



3	CAMBIO DEL ANGULO DE LAS BARRAS DE AGUAS ABAJO (DE 45° PARA 30°) PARA LOS AGUJEROS EM-E-019 Y EM-E-022 (TABLA 8). CAMBIO EN LA DISTANCIA DE EJE PARA LAS ROSETAS DE LOS EXTENSOMETROS DE LOS BLOQUES E3 Y E4 (TABLA 8 Y FIGURA 1). EDICIONES EN EL TEXTO DEL CAPITULO 9. PROGRAMA DE SONDEOS EN ITAIPU.	 KFMC JPATIAS	 DIMILSON MILTONGA	11/07/2019
2	COMPATIBILIZACIÓN DE NOMENCLATURA DE INSTRUMENTOS DE FIGURA 1 Y TABLA 8	KFMC	DIMILSON MILTONGA	03/04/2019
1	INCLUSIÓN DE NUEVAS PERFORACIONES DE SONDEOS SUGERIDOS POR EL BOARD/2018 Y DE NUEVAS INFORMACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE ESCANEÓ ÓPTICO. INCLUSIÓN DE LA COLUMNA "DISTANCIA DEL EJE" EN LA TABLA 8.	JPATIAS KFMC FRAMOS	DIMILSON MILTONGA	08/03/2019
Nº	DESCRIPCIÓN	REVISOR(ES)	APROBACIÓN	FECHA

REVISIONES



EMISIÓN INICIAL		SEGURIDAD DE PRESAS TRAMOS "E" Y "F" INVESTIGACIÓN  EJECUCIÓN DE SONDEOS ROTATIVOS, POZO Y ESCANEÓ OPTICO EN LA FUNDACIÓN DE LOS BLOQUES DE CONTRAFUERTE (TRAMO E) Y DE LA PRESA PRINCIPAL (TRAMO F)		
ÁREA RESPONSABLE				
ENCC.DT  DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA				
DIRECCIÓN TÉCNICA				
AUTORIA				
JPATIAS		ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		
VERIFICACIÓN				
DIMILSON; KFMC; SFRAZAO				
APROBACIÓN				
CPNEVES; MILTONGA				
FECHA	FORMATO	CÓDIGO DE ITAIPU	PÁGINA	REVISIÓN
17/04/2018	A4	2070-20-15201-E	1	R3

## ÍNDICE

1	OBJETIVOS DE LA ESPECIFICACIÓN .....	3
2	INTRODUCCIÓN.....	3
3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
4	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	4
5	MUESTREO .....	5
6	ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA BAJO PRESIÓN.....	6
6.1	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	6
6.2	ENSAYO DE PÉRDIDA DE CARGA .....	7
6.3	PRESIONES Y CONDICIONES DE LOS TRAMOS DEL ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA.....	7
6.4	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA BAJO PRESIÓN .....	8
7	ESCANEÓPTICO (TELEVISACIÓN).....	8
7.1	PROCEDIMIENTO Y REQUISITO PARA EL ESCANEÓPTICO .....	9
8	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS LEVANTAMIENTOS.....	9
9	PROGRAMA DE SONDEOS EN ITAIPU .....	12
10	REQUISITOS PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS.....	13
10.1	COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS DE LOS SERVICIOS.....	13
11	DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS PARA EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO .....	15
12	OBLIGACIONES.....	16
12.1	DEL CONTRATANTE.....	16
12.2	DEL CONTRATISTA.....	16
13	FORMATO DE LOS DOCUMENTOS.....	16
14	CRONOGRAMA Y PREVISIÓN DE RECURSOS.....	16
15	LOCAL DE LOS TRABAJOS.....	16
16	BIBLIOGRAFÍA.....	16

## 1 OBJETIVOS DE LA ESPECIFICACIÓN

Esta especificación técnica tiene por objeto establecer los requisitos mínimos que deben ser cumplidos por el CONTRATISTA, para la prestación de servicios de investigación en roca, por medio de sondeos rotativos, ensayos de pérdida de agua bajo presión y escaneo óptico (televisación de agujeros), a ejecutarse en la fundación de los bloques de contrafuertes del Tramo E y en los bloques iniciales de la Presa Principal (Tramo F). Este documento presenta además los requisitos para la ejecución de un sondeo de gran diámetro (pozo) en el bloque E-6.

## 2 INTRODUCCIÓN

El sondeo rotativo consiste en un método de investigación geotécnica aplicada en rocas. Para la ejecución de esta investigación se utilizará un conjunto motorizado mecánico proyectado para la extracción de muestras de material rocoso en profundidad en formato cilíndrico y de manera continua. El corte de los testigos de roca se realiza por medio de la acción perforante obtenida por fuerzas de penetración y rotación que el equipo realiza.

Los testigos se describen según el tipo litológico, la inclinación y el relleno o no de las fracturas, y se clasifican de acuerdo con los grados de alteración, consistencia y fracturación.

Las muestras de los perfiles de testigos podrán ser recolectadas para realizar ensayos de laboratorio, para fines de determinación de parámetros geomecánicos y de caracterización.

En los agujeros resultantes de los sondeos rotativos se realizan ensayos de pérdida de agua bajo presión, con el objetivo de determinar la conductividad hidráulica del macizo rocoso. Este ensayo se realiza en tramos previamente determinados, en general cada tres metros de agujero, posibilitando medir el caudal de agua infiltrado en las fisuras del macizo, en diferentes etapas de presión.

Además de los ensayos *in situ* en los agujeros resultantes, se preverá escaneo óptico (televisación) de los agujeros, y la futura instalación de instrumentos, tales como piezómetros, extensómetros e inclinómetros.

Los criterios de ejecución de los sondeos y ensayos y las clasificaciones de los testigos corrientemente utilizados son de la ABGE (Asociación Brasileña de Geología de Ingeniería) y de la ISRM (*International Society for Rock Mechanics*).

