

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
0	27-03-2019	-	Versión original
A	19-06-2019	1, 2, 4.1, 6.2.2, 7.1.1, 7.1.2, 7.2.2, 7.4.7	Se incluyen cambios según los acuerdos de la reunión del 21 mayo 2019 entre INGETEC y ACP y ajustes de edición.

REVISIÓN Y APROBACIÓN

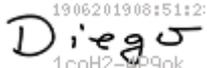
Preparó: <small>1906201908:51:2:</small>  <small>1coH2-4P9ok</small> D. Méndez <small>1906201918:31:2:</small>  <small>1coH2-4P9ok</small> J.R. Rodríguez 19-06-2019	Revisó: <small>2006201915:18:4:</small>  <small>1coH2-4P9ok</small> C. Villegas <small>2006201918:05:4:</small>  <small>1coH2-4P9ok</small> C. I. Pérez 19-06-2019	Revisó: <small>2706201908:37:0:</small>  <small>1coH2-4P9ok</small> D. Rebolledo 19-06-2019	Aprobó: A. Marulanda 19-06-2019
VoBo. Ejecutor	VoBo. Director de Departamento	de VoBo. Director de División	VoBo. Director de Proyecto

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. ANTECEDENTES	5
2.1. SISTEMAS ELÉCTRICOS	5
2.2. SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	5
3. OBJETIVOS	7
3.1. DISEÑO CONCEPTUAL SISTEMAS ELÉCTRICOS	7
3.2. DISEÑO CONCEPTUAL SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	7
4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO	8
4.1. METODOLOGÍA SISTEMAS ELÉCTRICOS	8
4.2. METODOLOGÍA SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	8
5. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	9
6. CRITERIOS DE DISEÑO	10
6.1. CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO	10
6.1.1. Criterios generales	10
6.1.2. Criterios de diseño línea de distribución	10
6.1.3. Criterios de diseño transformadores para subestaciones	11
6.1.4. Criterios de diseño sistemas eléctricos para equipos hidromecánicos	11
6.1.5. Auxiliares eléctricos relacionados con las obras civiles	11
6.1.6. Tableros de servicios Equipos eléctricos auxiliares para la operación del reservorio para las casetas de cuartos de tableros eléctricos	11
6.1.7. Normas de diseño sistemas eléctricos	12
6.1.7.1. Normas generales	12
6.1.7.2. Transformadores	12
6.1.7.3. Servicios Auxiliares Eléctricos	12
6.1.7.4. Subestaciones y líneas de distribución	13
6.1.7.5. Distancias de Seguridad	13
6.1.7.6. Apantallamiento y sistema de puesta a tierra	13
6.1.7.7. Iluminación	13
6.2. CRITERIOS DE DISEÑO SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	13
6.2.1. Normas	14
6.2.2. Criterios generales	14
6.2.3. Criterios principales del sistema SCADA	15
6.2.4. Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)	15
7. DISEÑO ELÉCTRICO	17
7.1. DEMANDA ELÉCTRICA PARA EL PROYECTO RÍO INDIO	17
7.1.1. Generalidades	17
7.1.2. Energía para construcción de las obras del proyecto	17
7.1.3. Cargas para la operación del reservorio	18

7.1.4. Cargas de las comunidades a ser reubicadas	19
7.2. LÍNEA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA	20
7.2.1. Generalidades	20
7.2.2. Alternativas de conexión del proyecto	20
7.2.3. Alternativa de conexión seleccionada	26
7.2.3.2. Selección del conductor	27
7.3. FUENTES DE ENERGÍA DE RESPALDO	31
7.4. DISEÑO ELÉCTRICO OBRAS PERMANENTES	32
7.4.1. Suministro de energía obras permanentes	32
7.4.2. Túnel de trasvase salida	33
7.4.2.1. Configuración de conexión	33
7.4.2.2. Tableros eléctricos	34
7.4.3. Túnel de trasvase entrada - Pozo de compuertas	34
7.4.3.1. Configuración de conexión	34
7.4.3.2. Tableros eléctricos	35
7.4.4. Túnel descarga de fondo - Cámara de compuertas	36
7.4.4.1. Configuración de conexión	36
7.4.4.2. Tableros eléctricos	37
7.4.5. Caudal ambiental	37
7.4.5.1. Configuración de conexión	38
7.4.5.2. Tableros eléctricos	38
7.4.6. Túnel de desvío	39
8. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES	41
8.1. GENERAL	41
8.2. TÚNEL DE TRANSFERENCIA	42
8.2.1. Operación	42
8.2.2. Tableros de control	44
8.2.3. Tablero concentrador TYTTO	44
8.2.4. Tablero de CCTV	44
8.2.5. Instrumentación	45
8.2.6. Integración	45
8.3. TÚNEL DE DESVÍO	45
8.4. DESCARGA DE FONDO	45
8.4.1. Operación	45
8.4.2. Tablero de control	46
8.4.3. Tablero de CCTV	46
8.4.4. Instrumentación	47
8.4.5. Integración	47
8.5. CAUDAL AMBIENTAL	47
8.5.1. Operación	47
8.5.2. Tableros de control	48
8.5.3. Tablero de CCTV	48
8.5.4. Instrumentación	48
8.5.5. Integración	49

9. REFERENCIAS	50
10. ANEXOS	50

1. RESUMEN EJECUTIVO

En este informe se presenta el diseño conceptual de los sistemas eléctricos y de control y comunicaciones para el Reservorio Multipropósito Río Indio, diseño que será la base para la elaboración de Especificaciones Técnicas de contratación tipo EPC para que el Contratista realice el diseño detallado, suministro y puesta en operación de los sistemas y equipos eléctricos y de control y comunicaciones, necesarios para la construcción y operación del sistema.

En el Reporte Intermedio de Diseño Conceptual Volumen Diseño Eléctrico – Análisis de demanda de potencia, se presentó una estimación inicial de la demanda para operación del sistema y para el suministro de energía a las comunidades. En este reporte se incluye la estimación de la demanda para construcción del proyecto.

Teniendo en cuenta que la mayor demanda corresponde a la fase de construcción del proyecto, se plantea una red de media tensión que permita suplir este requerimiento desde empresas de distribución de Panamá, y que posteriormente servirá para suplir la demanda de operación del sistema, para el suministro a las comunidades y desarrollo de la región. Esta alternativa da cumplimiento a los términos de referencia de la ACP en cuanto a que el proyecto sea de baja emisión de gases, y orientado a que los requerimiento de energía sean suplidos mediante medios sostenibles.



Se realizó un diagnóstico de redes existentes cercanas a la zona de influencia del reservorio, con el fin de determinar la viabilidad de conectar la carga estimada para la construcción del proyecto, a dichas redes. No se encontraron redes cercanas al proyecto para suplir esta demanda. Por lo cual, se plantea el suministro mediante la construcción de una línea de distribución desde la Subestación cercana a la Central Hidroeléctrica Gatún a 6.9 kV elevando la tensión a 34.5 kV a través de un transformador 7.5/10 MVA y 6.9 / 34.5 kV , con una longitud aproximada de 38 km hasta las obras potenciales de presa.

Para cada uno de los frentes de trabajo, campamentos y las obras de operación del proyecto se plantea el suministro de energía mediante una derivación de la línea de distribución principal de 34,5 kV. Cada derivación alimentará un transformador de la capacidad estimada para el frente de trabajo o la obra permanente. Para las obras en las cuales se ubican cargas esenciales para operación del proyecto se prevé la instalación de plantas Diesel de emergencia.

En relación con los sistemas de control de los equipos, para la descarga de fondo en la presa principal se contará con operación manual local. Para el túnel de trasvase, la operación de la compuerta de descarga será automática, de acuerdo al nivel del embalse, el nivel del lago Gatún, las curvas de operación de la compuerta y la consigna que se defina. Se contará con cierre de emergencia, en caso que se presente una sobrevelocidad en el flujo como consecuencia de una falla en el túnel. En la zona de descarga de fondo, se contará con una válvula de caudal ambiental, tipo Howell Bungler, la cual tendrá operación automática, de acuerdo al nivel del embalse y las curvas de operación de la válvula, previendo que se puedan tener consignas locales y remotas de caudal.



Todos los sistemas contarán con supervisión que será integrada en la salida del túnel de transferencia para su posterior envío al sistema de datos de la ACP en la Central Gatún, mediante una conexión en fibra óptica (OPGW), para supervisión remota del proyecto y para el recibo de consignas remotas de caudal. El cable de fibra óptica OPGW será tendido a lo largo de la línea de energía a 34.5 kV y se considerará su uso en lugar de una conexión satelital debido al volumen de datos por transmisión de CCTV y las dificultades con esta conexión cuando hay mal tiempo.

Las obras contarán con un sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) para vigilancia y visualización remota de la operación de los equipos.

2. ANTECEDENTES



En el marco del contrato 023-2106 celebrado entre el Ministerio de Ambiente y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), se contrató a INGETEC para realizar los estudios y el diseño conceptual de un reservorio multipropósito en la cuenca del Río Indio, a través del contrato de consultoría No. SAA 390197, “Studies and Conceptual Design for Indio River Multipurpose Reservoir” del 5 de septiembre del año 2017.

El alcance del contrato incluye los diseños conceptuales del reservorio multipropósito, obras anexas y túnel trasvase que conduce caudal desde la cuenca de Río Indio hacia la cuenca del Lago Gatún. Lo anterior, en conjunto con la evaluación de proyectos complementarios para el manejo cuenca en mención que viene adelantando la Autoridad del Canal de Panamá con diversos consultores.

2.1. SISTEMAS ELÉCTRICOS

INGETEC realizó un análisis de alternativas para la selección del tipo de presa, generando el Documento No. INDIO-RP-AL-ICON-001 titulado Evaluación de Alternativas – Tipo de Presa. En este documento se llegó a la conclusión que el tipo de presa más conveniente para el Reservorio Multipropósito Río Indio, corresponde a una presa de enrocado con cara de concreto (CFRD), posicionando en el estribo izquierdo de la presa el vertedero superficial y sobre el estribo derecho, las obras subterráneas del túnel de desvío, la descarga de fondo y el conducto del caudal ambiental por tener esta ladera mayor pendiente y por ende mayor cobertura.

Para las obras asociadas a esta presa en el documento INDIO-RP-MC-ICON-001- “Diseño Mecánico” se presentaron los requerimientos de equipos hidromecánicos, información a partir de la cual en el informe eléctrico INDIO-RP-EL-ICON-001 “Análisis de demanda de potencia” se realizó una estimación de la potencia para operación del proyecto, conformada por las cargas de equipos hidromecánicos, sistemas de iluminación exterior y auxiliares eléctricos asociados a la minicentral, contemplada como parte del diseño en ese momento. Asimismo se analizó los requerimientos energéticos para las comunidades a ser reubicadas.

Una vez determinada la potencia total demandada se analizó en el informe INDIO-RP-EL-ICON-001 las posibles fuentes de suministro: 1. Compra del servicio a las empresas de distribución locales 2. Instalación de plantas Diésel 3. Construcción de la minicentral de generación a partir del caudal ambiental, la cual se estimó tendría de capacidad instalada de 2.35 MVA.

Mediante la comunicación de la ACP Ref: INDIO-ING-019 de agosto 23 de 2018 con asunto “Definiciones diseño conceptual” la ACP definió: *“Las necesidades energéticas de la operación del Reservorio Río Indio y las comunidades vecinas serán suplidas a través de una conexión pública de electricidad. En adición se proveerá una planta diesel de respaldo, para la operación del reservorio. INGETEC debe desarrollar los diseños asociados a la conexión a la red pública de electricidad y a la planta de generación diésel”.*

Por lo que, en este informe se presenta el resultado del análisis de posibles fuentes de suministro mediante redes locales, de acuerdo con requerimientos energéticos para la construcción y operación del proyecto y para atender a las comunidades vecinas.

2.2. SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES

Con base en un trabajo interdisciplinario, desde la parte hídrica, mecánica, eléctrica y electrónica, se realizaron definiciones del diseño electromecánico de Río Indio para concepto por parte de la ACP. De acuerdo a las apreciaciones de la ACP a las consideraciones de diseño, recibidas en

febrero 12 de 2019, se realiza la validación del planteamiento de control y comunicaciones para la elaboración del diseño conceptual y posterior elaboración de especificaciones técnicas y planos para licitación.

