

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ACUERDO No. 669 Febrero 6 de 2014

Por el cual se aprueba el protocolo para la estimación del factor de conversión de plantas hidráulicas

El Consejo Nacional de Operación en uso de sus facultades legales, en especial las conferidas en el Artículo 36 de la Ley 143 de 1994, el Anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995, su Reglamento Interno y según lo aprobado en la reunión No. 408 del 6 de febrero de 2014 y,

CONSIDERANDOS

1. Que en el artículo 39 de la Resolución CREG 071 de 2006 se prevé que: *"Artículo 39. Verificación de Parámetros. Los parámetros declarados por los agentes para el cálculo de la ENFICC se verificarán mediante el mecanismo definido en el Anexo 6 de esta resolución."*

2. Que en el numeral 6.3 del Anexo 6 de la Resolución CREG 071 de 2006 se prevé que (...) *"El procedimiento para la verificación de cada uno de los parámetros asociados al cálculo de la ENFICC es el siguiente:*

Factores de Conversión Plantas Hidráulicas

Documentos base	Protocolo para la determinación de Factores de Conversión Plantas Hidráulicas aprobado por el CNO mediante Acuerdo 360 de mayo 25 de 2006 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan.
Alcance	Determinar si existen discrepancias entre los valores del Factor de Conversión Hidráulico, declarados por los agentes y los valores resultantes de la prueba, siempre que esta se haya realizado siguiendo los protocolos acordados por el CNO. Si la planta no había entrado en operación comercial al momento de declarar el parámetro, se debe verificar que la declaración de los parámetros corresponde a lo indicado por el protocolo a partir de los datos de recepción de la planta. En caso de no existir esta documentación se deberá realizar la prueba respectiva, la cual correrá a cargo del agente generador. En el caso de este parámetro se puede requerir de una o más pruebas para la obtención de la curva del Factor de Conversión versus el nivel de embalse, curva a partir de la cual se obtiene el Factor de Conversión Medio de la planta. En este caso el auditor deberá verificar que el valor reportado por el agente a la CREG haya sido estimado según el protocolo aprobado para este parámetro por el CNO. Para la verificación de este parámetro se aplicará el procedimiento para comprobar dos resultados promedio.
Actividades de la firma contratada para la verificación de	• Recibe de la CREG los valores declarados por los agentes. • Solicita a cada agente los reportes de resultados oficiales de la última prueba realizada. • Verifica la fecha de realización de la prueba remitida por el agente. Si la última prueba se realizó por fuera de los plazos establecidos por el CNO y no existe autorización de este,

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

parámetros	○ solicita al agente la realización de la prueba o pruebas, y verifica que la fecha no sea posterior a la finalización de la estación de verano ○ asiste a la(s) prueba(s), ○ verifica que se cumple el protocolo. ○ solicita los reportes de resultados oficiales de la prueba realizada • Compara lo declarado con el resultado de la prueba. • Determina la veracidad o no de los valores declarados por el agente ante la CREG, considerando los márgenes de tolerancia y error respectivos.
Tolerancia	De llevarse a cabo la prueba se aceptarán valores declarados que no superen en más del 13% el resultado de la prueba, evaluando ambas cifras con una aproximación a cuatro decimales
Margen de error	De no llevarse a cabo la prueba, se considerará discrepancia cualquier valor declarado, que supere los valores de los reportes de resultados de la última prueba realizada, evaluando ambas cifras con una aproximación a cuatro decimales.

3. Que mediante el Acuerdo 360 de 2006 se aprobó el protocolo para la estimación del Factor de Conversión de Plantas Hidráulicas con sus anexos.

4. Que mediante el Acuerdo 427 de 2008 se aprobó el procedimiento para la estimación del Factor de Conversión de las Plantas Hidráulicas Nuevas o Especiales.

5. Que el Subcomité Hidrológico y de Plantas Hidráulicas en la reunión 250 del 16 de enero de 2014 dio su concepto favorable al documento técnico "PROTOCOLO PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN DE PLANTAS HIDRÁULICAS".

6. Que el Comité de Operación en su reunión 244 del 30 de enero de 2014 recomendó la expedición del presente Acuerdo.

ACUERDA

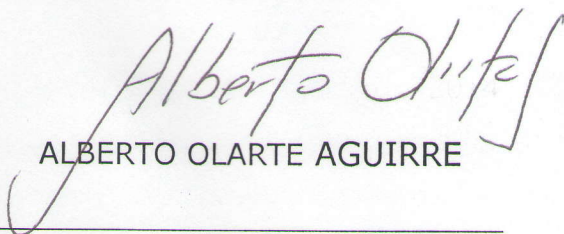
PRIMERO: Aprobar el documento "PROTOCOLO PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN DE PLANTAS HIDRÁULICAS" que hace parte integral del presente Acuerdo.

SEGUNDO: El presente Acuerdo rige a partir de la fecha de su expedición y sustituye el Acuerdo 360 de 2006 y el Acuerdo 427 de 2008.

El Presidente,

El Secretario Técnico,


JULIAN CADAVID VELASQUEZ


ALBERTO OLARTE AGUIRRE

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

PROTOCOLO PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN DE PLANTAS HIDRÁULICAS

PROTODOL

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

TABLA DE CONTENIDO

1. DEFINICIONES	6
2. OBJETIVO DE ESTE PROTOCOLO.....	8
3. ÁMBITO DE APLICACIÓN	8
4. PROCEDIMIENTO PARA PLANTAS EXISTENTES CON MÁS DE SEIS (6) AÑOS DE OPERACIÓN COMERCIAL8	
4.1. NIVELES DEL EMBALSE PARA LOS CUALES SE REALIZAN LAS PRUEBAS	8
4.2. PRUEBAS AUDITADAS	9
4.3. VARIANTES PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS BANDAS DE TOLERANCIA ASOCIADAS A LOS NIVELES DE LOS PERCENTILES PARA LOS QUE SE REALIZARÁN LAS PRUEBAS.....	9
4.3.1. Variante 1:	9
4.3.2. Variante 2:	9
4.3.3. Variante 3:	9
4.4. CONSIDERACIONES GENERALES	10
5. VIGENCIA.....	11
6. AUDITOR	11
7. PROCEDIMIENTO PARA LAS PLANTAS HIDRÁULICAS (CON EMBALSE O FILO DE AGUA) NUEVAS, ESPECIALES, EXISTENTES CON MENOS DE SEIS (6) AÑOS DE OPERACIÓN COMERCIAL, PLANTAS GPPS O QUE SE ENCUENTREN EN PROCESO DE REINCORPORACIÓN AL MERCADO MAYORISTA.	11
7.1. PARA LAS PLANTAS NUEVAS, ESPECIALES, Y GPPS, SE UTILIZARÁ EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL FC_M A DECLARAR PARA EL CARGO POR CONFIABILIDAD:	12
7.2. PARA LAS PLANTAS EXISTENTES QUE TENGAN MENOS DE TRES (3) AÑOS DE OPERACIÓN, SE ADOPTARÁ EL FC TEÓRICO REPORTADO POR EL AGENTE AL CND.....	13
7.3. PARA LAS PLANTAS QUE TENGAN MÁS DE TRES (3) Y MENOS DE SEIS (6) AÑOS DE OPERACIÓN COMERCIAL, EL FC SE CALCULARÁ DE LA SIGUIENTE FORMA:	13
7.4. PARA UNIDADES QUE HAYAN SIDO REINCORPORADAS AL SÍN Y A LAS CUALES NO SE LES HAYA REALIZADO LA MEDICIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN SE LES DEBERÁ REALIZAR LA MEDICIÓN CONFORME A LO ESTABLECIDO EN EL PRESENTE PROTOCOLO.....	14
8. CENTRALES FILO DE AGUA	14
9. CASOS ESPECIALES.....	14
10. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN.....	16
11. ASPECTOS OPERATIVOS Y COMERCIALES.....	16
ANEXO NO. 1.....	17
PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CUATRO NIVELES (COTAS) CARACTERÍSTICOS DEL EMBALSE EN LOS CUALES SE REALIZARÁ LA PRUEBA DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO.....	17
ANEXO NO. 2.....	18
PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO	18
ANEXO NO. 3.....	23
MEDIDA DE CAUDAL TURBINADO POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO	23
ANEXO NO. 4.....	25

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES UTILIZANDO EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE TRAZADORES	25
ANEXO NO. 5.....	29
PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN POR EL MÉTODO DE AFORO HIDROMÉTRICO	29
ANEXO NO. 6.....	33
PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES, UTILIZANDO EL MÉTODO DE DIFERENCIA DE PRESIONES	33
ANEXO NO. 7.....	38
PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO Y EL CÁLCULO DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO MEDIANO	38
ANEXO NO. 8.....	39

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

1. DEFINICIONES

Para efectos del presente documento, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones generales relacionadas con la producción de energía eléctrica utilizando la energía del agua:

Nivel del Embalse (H): elevación (cota) de la superficie libre del agua en el embalse, tomada en relación con el nivel del mar, (m.s.n.m.). Para efectos del presente protocolo el nivel del embalse corresponde al valor reportado diariamente por cada empresa al Centro Nacional de Despacho, en adelante CND.

Potencia Eléctrica (N): es la potencia neta producida al paso del agua por la turbina de una planta de generación.

Factor de Conversión Hidráulico (FC): es la relación entre la potencia eléctrica generada neta y la unidad de caudal necesaria para generar esa potencia, para una cabeza hidráulica determinada. Expresándose en $MW/(m^3/s)$.