## 3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Las investigaciones con sondeos rotativos y perforaciones de gran diámetro (pozo) deberán alcanzar los siguientes objetivos:

- Identificación y muestreo a lo largo de la profundidad del macizo rocoso de los diferentes derrames basálticos, así como de las diferentes litologías existentes (brechas, basalto vesicular-amigdaloidal y basalto denso o compacto);
- Identificación y muestreo del hormigón que compone las chavetas de junta ubicadas aproximadamente en la cota 112,00;
- Caracterizar y clasificar el macizo rocoso;
- Obtener muestras de roca y hormigón de las chavetas de junta para realizar ensayos de laboratorio;
- Ensayar el macizo rocoso a lo largo de los agujeros resultantes de los sondeos rotativos, desde la perspectiva de conductividad hidráulica y fracturación, por medio del ensayo de pérdida de agua bajo presión;

- Realización de escaneo óptico (televisación) de las paredes de los agujeros resultantes para identificar su estructura a lo largo de la profundidad;
- Posteriormente al trabajo especificado en este documento, se instalará instrumentación en los agujeros resultantes.

#### 4 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

El CONTRATISTA deberá suministrar los equipos, accesorios y herramientas para la ejecución de todos los servicios, cumpliendo con las recomendaciones vigentes para los tipos de sondeo y ensayo.

Los principales equipos para la ejecución de los servicios aquí definidos son:

- Trípode;
- Broca rotativa de avance hidráulico o mecánico;
- Bomba de agua;
- Vástagos;
- Barriles núcleos;
- Coronas;
- Calibradores;
- Tubería de revestimiento;
- Mangueras;
- Tanque para agua de circulación;
- Los demás accesorios y herramientas necesarias para la ejecución de sondeos rotativos y ensayos de pérdida de agua bajo presión.
- Equipo para escaneo óptico.

Los equipos utilizados deberán seguir las normas de estandarización de dimensiones y nomenclaturas de equipos de sondeos para permitir la permutabilidad de piezas procedentes de diversos fabricantes.

La corona y el calibrador deberán ser diamantados, para el tipo de roca basáltica con dureza media a alta.

Para el trabajo aquí propuesto, los sondeos deberán tener diámetro HX, o sea, la perforación tendrá 99,2mm y el testigo 76,2mm de diámetro.

El barril núcleo recomendado es el "Doble cubo Libre", con sistema de rodamientos, permitiendo que el tubo externo gire con la columna de perforación y el tubo interno permanezca estacionario o con poco giro. De esta manera, el testigo quedará protegido de la fricción con la pared del barril núcleo y del fluido de circulación, obteniéndose una mejor recuperación del testigo. Los barriles núcleos deben ser adecuados a los lugares de investigación y a las necesidades de los muestreos.

La perforación de gran diámetro (pozo) deberá ser ejecutada con equipo no destructivo, permitiendo la remoción de testigos representativos de las capas de roca, principalmente de las más fragmentadas, donde los sondeos rotativos no siempre logran obtener testigos representativos. Por lo tanto, la ejecución del pozo deberá permitir la remoción de testigos representativos y sin perturbación mecánica, a efectos de realizar ensayos de laboratorio en las muestras.

El pozo deberá tener un diámetro de 30 cm, como mínimo, alcanzando la elevación 100,00. De esta manera, la perforación de gran diámetro deberá tener como mínimo 40 m de profundidad.

Los sondeos deberán realizarse de la siguiente manera:

- En terreno seco y limpio, donde hay buen drenaje de las aguas de circulación y de lluvia;
- La perforadora deberá estar firmemente anclada para minimizar las vibraciones causadas por el sistema en funcionamiento;

- Los sondeos pueden ser verticales, horizontales o inclinados, de acuerdo con el objetivo de los estudios (véase Tabla 8). Podrán ejecutarse desde superficie a cielo abierto o en galerías y túneles;
- El trípode debe estar posicionado de forma correcta, es decir, con los apoyos distribuidos de manera a garantizar su estabilidad durante la operación. Los pies del trípode deberán estar apoyados en superficies planas o encastrados que no permitan deslizamiento, debiendo permitir fácil maniobra del equipo para la remoción del testigo;
- El punto investigado debe tener una identificación visible, el agujero debe ser tapado para evitar la introducción de objetos extraños, ya que otros trabajos se realizarán en los agujeros, como el ensayo de pérdida de agua bajo presión e instalación de instrumentos;
- Cada agujero deberá disponer de una hoja de control específica, para registrar toda la información de identificación, localización, características del equipo, observaciones y etapas importantes de cada sondeo, con destaque para: número del agujero, diámetro, tipo de corona utilizada, profundidad de maniobra, número de piezas de testigo, condición del agua de circulación, nivel de agua en el agujero, fecha de inicio y fin del sondeo, nombre del sondista, ocurrencia de lluvia o de cualquier anomalía durante los trabajos de perforación;
- Otras informaciones importantes son: el registro de las características del equipo de sondeo y de la columna de perforación utilizada, el tiempo de realización de las maniobras, las condiciones de las coronas diamantadas, velocidad de rotación, velocidad de avance, caudal del agua de circulación y producción por hora de perforación;
- El control de perforación de los agujeros (longitud) debe ser con precisión de 1 cm, entre la diferencia de longitud total de los vástagos con la pieza de perforación y la sobra de ellas en relación al punto de referencia (estaca) ubicado en la boca del agujero;
- Los trabajos de perforación serán fiscalizados por ITAIPU.

## 5 MUESTREO

El muestreo deberá ser continuo y total, tanto en los materiales consistentes como en los fragmentados, para que el macizo pueda recibir una clasificación adecuada, con la descripción de sus condiciones lo más cercano a lo real. El testigo no deberá presentar roturas mecánicas o de enrollado por la acción del equipo de sondeo, es decir, que no tenga marcas que indiquen que el testigo sufrió rotación y desplazamientos durante la operación de perforación, resultando en muestras de menor diámetro o con muchas roturas mecánicas.