3. OBJETIVOS

3.1. DISEÑO CONCEPTUAL SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los objetivos del diseño conceptual del sistema eléctrico de las obras del Proyecto multipropósito Río Indio son:

- Definir el requerimiento energético del Reservoirio multipropósito Río Indio para su construcción y prever la forma de suministro de energía durante esta etapa.
- Definir el requerimiento energético del Reservoirio multipropósito Río Indio para su funcionamiento, cuyas cargas eléctricas están principalmente asociadas a los equipos hidromecánicos y sistemas de iluminación exterior en las obras y servicios de las casetas donde se instalarán los tableros. Una vez definido este requerimiento se realizará el diseño conceptual de los equipos y sistemas eléctricos principales que permitan atender esta demanda.
- Definir el requerimiento energético de las comunidades a ser reubicadas y poblaciones cercanas al proyecto, teniendo en cuenta el requerimiento de la ACP incluido en los términos de referencia, sección 01 35 13 - Project Requirements, numeral 1.6.14 Energy Requirements, según el cual los diseños deben estar direccionados no sólo abastecer el requerimiento energético del proyecto sino de las comunidades vecinas.

3.2. DISEÑO CONCEPTUAL SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES

El objetivo del diseño conceptual del sistema de control y comunicaciones de las obras del Proyecto multipropósito Río Indio es el de definir los requerimientos de supervisión local/remota, automatización, instrumentación y conectividad para la operación integrada del equipamiento electromecánico del proyecto, definiendo cuáles de estos equipos requieren ser integrados a una red de control para la ejecución de automatismos y enclavamientos.

4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. METODOLOGÍA SISTEMAS ELÉCTRICOS

Para el diseño conceptual de los sistemas eléctricos se realizó una estimación de las las cargas asociadas al proyecto para: a). Energía para construcción del proyecto b) Energía para la operación del proyecto c) Energía para abastecimiento de las comunidades a ser reubicadas.

Una vez estimada las cargas se solicitó a las empresas distribuidoras locales (ENSA, EDEMET) información sobre la disponibilidad de conexión de la carga a sus redes. No se logró información por parte de las empresas.

Se realizó un diagnóstico mediante fotografías de redes existentes cercanas al proyecto, con el fin de determinar la viabilidad de conectar la máxima carga estimada, durante la construcción del proyecto, a dichas redes. No se encontraron redes con características adecuadas para suplir las necesidades del proyecto cercanas al proyecto. Por lo cual, se plantea el suministro mediante la construcción de una línea de distribución desde la Subestación cercana a la Central Hidroeléctrica Gatún a 6.9 kV elevando la tensión a 34.5 kV.

Mediante esta línea se realizará el suministro para construcción y operación del proyecto, a la vez que se abastecerán las comunidades a ser reubicadas.

Para cada uno de los frentes de trabajo, campamentos y las obras de operación del proyecto se plantea el suministro de energía mediante una derivación de la línea de distribución principal de 34.5 kV. Cada derivación alimentará un transformador de la capacidad estimada para frente/obra. Adicionalmente, para las obras en las cuales se ubican cargas esenciales para la construcción y operación del proyecto se preverá la instalación de plantas Diesel de emergencia.

4.2. METODOLOGÍA SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES

De acuerdo a la definición de la obra hidráulica del proyecto, y según el equipamiento electromecánico definido para el proyecto, se definieron los requerimientos de operación para cada una de las obras, identificando las características de control, instrumentación y comunicaciones particulares para cada equipo.

5. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

El documento INDIO-RP-GG-RFAC-001 incluyó el análisis resultante de la revisión de la información disponible de los estudios de factibilidad desarrollados por MHW, los cuales en su componente de diseño eléctrico están relacionados con la generación hidráulica. Las principales observaciones de esta componente fueron:

- Generación hidroeléctrica adoptada para el Proyecto

Aunque la generación hidroeléctrica no resultó viable, se destacó que en el informe de factibilidad de MWH (Vol. 1 – Main Report, numeral 4.1.5 Minimum Release Facility, página 4-6) para el proyecto Río Indio finalmente adoptado se contempló la instalación de una unidad de generación a pie de presa de 1.6 MW para manejo de la descarga mínima (caudal ambiental).

La unidad de generación consistía de una turbina Francis horizontal acoplada a un generador sincrónico.

- Para la generación de 1.6 MW se recomendó la conexión a un nivel de tensión menor o igual a 4,160 V a efectos de lograr un menor costo del generador y equipos asociados en media tensión. Incluso puesto que esta generación sería para suministro local del proyecto se recomienda su conexión de manera aislada a nivel de 480 Vca.

En el informe INDIO-RP-EL-ICON-001 “Análisis de demanda de potencia”, elaborado por INGETEC bajo el presente contrato, se analizó la demanda del proyecto para operación y la demanda de las comunidades a ser reubicadas. Como las posibles fuentes de suministro se analizó: 1. Compra del servicio a las empresas de distribución locales 2. Instalación de plantas Diésel 3. Construcción de la minicentral de generación a partir del caudal ambiental, la cual se estima tendría de capacidad instalada de 2.35 MVA.

Para determinar las poblaciones a ser reubicadas a las cuales el Proyecto prestaría el servicio de suministro de energía eléctrica se revisó información pública disponible en la página de la Contraloría General de la República de Panamá – Instituto Nacional de Estadística y Censo 2010.

Para determinar las empresas de distribución de energía eléctrica en la zona de influencia del proyecto, así como el tipo de usuario a ser abastecido se consultaron los Informes estadísticos del Sector eléctrico Panameño publicados por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos-ASEP.

Una vez estimada la demanda para el proyecto, durante construcción y operación, y de las comunidades a ser reubicadas se buscaron redes de suministro cercanas al proyecto, para lo cual se realizó una revisión fotográfica mediante Google Earth. Adicionalmente, se verificó las redes existentes conforme al Diagrama Unifilar del Sistema Interconectado Nacional de Panamá.

En lo referente al componente de control y comunicaciones, en el documento DESCRIPTION OF RÍO INDIO WATER SUPPLY PROJECT”, del documento “Feasibility Study, Volume 1, MAIN STUDY se hace mención a un sistema SCADA para el proyecto. Sin embargo, no se realiza una descripción de los requerimientos del mismo. En el presente documento se da claridad al sistema de control para el proyecto, caracterizando las particularidades requeridas de supervisión, control, instrumentación y comunicaciones.

6. CRITERIOS DE DISEÑO

6.1. CRITERIOS DE DISEÑO ELÉCTRICO

6.1.1. Criterios generales

- El diseño se realizó a nivel conceptual e incluyó: la descripción de equipos y sistemas eléctricos, y preparación de la documentación técnica requerida para que la ACP pueda contratar el diseño detallado, suministro y construcción de los equipos y sistemas, en la modalidad de contratación EPC.
- El diseño se realizó buscando funcionalidad de cada equipo en sí y en relación con otros equipos, economía, seguridad, confiabilidad, facilidades constructivas, operativas, de acceso, inspección, reparación y mantenimiento, de efectos ambientales, de apariencia estética y de ingeniería de riesgos, y de minimización del tiempo de montaje.
- Calidad del diseño y de la construcción. El diseño y construcción se ajusta a las exigencias de las normas de la ACP, normas técnicas de Panamá (RIE), normas NFPA y ANSI/IEEE, y otras normas reconocidas internacionalmente, como las IEC, conforme a lo solicitado en los términos de referencia del proyecto.
- Los diseños de las instalaciones eléctricas se realizaron bajo los siguientes criterios de diseño generales:
 - Seguridad para el personal y los equipos.
 - Confiabilidad en el suministro de energía.
 - Eficiencia durante la operación.
 - Simplicidad para la operación.
 - Flexibilidad para efectuar modificaciones.
 - Sostenibilidad del sistema.
 - Economía en los equipos, la construcción, el montaje, la operación y el mantenimiento.
 - Redundancia en la alimentación eléctrica de los sistemas auxiliares eléctricos y de los equipos de emergencia.

6.1.2. Criterios de diseño línea de distribución

- Se analizaron posibles fuentes de suministro de energía de acuerdo con las demandas estimadas, desde redes locales de las empresas de distribución de Panamá.
- Una vez definida la fuente de suministro, se estimó una posible ruta para la línea de interconexión entre la subestación hasta las obras del proyecto, siguiendo la carretera existente y teniendo en cuenta que no se dispone de la topografía. El trazado de la línea al interior del proyecto se presentó haciendo uso de las vías previstas para el acceso a cada una de las obras.
- Se determinaron los parámetros constructivos básicos de la línea, tales como nivel de tensión, cargabilidad requerida, longitud, tipo de conductor y estructura, a partir de los cuales el contratista realizará la ingeniería detallada y posterior construcción de la línea y las derivaciones que se requieran. Se emitirán las especificaciones técnicas para el suministro de los materiales y para la realización de la construcción y se acompañarán de los planos de las estructuras típicas, que el contratista de construcción podrá utilizar en el diseño detallado de la línea.



- Desde el punto de vista socio ambiental, el planteamiento del alineamiento de la línea de distribución deberá maximizar el uso de servidumbre existentes como objetivo para evitar la intervención de predios y la afectación a la flora y fauna predominante en la zona.

6.1.3. Criterios de diseño transformadores para subestaciones

- Los transformadores tienen la capacidad suficiente para satisfacer la demanda que le imponen las cargas eléctricas del sistema en condiciones de estado estable y de arranque de motores.
- Las características principales de los transformadores fueron seleccionadas siguiendo las recomendaciones de las normas IEEE Std C57.12.90. Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers e IEEE C57.12.00. Standard for general requirements for liquid immersed distribution, power, and regulating transformer.

6.1.4. Criterios de diseño sistemas eléctricos para equipos hidromecánicos

- Se planteó la forma como se realizará la alimentación eléctrica desde la línea de distribución que cumpla los requisitos energéticos hasta las válvulas y compuertas localizados en la descarga para el caudal ambiental, descarga de fondo y las compuertas del túnel de trasvase (entrada y salida). Las líneas de alimentación serán en media tensión.
- Para las compuertas de desvío se planteó el uso de una fuente de alimentación eléctrica temporal, tipo planta Diésel, que permita la operación de cierre de las compuertas para el inicio del llenado del reservorio.
- Se dimensionan las subestaciones eléctricas y los tableros de distribución a ser localizados en cada una de las áreas, compuertas de descarga del caudal ambiental, descarga de fondo y las compuertas del trasvase.
- Los motores eléctricos y demás equipos de fuerza (válvulas, transformadores) serán alimentados desde los tableros de distribución a 480/277 V c. a., 60 Hz con el neutro conectado sólidamente a tierra para facilitar la detección y despeje de fallas.
- Los motores se especificaron Totalmente Cerrados Enfriados por Ventilador (TEFC).
- Se dimensionan y especifican fuentes de respaldo localizadas cerca a los equipos hidromecánicos, tales como plantas Diésel o UPS para garantizar la operación de las compuertas o válvulas ante falla de la alimentación principal.
- Los gabinetes, motores y demás partes metálicas no conductoras de corriente se especifican con facilidades para ser conectados a platinas de conexión a tierra por medio de cables de cobre desnudo calibre adecuado para garantizar la seguridad de las personas y equipos.
- Se especifican tableros de control y fuerza para ser suministrados por los fabricantes de las compuertas y/o válvulas, ubicados cerca de los equipos.

6.1.5. Auxiliares eléctricos relacionados con las obras civiles

Para los diseños de iluminación interior y exterior se plantearon los criterios de la iluminación para cada una de las áreas tales como tipo de luminaria, potencia disponible para alimentación y nivel de uniformidad. Los diseños detallados serán especificados para ser realizados por el contratista de obras civiles.

6.1.6. Tableros de servicios Equipos eléctricos auxiliares para la operación del reservorio para las casetas de cuartos de tableros eléctricos

Una vez determinada la carga de los equipos hidromecánicos se determinó el sistema de distribución para el suministro eléctrico, ubicación de tableros eléctricos, considerando los siguientes niveles de tensión:

- Motores eléctricos y demás equipos de fuerza serán alimentados desde los tableros de distribución a 480/277 V c. a., 60 Hz con el neutro conectado sólidamente a tierra para facilitar la detección y despeje de fallas.
- Iluminación y tomacorrientes serán alimentados a desde tableros de distribución de 208/120V.

6.1.7. Normas de diseño sistemas eléctricos

Las siguientes normas, en su versión vigente, se consideraron durante el desarrollo del diseño de nivel conceptual y para la elaboración de las especificaciones de los equipos y sistemas eléctricos para los equipos hidromecánicos del proyecto, estaciones de transformación, líneas de suministro y servicios auxiliares.