Factor de Conversión Hidráulico Mediano (FC_m): es el factor de conversión más representativo de la planta de generación, que será utilizado en los casos en que se requiera un valor único para efectos de modelación de la energía contenida en el embalse y/o la energía contenida en los aportes de los ríos afluentes. Es el factor de conversión asociado a un nivel del embalse correspondiente a la mediana de los registros históricos existentes de los niveles diarios reportados al CND durante los últimos cinco años.

Nivel Máximo Físico (NMF): Elevación máxima de la superficie del agua del embalse sin que ocurra vertimiento. Está definida por la cota de la cresta del vertedero, o la cota superior de compuertas, o debajo de dichas cotas, si existe alguna restricción en la estructura hidráulica.

En el caso de vertederos con compuertas sumergidas, en los cuales el nivel del embalse puede subir por encima de la cota superior de compuertas sin que ocurra vertimiento, el nivel máximo físico será definido por la cota de la estructura donde empieza el vertimiento o debajo de ésta si existe alguna restricción.

Nivel Mínimo Técnico (NMT): Es la elevación de la superficie del agua en el embalse hasta la cual puede utilizarse su agua, cumpliendo con condiciones de seguridad en las estructuras hidráulicas y en las instalaciones de generación para plena carga de todas las unidades. (Ver Acuerdo 512 de 2010)

Caída Bruta Máxima: En plantas de generación hidroeléctricas que tengan como equipamiento turbinas Pelton, es la diferencia entre el Nivel Máximo Físico y la cota de eje de las turbinas. En plantas de generación hidroeléctricas que tengan turbinas Francis, para los propósitos de este protocolo, será la comprendida entre el Nivel Máximo Físico y el nivel del agua en la descarga correspondiente a las condiciones de diseño de la central.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Centrales Filo de agua: para el presente protocolo una central se considera como filo de agua si cumple con cualquiera de las siguientes condiciones, establecidas en la Resolución CREG 152/2011:¹

- a. Que no posea embalse y que su estructura de captación esté conectada directamente a la fuente de agua para que tome parcial o totalmente el caudal de dicha fuente o,
- b. Que la central posea embalse cuyo tiempo de vaciado, generando con su Capacidad Efectiva Neta, CEN, considerando el aporte promedio multianual e iniciando con embalse en el máximo técnico, calculado según lo previsto en el Acuerdo 512 del 2010 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan, sea menor o igual a un (1) día, o si el tiempo de llenado generando con dicha CEN y con el aporte promedio multianual iniciando con el embalse en el mínimo técnico, calculado según el Acuerdo 512 del 2010 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan, sea menor o igual a un (1) día.

Adicionalmente, para los propósitos de este protocolo también se considerarán centrales a filo de agua, las plantas hidroeléctricas que aun estando situadas aguas abajo de embalses que le garanticen regulación de caudales mayor a un (1) día, cumplan con cualquiera de las condiciones definidas en los literales anteriores,

La determinación del factor de conversión para las plantas que cumplan las condiciones anteriores se realizará siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 8 y en el Anexo 2.

¹ Tomado de la Resolución CREG 152 de 2011.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

2. OBJETIVO DE ESTE PROTOCOLO

Establecer el procedimiento para determinar la función del Factor de Conversión Hidráulico a partir del nivel del embalse, calcular el Factor de Conversión Mediano y sus respectivas vigencias.

3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Se aplica a todos los agentes que poseen plantas existentes de generación hidráulica despachadas centralmente, así como plantas nuevas, especiales, existentes con menos de 6 años de operación comercial, plantas GPPS, o que se encuentren en proceso de reincorporación al mercado mayorista.

4. PROCEDIMIENTO PARA PLANTAS EXISTENTES CON MÁS DE SEIS (6) AÑOS DE OPERACIÓN COMERCIAL

De acuerdo con las particularidades de la central, el agente generador podrá realizar las pruebas a cada una de las unidades de la planta de forma individual, o a toda la planta en conjunto. De igual manera, escogerá un único método para la medición del caudal que pasa a través de la conducción de carga, entre los métodos que se presentan en los Anexos Nos. 3, 4, 5 o 6 del presente protocolo. En aquellas plantas en las que se puedan efectuar las pruebas de varias unidades simultáneamente, pero con datos individuales por unidad, será opción del agente programarlas y ejecutarlas cumpliendo con los requisitos de los valores instantáneos y los valores acumulados que trata el Anexo No. 2 y el Anexo No. 8 del presente protocolo.

4.1. NIVELES DEL EMBALSE PARA LOS CUALES SE REALIZAN LAS PRUEBAS

El agente seleccionará los niveles del embalse en los cuales se realizará la medición del Factor de Conversión de la planta, usando la información disponible de los niveles diarios del embalse (cotas en metros sobre el nivel del mar) para los últimos seis (6) años calendario que finalizaron en el mes de diciembre del año inmediatamente anterior, y utilizando el procedimiento descrito en el Anexo No. 1 de este protocolo, calculará los cuatro (4) niveles característicos para los cuales se harán las pruebas del Factor de Conversión.

Será potestad del agente realizar pruebas en niveles adicionales a los cuatro (4) niveles característicos descritos en el Anexo No. 1, con el fin de mejorar la confiabilidad en la obtención de la función del Factor de Conversión y su representatividad a lo largo del rango de variación del nivel del embalse. Las pruebas en niveles adicionales a los descritos en el Anexo No. 1, serán realizadas en niveles superiores o inferiores al máximo o mínimo respectivamente, de los cuatro (4) percentiles definidos en el Anexo No. 1. Estas pruebas, igualmente auditadas, serán tenidas en cuenta para la obtención de la función del Factor de Conversión de la central.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

4.2. PRUEBAS AUDITADAS

Para que los resultados de estas pruebas puedan ser tenidos en cuenta para el cálculo de la curva Cota vs. Factor de Conversión, las pruebas deberán ser auditadas y realizarse dentro de los plazos establecidos en el presente Protocolo.

4.3. VARIANTES PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS BANDAS DE TOLERANCIA ASOCIADAS A LOS NIVELES DE LOS PERCENTILES PARA LOS QUE SE REALIZARÁN LAS PRUEBAS

Para llevar a cabo las mediciones, cada agente establecerá una banda de tolerancia (BT) para el nivel de cada percentil, utilizando una de las siguientes variantes:

4.3.1. Variante 1:

Para llevar a cabo las mediciones de cada prueba, el agente tendrá una banda de tolerancia (BT) en los niveles, la cual será calculada de la siguiente manera:

- Percentil 90: Estará entre los niveles asociados a los percentiles 95 y 85.
- Percentil 75: Estará entre los niveles asociados a los percentiles 80 y 70
- Percentil 50: Estará entre los niveles asociados a los percentiles 55 y 45
- Percentil 25: Estará entre los niveles asociados a los percentiles 30 y 20.

4.3.2. Variante 2:

Para llevar a cabo la prueba correspondiente al nivel de un determinado percentil, el agente dispondrá de una banda de tolerancia (BT), la cual será equivalente al cinco por mil de la Caída Bruta Máxima de la central, por encima o por debajo del nivel del percentil para el que se realizará la medición ($\pm 0,5\%$ de la Caída Bruta Máxima). Esta banda se desplazará verticalmente a lo largo del rango de variación histórica de los niveles del embalse de los últimos seis (6) años.

En caso de que en algún momento esta BT abarque los niveles de dos o más percentiles contiguos definidos para la realización de las pruebas, se podrá hacer la prueba en cualquier nivel del embalse dentro de esta banda y esta medición reemplazará las mediciones de los percentiles cubiertos dentro de la misma.

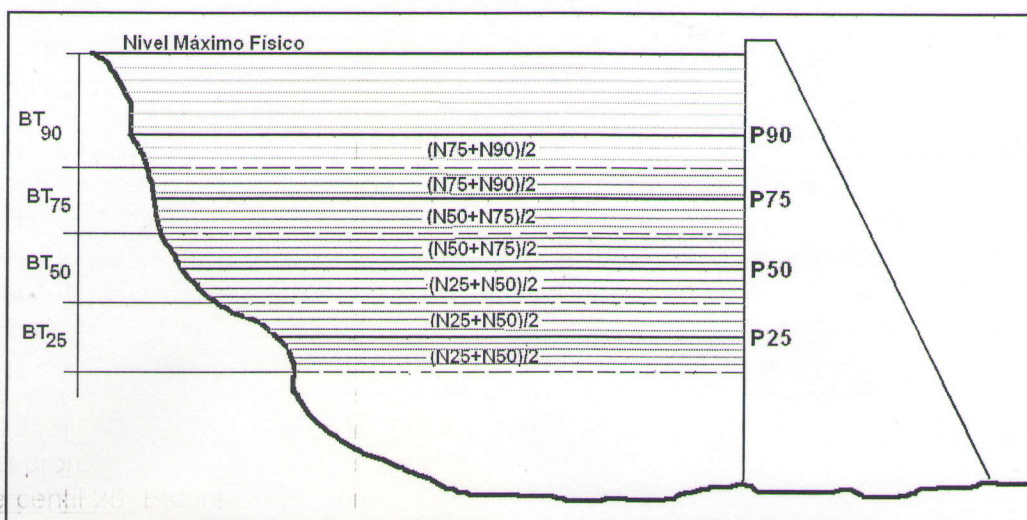
En todo caso se deberá garantizar al menos dos mediciones en distintos niveles del embalse, las cuales deberán estar separados entre sí más del 60% de la diferencia entre el nivel máximo de la BT del percentil 25% y el nivel mínimo de la BT del percentil 90%.