El porcentaje de recuperación del testigo del sondeo rotativo no deberá ser inferior al 95% para cada maniobra, excepto cuando autorizado por la fiscalización de ITAIPU. El porcentaje de recuperación se refiere a la relación entre la longitud total del testigo y la longitud del tramo perforado, multiplicado por 100. Para obtener la medida correcta de la recuperación, las partes del testigo deben ser yuxtapuestas de manera a simular la situación natural.

Se debe tener mucho cuidado en la remoción del testigo del barril núcleo y en su acomodación en la caja donde será almacenado, se debe observar el posicionamiento correcto de las partes del testigo dentro de la caja, que deberá ser de acuerdo con las posiciones originales dentro del macizo rocoso.

Los sondeos se identifican como se muestra en la Figura 1 y en la Tabla 8.

Cuando se ejecuten agujeros en un mismo punto de investigación, en caso de repetición del sondeo, los agujeros deberán ser identificados por el mismo número, pero añadidos de las letras A, B, C, etc.

Las cajas para almacenamiento de los testigos deben tener capacidad para guardar 4 metros de testigo y ser adecuadas al diámetro requerido, la separación de las maniobras debe ser hecha por medio de tacos de madera o plástico rígido, con la profundidad de cada maniobra identificada con letra legible. En la última maniobra al final del testigo el taco deberá tener la palabra "FIN".

Las cajas deberán ser de plástico resistente y rígido, con las siguientes dimensiones máximas:

- Longitud: 110 cm
- Ancho: 40 cm
- Alto: 10 cm

La cubierta de la caja debe contener la siguiente información legible:

- Identificación del agujero (por ejemplo: R-02);
- Nombre de la obra y cliente;
- Local;
- Número de caja y número total de cajas del agujero (ej.: 1/10, 2/10...).

En la parte frontal de la caja (menor dimensión) deberá estar escrito el número del agujero y el número de la caja (ej.: R-02 (1)).

Si el testigo no coincide con el espacio de la caja, éste deberá ser roto con ayuda de un martillo. Deberá indicarse en el propio testigo que la fractura no es natural al macizo rocoso.

Las cajas deben almacenarse en lugar protegido del sol y de la humedad, con ventilación, hasta el final de los trabajos de sondeo. El local de almacenamiento definitivo será informado por la Fiscalización, el CONTRATISTA deberá transportar los testigos a este local, que se encuentra en el área de Itaipu.

Los testigos retirados del pozo también deberán ser cuidadosamente cortados para que sea posible la realización de ensayos en laboratorio.

## 6 ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA BAJO PRESIÓN

Los ensayos de absorción de agua ejecutados en agujeros de sondeos rotativos, con agua bajo presión, se denominan ensayos de pérdida de agua.

### 6.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Los principales equipos para la ejecución de los servicios aquí definidos son:

- Bomba de agua con una capacidad mínima de 60 litros por minuto a una presión de 10 kg / cm<sup>2</sup>;
- Hidrómetro con divisiones de escala en litros (debe ser suficientemente sensible para detectar caudales mínimos de 3 l / min.);
- Manómetros. Deberán presentar desviación de lectura INFERIOR al 10% del valor real;
- Estabilizador de presión cuya actuación impida que el campo de variación de las oscilaciones de presión sea superior al 10% del valor a ser leído;
- Obturadores de caucho: pueden ser del tipo neumático (inflables) o mecánico (cruzeta). Para el primer tipo, la longitud mínima deberá ser de 60 cm, para el segundo deberá ser de al menos 30 cm;
- Canalizaciones, mangueras, manguitos y codos: con un diámetro mínimo de 25,4 mm (1"). El diámetro de la tubería deberá ser único y uniforme para todos los equipos, durante toda la compañía;
- Los equipos deben estar dispuestos de acuerdo a lo siguiente: bomba, estabilizador de presión, derivación con registro para control de presión, hidrómetro, tubería con manómetro y obturador;
- El agua para el ensayo no deberá presentar partículas sólidas visibles a simple vista en suspensión.

## 6.2 ENSAYO DE PÉRDIDA DE CARGA

Este ensayo deberá realizarse previamente al ensayo de pérdida de agua bajo presión, pues consiste en una simulación de este último ensayo. El objetivo principal del ensayo de pérdida de carga es determinar la pérdida de presión que ocurre debido a la fricción del agua con las paredes de las tuberías.

El ensayo deberá realizarse en superficie plana con el equipo montado según el orden indicado en el Inciso 7.1, siendo que los puntos de entrada y de salida deben ser nivelados para que la carga de posición no interfiera en los resultados del ensayo.

La longitud total de la tubería (L) deberá ser en torno al 20% superior a la profundidad máxima prevista para los sondeos de la presente campaña de investigación.

Deberán tomarse medidas de presión y de caudal en ciclos de cinco etapas. Cada etapa deberá tener aproximadamente 10 minutos de duración, utilizando la misma tubería y conexiones que serán utilizadas en los ensayos de pérdida de agua bajo presión, preferentemente con un diámetro igual o mayor que  $\frac{3}{4}$ ".

Los resultados obtenidos deben ser usados en la construcción de un ábaco relacionando caudal, longitud de la tubería y pérdida de carga. Este ábaco será utilizado en la corrección de la presión efectivamente aplicada en el tramo del agujero ensayado, para los cálculos de los ensayos de pérdida de agua.

## 6.3 PRESIONES Y CONDICIONES DE LOS TRAMOS DEL ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA

Los ensayos de pérdida de agua bajo presión deberán realizarse en los agujeros de los sondeos rotativos, a medida que la investigación avance. El tramo de ensayo será de 3,0m, limitado desde abajo por el fondo del agujero y de la parte superior por el obturador.

La ejecución de ensayos de pérdida de agua intermediarios podrá ser solicitada por la Fiscalización, es decir, en tramos con longitud menores de 3,0 m, tanto en la porción final del sondeo, como en tramos intermediarios.