6.1.7.1. Normas generales

RIE	Reglamento para las Instalaciones Eléctricas de Panamá
ENSA	Manual de Normas y Condiciones para la Prestación del Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica
EDEMET	Norma técnica para el Suministro eléctrico a clientes
NFPA 70	National Electrical Code (NEC)
IEEE C2	National Electrical Safety Code (NESC)
ANSI C84.1	American National Standard For Electric Power Systems and Equipment Voltage Ratings (60 Hertz)
NFPA 780	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.
IEEE 80	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

6.1.7.2. Transformadores

IEC 60726	Dry Type Power transformers.
ANSI/IEEE C57.12.00	Standard for general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformer
IEEE Std C57.12.90	Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers
IEC 60137	Insulating bushing for alternating voltages above 1000 Volts.

6.1.7.3. Servicios Auxiliares Eléctricos

IEC 60726	Dry Type Power transformers
-----------	-----------------------------

IEC 60255	Electrical relays.
IEC 60228	Conductors of insulated cables.
IEC 60947-1	Low-voltage switchgear and controlgear.
IEC 60287-2-1	Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2-1: Thermal resistance - Calculation of the thermal resistance

6.1.7.4. Subestaciones y líneas de distribución

ENSA PANAMÁ	Normas de construcción aérea.
IEC 60099-5	Surge arresters – Selection and application recommendations.
IEC 60099-4	Metal-Oxide Surge Without gaps Arresters for AC.
IEC 60305	Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V.
BULLETIN 1724E-200	Design manual for high voltage transmission lines U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff Division

6.1.7.5. Distancias de Seguridad

IEEE C2	National Electrical Safety Code (NESC).
IEC 600364	international standard on electrical installations of buildings.

6.1.7.6. Apantallamiento y sistema de puesta a tierra

NFPA 780	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.
IEEE 80	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

6.1.7.7. Iluminación

IESNA	Illuminating Engineering Society of North America Lightning Handbook Reference and Application.
-------	---

6.2. CRITERIOS DE DISEÑO SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES

El alcance de los diseños se realizó a nivel conceptual y contempló dos etapas: 1. Descripción de equipos y sistemas de control, comunicaciones e instrumentación, y 2. Preparación de la documentación técnica requerida para que la ACP pueda contratar el diseño detallado, suministro y construcción de los equipos y sistemas, en la modalidad de contratación EPC.

El presente documento incluye la primera etapa, descrita anteriormente.

6.2.1. Normas

Las siguientes normas, en su versión vigente, se consideraron durante el desarrollo del diseño de nivel conceptual y para la elaboración de las especificaciones de los equipos y sistemas de control y comunicaciones

Sistemas de supervisión y control:

- IEC 61000: Electromagnetic compatibility
- IEC 61131: Standard for programmable controllers
- ANSI/ISA S5.1: Instrumentation symbols and identification
- IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

Redes:

- EIA/TIA-568B.1, "Standard Commercial Building Telecommunications Wiring Standard"
- EIA/TIA 606, "The administration Standard of the Telecommunications Infrastructure of Commercial Building"
- IEC 62443: Industrial Network and system security
- ITU-T G. 652: Characteristics of a single mode optical cable
- IEC 60794: Optical fibre cables

6.2.2. Criterios generales

Los diseños se realizaron según los siguientes criterios:

- Todos los equipos se especificarán para que sean robustos, confiables y de última tecnología
- Los equipos electrónicos se especificarán para estar protegidos frente a variaciones de la Fuente de alimentación y descargas eléctricas
- Se considerarán redundancias en los componentes críticos de los controladores tales como CPUs y fuentes de alimentación.
- El diseño se basa en sistemas y protocolos de comunicación no propietarios y abiertos.
- Todos los equipos se especificarán para ser resistentes a la corrosión y al uso, de acuerdo al ambiente del proyecto.
- Se consideran instrumentos redundantes para las medidas críticas.
- En las especificaciones se incluirá una cláusula de actualización tecnológica para el equipo electrónico de modo que éste sea comprado en una etapa avanzada del proyecto para asegurarse que la tecnología sea tan actual como sea posible al momento de la puesta en marcha de los equipos.



El diseño considera la implementación de sistema SCADA para el monitoreo remoto del proyecto, e integración con la Central Gatún de la ACP.



El Sistema SCADA considera la supervisión y control de los siguientes subsistemas:

- Monitoreo y control del sistema electromecánico de las compuertas del túnel de transferencia y de la descarga de fondo.

Adicionalmente, el diseño considera los siguientes servicios:

- Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)

Los diseños incluyen la definición del enlace de comunicación. Se considerará el uso de fibra óptica OPGW tendida por redes de distribución o transmisión de energía. Como conexiones de última milla, se considerará fibra óptica para instalación en ductos que tenga las mismas características geométricas de la OPGW.

6.2.3. Criterios principales del sistema SCADA

El sistema de control será distribuido y jerárquico con los siguientes niveles de control:

- Nivel 0: Corresponde a los equipos mecánicos, los mandos locales desde los equipos o cajas locales con botones y selectores. Desde este nivel se realizará la operación normal de los equipos con operación local manual tales como polipastos.
- Nivel 1: Corresponde a tableros de control de las unidades óleo hidráulicas y tableros de comunicaciones en cada caseta o sitio del proyecto. Desde este nivel se realizará la operación automática y manual de los equipos asociados a las unidades óleo hidráulicas.
- Nivel 2: Corresponde al tablero concentrador ubicado en la salida del túnel de transferencia, y a los equipos de transporte para el envío de la información del proyecto hacia la ACP. Desde este nivel se realizará supervisión local de los sistemas del proyecto mediante IHM.
- Nivel 3: Corresponde a la supervisión remota desde el centro de operaciones de la ACP.

Los siguientes criterios también son considerados:

- A través de la Red de Control se enlazan los niveles 1, 2 y 3.
- El diseño considera el aislamiento de una falla en un subsistema manteniendo en operación los otros subsistemas que no se vean afectados directamente por la falla.

Para la red de control, el diseño evalúa los protocolos de comunicación de acuerdo al tipo de datos transmitidos y las funcionalidades requeridas en cada nivel de control; el criterio es el uso de protocolos que ampliamente difundidos y probados para comunicaciones de campo y para redes de control. Dentro del criterio se incluye el uso de la menor cantidad de protocolos distintos, y el uso de protocolos que sean abiertos y compatibles con la mayoría de equipos encontrados en el mercado.

6.2.4. Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)

La función principal de este sistema de monitoreo será asegurar que únicamente el personal de la ACP esté en las áreas restringidas del proyecto, también detectar visualmente cualquier condición anormal que se presente en las inmediaciones del proyecto y permitir la supervisión visual, remota de los equipos del proyecto.

Las cámaras se ubican en los siguientes sitios:

- Toma y descarga del túnel de transferencia
- Descarga de fondo
- Ubicación con vista al lado Norte de la presa principal
- Ubicación con vista al lado Sur de la presa principal
- Ubicación con vista al lado Este de la presa principal
- Ubicación con vista al lado Oeste de la presa principal

- Dentro de los edificios del proyecto

El diseño considera la integración del sistema de Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) con la red de control, mediante la segregación lógica y física de la red de control y de CCTV.

7. DISEÑO ELÉCTRICO

7.1. DEMANDA ELÉCTRICA PARA EL PROYECTO RÍO INDIO

7.1.1. Generalidades

El Proyecto de Reservoirio Multipropósito Río Indio, de acuerdo con los términos de referencia de la ACP, debe suplir los requerimientos de energía eléctrica para:

- La construcción de las obras del proyecto.
- La operación cotidiana del reservorio.
- El suministro eléctrico a las comunidades a ser reubicadas y comunidades cercanas al proyecto.

En la Tabla 1 se resume la estimación de la demanda eléctrica asociada al proyecto y las comunidades a ser reubicadas.

Tabla 1. Cargas eléctricas del proyecto de Reservoirio Multipropósito Río Indio

Carga	Demanda
Potencia para construcción Obras del proyecto	7 MVA
Operación del reservorio	400 kVA
Comunidades a ser reubicadas	Aprox. 500kVA al 2019 Proyectado 1180 kVA al 2050

7.1.2. Energía para construcción de las obras del proyecto

Las obras principales que conforman el reservorio Multipropósito Río Indio son: túneles de desvío, presa CFRC, vertedero, presa auxiliar, túnel de descarga de fondo, obra de caudal ambiental, túnel de trasvase o transferencia. En la Tabla 2 se presenta la estimación de carga para la construcción de estas obras, la cual incluye los requerimientos para los campamentos de trabajadores.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRLN-01-001 "Energy Distribution Line Alignment" se identifican los frentes de trabajo previstos para la construcción de las obras, áreas industriales y ubicación de los campamentos, en los cuales se prevé el suministro de energía para construcción.



Tabla 2. Cargas para construcción de las obras del proyecto

Componente	Ubicación	Carga Estimada [kVA]
Frente No 1 Ventana 1 del túnel trasvase	Punto C	800
Frente No. 2 Ventana 2 del túnel trasvase	Punto B	800
Campamento A	Punto E	500

Campamento B	Punto F	500
Salida túnel de transferencia	Punto A	400
Área industrial 1	Punto IA1	1000
Entrada túnel de transferencia	Punto D	400
Túnel de descarga de fondo y túnel de desviación -entrada-	Punto G	800
Área industrial 2	Punto J (IA2)	1000
Túnel de descarga de fondo y túnel de desviación -salida-	Punto I	800

La carga de los frentes de trabajo se estimó considerando el suministro para equipos y sistemas típicos para la construcción de este tipo de obras tales como: sistemas de ventilación, de bombeo y drenaje, maquinaria y equipos para los sitios donde se ubican plantas de concreto tales como: maquinaria y equipos para plantas de triturado, maquinaria y equipos para la planta de enfriamiento de agua. Adicionalmente, sistemas de iluminación y tomacorrientes.

La carga de los campamentos se estimó considerando la cantidad de trabajadores previstos durante la construcción.

Para construcción se especificarán transformadores tipo pad-mounted de las capacidades indicadas en la Tabla 2, con relación de transformación de media tensión (MV) a baja tensión (LV). Sin embargo para los frentes de obra para construcción del Túnel de Trasvase se especificará que el contratista de acuerdo a los requerimientos de sus cargas implemente transformadores con secundario en media tensión (MV/MV), de acuerdo con sus necesidades en los equipos de construcción.

7.1.3. Cargas para la operación del reservorio

Las cargas para la operación del reservorio se dividen en cargas de los equipos hidromecánicos y cargas de los servicios auxiliares asociadas a los sitios de ubicación de estos equipos hidromecánicos, estas últimas incluyen los sistemas de iluminación y tomacorrientes de las casetas y cámaras de compuertas, iluminación de galerías de acceso e iluminación exterior de las obras del operación del proyecto.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los equipos hidromecánicos previstos para la operación del proyecto en cada una de las obras, cuyos sistemas eléctricos para suministro de energía se describen en la sección [7.4. DISEÑO ELÉCTRICO OBRAS PERMANENTES](#). Se estimó una carga instalada para las obras permanentes de aproximadamente 400 kVA.

Tabla 3. Carga eléctrica de los equipos hidromecánicos

Ubicación	Componente	Cantidad	Potencia [kW]
Portal de entrada al túnel de desvío	Compuerta plana de ruedas	2	7.2
Cámara de	Compuerta radial	1	45.6

compuertas del túnel de descarga de fondo	Compuerta plana	1	22.2
	Válvula Howell Bungler	1	
	Válvula mariposa	1	
Captación multinivel caudal ambiental	Pórtico grúa que opera las compuertas planas de ruedas	1	12.2
Pozo de compuertas a la entrada del túnel trasvase	Compuerta plana de ruedas	2	9.1
Estructura de salida del túnel trasvase	Compuerta radial	2	8.4
	Compuerta plana	2	36.9

7.1.4. Cargas de las comunidades a ser reubicadas

La estimación de demanda de las comunidades a ser ubicadas se presentó en el informe Reporte Intermedio de Diseño Conceptual Volumen Diseño Eléctrico – Análisis de demanda de potencia (Ingetec S.A.S, 2018).

La estimación consideró las poblaciones a ser reubicadas por encontrarse dentro de la zona de inundación del proyecto Reservorio Multipropósito Río Indio, y hasta 1.5 km más de la huella de inundación, para lo cual:

- Se identificaron las provincias afectadas.
- Para cada provincia se identificaron las poblaciones a ser reubicadas con su correspondiente cantidad de habitantes y viviendas, con base en información del Censo 2010 de Panamá.
- Se identificó el estado de cobertura del servicio de energía eléctrica para las viviendas identificadas en las poblaciones a ser reubicadas.
- Se identificaron las empresas de distribución eléctrica encargadas de prestar el servicio de distribución de energía eléctrica a las poblaciones en la zona de inundación y se identificó el tipo de usuario (cliente-vivienda) de acuerdo al rango de consumo predominante en el área de influencia del proyecto.
- Se estimó de acuerdo a la cantidad de viviendas en la zona de influencia del proyecto y tipo de usuario, la demanda de potencia con una proyección de la demanda hasta el año 2050.