4.3.3. Variante 3:

Para llevar a cabo las mediciones de cada prueba, el agente tendrá una banda de tolerancia (BT) en los niveles, la cual será calculada de la siguiente manera:

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

- Percentil 90: Estará entre el Nivel Máximo Físico y el promedio entre los niveles asociados a los percentiles 90 y 75.
- Percentil 75: Estará entre el promedio de los niveles asociados a los percentiles 90 y 75; y el promedio entre los niveles asociados a los percentiles 75 y 50.
- Percentil 50: Estará en el promedio entre los niveles asociados a los percentiles 75 y 50; y el promedio entre los niveles asociados a los percentiles 50 y 25.
- Percentil 25: Estará en el promedio entre los niveles asociados a los percentiles 50 y 25; y el Nivel Mínimo Técnico.



4.4. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la estimación de la función del FC en relación con el nivel en el embalse y el FC_m , se utilizará el procedimiento descrito en el Anexo No. 7 del presente Protocolo.

En cualquiera de las tres (3) variantes, para la construcción de la gráfica que elaborará el auditor, se deberá seguir lo indicado en el Anexo No. 7 de este Protocolo.

Los percentiles y la variante elegida por el agente para calcular la banda de tolerancia definidos al inicio de las pruebas no cambiarán, aun cuando durante la realización de la totalidad de las pruebas se presente un cambio de año.

Los formatos para la toma de datos en el sitio y cálculo para cada una de las pruebas se muestran en el Anexo No. 8 de este Protocolo.

Como resultado de estas pruebas se obtendrá la función del Factor de Conversión de una planta en relación con el nivel del embalse asociado y el Factor de Conversión Mediano los cuales serán calculados de acuerdo con el Anexo No. 7 de este Protocolo.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

5. VIGENCIA

La curva "Cota vs. Factor de Conversión" tendrá una vigencia de seis (6) años, contada a partir del último día del mes siguiente a aquel en el que se realizó la última medición con base en la cual se estableció la curva vigente.

Es potestativo del agente hacer nuevas mediciones para la planta y establecer una nueva curva "Cota vs. Factor de Conversión" antes de que se cumpla la vigencia de los seis (6) años, caso en el cual el período de vigencia volverá a iniciar.

Adicionalmente, deberá considerar que todas las mediciones se deberán realizar en un periodo no mayor de dieciocho (18) meses antes del vencimiento de la vigencia. En el caso de que el agente determine que no le será posible realizar la totalidad de las pruebas durante este período, seguirá el procedimiento descrito en el numeral 9 de este Protocolo.

El FC_m se calculará cada año, aplicando a la función característica Cota vs. Factor de Conversión, la cota asociada al percentil 50 con corte al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior al cual se determina el FC_m .

6. AUDITOR

Las pruebas de determinación del factor de conversión deben ser auditadas por una de las firmas avaladas por el Consejo Nacional de Operación mediante el Acuerdo 576 del 2012 o el que lo sustituya o modifique.

El auditor deberá preparar un informe de la prueba en la que de fe de los procedimientos realizados, de las medidas tomadas y de los resultados obtenidos para el Factor de Conversión de la central auditada.

El auditor verificará los documentos mencionados en este Protocolo y los incluirá en el informe de auditoría de las pruebas.

Se entiende que el informe de la auditoría es el documento oficial de los resultados de las pruebas y de la curva de Factor de Conversión vs nivel del embalse.

7. PROCEDIMIENTO PARA LAS PLANTAS HIDRÁULICAS (CON EMBALSE O FILO DE AGUA) NUEVAS, ESPECIALES, EXISTENTES CON MENOS DE SEIS (6) AÑOS DE OPERACIÓN COMERCIAL, PLANTAS GPPS O QUE SE ENCUENTREN EN PROCESO DE REINCORPORACIÓN AL MERCADO MAYORISTA.

De acuerdo con lo establecido en la Resolución CREG 071 de 2006 o en aquellas que la modifican o sustituyan, se consideran las siguientes definiciones:

- Se entiende por plantas hidráulicas nuevas aquellas que no han iniciado la etapa de construcción al momento de efectuar la subasta del Cargo por Confiabilidad o el mecanismo que haga sus veces.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

- Se entiende por plantas hidráulicas especiales las que se encuentran en proceso de construcción o instalación a la fecha de realización de la subasta de Cargo por Confiabilidad o aquella que haga sus veces y las instaladas que vayan a ser repotenciadas, siempre y cuando cumplan con lo establecido en la reglamentación vigente.
- Se entiende por plantas GPPS las plantas y/o unidades de generación con períodos de construcción superiores al período de planeación de la subasta del Cargo por Confiabilidad.

Para los cálculos de que trata este numeral se utilizará como referencia la información histórica diaria de embalses existentes, diferentes a los asociados a plantas filo de agua, que posean información histórica por lo menos de cinco años con corte al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior al cual se determinará el FC de las plantas antes mencionadas, que utilicen el mismo tipo de turbinas de las plantas consideradas en este numeral y que sus embalses no estén sometidos a propósitos diferentes a los de la planta a analizar.

El agente dueño de la planta (de las que trata el presente numeral) deberá enviar una comunicación al CNO, informando las características principales de la planta: CEN, número y tipo de turbinas, caída bruta, tipo y propósito del embalse, volumen útil y total del embalse, Nivel Mínimo Técnico y Nivel Máximo Físico; y solicitará el envío de la información necesaria para el cálculo del Factor de Conversión de acuerdo con el procedimiento descrito en este Protocolo. El Secretario Técnico del CNO enviará carta a los agentes dueños de plantas con características similares, para que en un plazo de 15 días calendario envíen la siguiente información al CNO: Nivel Mínimo Técnico, Nivel Máximo Físico, y cota asociada al percentil 50 de su serie histórica quinquenal con corte al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior a aquel para el cual se desea determinar el factor de conversión de las plantas previstas en el presente numeral.

Vencido el plazo establecido por el CNO para el envío de la información, el agente interesado en determinar el factor de conversión de su planta hará el cálculo con la información que hasta ese momento le haya enviado el Secretario Técnico del CNO.

7.

7.1. Para las plantas nuevas, especiales, y GPPS, se utilizará el siguiente procedimiento para el cálculo del FC_m a declarar para el Cargo por Confiabilidad:

- a. Con la cota asociada al percentil 50 (P50) entregada por cada agente como ya se indicó, se calcula para cada embalse la siguiente relación expresada en porcentaje:

$$\% \text{Nivel P50} = \frac{\text{Cota P50} - \text{NMT}}{\text{NMF} - \text{NMT}}$$

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

- b. Se tabulan las relaciones anteriores para todos los embalses en operación determinados por el CNO, y se obtiene el promedio aritmético.

Este porcentaje encontrado se usa para calcular el percentil 50 de la nueva central. Debe interpretarse como el porcentaje de la diferencia entre el Nivel Máximo Físico y el Nivel Mínimo Técnico, para el embalse asociado a la nueva central.

- c. La nueva central teniendo el porcentaje y la diferencia de niveles calcula el nivel del P50 así:

$$\text{Cota asociada al P50 (msnm)} = \text{NMT} + \% \text{nivel P50}(\text{NMF} - \text{NMT})$$

Los niveles del embalse se expresarán en metros sobre el nivel del mar (msnm).

- d. Con la cota asociada al P50 entrará a la curva teórica de la planta y encontrará el FC ($\text{MW/m}^3/\text{s}$).

En el caso de que para estas plantas alguno de sus embalses sean considerados como multipropósito conforme a lo definido en el Acuerdo 153 del 27 de julio de 2001 o aquel que lo modifique o sustituya, el procedimiento será el siguiente: se calculará el nivel medio como el promedio aritmético de los doce valores mensuales de la curva guía de operación del embalse. A partir de este nivel medio, se buscará el factor de conversión correspondiente en la curva teórica elaborada con base en los estudios realizados por el agente, en la etapa en la que se encuentre la central en el momento de la declaración. Este será el Factor de Conversión Mediano.

Las plantas nuevas, especiales y GPPS reportarán el valor del Factor de Conversión Mediano aplicando anualmente el procedimiento previsto en el presente numeral, lo cual repetirán hasta el momento en el que se hagan las pruebas de medición del FC cuando la planta entre en operación.

- 7.2. Para las plantas existentes que tengan menos de tres (3) años de operación, se adoptará el FC teórico reportado por el agente al CND.

- 7.3. Para las plantas que tengan más de tres (3) y menos de seis (6) años de operación comercial, el FC se calculará de la siguiente forma:

Considerando el año de entrada en operación comercial de toda la planta el año T, las pruebas deberán realizarse durante el año (T+3), con los percentiles calculados con base en la serie de niveles conformada desde la fecha de entrada en operación comercial de toda la central en el año T, hasta el 31 de diciembre del año (T+2).

El procedimiento para la realización de las pruebas será el mismo que se aplica para las plantas con más de 6 años de operación, incluyendo los casos especiales que apliquen, descritos en el numeral 9 de este protocolo.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

La curva Factor de Conversión vs nivel del embalse realizada con las pruebas del año T+3, servirá para calcular el FC_m tal como se ha definido en el Anexo No. 7 de este Protocolo.

- 7.4.** Para unidades que hayan sido reincorporadas al SIN y a las cuales no se les haya realizado la medición del Factor de Conversión se les deberá realizar la medición conforme a lo establecido en el presente Protocolo.

La serie histórica de niveles para determinar los percentiles para las mediciones será la misma serie utilizada para la medición del Factor de Conversión de las demás unidades de la planta que permanecieron conectadas al SIN.

