicho sitio pasa toda el agua superficial y el agua lluvia que se precipita en la cuenca, en lo que se denomina caudal aportado por la cuenca.

**Presa:** es una barrera artificial construida en un curso de agua, la cual genera un depósito en el lado de aguas arriba, llamado embalse.

Las presas se clasifican de acuerdo con los materiales de que están constituidas, en la siguiente forma.

- **Presas de Tierra:** constituida por materiales blandos, cuyas partículas son de tamaños pequeño. (Santa Rita, Playas, Río grande 1 y Río grande 2, Troneras y Miraflores)
- **Presas de enrocado:** constituida por materiales pétreos cuyas partículas son de tamaño grande.
- **Presas de concreto:** como su nombre lo dice, son conformadas con hormigón, con refuerzo o sin él, fabricada de diferentes maneras y con diferentes comportamientos estructurales.

**Enrocado de protección:** son áreas de la cara de aguas arriba de las presas en las cuales se colocan materiales pétreos, predominantemente de tamaños grandes, los cuales protegen la presa de fenómenos erosivos generados por el oleaje o por la disminución rápida del nivel del embalse. También suelen colocarse en la transición entre una estructura de disipación y el cauce natural al cual entregan sus aguas, con el objeto de eliminar fenómenos de erosión en estos últimos.

**Embalse:** es el depósito de agua conformado aguas arriba de una presa por la existencia de esta.

**Embalse a filo de agua:** Son depósitos pequeños cuyo volumen es insignificante desde el punto de vista de regulación y tienen por objeto garantizar un nivel que permita extraer caudales en condiciones hidráulicas adecuadas.



**Galería de drenaje:** es un túnel de dimensiones pequeñas que se excava generalmente en zonas en tierra cercanas a estructuras superficiales para evacuar aguas interiores del macizo en que se fundan. También se ubican en el interior de grandes bloques de concreto, ej. Presas de concreto para evacuar las aguas interiores.

**Sistema de aireación del embalse:** conjunto de elementos que se utilizan para introducir oxígeno a las aguas de un embalse con el objeto de disminuir el fenómeno de eutroficación. Esta inclusión de oxígeno se logra introduciendo aire por medio de agitación o por la inyección mediante compresores, a través de difusores o celdas porosas. (Eutroficación es el fenómeno de descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, es decir sin presencia de aire).

**Caseta de aireación:** recinto en el cual se ubican los compresores de aire cuando este es el sistema empleado para la oxigenación.

**Vertedero:** son estructuras hidráulicas que permiten la evacuación de los excesos de agua en un embalse, procurando de esta manera, (especialmente para el caso de una presa de tierra), que por ningún motivo el agua sobrepase el nivel de la cresta y discurra por los taludes de aguas abajo, condición esta última que significaría el derrumbe de la misma. Adicionalmente y más especialmente para el caso de presas de concreto, con la ayuda de algunos otros aditamentos, cumple funciones de control hidráulico, es decir, manipular los niveles del embalse a conveniencia. Los vertederos permiten un fácil aforo de los caudales que circulan a través de ellos.

De acuerdo con las funciones del vertedero y su utilización, estos se clasifican como:

- **Vertedero libre:** son aquellos que carecen de cualquier aditamento que pueda permitir la manipulación de los niveles del embalse. Su comportamiento obedece únicamente al comportamiento hidráulico (balances de la energía específica). Ejemplos de estos son: Vertedero libre de Santa Rita, Vertedero libre de Playas, Vertedero libre de Troneras, Vertedero Morning Glory de Miraflores.
- **Vertederos controlados (o de control):** son aquellos que disponen de aditamentos adicionales, tales como compuertas radiales o deslizantes, mediante las cuales es posible manipular los niveles del embalse a conveniencia. Ejemplos de estos son: Vertedero de Porce II, Vertedero en bocatoma de Guadalupe.

**Cresta (Solera):** se representa por su eje, llamado eje de la cresta, es la parte más alta del vertedero, es importante diferenciar su altura con respecto al fondo del canal de aproximación, lo mismo que la geometría de su cara en contacto con el canal de aproximación.

**Azud:** es la superficie hacia aguas abajo de la cresta, su forma, especialmente en estructuras de poca altura, corresponde a una S después de la cresta. En esta zona se presenta una transición entre un flujo que es altamente condicionado por las fuerzas de la viscosidad hacia un flujo condicionado únicamente por las fuerzas de la gravedad.

**Canal del vertedero:** es la parte situada hacia abajo del azud, zona en la cual el flujo depende únicamente de las fuerzas de la gravedad.

**Estructura de disipación:** es la estructura final, mediante la cual nuevamente, en forma controlada y sin energía, se entrega el agua proveniente del vertedero a un cauce natural. Este objetivo normalmente se logra mediante una gran aireación del flujo o mediante la generación de resaltos hidráulicos.