A partir del estudio se estimó una demanda para el suministro a las comunidades de aproximadamente 1180 kVA para el año 2050.

Se aclara que la información de demanda deberá ser actualizada en función de las poblaciones realmente afectadas, información que sabrá a cabalidad una vez se cuente con el EIA y la caracterización social ambiental de la zona de influencia del proyecto.

7.2. LÍNEA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

7.2.1. Generalidades

Para el suministro de energía para el proyecto y para las comunidades a ser reubicadas se consideran como fuentes de suministro:

- Compra del servicio a las empresas de distribución locales
- Instalación de plantas Diésel

De las dos opciones para dar cumplimiento a los términos de referencia de la ACP en cuanto a que el proyecto sea de baja emisión de gases y que además sea sostenible a largo plazo tanto económicamente como ambientalmente, se plantea la construcción de una nueva línea de distribución de media tensión con el fin de recibir el servicio eléctrico de las empresas de distribución locales. No obstante, la construcción de esta línea tomará tiempo, por lo que, en las primeras etapas de construcción de las obras, se tendrán que usar plantas Diésel para el suministro eléctrico, a menos que la línea se construya anticipadamente.

7.2.2. Alternativas de conexión del proyecto

Teniendo en cuenta la carga máxima estimada para el reservorio durante el período de construcción y la localización del proyecto se estudiaron alternativas de conexión del proyecto al Sistema Interconectado Nacional de Panamá, mediante redes eléctricas de media tensión cercanas al proyecto con capacidad de conexión de esta demanda.

En esta sección se presenta la localización del proyecto, alternativas de conexión estudiadas y planteamiento de la ruta para línea eléctrica de media tensión para la alternativa de conexión seleccionada.

7.2.2.1 Localización del proyecto

El Proyecto de Reservorio Multipropósito Río Indio se encuentra ubicado en la provincia de Colón, distrito Chagres. De acuerdo con las estimaciones realizadas por INGETEC, el área potencial de inundación es de 44.6 km² a nivel normal (80 PLD), esta área se encuentra distribuida en las regiones de Coclé, Panamá y Colón.

En general se trata de una zona rural, muy poco poblada y de difícil acceso, la infraestructura eléctrica en un perímetro de 25 km está muy poco desarrollada, lo que dificulta encontrar un punto de conexión que cumpla con los requisitos energéticos del proyecto.

En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica del proyecto dentro de Panamá.

En la Figura 2 se presenta el esquema general en planta de las obras principales del proyecto. Se presenta unas coordenadas referenciales en una zona intermedia del túnel de trasvase.

En la Figura 3 se detallan las obras del lado de la presa con requerimiento de suministro de energía.



Figura 1. Ubicación perimetral del Proyecto de Reservorio Multipropósito Río Indio
Fuente: Ingetec, a partir de Google Earth

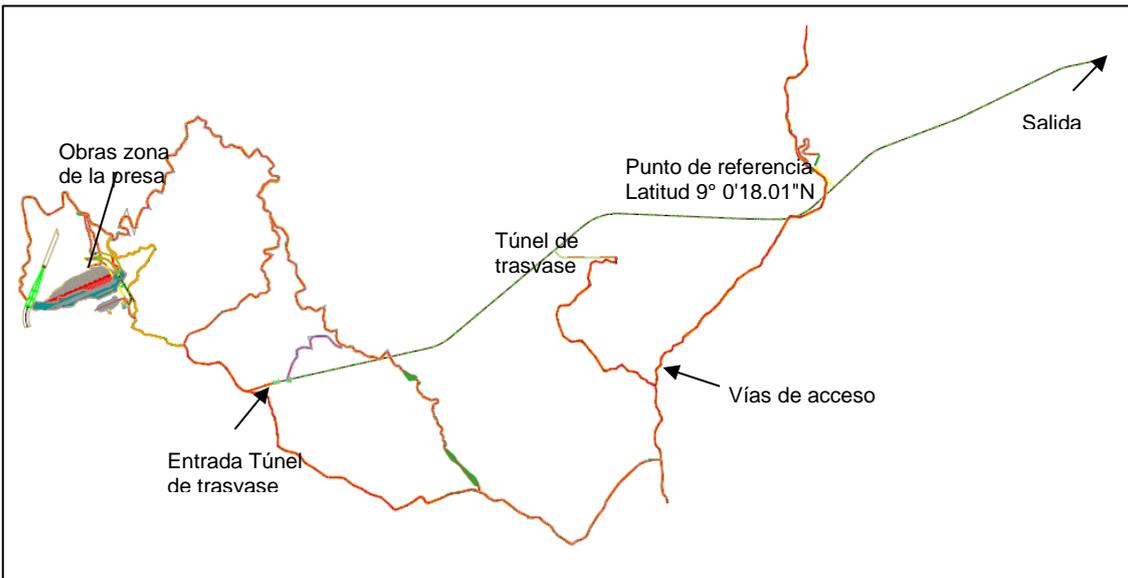


Figura 2. Esquema obras principales Proyecto Río Indio

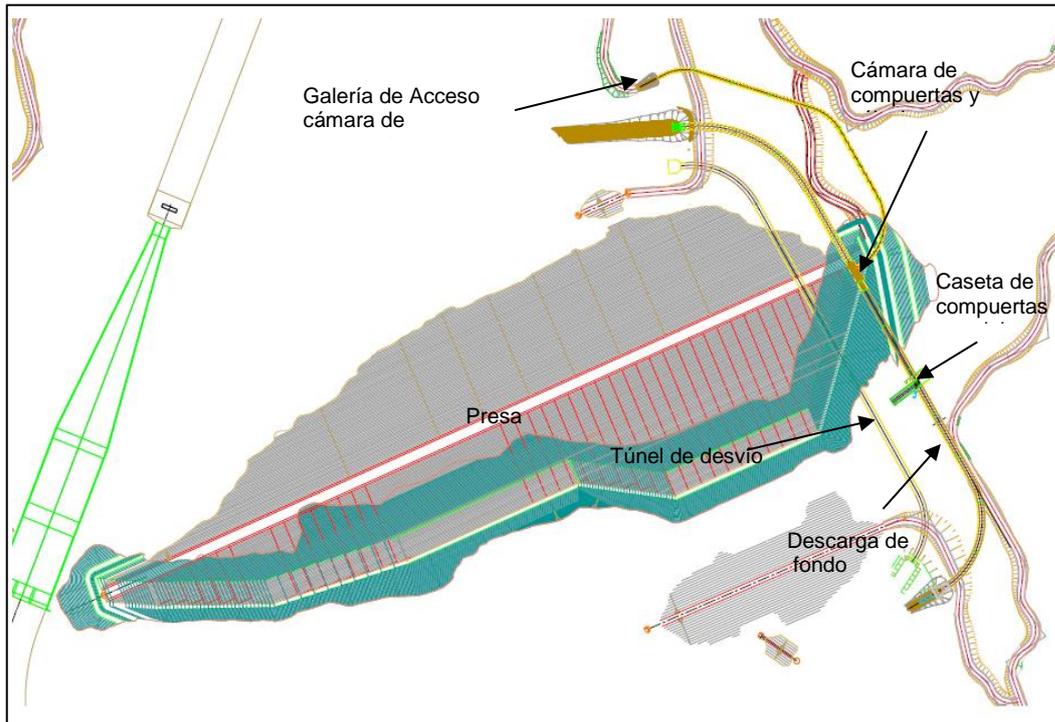


Figura 3. Esquema de obras presa

7.2.2.2. Análisis de alternativas de conexión a proximidades del Proyecto Río Indio

De acuerdo al informe Estadístico del Sector Eléctrico Panameño del primer semestre de 2017, publicado por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos de Panamá (ASEP, 2018), a través de la Dirección Nacional de Electricidad, Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, y específicamente el reporte de demanda, las redes de distribución eléctrica en Panamá están a cargo de tres empresas concesionarias:

- Empresa de Distribución Eléctrica Metro Oeste, S.A. (EDEMET, de Gas Natural Fenosa), cuya zona de concesión se enmarca dentro de las provincias de Veraguas, Coclé, Herrera, Los Santos, la provincia de Panamá al Oeste del Canal de Panamá, y la parte Oeste de la ciudad de Panamá, incluyendo el Parque Natural Metropolitano, el Parque Nacional Camino de Cruces, el Parque Nacional Soberanía, y la Finca Agroforestal Río Cabuya.
- Elektra Noreste, S.A., (ENSA), con una zona de concesión comprendida entre de las provincias de Darién, Colón, la parte de la provincia de Panamá al Este del Canal de Panamá (excepto la parte Oeste de la ciudad de Panamá, el Parque Natural Metropolitano, el Parque Nacional Camino de Cruces, el Parque Nacional Soberanía, y la Finca Agroforestal Río Cabuya), la Comarca de San Blas y las Islas del Golfo de Panamá.
- Empresa de Distribución Eléctrica Chiriquí, S.A. (EDECHI), cuya zona de concesión está ubicada en las provincias de Chiriquí y Bocas del Toro.

Teniendo en cuenta las provincias afectadas por el Proyecto Río Indio, en la Tabla 4 se indica la empresa de distribución a la cual está asociado el servicio de energía eléctrica:

Tabla 4. Empresa de distribución de energía por provincia

	Empresa de distribución
Provincia de Colón	ENSA
Provincia de Coclé	EDEMET
Provincia de Panamá	EDEMET Oeste del Canal de Panamá

En una fase inicial del proyecto se contactó a estas dos empresas de distribución para solicitar información con respecto a la oportunidad de conexión de la demanda del proyecto a sus redes, no se logró obtener dicha información. Por lo cual, se realizó una revisión a partir del seguimiento fotográfico de las redes cercanas al proyecto. A continuación, se presenta el análisis de las redes eléctricas identificadas en las proximidades del Proyecto Multipropósito Río Indio.

Redes eléctricas cercanas del proyecto

En el informe Reporte Intermedio de Diseño Conceptual Volumen Diseño Eléctrico – Análisis de demanda de potencia (Ingetec S.A.S, 2018) se identificó que la zona de influencia del proyecto en su mayoría no cuenta con cobertura de servicio de energía eléctrica y que la construcción del proyecto beneficiaría a las poblaciones a ser reubicadas como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de cobertura servicio de energía eléctrico

Provincia	Número de viviendas	Número de viviendas sin servicio de energía eléctrica	Porcentaje de cobertura
COCLÉ	255	218	14.5%
COLÓN	81	72	11.1%
PANAMÁ	184	155	15.8%
Total	520	445	14,4%

Nota: Datos estimados a partir del Censo 2010 de Panamá.

El seguimiento fotográfico de redes eléctricas hasta un radio de 25 km alrededor del proyecto evidenció que el cubrimiento eléctrico es escaso y en su mayoría sólo se identificaron redes monofásicas para suministro de pequeñas poblaciones.

Red eléctrica en Escobal

Los 2388 habitantes de la localidad Escobal, provincia Colón, reciben energía eléctrica por medio de una red trifásica proveniente de Colón, la disponibilidad de potencia de esta red es desconocida pero se estima, de acuerdo a la configuración de estructura de esta red rural, véase Figura 4, que no cuenta con capacidad para proveer la demanda requerida para la construcción de las obras del Proyecto Multipropósito Río Indio.



Figura 4. Línea de distribución rural en Escobal

Características estimadas de la línea trifásica en Escobal

- Tipo de red: Trifásica
- Disponibilidad de potencia de la red: Desconocida
- Distancia en línea recta con la presa CFRD: 29 km aprox.
- Distancia por carretera hasta la presa: 39.6 km aprox.
- Procedencia: Subestación Colón

Red eléctrica en Nueva Arenosa

En las cercanías del poblado de Nueva Arenosa, provincia de Panamá, se encuentra una línea trifásica proveniente de la subestación La Chorrera.

Características de la línea trifásica en Nueva Arenosa

- Tipo de red: Trifásica
- Disponibilidad de potencia de la red: Desconocida
- Distancia en línea recta con la presa CFRD: 25 km aprox.
- Distancia por carretera hasta la presa: 38.4 km aprox.
- Procedencia: Subestación La Chorrera

La disponibilidad de potencia de esta red es desconocida pero se estima, de acuerdo a la configuración de estructura de esta red rural, véase Figura 5, que no cuenta con capacidad para proveer la demanda requerida para construcción de las obras del Proyecto Multipropósito Río Indio.



