

“Cuantificación de las Incertidumbres Asociadas a los Balances Energéticos del SIN”

**ANÁLISIS DE ENTREGA DE INFORMACIÓN POR PARTE DE XM,
CRONOLOGÍA DE LA ENTREGA, INFORMACIÓN FALTANTE Y ESTADO DE
AVANCE DE LOS ALCANCES**

Entidad Interesada:

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN - CNO

Entidad Ejecutora:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN

Director del Proyecto:

JAIME IGNACIO VÉLEZ UPEGUI

FACULTAD DE MINAS

06 de febrero de 2019

Medellín

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.....	2
3.	ANÁLISIS DEL AVANCE DE LOS ALCANCES Y ACTIVIDADES	13
4.	CONCLUSIONES.....	17

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el análisis de la dinámica de entrega de la información asociada a la metodología de cálculo del balance de energía del SIN por parte de XM y se lista la información faltante requerida para el entendimiento de las estimaciones dentro del desarrollo del contrato N° 732-1864 CNO Eléctrico, firmado entre La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y la Alianza Fiduciaria S.A.

Se resalta que durante los 4,5 meses de ejecución de los trabajos la Universidad ha desarrollado constantemente actividades de análisis de información, exploración de las estimaciones, formulación y generación de informes y presentaciones, así como asistencia a reuniones de trabajo con XM y los Agentes de SIN miembros del CNO, con el fin de llevar los objetivos del contrato a un buen término.

Así mismo se presenta un análisis del porcentaje de avance de los alcances del contrato y las actividades propuestas en el plan de trabajo presentado por la Universidad para el proyecto.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LOS BALANCES DE ENERGÍA

Desde el inicio del proyecto, la Universidad ha desarrollado una revisión de la información disponible con el fin de tener claridad y entender la metodología implementada por XM para la estimación de los balances de energía del SIN utilizando los datos reportados por los agentes diariamente al CND.

A la fecha la Universidad no cuenta con la total claridad de cómo XM realiza el cálculo de los balances de energía en la totalidad de las cadenas, debido a que no se cuenta con una documentación metodológica que incluya:

- Variables específicas usadas por central y cadena para el cálculo de los términos de la ecuación de desbalance.
- Formulación matemática específica (particular) de cada cadena que permita entender la agregación de los factores de conversión que realiza XM para cada una de las variables de la ecuación de desbalance energético.

Luego del intercambio de información y conceptos durante los 4.5 meses que lleva de ejecución el proyecto, se ha recibido información fragmentaria en este tiempo que da cuenta de cómo se hacen las estimaciones.

Aun así, actualmente la Universidad desconoce la matemática particular mediante la cual se han realizado los cálculos de las cadenas Guatрон-Porce-Tasajera-Carlos Lleras y Pagua. De las cadenas Betania-Quimbo y Alban se cree que corresponde a la formulación presentada en la demostración del desbalance de energía suministrada por XM.

En el caso de la cadena Guatapé-Nare la Universidad tuvo que realizar una “reconstrucción” de la formulación que supuestamente fue usada por XM para el caso de esta cadena, para lo cual fue necesario utilizar la información suministrada correspondiente a los resultados de los desbalances energéticos elaborados por XM para esta cadena, la cual no incorpora la formulación usada para obtener tales resultados. Luego de la inferencia de la formulación particular de esta cadena la Universidad procedió a validar con XM que la formulación inferida por la Universidad corresponde a la utilizada por XM para obtener los resultados de los desbalances energéticos suministrados; dicha validación fue corroborada por XM en la reunión realizada del pasado 31 de enero del 2019.

En la Tabla 1 se presenta la cronología del intercambio de información realizado hasta la fecha de este reporte.

Revisando el numeral 2.4 de los términos de referencia se encuentra que respecto a los balances de energía el CNO estableció que dentro de la información a ser entregada para desarrollar el trabajo se dispondría del *“Archivo de Excel preparado por XM con el cálculo de los balances energéticos por planta y el agregado del sistema”*, lo cual permite esperar que debía incluir las expresiones de cálculo y no simplemente los resultados.