Las mediciones del Factor de Conversión de las unidades reincorporadas al SIN se considerarán válidas si el promedio de los niveles en el embalse durante las mediciones de todas las unidades (unidades reincorporadas y en servicio), para cada uno de los percentiles definidos, están dentro de los rangos de tolerancia establecidos en el presente protocolo.

8. CENTRALES FILO DE AGUA

Las centrales filo de agua tal como están definidas en el numeral 1 de este protocolo, estimarán su factor de conversión con una sola prueba de acuerdo con lo descrito en el Anexo No. 2. Para ejecutar la prueba no se exigirá un nivel específico de agua en las estructuras de captación y/o conducción.

9. CASOS ESPECIALES

- 9.1.** En caso de que durante las pruebas objeto de este protocolo, alguna unidad se halle en mantenimiento, situación que deberá estar debidamente soportada ante el CND, el Factor de Conversión para esta unidad será el menor valor del obtenido para las restantes unidades, asignándole la misma cota obtenida durante las mediciones a aquella unidad.

- 9.2.** En el evento que una empresa prevea que por razones fuera de su control, no pudiese realizar todas las pruebas durante los últimos dieciocho (18) meses de vigencia de la curva disponible, deberá informar por escrito al Secretario Técnico del CNO, con una antelación no menor a 60 días calendario a la finalización de la vigencia de la curva, las razones por las cuales no pudo completar la realización de las pruebas y el plazo requerido.

El CNO, previo concepto del Subcomité Hidrológico y de Plantas Hidráulicas, podrá ampliar por una vez mediante Acuerdo, el plazo para la realización de las pruebas hasta por (1) un año. El agente deberá realizar las pruebas faltantes utilizando los mismos percentiles con los cuales se realizó la primera prueba.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

9.3.- Cuando el agente generador no haya podido realizar una o más de las pruebas del Factor de Conversión en el plazo adicional de hasta un (1) año concedido por el CNO, el agente informará por escrito al CNO, con una antelación de mínimo 60 días antes del vencimiento de la ampliación del plazo aprobado mediante Acuerdo, las razones por las que no le fue posible la realización de las pruebas. En el caso antes mencionado, la actualización de la curva de la función del Factor de Conversión se deberá realizar de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se utilizará como punto de partida para este proceso la función de Factor de Conversión vigente y los resultados de las n pruebas del Factor de Conversión con los que se actualizará dicha función (n mediciones realizadas del nivel del embalse y Factor de Conversión), siendo, en este tipo de casos, $n < 4$.

Para los propósitos de este tipo de casos, los Factores de Conversión medidos durante las pruebas se designan como $FC_{MED(i)}$, donde $i=1, \dots, n$, siendo i una de las n pruebas realizadas.

- Para cada nivel del embalse para el que hicieron pruebas para actualizar la función del Factor de Conversión, se calculará el valor teórico del correspondiente Factor de Conversión que resulta de la utilización de la función del Factor de Conversión vigente.

De esta forma, para las n mediciones realizadas se calcularán los Factores de Conversión teóricos, $FC_{TEO(i)}$, obtenidos a partir de la función del Factor de Conversión vigente, con $i=1, \dots, n$, y $n < 4$.

- Para cada nivel del embalse para el que hicieron pruebas para actualizar la función del Factor de Conversión, se determinarán las diferencias, $d(i)$, entre el Factor de Conversión medido en cada prueba y el valor teórico obtenido a partir la función de Factor de Conversión vigente correspondiente al nivel del embalse durante la prueba:

$$d(i) = FC_{MED(i)} - FC_{TEO(i)}, \text{ para } i=1, \dots, n \text{ con } n < 4,$$

- Con base en estos valores se determinará el parámetro S :

$$S = \sum d(i)^2 \text{ para } i=1, \dots, n \text{ con } n < 4,$$

- La actualización de la función de Factor de Conversión vigente se realizará mediante su desplazamiento dentro de los valores de Factor de Conversión medidos, a partir de la minimización del parámetro S antes definido. Para ello se podrá utilizar un algoritmo de optimización que permita la determinación del intercepto del polinomio de la función del Factor de Conversión que minimiza el parámetro S (intercepto óptimo).

La función del Factor de Conversión que resulta de esta optimización del intercepto, determinará la nueva función de Factor de Conversión para el período de la vigencia para el cual se realizaron las pruebas que tienen las características correspondientes a este tipo de casos².

² Los parámetros del polinomio que representa la función del Factor de Conversión vigente, diferentes al intercepto, no se modifican en este proceso.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

10. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN.

De acuerdo con las mejores prácticas y según el método escogido por cada agente para la medición del FC de su planta o unidades de generación, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Los equipos utilizados deben estar acompañados de los certificados de calibración.
- Para las plantas cuyas estimaciones del caudal correspondan a mediciones directas de nivel, la curva de gasto y las verificaciones se realizarán mediante aforo hidrométrico directo, siendo necesarias las verificaciones periódicas a intervalos que dependerán de las condiciones de estabilidad de la geometría de la sección de aforo.

11. ASPECTOS OPERATIVOS Y COMERCIALES

Los aspectos operativos y comerciales de la generación de plantas hidráulicas en etapa de pruebas seguirán los criterios establecidos en la Resolución 121 de 1998 y en aquellas que la sustituyan o modifiquen.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

ANEXO No. 1 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CUATRO NIVELES (COTAS) CARACTERÍSTICOS DEL EMBALSE EN LOS CUALES SE REALIZARÁ LA PRUEBA DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO.

El procedimiento general se basa en el análisis de frecuencias de niveles de embalse (elevación de la superficie libre del agua en el embalse en msnm) para los últimos seis (6) años, y la determinación de los valores correspondientes a los percentiles 25, 50, 75 y 90.

Los percentiles se calculan con base en los niveles diarios reportados del embalse para el período de seis (6) años calendario, que termina el 31 de diciembre del año inmediatamente anterior al cual se hace el respectivo cálculo.

Cuando un conjunto de datos ordenado ascendentemente, de tamaño n , se divide en cien partes iguales, los puntos de división reciben el nombre de percentiles. En términos más generales, se entiende por el $100k$ -ésimo percentil, el valor por debajo del cual una variable se ha mantenido este mismo porcentaje de tiempo. Por ejemplo, el percentil 20% ($k = 0.20$) corresponde al valor del nivel del embalse por debajo del cual, el embalse se ha mantenido el 20% del tiempo analizado.

El procedimiento para encontrar el nivel de embalse P_k correspondiente al percentil k , a partir del conjunto de datos de tamaño (n) organizados en orden ascendente, es el siguiente:

- a. Calcular la posición i del percentil k mediante el producto de n por k . Si nk no es un entero, entonces i es el siguiente entero más grande. Si nk es entero, i es igual a $nk + 0.5$;
- b. P_k (nivel del embalse que corresponde al percentil k) será:
 - Si i es entero, se cuenta desde la observación más pequeña (dato con la posición uno -1) hasta hallar el i -ésimo valor, el cual corresponde a P_k .
 - Si i no es un entero, entonces i contiene una fracción igual a un medio, con lo que el valor P_k será el promedio de los datos que ocupan el lugar nk y $(nk + 1)$.

Con el procedimiento antes descrito, se encontrarán cuatro niveles de embalse (P_{25} , P_{50} , P_{75} y P_{90}) correspondientes a los percentiles 25, 50, 75 y 90.

Se analizarán los niveles diarios del embalse reportados al CND para el período de los últimos seis (6) años calendarios continuos.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO No. 2 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LAS PRUEBAS

Para cada nivel de embalse en el cual se realizará la prueba representativa para un percentil determinado, la potencia a la cual se hará la prueba será la misma registrada ante el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC).

DOCUMENTOS DE LA PRUEBA

Para la realización de la prueba se requiere la información básica referente a la información general sobre la planta y las mediciones realizadas.

Los resultados obtenidos serán consignados en tres documentos básicos:

1. Protocolo de Pruebas del Factor de Conversión Hidráulico
2. Informe de Pruebas del Factor de Conversión Hidráulico
3. Anexos

A continuación se describen estos documentos.

1. Protocolo de Pruebas del Factor de Conversión Hidráulico

Se utilizará un formato para cada prueba realizada, el cual consta de las siguientes secciones:

- a. Información general
- b. Datos tomados durante las pruebas
- c. Resultados de las pruebas y anexos

a. Información General

En esta sección se incluirán los datos generales sobre cada unidad. Es deseable que la firma Auditora (Ver Numeral No. 6) tenga la información aquí incluida con anterioridad a las pruebas, con el fin de disminuir el tiempo necesario en el sitio.

- **La planta y la prueba que se realiza:**

Se anotará el nombre de la planta, el tipo (filo de agua o con embalse regulador), su localización, el número de unidades con que cuenta, la fecha de la prueba, el nombre del propietario o del operador y el percentil al cual se va a realizar la prueba.

- **Las unidades de generación:**

Se anotará el tipo de turbina, fabricante de la turbina, el modelo y fecha de iniciación de la operación comercial, así como el fabricante del generador, capacidad, voltaje y factor de potencia de diseño.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Para cada unidad se anotarán la capacidad bruta (en bornes de generador) y neta (en bornes de alta tensión del transformador principal), tanto nominal como la efectiva con la que cada unidad se encuentra registrada ante el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) en el momento de la prueba, así como el total de horas acumuladas de operación y las transcurridas desde el último mantenimiento mayor hasta el día de la prueba.

- **Sistema de medición de caudales:**

Se especificará el método de medición de caudal a ser utilizado durante la prueba.