Figura 5. Línea trifásica de media tensión en Nueva Arenosa

Conexión directa con subestación en Colón

La ciudad de Colón, ubicada a aproximadamente 49 km del sitio de la presa medido en línea recta, véase Figura 6, siendo una de las ciudades más importantes de Panamá posee la infraestructura para ofrecer un punto de conexión adecuado para el desarrollo del Proyecto Multipropósito Río Indio.



Figura 6. Conexión directa con subestación en Colón

Características Subestación Colón

- Tipo de red: Trifásica
- Niveles de tensión: 44 kV / 13.8 kV / 4.16 kV
- Capacidad instalada: 52 MVA
- Distancia en línea recta con la presa CFRD: 49 km aprox.

- Distancia por carretera: 70.37 km aprox.
- Propiedad: Empresa de distribución de ENSA

Conexión directa con la subestación La Chorrera

La subestación La Chorrera (230/115/34.5 kV), ubicada a 45 km del proyecto, véase Figura 7, no posee disponibilidad de conexión de ningún nuevo proyecto de acuerdo a información suministrada por ETESA en comunicación ETE-DTR-GPL-164-2018 (Anexo 1) por lo tanto, aun cuando es de las subestaciones eléctricas más cercanas al proyecto se descarta como alternativa de conexión del proyecto.



Figura 7. Conexión directa con subestación en La Chorrera

7.2.3. Alternativa de conexión seleccionada



Conexión con la subestación cercana a la Central Gatún a 6,9 kV

Por acuerdo entre ACP y ENSA, la alimentación eléctrica del proyecto será a 34.5 kV en línea semi-aislada desde la subestación a 6,9 kV de ENSA que a su vez es alimentada por la central Gatún, ubicada a 38 km del proyecto como se ve en la Figura 8. Se utilizará transformador 7.5/10 MVA, elevador 6,9 - 34.5 kV con cambiador de tomas automático bajo carga para regular la tensión en la zona del proyecto.



Figura 8. Conexión con la subestación cercana a la CH Gatún a 6,9 kV

7.2.3.2. Selección del conductor

La potencia que se desea transportar desde la subestación a 6.9 kV de ENSA hasta las obras del proyecto Río Indio, implica la construcción de una línea de aproximadamente 58 km.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRLN-06-001 "Distribution Line - Single Line Diagram" se presenta el diagrama unifilar de la línea de media tensión y las derivaciones requeridas para las obras durante la construcción.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRLN-01-001 "Energy Distribution Line Alignment" se presenta al interior del proyecto la trayectoria de la línea principal y las derivaciones hacia las obras siguiendo vías de acceso a cada una de ellas.

La selección del conductor se realizó siguiendo las recomendaciones del Bulletin 1724E-200 (U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff Division, 2012) capítulo 9 "Conductors and overhead ground wires":

d Selection of Conductor Size.

(1) Minimum Conductor Size. Table 9-1 provides a list of minimum allowable conductor sizes for each standard agency transmission voltage. The minimums are based on a combination of radio noise, corona, and mechanical sag and strength considerations. If a conductor type other than ACSR or 6201 AAAC is used, the conductor diameter should not be less than the diameter of the ACSR specified for the particular given voltage.

TABLE 9-1
RECOMMENDED MINIMUM CONDUCTOR SIZES

kV _{LL}	ACSR	AAAC - 6201
34.5	1/0	123.3 kcmil
46	2/0	155.4 kcmil
69	3/0	195.7 kcmil
115	266.8 kcmil	312.8 kcmil
138	336.4 kcmil	394.5 kcmil
161	397.5 kcmil	465.4 kcmil
230	795 kcmil	927.2 kcmil

Figura 9. Calibre mínimo de conductores recomendados por nivel de tensión

Fuente: Bulletin 1724E-200 (U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff Division, 2012)

(2) *Voltage Drop Considerations. Not only should the conductor be sufficiently large to meet the requirements of paragraph 9.d.(1) of this section, but it should also meet the system voltage drop requirements. Typically, the conductor impedance would have to be sufficiently low so that, under a given set of electrical loading conditions, the voltage drop would not exceed approximately 5 percent. In general, voltage drop becomes a factor for longer lines. Voltage drop can be evaluated by either running a load flow computer program or by using the estimating tables in Bulletin 62-5, "Electrical Characteristics of REA Alternating Current Transmission Line Designs."*

El conductor mínimo recomendado para el nivel de 46 kV es el 2/0 ACSR el cual tiene una capacidad de corriente de 276 A. Como se indica en el Boletín, este conductor considera efectos combinados de radio interferencia, efecto corona y resistencia mecánica.

La determinación de la regulación se realizó mediante la simulación de la red de media tensión mediante el software ETAP, en su módulo de flujo de carga. El conductor calibre 2/0 no cumple con el criterio de regulación.



La línea será con conductor calibre 477 kcmil semi-aislado a 46 kV por cobertura de árboles a lo largo de la vía de acceso al proyecto por donde se llevará la línea, a fin de evitar frecuentes salidas por contacto con vegetación. Será construida en postería para futuro uso para alimentación de usuarios rurales.

Para lograr regulación cercana al 5% se configuró una línea de 34.5 kV, circuito sencillo y en la configuración presentada en la Figura 10. Adicionalmente, en cada uno de los puntos de derivación se fijó el factor de potencia en el lado de las cargas en 0.98, para lo cual el Contratista deberá prever compensación capacitiva en las cargas. Asimismo, los transformadores de distribución, reductores, contarán con cambiador de tomas sin carga para lograr la regulación de la tensión secundaria. La carga estimada para las comunidades se fijó con el factor de potencia de 0.85.

Se especificará en el diseño de la línea, el cumplimiento de protección contra descargas eléctricas atmosféricas para menos de 3 salidas al año para toda la línea.

Estos requisitos serán incluidos en las especificaciones técnicas para el Constructor.

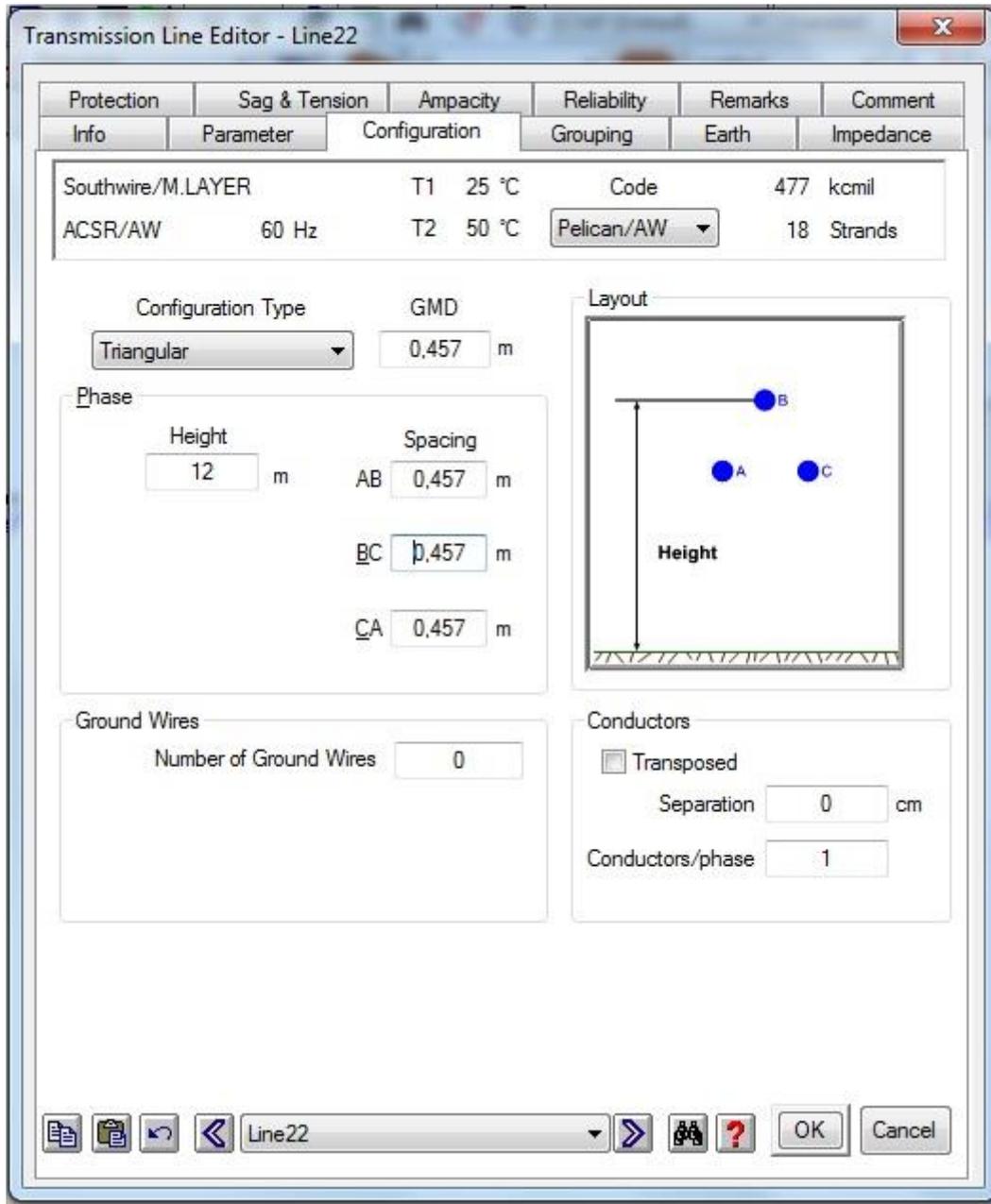


Figura 10. Configuración línea de distribución Colón - Río Indio

Fuente: Software ETAP

En la Tabla 6 se presentan las características técnicas del conductor seleccionado.

Tabla 6. Características técnicas del conductor

Nombre clave	Área de aluminio kcmil	Número de hilos		Resistencia	
		AI	AC	CA25°C Ohm/milla	CA, 60 Hz -50°C Ohm/milla
Semiaislado (protegido)	477	19	7	0.19	0.2159

Fuente: Librería del programa ETAP

En el Anexo 2, se presenta el reporte completo de los resultados del estudio de flujo de carga y corto circuito para la red de media tensión simulada en el software ETAP con la demanda durante la fase de construcción

En la Figura 11. se presenta el resultado resumido, en el cual se aprecia que la caída de tensión en las derivaciones más alejadas del punto de suministro está alrededor del 5%.

La corriente para el proyecto es 135 A con una carga de 8,5 MVA.