No obstante, la información correspondiente al cálculo de los balances fue entregada pero sin el soporte metodológico de cálculo, que es lo que la Universidad ha tratado de esclarecer, reconstruir y documentar durante el proyecto.

Tabla 1. Intercambio de comunicaciones y recepción de información base para el contrato por parte de XM. Las comunicaciones son por intermedio de CNO.

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
NA	Anexos términos de referencia	NA	Anexo D. balance del sistema	Corresponde al balance de energía histórico agregado para todo el SIN. Los vectores de información agregados están en unidades de energía.
NA	Información base para el proyecto	16/08/2018	- Archivos balances hídricos por centrales - Archivos cuentas_energia_2017 y 2018. - Presentaciones Desbalances-SHFeb18 y Abr18	Los archivos cuentas_energia_2017 y 2018 no cuentan con la formulación matemática de la estimación de las componentes de la ecuación de balance de unidades de volumen a unidades de energía. Los archivos de balance hídrico sí cuentan con las ecuaciones para esta estimación.
NA	Información base para el proyecto	27/08/2018	Información para todas las variables por embalses.	Se entregan los mismos archivos del 16/08/2018 pero al interior tienen anotaciones.
19/09/2018	Preguntas sobre la información base entregada	25/09/2018	Respuesta a inquietudes UNAL	Las preguntas eran algunas para XM y otras para los agentes
11/09/2018	Se solicita información de La Esmeralda, San Francisco, Albán y Cadena Guatrón	17/09/2018	Se envían topologías	NA
03/10/2018	Luego de reunión virtual se requirió información de las	08/09/2018	Recibida información de Amoyá, Carlos Lleras, Otros ríos.	NA

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
	centrales Amoyá, Carlos Lleras, San Miguel, Otros ríos, Bajo Anchicayá, generaciones por central y los Factores de conversión históricos de las centrales.	09/09/2018	San Miguel, Bajo Anchicayá y generaciones por central de año 2017 y primer semestre de 2018	Los históricos de los factores de conversión no fueron recibidos
29/10/2018	Preguntas para XM debidas a la exploración de los vectores de información en masa y en energía por central	01/11/2018	Respuesta a preguntas	Se requirió realizar reunión el 09/11/2018 con XM para el entendimiento de la información
10/11/2018	Se envía presentación socializada e informe de soporte presentada en reunión del 09/11/2018 para el entendimiento de la información	13/11/2018	Se envía explicación de: - Series usadas de aportes para el cálculo de la energía para algunas centrales	Fue necesario preguntar nuevamente el 15/11/2018
15/11/2018	Email para mayor entendimiento: <i>"Teniendo en cuenta que cada central y cada cadena tienen consideraciones particulares, nos gustaría saber si existe un documento que consolide las hipótesis de trabajo y metodológicas en el uso del factor de conversión para cada uno de los términos y además las series de aportes que se consideran en el balance energético. En el caso de las cadenas, ¿se tienen restricciones asociadas a los arcos de generación? ¿se han realizado balances de masas en</i>	16/11/2018	XM anexa la demostración del balance energético en cadena y se dan las siguientes respuestas: <i>Universidad pregunta: Según observamos, con el uso del FC de la cadena (para cada central se utiliza la suma de los FC de la planta considerada, más los de las plantas que se encuentran aguas abajo en el mismo circuito de circulación), en el ejercicio suministrado por XM, los aportes utilizados corresponden a los caudales naturales de la hoya propia de cada central dentro de la cadena, que al ser afectados por el FC acumulado tiene en cuenta el efecto</i>	Fue necesario ahondar en las preguntas realizadas el 10/11/2018, dado que fue necesario interpretar que las cadenas se trabajaban con FC acumulados, las series usadas de aportes son naturales