Serán cinco etapas de presión aplicadas al tramo ensayado, denominadas de: presión mínima, intermedia, máxima, intermedia y mínima. Los siguientes criterios de aplicación de las presiones en cada etapa deberán ser obedecidos:

- Presión mínima: 0,10 kgf / cm<sup>2</sup> (un metro de columna de agua por encima de la boca del agujero);
- Presión intermedia: la mitad de la presión máxima;
- Presión máxima: 0,25 kgf / cm<sup>2</sup> por metro de profundidad (en la vertical), desde la boca del agujero hasta la mitad del tramo ensayado.

En el caso de tener una roca muy alterada (friable) o fracturada deberá ser aplicada presión máxima de 0,15 kgf / cm<sup>2</sup> / m.

En caso de que la Fiscalización necesite realizar el ensayo con mayor número de etapas, este trabajo deberá ser considerado por el CONTRATISTA, especialmente cuando se trata de rocas más blandas o fracturadas, a fin de minimizar efectos de cargas no deseadas en el macizo rocoso.

## 6.4 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PÉRDIDA DE AGUA BAJO PRESIÓN

Para la ejecución de los ensayos de pérdida de agua en los agujeros de sondeos, los siguientes elementos deberán ser observados:

- a) Realizar lavado del agujero hasta que el agua de circulación salga limpia;
- b) Después del lavado, se debe instalar el obturador, siendo que el extremo inferior de la porción sellante deberá estar en la parte superior del tramo a ser ensayado;
- c) El uso del obturador doble no debe ser una práctica habitual en sustitución del obturador simple. Los obturadores dobles sólo se utilizarán en situaciones en las que se requieran ensayos complementarios en posiciones superiores al fondo del agujero;
- d) Al aplicar la presión mínima (primera etapa) se debe verificar la eficiencia del sellado, por medio de la medida de nivel de agua del agujero sobre el obturador. Si el obturador está bien sellado, el nivel de agua se mantendrá constante, en general, si tiene fugas ocurrirá elevación;
- e) En los casos en que se tienen tramos muy fracturados, puede ocurrir problemas en el sellado. En estos casos se deben utilizar obturadores de mayor longitud, respetando la longitud del tramo ensayado. Si persiste la falta de estanqueidad, el obturador se desplazará hacia arriba hasta una nueva posición en la que el sello sea eficiente;
- f) Después de la verificación de la estanqueidad del agujero, se puede iniciar el ensayo. Las presiones mínimas, de la primera (1º) y quinta (5ª) etapa, se debe aplicar por la preservación de la columna de agua en la tubería del obturador (como también se hace para los ensayos de infiltración). Las demás presiones (segunda, tercera y cuarta etapas) serán aplicadas por medio de la bomba de agua;
- g) Las presiones mínimas deberán ser leídas por manómetros con escala adecuada (más sensibles), los cuales deberán ser aprobados por la fiscalización;
- h) Después de la estabilización de los valores de presión y caudal se deben realizar 10 lecturas de valores con intervalo de tiempo de 1 minuto, para cada etapa;
- i) Los criterios de estabilización de las presiones y caudales son:
  - que no haya variación progresiva de los valores leídos;
  - que la diferencia entre las lecturas aisladas y el valor medio no supere el 20%.
- j) En los ciclos decrecientes de presión (4º y 5º ciclos), en caso de retorno del agua inyectada, deberá abrirse la tubería y los siguientes valores deberán ser adoptados:
  - volumen total del agua devuelta hasta el alivio de la presión total;
  - presión que se aplicaba en el tramo.
- k) El ensayo deberá ser retomado después de la medición de volumen de agua retornada, a partir de la etapa subsiguiente al que dio origen al retorno de agua;
- l) Si los valores de presión no pueden alcanzarse incluso con el caudal máximo de la bomba, en cualquiera de las etapas, se deben hacer lecturas de presión y caudal alcanzadas cada minuto durante 10 minutos;
- m) Todo y cualquier fenómeno que ocurra durante el ensayo deberá ser registrado en el boletín de campo.

## 7 ESCANEÓPTICO (TELEVISACIÓN)

El escaneo óptico o televisación de los agujeros de sondeo consiste en una forma de investigación directa, mediante la obtención de imagen continua de las paredes de los agujeros. Las imágenes deberán ser de color y en 360°. Esta técnica posibilita la identificación de las estructuras internas de los agujeros, permitiendo análisis de las condiciones *in situ*, especialmente en casos de relleno de fracturas, conformación de huecos, etc.

La identificación del escaneo óptico debe tener el mismo código del agujero del sondeo que está siendo escaneado.



El equipo para la realización de la televisación debe ser capaz de proporcionar imágenes en alta resolución sin distorsiones, con identificación de las profundidades, dirección e inclinación de los agujeros.

El escaneo óptico debe realizarse en los agujeros remanentes de los sondeos rotativos y del pozo.