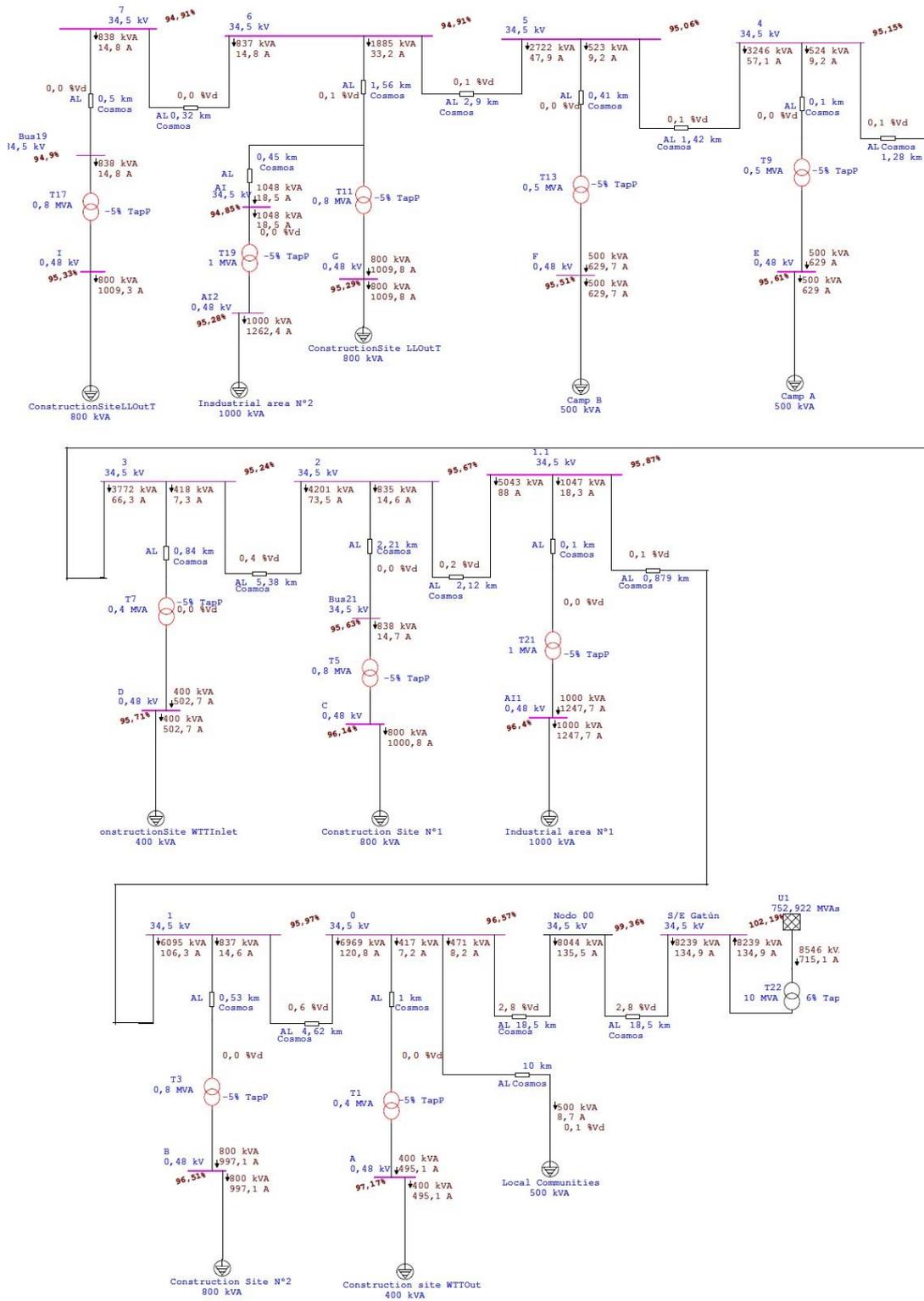


Figura 11. Resultados simulación red media tensión. Fuente: Software ETAP

7.3. FUENTES DE ENERGÍA DE RESPALDO

Como forma de respaldo para el suministro de energía en las diferentes etapas del Proyecto Río Indio se utilizarán plantas Diesel como se indica a continuación:

Etapa inicial del proyecto

En la fase inicial del proyecto, durante la construcción de la línea de distribución de media tensión, el contratista deberá instalar plantas Diesel para el suministro de energía de los campamentos de trabajadores y frentes de obra.

Etapa de desarrollo de las obras

Una vez construida la línea de media tensión el Contratista deberá contar con plantas Diesel de emergencia como fuente de suministro de respaldo, para sistemas sensibles durante la construcción de las obras tales como los sistemas de iluminación, ventilación y drenaje que proporcionen el 100% de la suplencia para garantizar que las obras avancen adecuadamente sin interrupciones por cortes de energía.

Etapa de operación del proyecto

Se instalarán plantas Diesel de emergencia como suministro eléctrico de respaldo para las cargas esenciales en las siguientes ubicaciones:

- Salida Túnel de Traslase, ver sección [7.4.2. Túnel de trasvase salida](#)
- Cámara de compuertas, ver sección [7.4.4. Túnel descarga de fondo](#)

7.4. DISEÑO ELÉCTRICO OBRAS PERMANENTES

7.4.1. Suministro de energía obras permanentes

El suministro de energía para las obras permanentes con requerimiento de energía se realizará mediante una derivación a cada una de las obras desde la línea principal de 34.5 kV, como se representa en la Figura 12.

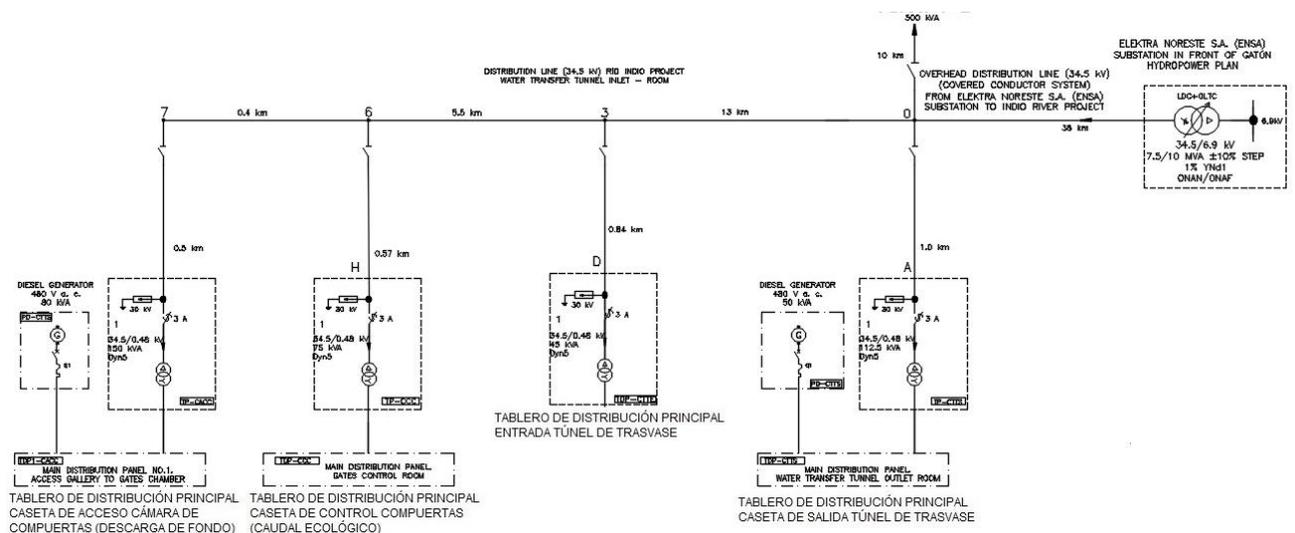


Figura 12. Esquema simplificado red de 34.5 kV

Desde cada derivación de línea se alimentará un transformador de 34,5/0.48 kV de capacidad acorde con los requerimientos de energía en cada una de las siguientes obras:

- Túnel de trasvase salida

- Túnel de trasvase entrada - pozo de compuertas
- Caseta de control compuertas de caudal ambiental
- Descarga de fondo - Cámara de compuertas y válvulas

Se prevé que la construcción de estas derivaciones se realizará siguiendo la ruta de las vías de acceso a cada una de estas obras.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRLN-01-001 "Distribution Line Alignment" se presenta la ruta de la línea principal y derivaciones a cada una de las obras del proyecto.

7.4.2. Túnel de trasvase salida

7.4.2.1. Configuración de conexión

En la Tabla 7. se describen los equipos hidromecánicos asociados a la salida del túnel de trasvase que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 7. Listado de cargas equipos hidromecánicos túnel trasvase de salida

Parámetro	Unidad	TTSCR	TTSCP
		Compuerta radial (salida túnel)	Compuerta plana (salida túnel)
Cantidad	Un.	1	1
Obra		Túnel de trasvase	Túnel de trasvase
Localización	-	Estructura de salida del túnel de trasvase	Estructura de salida del túnel de trasvase
Tipo de actuador	-	Cilindro + Unidad hidráulica	Cilindro + Unidad hidráulica
Potencia estimada por equipo	[kW]	8.4	36.9
Equipo esencial	-	SI	SI

Para la operación de la compuerta radial y de la compuerta plana de guarda se definió la instalación de una unidad hidráulica para cada compuerta.

Teniendo en cuenta la demanda coincidente asociada a esta obra se prevé su suministro desde la derivación de la línea de distribución de 34.5 kV a un transformador de distribución para instalación en poste de 34.5/0.48 kV - 112.5 kVA, el cual se ubicaría en la plataforma de acceso a esta obra.

Puesto que se considera esencial el funcionamiento de estas compuertas y teniendo en cuenta que no existe coincidencia en su operación se contará con una planta Diésel de emergencia, con capacidad para la mayor carga correspondiente a la unidad hidráulica de la compuerta plana y otras cargas asociadas a los servicios de los tableros de control, comunicaciones y CCTV. De acuerdo a la capacidad requerida para estas cargas, la capacidad de la planta Diesel será de 50 kVA.

En el anexo E3 se presenta el cuadro de cargas del sistema eléctrico del Túnel de trasvase - salida.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRTU-06-001 "Water Transfer Tunnel-outlet - Electrical Auxiliary Services - Single Line Diagram" se presenta la configuración de conexión de este sistema.

7.4.2.2. Tableros eléctricos

El sistema eléctrico está conformado por los tableros indicados en la Tabla 9.

Estos tableros se ubicarán en una caseta en una plataforma a la salida del túnel, anexo a la localización del transformador de distribución principal y de la caseta para la planta Diesel de emergencia, véase plano INDIO-LD-MEC-04-012 "Water Transfer Tunnel Outlet Portal Gates".

Tabla 8. Tableros de distribución Eléctrica Túnel de transferencia salida

Identificación del Tablero	Función
Tablero de principal de distribución TPD-CTTS (480 Vc.a.)	Transferencia entre la fuente de suministro normal(principal) y la planta Diésel. Desde este tablero se alimentan: <ul style="list-style-type: none"> - Los tableros de fuerza y control de las unidades hidráulicas. - El tablero de servicios auxiliares de las casetas.
Tablero de distribución de servicios de las casetas TD-SA-CTTS (480 /208 Vc.a.)	Tablero para el suministro de servicios de iluminación y tomas de las casetas, e iluminación exterior.
Tablero de distribución de cargas reguladas TD-UPS (208 V c.a.)	Tablero con UPS para el suministro de energía para cargas de control, comunicaciones y CCTV.

7.4.3. Túnel de trasvase entrada - Pozo de compuertas

7.4.3.1. Configuración de conexión

En la Tabla 9 se describen los equipos hidromecánicos asociados a la entrada del túnel de trasvase, específicamente al pozo de compuertas, que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 9. Listado de cargas equipos hidromecánicos túnel trasvase de entrada - Pozo de compuertas

		TTECP
--	--	-------

Parámetro	Unidad	Compuerta plana de ruedas (entrada túnel)
Cantidad	Un.	2
Obra		Túnel de trasvase
Localización	-	Foso de compuertas a la entrada del túnel de trasvase
Tipo de actuador	-	Cilindro + Unidad hidráulica
Potencia estimada por equipo	[kW]	9.1
Equipo esencial	-	NO

Para la operación de las compuertas se definió la instalación de una unidad hidráulica para las dos compuertas.

Puesto que la operación de estas compuertas es esporádica y no se considera esencial para la operación del proyecto, no se contará con una fuente de suministro de suplencia.

Teniendo en cuenta la demanda coincidente asociada a esta obra se prevé su suministro desde la derivación de la línea de distribución de 34.5 kV a un transformador de distribución para instalación en poste de 34.5/0.48 kV - 45 kV, el cual se ubicaría al finalizar la vía de acceso a la obra, anexo al pozo de compuertas y al cuarto de tableros y de la unidad hidráulica.

En el anexo E4 se presenta el cuadro de cargas del sistema eléctrico del Túnel de trasvase - entrada.

En el plano INDIO-LD-ELE-TRTU-06-002 "Water Transfer Tunnel-Inlet - Electrical Auxiliary Services - Single Line Diagram" se presenta la configuración de conexión de este sistema.

7.4.3.2. Tableros eléctricos

El sistema eléctrico está conformado por los tableros indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Tableros de distribución Eléctrica Túnel de transferencia entrada - Pozo de compuertas

Identificación del Tablero	Función
Tablero de principal de distribución TPD-CTTE (480 Vc.a.)	Desde esta tablero se alimentan: <ul style="list-style-type: none"> - El tablero de fuerza y control de la unidad hidráulica de las compuertas planas. - El tablero de servicios auxiliares de las casetas.
Tablero de distribución de servicios de las casetas TD-SA-CTTE (480 /208 Vc.a.)	Tablero para el suministro de: <ul style="list-style-type: none"> - Servicios de iluminación y tomas de la caseta, e iluminación exterior. - Suministro de energía a la UPS.
Tablero de distribución de cargas reguladas	Tablero con UPS para el suministro de energía control, comunicaciones y CCTV.

Estos tableros se ubicarán en una caseta en una plataforma a la entrada del túnel, anexo a la localización del transformador de distribución principal, véase plano INDIO-LD-MEC-TRTU-04-010 "Water Transfer Tunnel Gates Pit.