La medición del caudal utilizado por unidad podrá ser realizada por uno de los siguientes métodos: a) Ultrasonido b) Inyección de Trazadores c) Termodinámico d) Aforo de una sección hidrométrica aguas abajo de la descarga (método hidrométrico) o e) Por diferencia de presiones (método del tubo Pitot). Los métodos de aforo aparecen descritos en forma detallada en los Anexos Nos. 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

La selección del método de aforo será realizada por cada agente considerando las características propias de cada planta.

Para cada instrumento se anotará la marca, tipo, número de serie, clase y precisión, así como la fecha de las verificaciones - comparaciones periódicas, más reciente (vigente durante la prueba).

- **Sistema de medición de niveles en el embalse:**

Se reportará el sistema de medición utilizado para medir el nivel del embalse.

El nivel del embalse se leerá directamente de los instrumentos que posea el embalse para este fin.

- **Medidores de energía:**

Se incluirán los datos de los instrumentos de medición de energía eléctrica que serán utilizados para la prueba.

Para cada instrumento se anotará la marca, tipo, número de serie, clase y precisión así como la fecha del certificado de calibración más reciente (vigente durante la prueba).

En lo que se refiere a grado de precisión, calibración y certificación de los contadores de energía eléctrica, en todas las plantas se debe dar cumplimiento a lo dispuesto en la reglamentación vigente relacionado con la medición de energía o a los acuerdos establecidos entre el ASIC y cada planta.

Para la prueba se medirá la energía en el contador principal o de respaldo si el principal fue reportado al ASIC con problemas.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

b. Datos tomados durante la prueba

Siempre que fueren técnicamente compatibles con el método de medición adoptado, la prueba tendrá una duración de una hora por unidad y se tomarán las siguientes lecturas:

i. Valores instantáneos

Se tomarán las siguientes lecturas instantáneas con intervalos de diez (10) minutos.

- Potencia, MW en bornes del generador. Esta medición se toma solamente para controlar que la carga de la unidad permanezca constante (la desviación máxima de la carga con relación a la potencia no podrá ser mayor al 2% del promedio de los valores medidos durante la prueba) y no es utilizada en los cálculos del factor de conversión hidráulico. Se utiliza el vatímetro propio de la unidad en la prueba. Durante la prueba sólo se permitirá que se presente un dato de potencia mayor a la desviación máxima, en caso de que se presente más de un dato por fuera de este rango, la prueba será rechazada por el Auditor.
- Caudal en m^3/s con los instrumentos definidos para el método seleccionado. En caso de utilizar el método hidrométrico se deberá tener en cuenta el tiempo de rezago o viaje del flujo desde el sitio de descarga y el punto de medición del caudal.
- Para el caso de trazadores se utilizará una inyección en el punto medio de la hora.

Nivel del embalse (en m.s.n.m) usando el medidor propio del embalse. Al inicio de la prueba se debe comprobar que el nivel del embalse esté dentro de la Banda de Tolerancia correspondiente a las variantes 1, 2 ó 3 del numeral 5 del presente Protocolo.

ii. Valores acumulados

Se utilizará un Método Directo para calcular el Factor de Conversión asociado al nivel del embalse. Este método considera cada unidad hidráulica de generación como un sistema "Input-Output" o tipo "caja negra", es decir, se medirá el caudal proporcionado a la unidad generadora y la correspondiente energía entregada por ella a la red del Sistema Interconectado Nacional.

Se tomarán los siguientes valores acumulados:

- Se medirá la energía eléctrica neta entregada al Sistema Interconectado Nacional en la frontera comercial, utilizando los instrumentos propios de la planta. Esta energía se medirá tomando las lecturas inicial y final del contador de la unidad y haciendo la diferencia. Si el contador está instalado en la salida de alta tensión del transformador principal, estas lecturas se anotarán en la

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

columna Contador No. 1, y el resultado es la energía eléctrica neta. Si el contador está instalado para medir energía generada en bornes de generador y existe un acuerdo legal entre la planta y el Mercado de Energía Mayorista respecto a la medición de energía eléctrica, se tomarán también las lecturas del contador de auxiliares y se anotarán en la columna Contador No. 2; y si fuese necesario, en la columna Contador No. 3. La energía neta será en este caso la diferencia entre las columnas Contador No. 1 (generación bruta) y la suma de las columnas Contador No. 2 y Contador No. 3 (consumo de auxiliares), en estos casos se deberán tener en cuenta las pérdidas del transformador elevador del generador. Durante la prueba del Factor de Conversión deberán estar en funcionamiento todos los equipos auxiliares propios de la unidad, es decir aquellos que son estrictamente necesarios para que la unidad produzca energía.

- El caudal utilizado en la unidad en el mismo período, corresponderá al valor promedio de las seis (6) lecturas tomadas a lo largo de la prueba. Si alguna de las lecturas tiene una desviación superior al 2% del promedio, esta no será tomada en cuenta para el cálculo del promedio, sin que sea causal de rechazo de la prueba, sin embargo, si se presenta más de una lectura por fuera de este rango, la prueba será rechazada por el Auditor. En el caso de utilizar el aforo hidrométrico para el cálculo del caudal, el Auditor podrá optar por realizar al menos una medición del caudal durante la prueba, o tomar las lecturas de los niveles de la sección hidrométrica más cercana (seis lecturas), para la cual se dispondrá de la curva de gastos debidamente calibrada.

La hoja de datos tomados durante la Prueba (Anexo 8) será firmada por el representante del propietario u operador de la planta y por el representante de la firma Auditora.

c. Resultados de las pruebas

En esta sección del formato se anotarán los datos medidos de caudal utilizado durante el período de la prueba y la generación eléctrica neta en MWh.

El caudal promedio utilizado en la prueba, el nivel promedio registrado en el embalse durante la prueba y la energía neta generada en la hora, serán los datos oficiales usados para la estimación del factor de conversión asociado a un nivel determinado. Se entiende que el factor de conversión calculado durante la prueba queda asociado con el nivel promedio del embalse durante la misma prueba.

La función del Factor de Conversión se construirá (ver Anexo No. 7) por parte del Auditor, una vez se realice la totalidad de las pruebas para los niveles de referencia. (Ver Anexo No. 1).

2. Informe de Pruebas del Factor de Conversión Hidráulico

En el Informe de Pruebas se consignará el nombre de la planta, propietario u operador, fecha de la prueba y nombre de los representantes del Agente y de la firma Auditora que participaron en la ejecución de la misma.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Se hará un breve resumen del desarrollo de la prueba en cuanto a la hora en que se realizó, carga de las unidades, etc.

Se anotarán los resultados de las pruebas en términos de potencia (MW), energía generada en la hora (MWh), caudal utilizado (m^3/s), nivel en el embalse (m.s.n.m), eficiencias, el percentil correspondiente a este nivel y la capacidad efectiva a la cual se realizó la prueba.

De manera general, pero especialmente en el caso de plantas cuyos instrumentos de medición de caudales han sido instalados de manera permanente en el sistema de conducción y cuentan con un documento de calibración de fábrica que certifique que el dispositivo no requiere calibraciones posteriores, el Auditor deberá realizar una evaluación de la consistencia de las mediciones del caudal medido durante las pruebas utilizando procedimientos indirectos, debidamente sustentados, basados en las mediciones de los diferentes parámetros realizadas durante las pruebas y en las características de fabricación de los equipos de generación (curvas de eficiencias de turbinas, generadores, transformadores, etc.), correspondientes a las condiciones de medición evaluadas. La documentación con la información de tales características deberán ser incorporadas como parte del soporte del reporte de la firma Auditora.

En el caso de que las evaluaciones de la consistencia de las mediciones de caudal presenten desviaciones no compatibles con la confiabilidad esperable para el sistema de medición de caudales utilizado, el Auditor notificará esta situación al agente responsable de la planta auditada, para que éste tome las medidas correctivas pertinentes para garantizar la confiabilidad del sistema de medición de caudales utilizado y se consignarán las observaciones particulares a que haya lugar.

3. Anexos

Para cumplir con los estándares del protocolo, será obligatorio anexar los siguientes documentos:

- Diagrama unifilar simplificado indicando el punto de medición de la energía neta generada.
- La información general de cada unidad, datos tomados durante la prueba, de acuerdo con las Secciones A y B del formato de Protocolo (Anexo 8).
- Copia del certificado de calibración de los equipos de medición de caudal (donde sea aplicable).
- Datos técnicos del equipo con que se realizó la medición de caudal (marca, serial, quién operó el equipo).
- Diagrama que muestre el sistema de medición del caudal, indicando la localización del elemento de medición de flujo así como los instrumentos asociados.
- Podrán anexarse los documentos que a juicio del Auditor contribuyan a dar claridad al informe.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO No. 3. MEDIDA DE CAUDAL TURBINADO POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO

1. Objetivo

Medir el caudal turbinado por máquina o planta durante la prueba.

2. Antecedentes y Método de Medición

Dados los diversos métodos de medidas disponibles actualmente y teniendo en cuenta la configuración física de las tuberías en las plantas, uno de los métodos confiables es el caudalímetro utilizando la línea de retardo ultrasónica diferencial.

Un pulso ultrasónico se envía por un sensor a un segundo sensor en ángulo predefinido α respecto a la dirección del flujo. La emisión del haz se invierte y rebota luego al otro sensor. El tiempo de retardo entre los pulsos de emisión y recepción, en el sensor opuesto, permite conocer el caudal.

Se utiliza este método por la facilidad en el montaje y desmontaje de los equipos, no requiere cambiar la topología de la tubería, efectuándose la medida sin contacto, basado en el tiempo en tránsito del ultrasonido.