## 7.1 PROCEDIMIENTO Y REQUISITO PARA EL ESCANEÓPTICO

- a) Para la televisación de los agujeros se deben seguir las recomendaciones del *ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring (2007-2014)* - *ISRM Suggested Method for Rock Fractures Observations Using a Borehole Digital Optical Televiewer* (páginas 159-168);
- b) La televisación deberá ser de 360° de las paredes del agujero del sondeo rotativo a lo largo de toda la profundidad, tanto por encima y por debajo del nivel de agua. Los agujeros tendrán un diámetro HX (99,2 mm);
- c) El agujero a ser visualizado debe estar limpio y libre de cualquier obstrucción. Para ello, antes del escaneo deberá efectuarse una verificación de posibles obstrucciones que puedan impedir el descenso del equipo;
- d) Verificar si hay presencia de agua en el agujero, lo ideal es que el agua no esté turbia, para que la visibilidad sea buena y la imagen tenga calidad. Así, se recomienda un lavado previo del agujero para la remoción de materiales en suspensión, polvo de las paredes y acumulación de residuos en el fondo. No usar productos químicos para el lavado del agujero, sólo agua con baja presión;
- e) El cable de acero acoplado a la cámara debe tener suficiente longitud para registrar todo el agujero;
- f) Los equipos electrónicos (computadora, baterías, etc.) deberán estar en un banco de trabajo o mesa, cerca del agujero que está siendo escaneado;
- g) El escaneado se considerará concluido tras el barrido de todo el agujero y la verificación de que las imágenes registradas están con un estándar de calidad satisfactorio para la interpretación de las condiciones de las paredes de los agujeros, lo que deberá definirse en conjunto con la Fiscalización;
- h) Las imágenes deberán tener alta resolución y ser en colores, siguiendo las directrices mínimas dadas por la ISRM citadas arriba, la precisión mínima solicitada es de 0,3 mm (vertical y horizontal), con una resolución superior a 900 píxeles. Esta precisión se requiere para la determinación del grado de fracturación y de alteración de las paredes, así como del espesor y el tipo de relleno de las discontinuidades (arcilla, minerales secundarios, etc...), de las actitudes de las características discontinuas, la rugosidad y la presencia de humedad o flujo de agua en las mismas.

## 8 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS LEVANTAMIENTOS

Deberá entregarse un informe de levantamientos que contenga los boletines de sondeos en los que deberá figurar la información siguiente:

- Nombre de la obra y cliente;
- Identificación y ubicación del agujero (Bloque);
- Inclinación y rumbo del agujero;
- Diámetro del sondeo y tipo de barril núcleo y coronas utilizadas;
- Cota y coordenadas (valores levantados en campo);
- Fecha de inicio y final del sondeo;
- Nombre de la empresa y del sondista;
- Posición del nivel de agua;
- Recuperación del testigo en porcentaje;

- Número de pedazos de testigo;
- RQD (Rock Quality Designation) - Índice de calidad de la roca en porcentaje. Con base en este índice es posible clasificar el macizo en términos de calidad, conforme Tabla 1;
- Clasificación de los grados de alteración, consistencia y fracturación, según Tablas 2, 3 y 4, respectivamente;
- Descripción de las características de las litologías encontradas, tales como: tipo de roca, granulometría de los cristales, color, alteración general, fracturación, presencia de minerales secundarios y cualquier otra información de interés (por ejemplo, "Basalto denso, granulado fino a medio, gris oscuro, poco alterado, poco fracturado, fracturas abiertas, sub-horizontales, con signos de oxidación y presencia de minerales oscuros en la matriz rocosa.");
- Descripción de las características de las fracturas, contactos, discontinuidades, según Tablas 5 y 6;
- Resultados del ensayo de pérdida de agua y clasificación de cada tramo ensayado conforme Tabla 7;
- Los sondeos atravesarán el hormigón que constituye las chavetas de junta. En estos casos, el material del hormigón deberá ser descrito en el boletín de sondeo en la secuencia encontrada en campo.

Tabla 1. Calidad del macizo basado en valores de RQD (Barton et al, 1974).

Grado	RQD	Calidad del macizo
Q1	90 – 100	Excelente
Q2	75 – 89	Buena
Q3	50 – 74	Regular
Q4	25 – 49	Mala
Q5	0 – 24	Muy mala

Tabla 2. Clases del grado de alteración (A), adoptadas por Itaipu.

Grado	Denominaciones	Características de la roca
A1	Roca sana	-
A2	Roca poco alterada	Presenta oxidación de las juntas.
A3	Roca medianamente alterada	Presenta una matriz poco alterada.
A4	Roca muy alterada	Presenta una matriz profundamente alterada.
A5	Roca totalmente alterada	Apenas con vestigios de la estructura original (roca matriz).

Tabla 3. Clases del grado de consistencia (C), adoptadas por Itaipu.

Grado	Denominaciones	Características de la roca
C1	Roca muy consistente	Presenta un sonido metálico. Se rompe con dificultad al golpe del martillo.
C2	Roca consistente	No presenta sonido metálico. Se rompe con facilidad al golpe del martillo.
C3	Roca medianamente consistente	Los bordes de los bloques se rompen con dificultad con la presión de los dedos.
C4	Roca poco consistente	Se deshace con golpe del martillo.
C5	Roca sin consistencia	Se deshace con la presión de los dedos.

Tabla 4. Clases del grado de fracturación (F), adoptadas por Itaipu.

Grado	Denominaciones	Fracturas/metro
F1	Roca poco fracturada	<1
F2	Roca fracturada	1 a 5
F3	Roca muy fracturada	6 a 10
F4	Roca extremadamente fracturada	11 a 20
F5	Roca fragmentada	>20

Tabla 5. Inclinación de las discontinuidades (I)

Inclinación horizontal (°)	Símbolo	Fracturas/metro
0-30	–	Horizontal o sub
31-60	/	1 a 5
60-90	□	6 a 10

Tabla 6. Características de los contactos y de las discontinuidades (J)

Clase	Sigla	Descripción
1	I-R	Contacto roca-roca, superficie irregular o rugosa.
2	L	Contacto roca-roca, superficie lisa.
3	E	Contacto roca-roca, con las estrías.
4	F	Contacto roca-roca, sin yuxtaposición.
5	J-Ar	Discontinuidad con relleno arcilloso.

Tabla 7. Conductividad hidráulica (ensayos de pérdida de agua bajo presión) - P

Clase	Pérdida Específica (l/min.m.kg/cm <sup>2</sup> )
1	<0,01
2	0,01 a 0,1
3	0,1 a 1,0
4	1,0 a 10
5	>10

Los resultados de los levantamientos deberán presentarse en forma de informe, en el que se adjuntará la planta de ubicación de los puntos investigados (*as built*), los boletines de sondeo y las hojas de control de los ensayos de pérdida de agua bajo presión, que deberán ser individuales para cada agujero, en formato A4 con orientación horizontal, para el caso de los boletines.