7.4.4. Túnel descarga de fondo - Cámara de compuertas

7.4.4.1. Configuración de conexión

En la Tabla 11 se describen los equipos hidromecánicos asociados a la descarga de fondo que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 11. Listado de cargas equipos hidromecánicos descarga de fondo

Parámetro	Unidad	DFCR	DFCP	DFVHB	DFVM
		Compuerta radial	Compuerta plana	Válvula Howell Bunger	Válvula Mariposa
Cantidad	Un.	1	1	1	1
Obra		Descarga de fondo	Descarga de fondo	Caudal Ambiental	Caudal Ambiental
Localización	-	Cámara de compuertas de la descarga de fondo	Cámara de compuertas de la descarga de fondo	Cámara de compuertas de la descarga de fondo	Cámara de compuertas de la descarga de fondo
Tipo de actuador	-	Cilindro + Unidad hidráulica	Cilindro + Unidad hidráulica	Unidad hidráulica compartida con válvula mariposa	Unidad hidráulica compartida con válvula Howell Bunger
Potencia estimada por equipo	[kW]	45.6		22.2	
Equipo esencial	-	SI	SI	SI	SI

Para la operación de la compuerta radial y plana se definió la instalación de una unidad hidráulica para las dos compuertas, con un requerimiento máximo de potencia eléctrica de 41 kW. De manera similar para la operación de las válvulas se dispone de una unidad hidráulica con capacidad de 20 kW.

Teniendo en cuenta la ubicación de estas compuertas en la cámara de compuertas, ubicada a una distancia de 0.35 km desde la galería de acceso y que su funcionamiento es esencial, se plantea la instalación de dos fuentes de suministro de energía. La alimentación principal derivada de la línea de distribución de 34.5 kV, que alimenta un transformador de distribución para montaje en poste de 150 kVA de 34.5/0.48 kV desde el cual se conforma un sistema de distribución de estas obras (galería de acceso y cámara), transformador que se ubicaría en la entrada de la galería de acceso.

Como fuente de respaldo, se contará con una planta Diésel de emergencia, con capacidad para cumplir el requerimiento de operación de la unidad hidráulica de mayor capacidad y otros servicios como sistema de iluminación de la cámara y de la galería. Se prevé una planta Diesel de 80 kVA.

En el anexo E5 se presenta el cuadro de cargas del sistema eléctrico de la obra de la descarga de fondo: cámara de compuertas y galería de acceso.

En el plano INDIO-LD-ELE-BOUT-06-01 “Bottom Outlet - Electrical Auxiliary Services - Single Line Diagram” se presenta la configuración de conexión de este sistema.

7.4.4.2. Tableros eléctricos

El sistema eléctrico está conformado por los tableros indicados en Tabla 12.

El tablero principal para realizar la transferencia entre el transformador de distribución y la planta Diésel se ubicará en una caseta en la entrada a la galería de acceso y anexo a la localización del transformador de distribución principal. Desde este tablero se prevé una acometida de 0.35 km hasta la cámara de compuertas donde se dispone un tablero para suministro de los equipos hidromecánicos y sistema de servicios de la cámara y galería de acceso. La disposición de los tableros se presenta en los planos INDIO-LD-MEC-BOUT-03-001 “Bottom Outlet Gates Chamber Sections and Details” y INDIO-LD-MEC-BOUT-00-001 “Bottom Outlet Gates Chamber Location and General Arrangement”.

Tabla 12. Tableros de distribución Eléctrica cámara de compuertas

<p>Tablero de principal de distribución TPD-CACC (480 Vc.a.)</p>	<p>Transferencia entre la fuente de suministro normal(principal) y la planta Diésel. Desde este tablero se alimentan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El tablero de servicios de la caseta de la planta Diesel a ser localizada en la zona de acceso a la galería de acceso a la cámara de compuertas. - Iluminación de la mitad de la galería de acceso. - El tablero de servicios auxiliares de la cámara de compuertas.
<p>Tablero de distribución de servicios de las casetas TD-SA-CACC (480 /208 Vc.a.)</p>	<p>Tablero para el suministro de servicios de iluminación y tomas de la caseta planta Diésel e iluminación de la galería de acceso.</p>
<p>Tablero de distribución de servicios de las casetas TPD2-CC (480 Vc.a.)</p>	<p>Tablero para el suministro de servicios auxiliares de la cámara de compuertas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Servicios de las unidades hidráulicas - Servicios de iluminación y tomas de la cámara - Servicios regulados
<p>Tablero de distribución de cargas reguladas</p>	<p>Tablero con UPS para el suministro de energía para la transferencia y tableros de control, comunicaciones y CCTV.</p>

7.4.5. Caudal ambiental

7.4.5.1. Configuración de conexión

En la Tabla 13 se describen los equipos hidromecánicos asociados a la caseta de control las compuertas planas de regulación de caudal ambiental que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 13. Listado de cargas equipos hidromecánicos caseta de control compuertas caudal ambiental

Parámetro	Unidad	CACP1-2	CACP3-4	CACC	CAPG
		Compuertas plana de ruedas	Compuertas plana de ruedas	Compuerta plana de ruedas	Pórtico Grúa
Cantidad	Un.	2	2	1	1
Obra		Caudal Ambiental	Caudal Ambiental	Caudal Ambiental	Caudal Ambiental
Localización	-	Captación Multinivel Caudal Ambiental, nivel inferior	Captación Multinivel Caudal Ambiental, nivel medio	Captación Multinivel Caudal Ambiental	Captación Multinivel Caudal Ambiental
Tipo de actuador	-	Izaje con pórtico grúa	Izaje con pórtico grúa	Izaje con pórtico grúa	Motores eléctricos
Potencia estimada por equipo	[kW]	-	-	-	12.2
Equipo esencial	-	NO	NO	NO	NO

La operación de las compuertas fue definida mediante el izaje con un pórtico grúa, el cual tiene los siguientes motores: dos de traslación del pórtico (1 en cada viga testera), dos de traslación del trolley y uno del polipasto. Se prevé un requerimiento máximo de potencia eléctrica de 15 kW, teniendo en cuenta que no existe simultaneidad en la operación de los motores.

A partir de la la ubicación de estas compuertas se dispuso una caseta para los tableros eléctricos desde los cuales se prevé el suministro para el pórtico grúa, iluminación exterior de la zona de la caseta y servicios para el sistema CCTV. Adicionalmente se prevé desde estos tableros el suministro a iluminación exterior de la cresta de la presa. Puesto que no hay cargas esenciales, la alimentación principal derivada de la línea de distribución de 34.5 kV, que alimentará un transformador de distribución para montaje en poste de 75 kVA de 34.5/0.48 kV, el transformador se ubicaría anexo al sitio de ubicación del pórtico conservado distancias de seguridad.

En el anexo E6 se presenta el cuadro de cargas del sistema eléctrico para la caseta de control de compuertas de caudal ambiental.

En el plano INDIO-LD-ELE-EFLW-06-01 "Ecological Flow - Electrical Auxiliary Services - Single Line Diagram" se presenta la configuración de conexión de este sistema.

7.4.5.2. Tableros eléctricos

El sistema eléctrico está conformado por los tableros indicados en Tabla 14.

El tablero principal de distribución se ubicará en una caseta, anexa a la localización del transformador de distribución principal, véase plano INDIO-LD-MEC-EFLW-00-001 "Ecological Flow Intake Gates".

Tabla 14. Tableros de distribución Eléctrica caseta control compuertas

Tablero de principal de distribución TPD-CCC (480 Vc.a.)	<p>Tablero de distribución a 480 Vc.a. .</p> <p>Desde este tablero se alimentan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El tablero de servicios de la caseta de tableros en la zona del pórtico de izaje. - El tablero de servicios del pórtico grúa.
Tablero de servicios TPD-SA-CCC (480./208 Vc.a)	<p>Desde este tablero se alimentan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iluminación exterior, zona de caseta y cresta de la presa. - Sistema CCTV

7.4.6. Túnel de desvío

En la Tabla 15 se describen los equipos hidromecánicos asociados al Túnel de desvío que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 15. Listado de cargas equipos hidromecánicos túnel de desvío

Parámetro	Unidad	DSVCP
		Compuerta plana de ruedas
Cantidad	Un.	2
Obra		Desvío
Localización	-	Portal de entrada al túnel de desvío
Tipo de actuador	-	Cilindro + Unidad hidráulica
Potencia estimada por equipo	[kW]	7.2
Equipo esencial	-	NO

Teniendo en cuenta la función y forma de operación de las compuertas del túnel de desvío:

- Función: Proporcionar el cierre del túnel de desvío para llenado del embalse.
- Forma de operación: Se operan únicamente durante el cierre del desvío.

Se plantea el uso de una fuente de alimentación eléctrica temporal, tipo planta Diésel, que permita la operación de cierre de las compuertas para el inicio del llenado del reservorio, sin incurrir en una instalación permanente cuyo uso sería por una única vez. Puesto que se dispondría de una unidad hidráulica para las dos compuertas, se requiere una planta Diesel de aproximadamente 10 kVA.

7.4.7. Análisis de cortocircuito

Para el análisis de cortocircuito se elaboró el modelo de la red de media tensión, de acuerdo con la configuración del sistema indicado en el diagrama unifilar, considerando una línea aérea en



media tensión desde la presa Río Indio hasta la subestación como se adjunta en el anexo 2 y los siguientes datos:

Para la consideración de los niveles de falla de corto circuito en la subestación a la que se conectará el proyecto, se toma el valor dado por la norma IEEE C57.12.00-2015 tabla 14 para niveles de tensión nominal inferior de 46kV que es 63kA.

Para un transformador de esta potencia nominal 7.5/10 MVA, de acuerdo con la norma IEC 60076-5 tabla 1, la impedancia seleccionada es del 8% expresada en la potencia de la condición de funcionamiento natural, i.e., de 7.5 MVA (ONAN), se estima la impedancia para la condición con ventilación forzada como ONAF es del 10.6%:

$$Z_{ONAF} = \frac{S_{ONAF}}{S_{ONAN}} Z_{ONAN} = \frac{10 \text{ MVA}}{7.5 \text{ MVA}} 8\% = 10.6\%$$

Para los transformadores de distribución se consideró una impedancia de 6%.

La simulación se realizó en el programa de análisis de cortocircuito ETAP para corto circuito trifásico y fase-tierra para el sistema eléctrico de potencia. El análisis se ajusta a la última edición de las normas ANSI / IEEE C37.

La máxima corriente de corto circuito obtenida para el nivel de tensión de 34.5 kV es de 1.3 kA ante una falla en la subestación de ENSA (ubicada frente a la CH Gatún). La magnitud de la corriente de corto circuito va decreciendo a medida que se acerca a la presa de Río Indio hasta el nodo el nodo 7 con una corriente de 0.58 kA.

Para el nivel de tensión de 480 V c.a. la máxima corriente de corto circuito es de 15.4 kA en el caso de falla en el nodo AI1 que alimenta el área industrial N°1.

8. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES

8.1. GENERAL

En el diseño se incluye la supervisión y control de los equipos mecánicos en la presa principal y túnel de transferencia, así como también la vigilancia por circuito cerrado de televisión CCTV de las estructuras principales.

Se plantea una estructura de supervisión y control jerárquica de cuatro niveles, según lo definido en el [numeral 6.2](#)



La operación será realizada por personal presente en los sitios del proyecto durante periodos activos, salvo para la compuerta radial de la salida del túnel de trasvase y la válvula cono de regulación de caudal ecológico, las cuales podrán tener consignas de caudal para operación automática.



El flujo de agua a través del trasvase se controla por medio de las compuertas instaladas en la entrada y salida del mismo. El vaciado o cierre de emergencia del túnel se realizará con las compuertas planas dispuestas en la entrada; la regulación del caudal, a la salida del túnel, será acorde con la consigna de caudal que sea indicada local o remotamente por el operario para la compuerta radial de regulación.



El agua trasvasada tendrá un impacto en el nivel de agua en el embalse. En caso de que no haya caudal por el túnel de trasvase, se realizará la regulación por medio de la descarga de fondo. La descarga de caudal ambiental operará normalmente de forma continua no interrumpida. En caso de falla de los sistemas, o llenado del embalse por creciente, se realizará la descarga por medio del vertedero de flujo libre.

A la red de supervisión y control se integrarán los dispositivos de supervisión y control de los siguientes cuatro sitios:

- Entrada túnel de transferencia
- Salida túnel de transferencia
- Cámara de compuertas en descarga de fondo
- Captación de caudal ambiental

La red se implementará sobre fibra óptica OPGW monomodo de 24 hilos, la cual estará instalada en los postes de las líneas eléctricas del proyecto. Para la entrada a cada uno de los sitios se utilizará fibra óptica para exteriores la cual llegará desde las cajas de empalme en los postes hasta los tableros en cada sitio.