3. Características Técnicas de los Equipos de Medición

Las características que deben cumplir los equipos de medición de ultrasonido son las siguientes:

- Rango de velocidad de flujo a medir desde 0.3 hasta 12.2 m/s., con una precisión del 2%
- Capacidad para medir flujos en tuberías de ½" hasta 16 pies (12.5 mm hasta 5.000 mm).
- Permitir realizar medidas de flujo en tuberías de acero como de concreto.
- Preferencialmente con transductor para establecer con precisión el espesor de la pared de la tubería
- Poseer software para ser instalado en un PC y que permita el almacenamiento de datos y el despliegue en pantallas la visualización de los datos leídos.
- Precisión full escala +/- 2 %.
- Capacidad para corregir y eliminar errores de frecuencia y de turbulencia
- Que pueda ser utilizable en agua limpia, y sucia con tubería llena.
- Facilidad para el montaje de sensores exteriormente, sin necesidad de vaciar la conducción.
- Capacidad de medir espesores de tuberías hasta de 3" (76.2 mm).

4. Alcance del Montaje de los Equipos y Medición

El montaje del equipo y medición de los equipos se realiza de la siguiente manera:

- Se revisan las certificaciones de patronamiento de los equipos que las requieran.
- Se prepara una cinta donde se puedan sujetar y montar los sensores en la tubería.
- Se montan los sensores en la tubería de acuerdo al ángulo entre los mismos.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

- Se verificarán las distancias entre los sensores de acuerdo con el manual o las especificaciones del equipo.
- Verificar el espesor de la tubería a medir con equipo de ultrasonido para medición de espesores o con el mismo equipo si trae sensores para estos ajustes.
- Se conectan los sensores al equipo programable.
- Se programa el equipo de acuerdo a medidas internas de la tubería y al fluido.

5. Condiciones Específicas que Deben Cumplir los Equipos a Utilizar

La exactitud de la medida garantizada debe ser de $\pm 2\%$, bajo las siguientes condiciones:

- La medida debe hacerse en un tramo rectilíneo de la tubería.
- Los tamaños de tuberías deben de estar entre DIN 12.5 a 5.000 mm. (1"- 192")
- Los Rangos de caudal a medir deben estar entre 1 y 450.000 m³/h. (0.0003 – 125 m³/s.)
- La velocidad del fluido no debe ser superior a 12 m/s.
- No debe existir el efecto de turbulencia ocasionado por codos o cambios bruscos de dirección cercanos a la zona de los sensores.

6. Procedimiento de Medición

La instalación, procesos de medición y restricciones de operación de los medidores de caudal se realizará de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Para el caso de las pruebas de Factor de Conversión, la utilización de caudalímetros portátiles no intrusivos se realizará por medio de abrazaderas. Si en alguna planta se desea tener un sistema de medición permanente, su instalación definitiva, calibración, precisión de medida y vigencia de la calibración serán certificados por el proveedor y fabricante del equipo.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

ANEXO No. 4. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES UTILIZANDO EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE TRAZADORES

1. Objetivo

Medir el caudal turbinado para determinar el Factor de Conversión.

2. Procedimiento

Una vez analizada cada unidad de una planta, se selecciona el sitio donde se mide el caudal utilizando el método de trazadores.

3. Generalidades sobre trazadores

Se define como trazador cualquier sustancia que incorporada a la masa de un fluido, permite medir con más exactitud el paso del mismo a través de un conducto.

4. Trazador ideal

Para utilizar un trazador en un estudio, este debe cumplir ciertas condiciones que lo caractericen como trazador ideal, a saber:

- Su comportamiento debe ser igual al agua, es decir el trazador y el agua deben desplazarse a la misma velocidad.
- No debe reaccionar física ni químicamente con el agua, para no interferir en su posterior detección.
- No debe ser absorbido por la conducción ni por el medio.
- No debe realizar intercambios iónicos con los materiales contenidos en el medio ni el material de las paredes de la conducción.
- Al ser adicionado no debe alterar la densidad, viscosidad y la temperatura del agua.
- Debe ser fácilmente soluble en agua
- No debe contaminar el medio.

5. Trazadores utilizados en medición de caudales.

5.1. Trazadores artificiales

Existen los siguientes tipos:

- Trazadores sólidos en suspensión
- Trazadores químicos solubles

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

- Trazadores químicos colorantes
- Trazadores isotópicos estables
- Trazadores isotópicos radioactivos naturales
- Trazadores radioactivos artificiales.

5.2. Trazadores radioactivos expresamente adicionados

Los isótopos radioactivos son preparados artificialmente en reactores nucleares, esos radioisótopos se detectan en el agua a través de las radiaciones emitidas. Por las mayores ventajas que ofrecen en las técnicas de medida, suelen utilizarse, preferiblemente, los emisores de rayos gamma.

5.3. Radioisótopos utilizados

Los más importantes son los siguientes:

- Yodo-131 ($t_{1/2} = 8.05$ días)
- Bromo-82 ($t_{1/2} = 36$ horas)
- Cromo-51 ($t_{1/2} = 27.8$ días)
- Oro-198 ($t_{1/2} = 2.7$ días)
- Trítio ($t_{1/2} = 12.2$ años)

Donde $t_{1/2}$ = Período de Semidesintegración.

6. Ventajas importantes

- a. Extraordinaria sensibilidad y resolución de medida
- b. Posibilidad de medida "in situ"
- c. Vida limitada del trazador

7. Precisión del método

De acuerdo a la norma CEI-EIC-41 el método cumple con la precisión de $\pm 2\%$

8. Método de inyección instantánea

Este método consiste en inyectar un volumen (V) de solución radioactiva y con una concentración específica (C_1) en forma instantánea dentro del medio. La concentración en un punto de muestreo aguas abajo (C_2) será variable y por lo tanto función del tiempo.

Si se tiene en cuenta que la cantidad de radioisótopo inyectado es el mismo que pasa por el sitio de muestreo, se tendrá la siguiente ecuación de conservación.

$$C_i \cdot V_i = C \cdot dv \quad (6)$$

Siendo dv un elemento de volumen de la corriente. Por lo tanto, el volumen total que pasa por el punto es:

$$V = Q \cdot t \quad \text{donde, } dv = Q \cdot dt$$

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

$$\text{Luego } C_i * V_i = Q \int C * dt = A$$

Siendo A la actividad o cantidad de radioisótopos inyectado

$$\text{Se obtiene } Q = \frac{A}{\int C * dt}$$

Para determinar la descarga Q es necesario conocer la cantidad de isótopo inyectado y evaluar la integral. Los datos obtenidos se llevan a una gráfica de concentración contra tiempo, y el área bajo la curva da el valor de la integral.

9. Aspectos de seguridad para el uso de trazadores radioactivos

A continuación se describen las consideraciones básicas de seguridad radiológica y se detalla la planeación cumplida en la ejecución de los trabajos referente a seguridad en los procesos de operación, tales como transporte de material radioactivo al sitio, inyección de radiotrazador, detección y protección de la población en general y el medio ambiente.

10. Consideraciones básicas de seguridad radiológica

El objetivo de la protección a la radiación es limitar el tiempo de exposición, de modo que los efectos nocivos causados a los individuos, sociedad y medio ambiente sean tan pequeños como sea posible.

Los principios de protección de la radiación están contenidos en las recomendaciones del ICRP (International Comisión of Radiological Protection), en lo concerniente a las dosis máximas permisibles.

Toda exposición se debe mantener de acuerdo a los parámetros recomendados, el trazador debe cumplir los requisitos de baja radiotoxicidad, vida media corta, actividad máxima permisible y utilizar instrumentos adecuados en medida de radiación,

Como se ha mencionado, los radiotrazadores utilizados en aplicaciones en hidrología y estudios ambientales, son de vida media corta, y una vez se dispersa en el ambiente, la concentración decrece en varios órdenes de magnitud.

10.1. Seguridad de los trabajadores expuestos.

Deben prepararse en el manejo, transporte, inyección, recolección de muestras en campo y demás aspectos técnicos relacionados con el manejo del trazador seleccionado.

10.2. Seguridad de la población

Está basada en un adecuado control de las cantidades de radiación transferidas al ambiente evitando que sean superiores al máximo permisible por año y consecuentemente protegiendo a la población potencialmente expuesta.

10.3. Seguridad en el transporte del material radioactivo

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

El empaque usado para el transporte del material radioactivo debe cumplir con las normas de regulación, se transporta en castillos de plomo debidamente marcados y rotulados de acuerdo con las normas de protección.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO No. 5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN POR EL MÉTODO DE AFORO HIDROMÉTRICO

Este anexo presenta una breve descripción del procedimiento de medición de caudales, utilizando el método del aforo hidrométrico.

Este método, que se utiliza para aforos en corrientes con flujo a superficie libre, no obstante tener en promedio errores que pueden variar del 5% al 10% del valor real, es recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y es el de más amplia difusión entre los servicios hidrometeorológicos de todos los países. Este método se conoce también como método de área-velocidad, dado que se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = v * A \quad (1)$$

Donde: Q caudal de la sección del flujo, en m^3/s
 v velocidad media de la sección, en m/s
 A área de la sección, en m^2 .

Para una mejor comprensión, la figura 1 muestra la distribución volumétrica del flujo que pasa por una sección en cada unidad de tiempo.