**Deflector:** es un sistema de disipación que se utiliza en canales de vertederos de fuerte pendiente y gran desnivel, usualmente producen una fuerte desviación vertical del flujo y lo proyectan a un sitio alejado en condiciones de alta aireación (vertedero de Porce II).

**Compuertas:** Son barreras móviles que se colocan en una estructura hidráulica, cuyo objeto es cerrar totalmente el paso al flujo, establecer un régimen de caudales deseado o imponer un régimen de niveles deseados. De acuerdo con su funcionamiento hidráulico generan, en la estructura donde se colocan, un orificio o un vertedero de cresta aguda.

**By-pass de compuerta:** es un aditamento que permite el paso del agua a través de una compuerta de control, con lo cual se logra el efecto de cabeza compensada después de ejecutadas las labores de mantenimiento de la compuerta de control adyacente.

**Estructura de compuertas:** es una estructura aérea que alberga las compuertas y su sistema de operación.

**Foso de compuertas:** son recintos bajo la superficie que albergan compuertas junto con sus mecanismos de operación.

**Pedestal de compuertas:** son plataformas en las cuales se colocan los mecanismos de operación de compuertas o se ubican las personas que las operan en forma manual o mecánica.

**Aducción:** es todo el complejo de las estructuras de entrada del agua en un conducto, buscando siempre que esta entre en las condiciones hidráulicas favorables. Muchas veces la aducción es un embalse de regulación.

**Tanque de aducción:** es un depósito artificial, relativamente pequeño que cumple funciones de adecuación de las condiciones del agua que entra en una conducción.

**Estructura de captación:** es la estructura de la aducción, con formas geométricas especiales, mediante la cual entra el agua en forma controlada a un conducto.

**Rejas:** es un entramado rectangular autoportante de varillas planas o cilíndricas que se usa para impedir la entrada de basuras en un conducto.

**Compuerta de fondo:** es una compuerta situada en el fondo de un tanque, un embalse de regulación o en general en una aducción, se utiliza para vaciar el depósito o para dar paso a las aguas cuyo aprovechamiento se puede requerir más abajo. Usualmente estas compuertas cumplen la función de dissipadoras de energía. En muchos casos se utilizan compuertas de chorro hueco (válvulas de cono fijo), las cuales generan un chorro hueco en el cual se presentan fuertes fenómenos de aireación.

**Tanque de carga:** es una estructura con la cual se logra un control de los niveles del agua que entra en una conducción, garantizando que el flujo siempre esté a presión en todos los puntos de la conducción.

**Tanque de impacto:** es una estructura utilizada al final de una conducción a presión o de un canal, que tienen por objeto de eliminar la energía cinética del agua.

**Vertedero de desviación:** son vertederos que funcionan en direcciones transversales a la del flujo principal de la estructura, en general están ubicados en las caras laterales de estas.

**Conductos:** son estructuras largas empleadas para conducir el agua con pérdidas moderadas de energía.

De acuerdo a las condiciones de presión en el interior del conducto, las conducciones se clasifican como:

- Conductos a presión: son aquellos conductos cerrados, en los cuales, en cualquier punto al interior del conducto, la presión es mayor que la presión atmosférica. En estos conductos el flujo ocupa toda la sección.
- Conductos a flujo libre (canales): son aquellos conductos abiertos o cerrados, en los cuales, en los puntos más altos del flujo, se presenta la presión atmosférica. En estos conductos el flujo puede ocupar o no toda la sección. En el caso en que la superficie del agua en el conducto sea paralela al fondo de este, el flujo se denomina hidráulicamente como flujo uniforme.

Los conductos que llegan a una central hidroeléctrica pueden ser de los siguientes tipos:

- Tuberías superficiales a presión: son conductos artificiales que se colocan por encima de la superficie del terreno.
- Tuberías enterradas a presión: son conductos artificiales que se entierran dentro del terreno hasta profundidades del orden de 10 metros.
- Tuberías a presión en túneles: son conductos artificiales colocados en el interior de un túnel, las cuales no ocupan toda la sección del túnel y la presión del agua es soportada directamente por la tubería, más no por la superficie excavada.
- Túneles a presión sin revestimiento: son conductos excavados en el interior de la tierra, en los cuales la presión del agua se transmite a las paredes de la superficie excavada.
- Túneles a presión revestidos en concreto: son túneles en los cuales la superficie excavada es revestida en concreto.
- Blindajes: son tuberías metálicas dentro de túneles, íntimamente adosadas a las paredes de estos.

**Viaducto de tubería:** es la estructura aérea que soporta la tubería que cruza una vía o un cauce.

**Almenara de aguas arriba:** son las que se sitúan en una conducción a presión aguas arriba del sistema que se va a operar y atienden los fenómenos transitorios que se generan entre esta y el sistema que se está operando. Generalmente consiste en una caverna subterránea o un foso

que comunica con la superficie del suelo para el caso de túneles a presión; una tubería vertical para el caso de las tuberías superficiales a presión.