El informe debe tener información sobre los equipos utilizados, descripción detallada de los métodos de levantamiento, precisión de las medidas y métodos y memoria técnica de los cálculos empleados para alcanzar los resultados solicitados.

También deben figurar en el informe imágenes de las cajas de testigos para cada sondeo realizado. Las cajas deberán ser fotografiadas de dos a dos, sin distorsiones y presentadas en formato A4 con la siguiente información:

- Nombre de la obra y cliente;
- Identificación y ubicación del agujero;
- Número de cajas.

Los escaneos ópticos (televisación) deberán entregarse con las imágenes tratadas y procesadas en formato impreso (informe) y digital en alta resolución. Todos los escaneos deben presentar información de ubicación (coordenadas y cotas), y estar en escala donde se pueden identificar las estructuras y características de las paredes de los agujeros. La información específica sobre los datos estructurales de las paredes del agujero deberá figurar en un perfil interpretativo al lado de la imagen del agujero. En los laudos de escaneo de cada agujero, deberá constar:

- Nombre de la obra y cliente;
- Identificación y ubicación del agujero (coordenadas, cotas y profundidades) que deberán ser compatibles con los escaneos de los sondeos rotativos;
- Diámetro, inclinación con la vertical y rumbo del agujero;
- Desviación del agujero;
- Fecha de ejecución (inicio y terminación del escaneo);
- Lectura del nivel de agua al inicio y terminación del escaneo. Si no se identifica nivel de agua, se debe indicar "agujero seco";

- Imágenes en 2D de las paredes de los agujeros;
- Imágenes en 3D de las paredes de los agujeros (testigo virtual);
- Indicación de las fracturas y sus actitudes;
- Descripción de las fracturas (espesor, rugosidad, relleno, posicionamiento, presencia o no de humedad o flujo);
- Descripción visual de las paredes, con la identificación de cambios de litologías y condiciones de alteración, fracturación y consistencia;
- Leyendas utilizados en la caracterización (incluir fuente).
- Nombre del profesional que realizó el escaneo óptico y el procesamiento;
- Nombre y función del profesional (de preferencia Geólogo) que realizó la interpretación de los datos;
- Información sobre el progreso del levantamiento;
- Todos los datos técnicos deberán ser almacenados en archivos electrónicos, compatibles con software disponibles en el mercado, y puestos a disposición de la ITAIPU en la forma que permita su reproducción e impresión.

El CONTRATISTA deberá proveer el software para visualización de los testigos virtuales, así como la guía del usuario.

El informe final deberá ser entregado impreso y firmado en tres (03) vías y también en formato digital, conteniendo todos los escaneos de los agujeros descritos e interpretados, además de hoja de control de actitudes de discontinuidades, diagramas y estereogramas.

El informe será evaluado por ITAIPU, el CONTRATISTA, previa aprobación, deberá presentar este documento en la CHI.

## 9 PROGRAMA DE SONDEOS EN ITAIPU

Los sondeos deberán realizarse a lo largo de todo el Tramo E y parte del Tramo F, principalmente en la región aguas abajo de los bloques, como muestra la planta de la Figura 1. Para cada bloque se realizarán sondeos verticales (90° al horizontal) e inclinados aguas arriba y aguas abajo (con ángulos de 30° y 45° al vertical). Además de estos sondeos, en el bloque E-6 se realizarán sondeos inclinados hacia la derecha hidráulica, con ángulo de 60° al vertical y una perforación de gran diámetro (pozo), con 30 cm de diámetro (véase detalles en la Tabla 8).

Los sondeos deberán alcanzar el Basalto Denso (compacto) del Derrame C, pasando, por lo tanto, por los litotipos de los Derrames E y D. Así, se ha previsto que los agujeros se finalicen entre las cotas 100,00 o 90,00, como muestra la Tabla 8. Sin embargo, si se observa que algún agujero no ha alcanzado el Basalto Denso del Derrame C, se debe dar continuidad a los trabajos del levantamiento hasta que este material sea alcanzado, con penetración de por lo menos 2,00 metros.

Cambios en las inclinaciones o posicionamientos de los agujeros también podrán ocurrir caso se verifique algún obstáculo que deba ser transpuesto por alguno de estos métodos, dichos cambios deberán tener la aprobación de la fiscalización y de la ENCC.DT, por medio de disposiciones de campo.

La Tabla 8 describe las características de ubicación de los agujeros, en términos de inclinación, cota de inicio, cota final y longitud. Para el Tramo E están previstos 1.675,50 m de levantamiento, mientras que para el Tramo F se prevé 116,00 m, totalizando 1.791,50m, para sondeos rotativos. El pozo, ubicado en el Bloque E-6, tendrá una profundidad de 40 m aproximadamente.

Los agujeros resultantes deberán permanecer abiertos para la realización de escaneo óptico, debiendo, sin embargo, ser tapados con tapa apropiada de material plástico para protección. El escaneo óptico debe realizarse en todos los agujeros de los sondeos rotativos y del pozo.

Los agujeros no deberán presentar desvíos a lo largo de la profundidad, pues recibirán instrumentación posteriormente. Si se observa que se produjo alguna desviación, la perforación deberá paralizarse y la Fiscalización efectuará la evaluación si la desviación fue significativa. En caso afirmativo, un nuevo agujero deberá ser realizado, con local y características a ser indicados por la Fiscalización.

Al final de los trabajos de escaneo, los agujeros deberán permanecer sin relleno y tapados, para posterior instalación de instrumentación.

Itaipu realizará la ubicación topográfica de los agujeros. Por lo tanto, ITAIPU proporcionará esta información para que el CONTRATISTA la inserte en los boletines de sondeos que deberán ser emitidos por el CONTRATISTA en el informe del levantamiento.