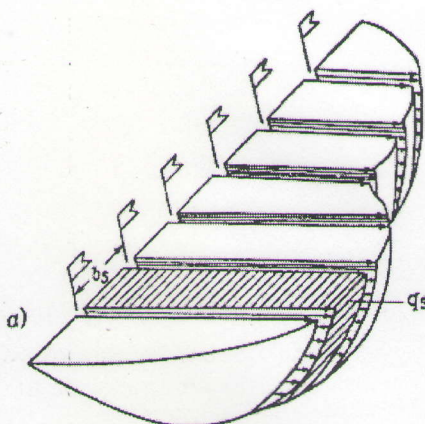


Figura 1. Modelo área - velocidad

Nótese que la dinámica del flujo no es homogénea. Esto se debe a que el campo dinámico (velocidad) varía con la profundidad y a medida que el flujo se aleja de las riberas.

El método de área – velocidad subdivide el flujo en diferentes secciones individuales, que llamaremos s , (véanse recomendaciones generales al final de este anexo), cada una de las cuales tiene un caudal parcial, que se calcula utilizando de manera análoga la fórmula (1), así:

$$q_s = v_s a_s \quad (2)$$

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Donde: q_s caudal de la sección s
 v_s velocidad media en la sección s
 a_s área de la sección s

El caudal total (Q) es pues, la suma de los caudales parciales.

$$Q = \sum_{s=1}^n q_s \quad (3)$$

En la fórmula (2), cada sección parcial de ancho b_s , se halla delimitada por dos verticales de velocidad (i e $i+1$), siendo la velocidad media de una sección cualquiera, el promedio de las velocidades de dos verticales vecinas, así:

$$v_s = \frac{1}{2}(v_i + v_{i+1}) \quad (4)$$

Para obtener una mayor aproximación en la determinación de la velocidad en una vertical, es importante medir dicho parámetro en puntos localizados de la sección transversal, donde la velocidad promedio ocurra con mayor probabilidad. Estas velocidades serán multiplicadas por el peso asignado a cada profundidad de medición, obteniéndose de esta manera la velocidad en una vertical dada de la sección.

Generalmente, en un canal la velocidad máxima ocurre entre 0.05 y 0.25 del tirante (profundidad) por debajo de la superficie del agua, y la velocidad mínima se desplaza en el sitio de contacto del flujo con la superficie rugosa del lecho. La velocidad media se localiza aproximadamente a 0.60 del tirante. Sin embargo, la naturaleza misma del lecho puede hacer que la velocidad media se desplace desde esta profundidad hacia otra, difícil de identificar.

El procedimiento recomendado en este anexo es el del aforo detallado, el cual considera que la medición de velocidad se deberá hacer a cinco (5) diferentes profundidades.

Aforo detallado:

Se realiza cuando se mide la velocidad del flujo en cinco (5) diferentes profundidades, para cada vertical de medición.

La velocidad media en una vertical se calcula utilizando la fórmula recomendada por la OMM, como sigue:

$$v = 0.1(v_{\text{sup}} + 3v_{0.2h} + 3v_{0.6h} + 2v_{0.8h} + v_{\text{fondo}}) \quad (5)$$

Donde los subíndices *sup*, *0.2h*, *0.6h*, *0.8h* y *fondo* denotan las velocidades medidas a nivel superficial, al 20%, 60%, 80% de la profundidad y en el fondo de la sección.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Si no es posible estimar la velocidad en las orillas, dicha velocidad se calcula utilizando la velocidad de la vertical más cercana a cada ribera, multiplicándola por un factor (k) obtenido de la siguiente tabla:

Condición de la ribera	K
Pendiente suave con profundidad 0 en la ribera	0.7
Ribera natural e irregular	0.8
Ribera revestida de un material uniforme	0.9
Presencia de espacios muertos	0.5

Si por algún motivo es imposible medir la velocidad en una vertical en cinco puntos, se acepta que dicha medición sea en tres puntos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{v} = 0.25(v_{0.2h} + 2v_{0.6h} + v_{0.8h}) \quad (6)$$

Recomendaciones:

La OMM recomienda para la selección del sitio de medición lo siguiente:

- La sección debe ser recta y uniforme aguas arriba del sitio de medición, en una distancia de al menos cinco (5) veces el ancho total de la misma.
- El lecho de la sección debe ser suave, libre de vegetación, rocas u otras obstrucciones.
- El lecho y las bancas de la sección deben ser firmes y estables.
- La dirección del flujo debe ser normal a la sección de medición.
- Las velocidades deben ser mayores a 0.15 m/s y menores de 2.5 m/s

Se debe tratar de que no pase más del 10% del caudal total, a través de alguna sección parcial. Por ello, es aconsejable dividir la sección de aforos en al menos 11 secciones parciales.

El instrumento utilizado para la medición de la velocidad es el correntómetro, micromolinete o caudalímetro. Por regla general cada instrumento tiene asociada una tabla de calibración única, que relaciona la frecuencia de giro de sus hélices por unidad de tiempo, con la velocidad de la corriente.

A este respecto se recomienda que el equipo que haga el aforo por el método de área - velocidad, conozca de antemano los instrumentos de medición.

Finalmente, en caso de utilizar el correntómetro mecánico para la medición de la velocidad, se recomienda que cada medición tenga al menos una duración de 45 segundos.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

ANEXO No. 6. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES, UTILIZANDO EL MÉTODO DE DIFERENCIA DE PRESIONES

1. Introducción

En el presente Anexo se describen los Métodos de medición de caudales que son utilizados en centrales Hidroeléctricas como son el Tubo Pitot y el Tubo Prandtl. Con estos métodos se pueden medir caudales en conductos cerrados antes de turbinar con una precisión hasta de $\pm 2\%$, de acuerdo con la tabla AI de la norma CEI IEC-41 "Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump - turbines". 1991-11.

2. Método de medición de caudal por medio del tubo pitot en conductos cerrados de centrales hidroeléctricas.

Este método fue ideado por Pitot para medir la presión total, llamada también presión de estancamiento (suma de la presión estática y de la presión dinámica). En la siguiente figura 1, se pueden ver las líneas de corriente.

Al encontrarse el flujo al inicio del tubo punto 1 con la corriente, forma un punto de estancamiento o de remanso. La velocidad en ese punto se reduce a cero y la presión, se aumenta hasta el valor obtenido en la siguiente fórmula:

$$P_1/\gamma = P_t/\gamma = P_0/\gamma + V_0^2/2g$$

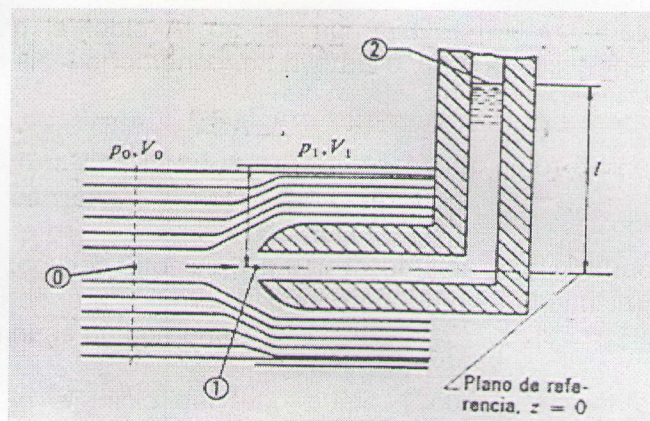


Figura 1

Donde:

- P_t Presión total o de estancamiento o de remanso
- P_0 Presión de la corriente antes de la perturbación
- V_0 Velocidad de la corriente antes de la perturbación (teóricamente en el infinito)
- G Aceleración de gravedad
- $\gamma = \rho \cdot g$ Peso específico, que se define como el peso por unidad de volumen

Suponemos por sencillez, que los puntos 0 y 1 se encuentran en el mismo plano horizontal, despreciando así las pérdidas.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

Aplicando la ecuación anterior entre las secciones 1 y 2 tendremos:

$$P_1/\gamma + V_1^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2g + Z_2$$

Pero en 1 y 2 se presentan condiciones estáticas, es decir, $V_1 = V_2 = 0$ y $Z_2 = L$

Luego

$$P_t = \gamma L = \rho g L$$

Esta fórmula expresa la presión de estancamiento en el tubo Pitot.

Donde:

$$P_t = P_0 + \rho V_0^2/2g$$

y

$$V_0 = \sqrt{(P_t - P_0) \cdot 2g / \rho}$$

Conociendo la velocidad del flujo y teniendo el área interna (A) de la conducción cerrada o tubería tenemos que

$$A = \pi D^2/4$$

Por consiguiente, el caudal en la sección medida es:

$$Q_0 = V_0 \cdot A = \pi D^2/4 \cdot V_0$$

$$Q_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{(P_t - P_0) \cdot 2g / \rho}$$

La fórmula que definimos últimamente nos permite calcular el caudal que pasa por una tubería de una Central Hidroeléctrica a través del método del Tubo Pitot.

3. Método de medición de caudal por medio del tubo de Prandtl en conductos cerrados en centrales hidroeléctricas.

Fue idea de Prandtl la de combinar en un solo instrumento el Tubo Pitot y un tubo Piezométrico. El tubo Pitot mide la presión total, en tanto que el tubo Piezométrico mide la presión estática, y el tubo de Prandtl mide la diferencia de las dos, que es la presión dinámica. Es muy usado frecuentemente en los laboratorios con líquidos y gases para medir la velocidad y el caudal.