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
	<i>las cadenas a nivel diario en forma comparativa con el balance energético?"</i>		<i>energético de la circulación de cada aporte en las diferentes plantas por las que circulará ; ¿estamos en lo correcto?</i> <i>Respuesta de XM: Sí</i> <i>Universidad pregunta:</i> <i>Teniendo en cuenta que cada central y cada cadena tienen consideraciones particulares, nos gustaría saber si existe un documento que consolide las hipótesis de trabajo y metodológicas en el uso del factor de conversión para cada uno de los términos y además las series de aportes que se consideran en el balance energético</i> <i>Respuesta XM: No hay documentos. El balance energético se basa en un principio de conservación de energía y de factores de conversión constantes. A modo ilustrativo y, con el fin permitir un mayor entendimiento del balance energético en una cadena, adjuntamos una presentación que contiene una demostración de la validez del cálculo en energía de un sistema encadenado de dos elementos. El análisis puede extenderse a cadenas con más elementos.</i> <i>Sobre las series de aportes que se</i>	

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
			<i>consideran en el balance energético, a continuación enviamos la siguiente tabla que relaciona los nombre de las series de tiempo de energía con los reportes de caudal de los agentes.</i> <i>En la columna NOMBRE aparece el nombre del rio o estación con la cual se entregó la información de energía. Las otras columnas permiten identificar el reporte del caudal en volumen usadas en los libros individuales de balances de masas.</i> <i>Los elementos resaltados han sido modificaciones e inclusiones en la contabilidad de la energía en 2018 (Posterior al ejercicio de balances de 2017)</i> <i>Pregunta Universidad: En el caso de las cadenas, ¿se tienen restricciones asociadas a los arcos de generación?</i> <i>Respuesta XM: En los balances de energía y masa NO se introducen restricciones. Los valores corresponde a generación y turbinados reportados por los agentes.</i> <i>Pregunta Universidad: ¿se han realizado balances de masas en las cadenas a nivel diario en forma</i>	

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
			<i>comparativa con el balance energético?</i> <i>Respuesta XM: Se realizó para la sistema de la sabana de Bogotá. Esto debido a la manera de reporte de EMGESA, que envía un único aporte no regulados del rio Bogotá hasta Alicachín que se asume como la mejor aproximación al caudal natural del rio Bogotá en antes del ser usado para generación. De igual manera se realizó el ejercicio de balance en masa para Quimbo + Betania.</i>	
22/11/2018	Solicitud de comentarios realizados por los agentes a los balances hídricos realizados por XM, luego de enterarnos de la información por reunión con EMGESA	23/11/2018	Se envían los comentarios	NA
21/11/2018	Solicitud de información base de los balances de energía para los años anteriores a 2017, incluyendo los FC históricos	22/11/2018	Se da la siguiente respuesta: Solicitud de la Universidad: - Archivos de balance de energía para los años anteriores al año 2017. <i>Respuesta de XM: No se tienen archivos de balance para años anteriores. El ejercicio de 2017 se realizó en forma manual (a principios de 2018) con toda la información reportada. Igualmente para el archivo de con el análisis del primer semestre de 2018.</i>	NA

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
			<i>Solicitud de la Universidad: - Información de los FC históricos (en el mismo rango de tiempo de existencia de los balances de energía) de cada una de las centrales con sus fechas de vigencia</i> <i>R/ Dado que no se tiene balance energético del punto anterior, se entendería que esta información no sería necesaria.</i> <i>Ahora bien, si el consultor desea realizar estos ejercicios de balance en energía (desagregados por planta como en el ejercicio del caso de 2017) para años anteriores, se podría recopilar la información de la energía calculada por el CND (con la información reportada en su momento) por recurso de: Aportes, Generación, Reservas y Vertimientos. Anexaríamos los factores de conversión igualmente</i>	
04/11/2018	Se reitera la solicitud del 21/11/2018, luego de reunión con el subcomité	13/12/2018	XM entrega 4 de las 6 variables históricas que solicito la UNALMED para continuar con el desarrollo del contrato de desbalances. La información de Energía está en GWh y de volumen en Mm3.	NA
		20/12/2018	XM envía segunda parte de la información solicitada por la UNALMED	NA