## 10 REQUISITOS PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

- Deberá ser investigado el macizo rocoso que sirve de fundación de los Tramos E y F (inicial), por medio de sondeos rotativos, perforación de gran diámetro, ensayos de pérdida de agua bajo presión y escaneo óptico (televisación de sondeo) de los agujeros;
- Los levantamientos se harán aguas abajo y aguas arriba del eje de la Presa, algunos situados también en el eje;
- Los agujeros deberán alcanzar las litologías de los derrames E, D y C, alcanzando el basalto denso (compacto) del derrame C, lo que preliminarmente se sabe que se encuentra entre las cotas 100,00 y 90,00;
- Todos los levantamientos deberán tener recuperación de los testigos, que no deberá ser inferior al 95% para cada maniobra;
- La empresa deberá presentar en la propuesta técnico-comercial documentos que demuestren su experiencia en levantamiento con sondeos rotativos, pozos, ensayo de pérdida de agua bajo presión, y televisación de sondeos.

### 10.1 COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS DE LOS SERVICIOS

La propuesta técnico-comercial deberá presentar los valores descritos de la siguiente manera:

- Movilización y desmovilización;
- Precio por metro de sondeo vertical;
- Precio por metro de sondeo inclinado;
- Precio por ensayo de pérdida de agua;
- Precio del escaneo óptico.

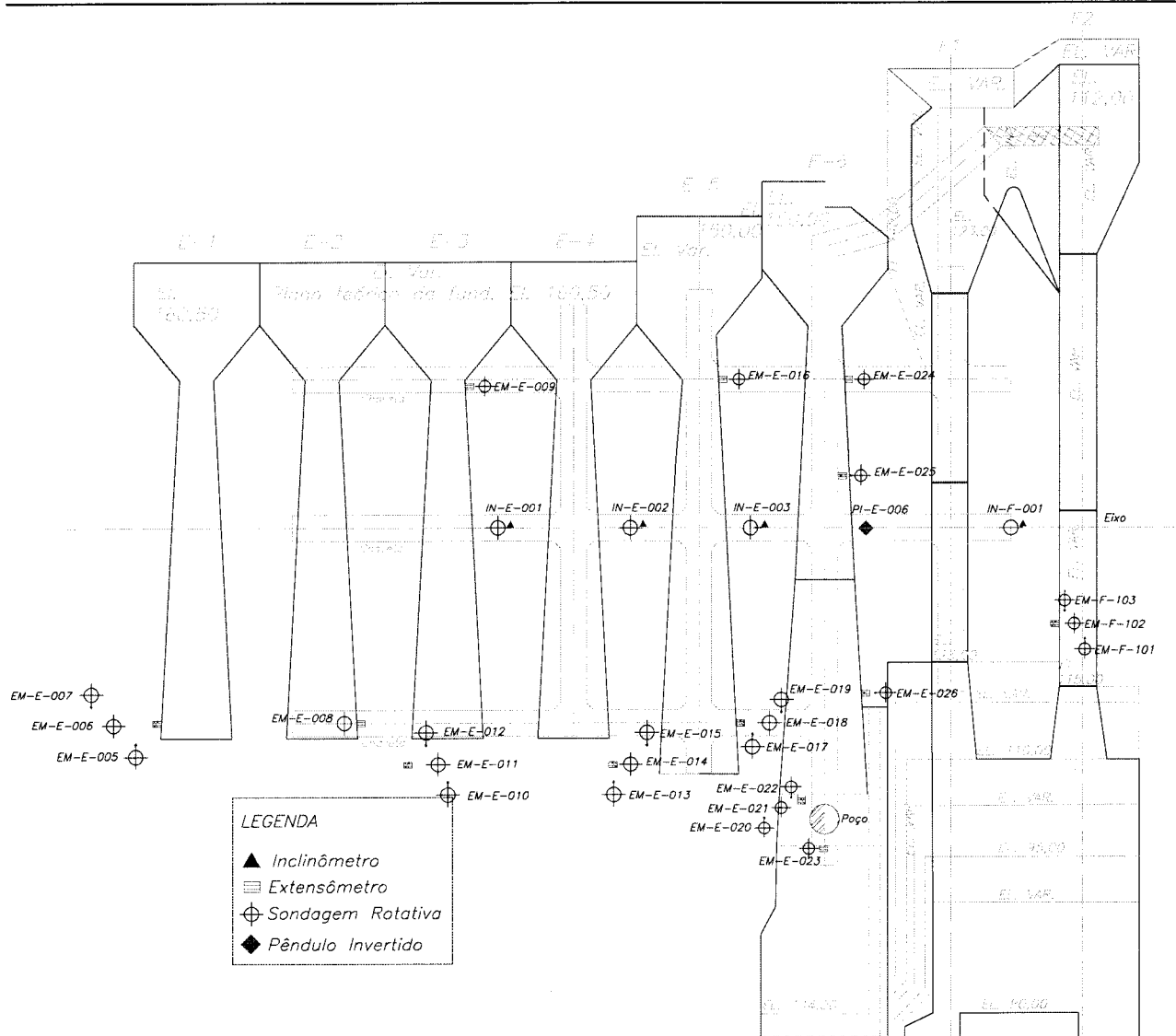


Tabla 8. Profundidades y cotas de los agujeros.