En la figura-2 se muestra un tubo Prandtl introducido en un fluido de densidad ρ , conectado a un manómetro diferencial, cuyo líquido manométrico tiene una densidad ρ_m

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

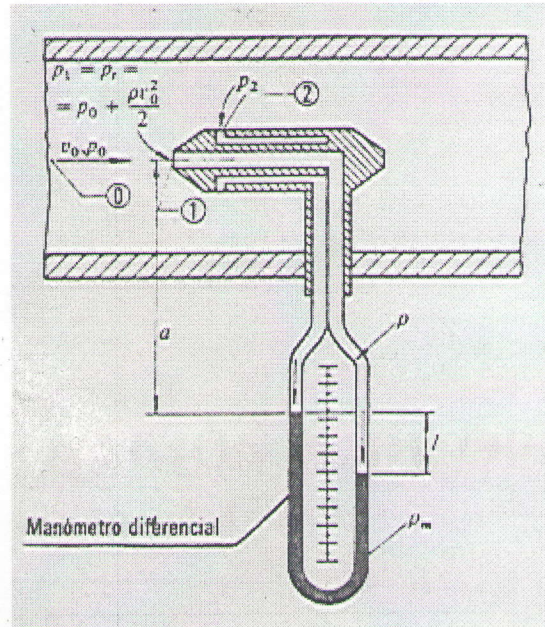


Figura 2

El tubo Prandtl, al ser introducido en el fluido produce una perturbación, que se traduce en la formación de un punto de estancamiento, de tal forma que:

$$P_1 = P_t$$

$$V_1 = 0$$

En el punto 0 de la corriente no perturbada tiene la presión P_0 y la velocidad V_0 , que es la velocidad a medir.

El punto 1 se elige a la entrada del tubo Pitot, en tanto que en el punto 2 (véase figura 2) se tiene en realidad un tubo piezométrico con diversas entradas laterales que no perturban la corriente y que miden por lo tanto la presión estática.

Despreciando en primera aproximación las diferencias de alturas de velocidad y geodésicas entre los puntos 0 y 2 que suelen ser muy pequeñas por ser el tubo muy fino y estar en la corriente en 2 prácticamente normalizada después de la perturbación en 1, se tendrá, despreciando también las pérdidas:

$$V_2 = V_{0t}$$

$$P_2 = P_0$$

Donde V_{0t} - Velocidad teórica en la sección 0

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli entre 0 y 1 ($Z_0 = Z_1$, $V_1 = 0$ -Punto de estancamiento).

$$P_0 + \rho V_{0t}^2 = P_1$$

$$P_1 - P_2 = \rho V_{0t}^2/2$$

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN

CNO

Aplicando la ecuación fundamental de la hidrostática entre los puntos 1 y 2 ($Z_1 \cong Z_2$)

$$P_1 = P_2 + \rho g a + \rho_m g L - \rho g L - \rho g a$$

Finalmente se tiene que:

$$\rho V_{0t}^2/2 = (\rho_m - \rho) g L$$

que es la presión dinámica teórica del tubo de Prandtl.

Despejando, tenemos:

$$V_{0t} = \sqrt{2g \cdot (\rho_m - \rho) \cdot L / \rho}$$

Para aplicar la ecuación de velocidad en medición de caudales de agua tenemos:

$$V_{0t} = \sqrt{2g \cdot (\delta - 1) \cdot L}$$

Donde δ es la densidad relativa del líquido manométrico.

En la práctica V_2 es algo mayor que V_0 , por lo tanto de acuerdo con la ecuación de Bernoulli P_2 es inferior a P_0 . Por consiguiente, la velocidad a medir (que es la real V_0) es la siguiente:

$$V_0 = C_v \sqrt{2g \cdot (\rho_m - \rho) \cdot L / \rho}$$

Esta es finalmente la velocidad real de la corriente de agua en el tubo Prandtl.

Donde C_v - Coeficiente de velocidad del Tubo Prandtl, que oscila entre 0.01 y 1.03 y que se determina experimentalmente. Sin embargo, si el tubo se orienta paralelamente a las líneas de la corriente y con una inclinación inferior al 10° , puede hacerse aproximadamente $C_v = 1$.

Conociendo la velocidad y teniendo el área interna de la conducción del agua hacia las turbinas tenemos:

$$A = \pi D^2/4$$

$$Q_0 = \pi D^2/4 \cdot V_0$$

Q_0 - Caudal medido hacia la turbina o turbinas.

Las dimensiones de los tubos Prandtl están normalizadas y en la figura 3 se muestran las relaciones dimensionales que se deben observar.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

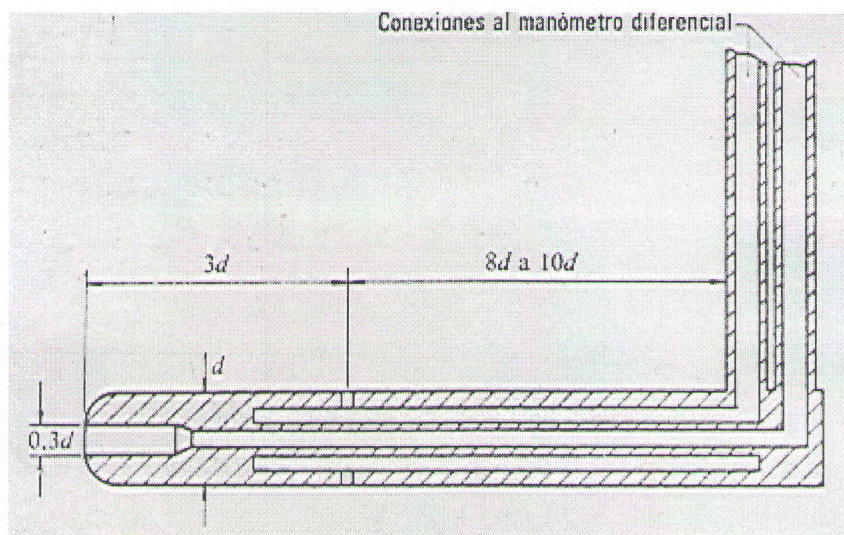


Figura 3

NOTA: Dado, que en la práctica ingenieril existen diversas variantes al método general de medición por diferencia de presiones, expuesto en este anexo, el Auditor para avalar este método, deberá conocer de antemano las características particulares de los instrumentos utilizados para la estimación del caudal en aquellas centrales que utilicen este sistema.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO No. 7. PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO Y EL CÁLCULO DEL FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO MEDIANO

El procedimiento general es el siguiente:

1. La firma Auditora seleccionada por el agente de la lista prevista en el Acuerdo correspondiente (Ver Acuerdo 576 de 2012 o aquellos que lo modifiquen o sustituyan) auditará las pruebas y calculará el Factor de Conversión para cada nivel seleccionado.
2. A partir de los valores de factor de conversión medidos para cada nivel, calculados como se indicó en el numeral 5 del presente Protocolo, el Auditor utilizará el método de ajuste, físicamente factible, aplicable al grupo de valores obtenidos, para construir la relación entre el Factor de Conversión y su nivel asociado, o función del Factor de Conversión³.

Para la construcción de esta relación se podrán tomar, además de los puntos asociados a los cuatro percentiles característicos definidos en este Protocolo para las pruebas de la campaña correspondiente a la vigencia para la que se actualiza la función del Factor de Conversión, otros puntos de pruebas auditadas realizadas dentro de la misma campaña de mediciones realizadas en niveles del embalse adicionales a los correspondientes a los cuatro percentiles característicos.

3. El Auditor extrapolará la función obtenida en el anterior numeral 2, de tal forma que cubra el rango entre el Nivel Mínimo Técnico y Nivel Máximo Físico.
4. Con la función del Factor de Conversión obtenida, se estima el Factor de Conversión Mediano para el nivel asociado al percentil 50.
5. Las plantas filo de agua estimarán su Factor de Conversión con una sola prueba, tal como se menciona en el numeral 8 del presente Protocolo.

Una vez determinada la función del Factor de Conversión siguiendo los lineamientos estipulados en el presente Protocolo, la misma tendrá la vigencia definida en el numeral 5 de este Protocolo.

³ El comportamiento teórico de la potencia, el caudal turbinado y las pérdidas de energía hidráulica (en el sistema de conducción y en los dispositivos de regulación de caudales de las turbinas), permite conceptualizar la relación entre el Factor de Conversión y el nivel del embalse (función del Factor de Conversión) mediante una expresión de tipo polinómico, acotada inferiormente por el Nivel Mínimo Técnico del embalse. De esta forma, la función del Factor de Conversión es una función continua, monótonamente creciente, modulada por el tipo de prueba realizada, ya sea con potencia constante o variable para todos los niveles del embalse (apertura variable o constante del sistema de regulación del caudal turbinado, respectivamente).

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO No. 8

																								FORMATO 1 DE 2			
PROTOCOLO DE PRUEBA																											
FACTOR DE CONVERSIÓN HIDRÁULICO																											
PLANTAS HIDRÁULICAS																											
A. INFORMACIÓN GENERAL																											
Planta														# Unidades				Fecha de la prueba									
Propietario/Operador														Localización													
Tipo de Turbina		Pelt on												Modelo				Inicio Operación Comercial									
		Francis																									
		Otra																									
TURBINA		Fabricante																									
CAPACIDAD, kW		Bruta				Neta																					
Nominal																											
Efectiva actual																											
Horas Operación		Totales				Desde último mantenimiento. mayor																					
GENERADOR		Fabricante												Capacidad, kVA				Voltaje, V				Cos					
R																						☐					
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN		Marca				Tipo				No. de serie				Precisión				Clase		Fecha última calibración							
Contador No. 1																											
Contador No. 2																											
Contador No. 3																											
																								FORMATO 2 DE 2			

ACUERDO 669
39