**Man hole de inspección:** Es un orificio con tamaño suficiente para el paso de una persona, el cual se ubica en las paredes de un conducto a presión únicamente para labores de inspección y mantenimiento del conducto. Llevará el correspondiente tapón.

**Válvula reductora de presión o de alivio:** es una válvula de diseño especial para disipar parcialmente la energía del agua, la cual se coloca en una conducción para garantizar, en el sitio de utilización, unas determinadas condiciones de energía potencial del agua.

**Canal disipador:** es un canal de fuerte pendiente, dotado de espolones de concreto o metal mediante los cuales se disminuye la energía cinética del flujo.

**Silletas:** son elementos sobre los cuales se apoya cada cierto tramo una tubería de presión.

**Anclajes:** Son elementos metálicos o bloques de concreto que abrazan o soportan una tubería de presión y se ubican en todos los cambios de dirección o en los accesorios de una tubería a presión. Se encargan de transmitir al suelo o a otras estructuras los esfuerzos que se generan en la tubería por el cambio de dirección.

**Juntas de expansión:** es un aditamento de una tubería de presión, usualmente entre dos anclajes, que permite deformaciones en una tubería a presión.

**Cámara de válvulas:** es un recinto en el cual se ubica cualquier tipo de válvula conectada a una conducción subterránea.

**Vertedero lateral:** es un elemento que se autocontrola hidráulicamente y permite en la dirección transversal permitir la entrega de flujos en un canal de derivación.

**Cámara de gravas:** es un recinto que haciendo parte de una conducción se ubica en la parte más baja de la sección, permitiendo acumular por fuera de las líneas de flujo de la conducción, las gravas o arenas gruesas que contiene el flujo.

**Caverna de máquinas:** Concavidad profunda excavada en roca cuya función es albergar todos los elementos constitutivos de una central subterránea.

**Estructura de descarga:** estructuras que permiten la entrega del agua en forma hidráulicamente controlada de tal manera que no creen fenómenos de erosión sobre la superficie en que se deslizan.

**Recinto de generador:** es la estructura dentro de la casa de máquinas que alberga el generador, se encuentra adyacente por encima al recinto de la turbina.

**Recubrimiento de caracol:** es un bloque de concreto que recubre el caracol de una turbina tipo Francis.

**Sala de montaje:** es el área aledaña a las turbinas en las cuales se ejecutan operaciones de ensamblaje mantenimiento de los equipos de una central hidroeléctrica.

**Conducto de cables:** son conductos horizontales o ligeramente inclinados por los cuales se llevan los cables de potencia de una central subterránea.

**Foso:** son conductos verticales o de fuerte inclinación, excavados en el interior de la tierra. También pueden ser depósitos o recintos por debajo de una estructura.

**Pozo de infiltraciones:** es un compartimiento excavado bajo el suelo, al cual convergen las aguas de infiltración del subsuelo.

**Túnel de acceso:** Es un túnel por el cual se accede a una central subterránea durante las labores de construcción y operación.

**Almenaras de aguas abajo:** son las que se sitúan aguas abajo del sistema que se está operando y absorben las oscilaciones de caudal que se generan. Generalmente consisten en una caverna o un gran tanque. También suele llamarse tanque de compensación.

**Foso de bombas:** es el recinto en que se ubican los equipos de bombeo.

**Desarenador o Tanque desarenador:** es un tanque que coloca en una conducción pequeña para retirar, por sistemas naturales de sedimentación, las arenas contenidas en el flujo.

**Sala de aire acondicionado:** son recintos donde se ubican todos los equipos del sistema de aire acondicionado.

**Caverna de transformadores:** es un espacio dentro de una central subterránea conformado por las celdas de transformadores y los corredores para desplazamiento de los mismos.

**Celda de transformadores:** es el recinto convenientemente aislado y adecuado en el cual se ubica un transformador.

**Fosos de cables:** son conductos excavados verticalmente o con fuerte inclinación que llevan los cables de potencia desde una central subterránea.

**Portal de cables:** son estructuras superficiales a las cuales llegan los cables de potencia de una central subterránea y a partir de los cuales se llevan en forma aérea.

**Cárcamos de agua:** son conductos rectangulares utilizados dentro de una estructura o conjunto de estructuras para recoger y conducir las aguas superficiales que resulten y llevarlas a los sitios de evacuación.

**Cárcamo de cables:** son conductos rectangulares, usualmente cerrados y con sus debidos accesos, los cuales se usan para conducir sistemas de cableado dentro de una estructura o sistema de estructuras. Normalmente se les adecuan condiciones de drenaje para que permanezcan secos y se les colocan elementos convenientes de soporte.

**Patios de subestación:** son terrenos conformados horizontalmente y recubiertos con gravas, en los cuales se erigen los pórticos para el soporte del sistema de cableado, y equipos de control para la conducción, conexión y distribución de la energía eléctrica.

**Pórticos de subestación:** son estructuras metálicas o de concreto que soportan cables o equipos especiales en una subestación de energía.