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
			(aportes) para continuar con el desarrollo del contrato de desbalances	
		04/01/2019	XM envía tercera parte de la información solicitada por la UNALMED (aportes) para continuar con el desarrollo del contrato de desbalances	NA
		10/01/2019	XM envía información histórica de factores de conversión de las plantas del sistema	NA
14/12/2018	Luego de reunión del 14/12/2018 se solicita: 2. <i>A pesar que la magnitud del "desbalance" de 14 GWh/día no es la discusión, tal y como lo aclaraste, solicitamos si por favor nos envían la documentación y/o soporte de cómo este valor fue calculado.</i> 3. <i>Durante la reunión, Mauricio Correa mostró una presentación de XM del año 2010 que fue la motivación al trabajo del tema de "desbalances", solicitamos por favor copia de la misma.</i> 4. <i>Tal y como aclaró XM en la reunión, la metodología que actualmente se está implementando no es de ellos, si no que es de un autor, que</i>	18/12/2018	XM entrega tres artículos soporte de la estimación de energía potencial en sistemas de cadena. No se envía ningún documento asociado a balances de energía. Se envía presentación donde se dice que los 14 GWh	La explicación de donde se estimó el 14 GWh es: "Desde "El Niño" 2009/2010 Se viene modelando desbalances de 14 GWh/día que correspondía a un valor medio de los meses del verano.". No se envió hoja de cálculo o soporte de esto. Ni se define el rango de tiempo del promedio o los años considerados.

Fecha solicitud	Motivación solicitud	Fecha de entrega	Documento entregado por XM	Observaciones
	<i>según logramos tomar nota es de apellido Rossin. Solicitamos si pueden enviarnos tal información. Igualmente en este punto resalto que en solicitudes anteriores habíamos preguntado si existía alguna documentación de la metodología que se está implementando y nos respondieron que no existía.</i>			
18/01/2019	La información se entrega según informe enviado el 27/12/2018 por la UNAL	18/1/2018	Análisis de la metodología actual implementada por XM y la de Rosing	
01/02/2019	Solicitud de presentación mostrada en reunión del 01/02/2019	05/02/2019	Envío de presentación Desbalances v2	Se presentan comentarios sobre las particularidades que se deben considerar en cada término para la implementación de la misma, pero a nivel general.

Descrito lo anterior, para el cumplimiento de los alcances del contrato es necesario que XM entregue de forma consolidada y documentada la siguiente información para evitar que la Universidad siga interpretando o deduciendo la forma cómo XM realiza los cálculos.

- Descripción y objetivo del cálculo del balance de energía diario del SIN, uso y significado.
- Metodología y formulación matemática, en función de las variables en unidades de masa y factores de conversión, para cada una de las cadenas del SIN. Esto puede ser en texto, hojas de cálculo con fórmulas y/o líneas de código legibles en procesadores de datos.
- Topologías base de la metodología anterior.
- Listado de las series de aportes usadas para cada una de las centrales y cadenas usadas en el balance de energía.
- Del vector de balances de energía del 11/07/2004 a 31/08/2014, hitos y cambios en la inclusión de centrales y/o variables como “Otros ríos” o centrales que cambian de tipo de despacho.
- Vector de balance de energía del 31/08/2014 a 31/12/2016.
- Hipótesis de trabajo y/o consideraciones importantes que cambien la formulación matemática en el cálculo.
- Datos específicos que fueron promediados para la determinación del desbalance de las 14 GWh.

Toda la información que corresponda a datos, es necesario que cuente con un diccionario de variables para evitar errores de interpretación por parte de la Universidad.