Sondeo	Bloque	Inclinación al vertical	Cota de inicio	Cota final	Longitud (m)	Distancia del eje (m)	Tipo (diámetro)
EM-E-005	E-1	45° aguas arriba	160,50	100,00	86,0	26,53 (J)	HX
EM-E-006		0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	26,25 (J)	HX
EM-E-007		45° aguas abajo	160,50	100,00	86,0	25,97 (J)	HX
EM-E-008	E-2	0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	26,25 (J)	HX
EM-E-009	E-3	0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	19,09 (M)	HX
EM-E-010		45° aguas arriba	160,50	100,00	86,0	32,08 (J)	HX
EM-E-011		0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	31,80 (J)	HX
EM-E-012	E-4	45° aguas abajo	160,50	100,00	86,0	31,52 (J)	HX
EM-E-013		45° aguas arriba	160,50	100,00	86,0	32,08 (J)	HX
EM-E-014		0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	31,80 (J)	HX
EM-E-015	E-5	45° aguas abajo	160,50	100,00	86,0	31,52 (J)	HX
EM-E-016		0° (Vertical)	150,00	100,00	50,0	20,00 (M)	HX
EM-E-017		45° aguas arriba	150,00	100,00	71,0	26,53 (J)	HX
EM-E-018	E-6	0° (Vertical)	150,00	100,00	50,0	26,25 (J)	HX
EM-E-019		30° aguas abajo	150,00	100,00	58,0	25,97 (J)	HX
EM-E-020		45° aguas arriba	144,00	90,00	76,0	36,45 (J)	HX
EM-E-021	E-6	0° (Vertical)	144,00	90,00	54,0	36,79 (J)	HX
EM-E-022		30° aguas abajo	144,00	90,00	63,0	37,13 (J)	HX
EM-E-023		0° (Vertical)	144,00	90,00	54,0	43,18 (J)	HX
EM-E-024	E-6	0° (Vertical)	140,00	90,00	50,0	20,00 (M)	HX
EM-E-025		60° derecha	140,00	100,00	80,0	7,00 (M)	HX
EM-E-026		60° derecha	140,00	100,00	80,0	25,15 (J)	HX
EM-F-101	F-1/F-2	45° aguas arriba	124,00	100,00	34,0	13,34 (J)	HX
EM-F-102		0° (Vertical)	124,00	100,00	24,0	13,00 (J)	HX
EM-F-103		45° aguas abajo	124,00	100,00	34,0	12,66 (J)	HX
IN-E-001	E-3 - E-4	0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	EJE	HX
IN-E-002	E-4 - E-5	0° (Vertical)	160,50	100,00	60,5	EJE	HX
IN-E-003	E-5 - E-6	0° (Vertical)	150,00	100,00	50,0	EJE	HX
IN-F-001	F-1/F-2	0° (Vertical)	124,00	100,00	24,0	EJE	HX
PI-E-006	E-6	0° (Vertical)	140,00	100,00	40,0	EJE	30 cm

EM y IN: sondeo rotativo con diámetro estándar HX (perforación tendrá 99,2 mm y el testigo 76,2 mm de diámetro).

PI: Perforación de gran diámetro - 30cm (pozo).

## 11 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS PARA EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO

Para el desarrollo de las actividades descritas en esta Especificación Técnica, las siguientes etapas de trabajo deben ser previstas:

**Etapas 1:** Reunión en ITAIPU para definición del plan de trabajo, inspección de campo en los locales a ser sondeados y selección de documentos técnicos sobre las estructuras a ser sondeadas;

**Etapas 2:** Movilización de los equipos al campo;

**Etapas 3:** Ejecución de los sondeos rotativos, perforación de gran diámetro (pozo) y ensayos de pérdida de agua bajo presión;

**Etapas 4:** Ejecución del escaneo óptico;

**Etapas:** Etapa 5: Elaboración de un informe final con los levantamientos y análisis realizados por el CONTRATISTA (actividad a ser desarrollada en la oficina del CONTRATISTA);

Etapa 6: Presentación por el CONTRATISTA del informe final (en ITAIPU).

## 12 OBLIGACIONES

### 12.1 DEL CONTRATANTE

- Reenviar al CONTRATISTA los documentos e informaciones necesarios para el buen desempeño de las investigaciones;
- Acompañar todas las actividades de campo realizadas por el CONTRATISTA;
- Fiscalizar y mantener el control cuantitativo y cualitativo de los servicios prestados por parte del CONTRATISTA;
- Formalizar cualquier solicitud de servicio, describiendo el número del contrato y el ítem que será elaborado conforme previsto en el cronograma;
- Aplicar las sanciones reglamentarias y contractuales;
- Hacer cumplir las disposiciones de reglamentación de los servicios;

### 12.2 DEL CONTRATISTA

- Recibir documentación del CONTRATANTE para la elaboración de los servicios, formalizada mediante correo electrónico, describiendo el número de contrato y el ítem a ser elaborado de acuerdo a lo previsto en el cronograma.
- Ejecutar los servicios con grado de detalle solicitado, considerando todas las condiciones descritas sobre las estructuras y sus fundaciones, objetos del levantamiento;
- Entregar todos los documentos físicos y digitales descritos en esta especificación, incluido el informe final con los resultados de levantamiento y análisis técnicos;
- Presentar el informe final en las dependencias de la CHI;
- Repasar al CONTRATANTE todas las alteraciones y complementaciones necesarias.
- Cumplir con normas técnicas y reglamentos relativos a la ejecución de los servicios.

## 13 FORMATO DE LOS DOCUMENTOS

Todos los documentos deben redactarse conforme especificación Técnica Complementaria (Nº 2710-20-15200-P).

## 14 CRONOGRAMA Y PREVISIÓN DE RECURSOS

El CONTRATISTA deberá presentar el cronograma físico-financiero de las actividades aquí relacionadas.

## 15 LOCAL DE LOS TRABAJOS

Los trabajos se realizarán en la Central Hidroeléctrica de Itaipu y en la sede del CONTRATISTA.

## 16 BIBLIOGRAFÍA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Manual de sondeos**. Boletim Nº 3, 5ª Edição, São Paulo, SP, 2013.



---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Directrices para la clasificación de sondeos.** 1ª Ed., São Paulo, SP, 2013.

International Society for Rock Mechanics. The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. New York, 2006.

International Society for Rock Mechanics. The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014. New York, 2014.

U. S. department of the interior - Bureau of reclamation. **Engineering Geology – Field Manual.** 2ª Ed., Vol. II, Washington, 2001.