3. ANÁLISIS DEL AVANCE DE LOS ALCANCES Y ACTIVIDADES

A continuación, se hace análisis del porcentaje de avance de las actividades propuestas en el plan de trabajo en contraste con los alcances de los términos de referencia: Tabla 2 y Tabla 3.

Los porcentajes de avance de las actividades 1 y 2 del plan de trabajo se consideraban al 100% y la actividad 3 en un 80%, pero luego de llegar a la conclusión que cada cadena tiene una formulación matemática específica, este porcentaje de avance se reduce.

Tabla 2. Porcentaje de avance de las actividades propuestas en el plan de trabajo del proyecto.

ACTIVIDAD	DETALLE	% AVANCE	OBSERVACIONES
ACTIVIDAD 1. Revisión de las metodologías actuales utilizadas por los agentes del SIN	Comprende la recolección y análisis de toda la información secundaria a ser entregada por el CNO para el desarrollo del proyecto. La revisión de la información se realizará orientada al entendimiento de cada una de las variables medidas y/o estimadas que se incluyen en el balance energético de cada una de las plantas y o cadenas del Sistema Interconectado Nacional – SIN.	80	- La información base entregada no fue suficiente - Se requirió diseñar cuestionario para obtener la información de los operadores - Aún no se cuenta con el entendimiento completo de las ecuaciones usadas por XM para el cálculo de los balances de energía
ACTIVIDAD 2. Análisis de las variables incluidas en la ecuación del Balance energético	Revisar la concepción actual de la ecuación implementada y sus variables, teniendo en cuenta el tipo y características de las variables utilizadas y los métodos de medición/estimación, con el fin de identificar su impacto en los correspondientes balances, así como conceptuar acerca de su suficiencia dentro de la cuantificación del balance o si se considera la conveniencia de su ajuste o la pertinencia de la adición de incluir otras variables para mejorar las estimaciones.	80	- La información base entregada no fue suficiente - Se requirió realizar reuniones con XM para entender el proceso de estimación del balance - Aún no se cuenta con el entendimiento completo de las ecuaciones usadas por XM para el cálculo de los balances de energía

ACTIVIDAD	DETALLE	% AVANCE	OBSERVACIONES
ACTIVIDAD 3. Ajuste de la metodologías en caso de ser necesario y definición de variables de interés requeridas para el balance energético	Posterior al análisis de la información base y la estructura de la ecuación de desbalances, e identificadas todas las debilidades, potencialidades y puntos de mejora, de los resultados obtenidos en las actividades 1 y 2 se procederá a realizar y/o recomendar los ajustes necesarios a las metodologías y la definición de las variables específicas que deben considerarse en el análisis.	70	Esta actividad ha estado en un avance lento, dado que el equipo de trabajo ha estado concentrado en el análisis de información y entendimiento del cómo se estima el balance de energía en las cadenas
ACTIVIDAD 4. Estimación de los rangos de incertidumbre de cada una de las variables involucradas y definición de variables de mayor impacto	Identificadas todas las variables de interés y con los ajustes propuestos a las metodologías de medición y estimación de estas y del desbalance, se procederá a realizar el cálculo de los rangos de incertidumbre por variables, por planta y por cadena y se procederá a realizar análisis estadísticos y de sensibilidad para definir las variables de mayor impacto.	40	Se ha ido avanzando en la estimación de la incertidumbre de las variables reportadas por los agentes, ósea en unidades de masa. Esta actividad ha estado en un avance lento, dado que el equipo de trabajo ha estado concentrado en el análisis de información y entendimiento del cómo se estima el balance de energía en las cadenas
ACTIVIDAD 5. Estimación del desbalance energético	Se procederá a la estimación del desbalance energético por planta y para el SIN, considerando la evolución de la expansión del SIN (como las condiciones de No estacionariedad de la capacidad instalada, asociada a la expansión del SIN) y consideración del componente térmico en el balance total. Esta actividad se realizará en coherencia con la actividad 4.	0	Depende de las actividades anteriores. Para esto es necesario el análisis de la información histórica del balance de energía, la cual, de forma detallada, sólo se recibió hasta el pasado 10/01/2019.
ACTIVIDAD 6. Análisis de los resultados	Con todos los resultados anteriores se procederá a la evaluación de metodología utilizada y/o propuesta modificaciones balances y cuantificación de recurso hídrico, revisión y/o propuesta de mejoras para el factor de conversión, propuesta de ajuste al sesgo negativo del balance y propuesta metodológica para el	0	Depende de las actividades anteriores

ACTIVIDAD	DETALLE	% AVANCE	OBSERVACIONES
	seguimiento periódico del balance energético del SIN.		

A partir de los porcentajes de avance de la Tabla 2, se presenta el avance porcentual de los alcances.

Tabla 3. Porcentaje de avance de los alcances del proyecto.

ALCANCE	% AVANCE
a. Estimar los rangos de incertidumbre asociados a cada una de las variables que intervienen en el cálculo de los balances energéticos, considerando el tipo de variable y la metodología actual de cálculo de la misma, según la información suministrada por el Contratante (ver numeral 2.4) y la experiencia del Contratista. Se deberá evaluar el impacto de cada variable asociada a cada planta independiente, y cuando se considera agregado por cadena, así como las recomendaciones asociadas con la estimación de las variables en cada planta independiente.	60
b. Teniendo en cuenta la metodología utilizada en el sector (ver numeral 2.4) para el cálculo de los balances energéticos, y las incertidumbres estimadas en el literal anterior, calcular el rango de incertidumbre asociada al balance energético, considerando la época del año, la generación agregada del sistema y por planta, entre otros factores que el Contratista identifique, que pueden aumentar o disminuir las diferencias en los balances energéticos. Identificar, caracterizar y proponer una corrección del sesgo negativo que se presenta en las estimaciones con la metodología utilizada en el sector.	60
c. Explorar ajustes a la metodología utilizada en el sector para el cálculo de los balances energéticos, o proponer un nuevo procedimiento, en caso que lo considere pertinente. Esta exploración o nueva propuesta debe tener como resultado complementario la obtención de un método de seguimiento a la estimación del balance energético.	80
d. Elaborar un informe donde se describan los análisis realizados para la cuantificación de la incertidumbre asociada a cada variable, la determinación del rango normal en el cual se puede mover dicha incertidumbre para cada planta dependiendo de los criterios que se hayan identificado, el rango de la incertidumbre asociada al balance energético agregado del sistema y las conclusiones y recomendaciones del Contratista con base en los resultados y la información analizada.	50
e. Definir un indicador para hacer seguimiento periódico al balance hidro-energético.	15
f. Revisar y proponer mejoras al protocolo de factor de conversión que está en proceso de revisión por parte del CNO, con miras a tener una mejor representación de la energía equivalente a las reservas hídricas y demás términos empleados en los balances hidro-energéticos.	50
g. Revisar y proponer mejoras en los métodos de cuantificación del recurso hídrico y en el reporte y actualización de la información hidrológica operativa diaria.	80

ALCANCE	% AVANCE
h. Proponer una metodología para representar los rangos de las incertidumbres asociadas a los balances energéticos en los modelos de despacho hidrotérmico empleados para el planeamiento energético.	0
i. Presentar los resultados finales del estudio al Subcomité Hidrológico, al Comité de Operación y al CNO. Esta presentación se deberá realizar en las oficinas del CNO en Bogotá.	0

Contractualmente al proyecto le quedan 37 días para su finalización, tiempo que no va a ser suficiente para su cumplimiento al 100%.

4. CONCLUSIONES

Para la finalización del proyecto es necesario contar con el 100% de la información listada en el numeral 2.

Luego de recibida la información al 100% se estima que la Universidad requerirá de 2,5 meses más para finalizar el proyecto, lo que implica nuevos recursos.