Desde el nivel 2, la conexión con el nivel 3 será realizada por medio de fibra óptica OPWG, la cual será tendida sobre la línea de energía a 34.5 kV que conecta con la subestación en las proximidades de la Central Gatún. La conexión de última milla entre la subestación y la Central se realizará mediante un empalme en fibra óptica que tenga las mismas características geométricas del cable OPGW. El punto de conexión de la fibra en la subestación y en la Central será definido por la ACP.

Los tableros de control de nivel 1 contarán con controladores con redundancia en fuentes y en CPU, también contarán con switches de comunicaciones con puertos en cobre y fibra óptica para el envío de la información por la fibra óptica monomodo de la red de supervisión y control del proyecto.

Los tableros de CCTV también contarán con switches de comunicaciones con puertos en cobre aptos para PoE (power over ethernet) y puertos para fibra óptica para el envío de la información por la fibra óptica monomodo de la red de supervisión y control del proyecto.



Para la red de CCTV, se contará con cámaras de video HD las cuales permitirán la supervisión de los equipos, tableros, el interior de los edificios y la zona de presa. La visualización de la red CCTV será únicamente desde las instalaciones de la ACP.

La red de control se implementará sobre Ethernet, mediante protocolos estandarizados. Se dispondrán de switches capa 2 y capa 3 para el intercambio de información de las obras del proyecto.

8.2. TÚNEL DE TRANSFERENCIA

8.2.1. Operación

En la entrada del túnel habrán dos compuertas planas, una de guarda y una de servicio. La operación de las compuertas se realizará de manera local. Para la compuerta de servicio la operación podrá ser manual cuando se requiera realizar inspecciones y mantenimientos en el túnel, o automática en caso de cierre de emergencia.

El cierre de emergencia se determinará mediante un sistema dinámico de medición de velocidad, el cual, de acuerdo al caudal nominal de descarga definido por las curvas de operación de la compuerta radial y el nivel del embalse, realice la comparación con el caudal medido en las proximidades de las compuertas de entrada del túnel de trasvase para detectar ruptura o colapso del túnel. Las compuertas operarán en cierre contra flujo máximo bajo su propio peso.

En la salida del túnel de trasvase, habrá una compuerta radial de operación y una compuerta plana de guarda. La compuerta plana tendrá una operación local y manual, así como una operación automática de cierre de emergencia en caso de falla de la compuerta radial. La operación de la compuerta radial será automática, de acuerdo al nivel del embalse, el nivel del lago Gatún y las curvas de operación de la compuerta, previendo que pueda tener consignas locales y remotas de caudal.



A continuación se presenta la Tabla 16 resumiendo los sistemas del túnel de transferencia:

Tabla 16. Sistemas del túnel de transferencia

UBICACIÓN	EQUIPO O SISTEMA	MODO DE CONTROL		EQUIPO DE CONTROL	EQUIPOS DE SUPERVISIÓN O DE COMUNICACIONES	OBSERVACIONES
		Local / Manual	Local / Automático			
Entrada Túnel de Transferencia	Compuerta plana de servicio	X	X	TCF-UH (TTI)	* Instrumentos de posición	* Automático en caso de cierre de emergencia. * Cierre contraflujo
	Compuerta plana de guarda	X		TCF-UH (TTI)	Instrumentos de posición	* Cierre contraflujo
	Instrumentos de equilibrio de presiones	-	-	TCF-UH (TTI)		* Sondas piezoeléctricas para medición de equilibrio de presiones
	Instrumentos de medición de nivel	-	-	TCF-UH (TTI)	-	* La medida será integrada al TCF-UH (TTI), y enviada al TCF-UH-2 (TTO) por medio de la comunicación con TYTTO
	TCF-UH (TTI)	-	-	-	-	* Controla la UOH * Salida en fibra óptica hacia TYTTO

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

	UOH	X	X	TCF-UH (TTI)	* Instrumentos de temperatura * Instrumentos de presión * Instrumentos de nivel	* Acciona las 2 compuertas planas
	2 camaras CCTV	-	-	-	CCTV-TTI	* Una cámara con vista al interior de la caseta * Una cámara con vista a los equipos en el exterior de la caseta * Salida en fibra óptica hacia TYTTO
Salida Túnel de Transferencia	Compuerta radial	X	X	TCF-UH-2 (TTO)	* Instrumentos de posición	* Cierre contraflujo * Operación automática por niveles y consigna de caudal
	Compuerta plana de guarda	X		TCF-UH-1 (TTO)	* Instrumentos de posición	* Cierre normal para mantenimiento
	Instrumentos de medición de nivel	-	-	TCF-UH-2 (TTO)	-	* La medida será integrada al TCF-UH-2 (TTO)
	TCF-UH-1 (TTO)			-	TYTTO	* Controla la UOH 1 (Compuerta plana) * Salida en UTP al TYTTO
	TCF-UH-2 (TTO)	-	-	-	TYTTO	* Controla la UOH 2 (Compuerta radial) * Salida en UTP al TYTTO * Integra la supervisión del sistema eléctrico. Incluye comunicación con planta diesel de respaldo
	TYTTO	-	-	-	* Firewall * Router * Switch de comunicaciones capa 3	* Comunica tableros nivel 1 con el nivel 3 * Se conecta con el equipo de transporte con conexión a la ACP
	UOH 1	X		TCF-UH-1 (TTO)	* Instrumentos de temperatura * Instrumentos de presión * Instrumentos de nivel	* Acciona la compuerta plana
	UOH 2	X	X	TCF-UH-2 (TTO)	* Instrumentos de temperatura * Instrumentos de presión * Instrumentos de nivel	* Acciona la compuerta radial
	2 cámaras CCTV	-	-	-	CCTV-TTO	* Una cámara con vista al interior de la caseta * Una cámara con vista a los equipos en el exterior de la caseta * Contiene un NVR y switch para integrar con el tablero TYTTO

TABLERO	UBICACIÓN	TAG	NIVEL DE CONTROL
Tablero de control UOH	Entrada túnel de transferencia.	TCF-UH (TTI)	1
Tablero CCTV		CCTV-TTI	-
Tablero de control UOH 1	Salida túnel de transferencia.	TCF-UH-1 (TTO)	1
Tablero de control UOH 2		TCF-UH-2 (TTO)	1
Tablero CCTV		CCTV-TTO	-
Tablero concentrador		TYTTO	2

8.2.2. Tableros de control

La entrada del túnel de transferencia contará con un tablero de control de nivel 1 [TCF-UH (TTI)] para supervisión y control de las compuertas planas y de la unidad oleo hidráulica. El tablero contará con un controlador encargado de recibir comandos y enviar información, desde y hasta el nivel 2. El controlador se encargará de comparar la medición de presiones aguas arriba y aguas abajo de las compuertas y generar una señal de equilibrio de presiones.

El tablero contará con luces piloto, botones y selectores para indicación de estados de la compuerta, equilibrio de presiones y ejecución de comandos locales.

La salida del túnel de transferencia contará con dos tableros de control de nivel 1 [TCF-UH-1 (TTO)] y [TCF-UH-2 (TTO)]. El tablero [TCF-UH-1 (TTO)] para supervisión y control de la compuerta plana y de la unidad oleo hidráulica 1. El tablero [TCF-UH-2 (TTO)] para supervisión y control de la compuerta radial y de la unidad oleo hidráulica 2.

Los tableros contarán con un controlador encargado de recibir comandos y enviar información, desde y hasta el nivel 2. El controlador de TCF-UH-2 (TTO) se encargará de realizar el control por nivel de la compuerta radial, para esto utilizará los datos provenientes de los instrumentos de nivel del embalse y del lago Gatún, así como también consignas de operación y curvas de caudal definidas de acuerdo a la geometría de las compuertas y el nivel del embalse, las cuales serán programadas en el controlador. Este controlador integrará la supervisión del sistema eléctrico, y enviará el comando de encendido de la planta de respaldo diesel para transferencia.

Los tableros de la caseta de salida del túnel de transferencia contarán con luces piloto, botones y selectores para indicación de estados de la compuerta.



8.2.3. Tablero concentrador TYTTO

El tablero concentrador contará con un firewall, un router, un switch y una IHM. El firewall y el router serán utilizados para la conexión en un extremo con el equipo de transporte de comunicación. En el otro extremo, el router se conectará con el switch el cual será el dispositivo que recibirá la fibra óptica de los sitios de la red de supervisión y control. El router tendrá conexión con el tablero de CCTV para integrar la red de CCTV.

El tablero contará con una IHM, que centralice la información de la descarga de fondo, caudal ambiental y túnel de transferencia (entrada y salida).

Este tablero servirá de interfaz de comunicación con la Central Gatún de la ACP.

8.2.4. Tablero de CCTV

Para ambos sitios (entrada y salida) del túnel de transferencia, se contará con vigilancia por CCTV la cual consistirá en dos cámaras fijas para ser dispuestas: una dentro de las casetas y otra fuera de las casetas con vista a los equipos mecánicos y las obras hídras. En la salida del túnel de transferencia se contará con el tablero principal de la red de CCTV (CCTV-TTO).

En la salida del túnel de transferencia se ubicará un NVR para grabación de los videos de las cámaras del proyecto. Este NVR tendrá la capacidad de conectarse por ethernet IP al tablero concentrador TYTTO para el envío de todos los videos del sistema de CCTV a la ACP. En este tablero se dispondrá de un switch que recibirá todas las fibras de los tableros de CCTV del proyecto para integrarlos al NVR y para envío a la ACP.

En la entrada del túnel de transferencia se contará con un switch de comunicaciones para integrar las dos cámaras de la caseta y enviar su información al tablero CCTV-TTO.

8.2.5. Instrumentación

La instrumentación presente en el túnel de transferencia comprende los siguientes instrumentos:

- Instrumentos de medición de temperatura de las unidades oleo hidráulicas
- Instrumentos de medición de presión de las unidades oleo hidráulicas
- Instrumentos de medición de nivel de aceite en la cuba de las unidades oleo hidráulicas
- Instrumentos de posición de las compuertas

Estos serán integrados al tablero de control de nivel 1 correspondiente a la unidad oleo hidráulica. Adicionalmente deberán integrarse:

- En tablero de nivel 1 de la entrada del túnel de transferencia se integrarán dos sondas piezoeléctricas para medición de presiones aguas arriba y aguas abajo de las compuertas. Esta medición será integrada para generar una señal de equilibrio de presiones. Adicionalmente la sonda aguas arriba de la compuerta será integrada para el cálculo del nivel del embalse.
- En el tablero de nivel 1 de la compuerta radial en la salida del túnel de transferencia se integrarán dos sondas piezoeléctricas para el cálculo del nivel del Lago Gatún

8.2.6. Integración

Cada uno de los tableros de nivel 1 se conectará directamente por la red de supervisión y control con el tablero concentrador TYTTO desde donde se podrá enviar comandos y visualizar el estado del sistema por medio de la IHM. El tablero CCTV-TTI se conectará directamente al tablero CCTV-TTO, el cual a su vez tendrá conexión con el tablero concentrador TYTTO.

8.3. TÚNEL DE DESVÍO

Se dispondrá de dos compuertas planas ubicadas en dos vanos que comunican con un túnel común de desviación. La operación de las compuertas, para los dos vanos, se realizará de manera local y manual. Para este fin, se tendrá un tablero de control local para el comando del cierre/apertura de las dos compuertas. En el tablero se dispondrán de luces piloto y botoneras para la señalización y comando de las compuertas. Este será un tablero de nivel 0 y no contará con conexión a la red de supervisión y control del proyecto

Para corroborar el cierre completo de las compuertas, y verificar que no existan obstrucciones, se tendrán un dispositivo de verificación visual.

8.4. DESCARGA DE FONDO

8.4.1. Operación

Se dispondrá de una compuerta radial para operación y de una compuerta plana para mantenimiento de la compuerta radial. La compuerta radial operará cuando se requiera disminuir el nivel del embalse.

La operación de la compuerta radial y la compuerta plana se realizará de manera local y manual. No se contemplarán automatismos para la operación de las compuertas ni comandos remotos. Se dispondrá de un tablero de control local de nivel 1 en el cual se pueda realizar la operación de la descarga de fondo, según la consigna definida, el nivel del embalse, el nivel del reservorio aguas abajo y la curva de operación de la compuerta radial.

La compuerta radial también podrá ser usada en un caso excepcional, cuando requiera ser operada para el suministro de caudal ambiental. Esta maniobra será local y manual.



A continuación se presenta la Tabla 17 resumiendo los sistemas de la descarga de fondo:

Tabla 17. Sistemas de la descarga de fondo

UBICACIÓN	EQUIPO O SISTEMA	MODO DE CONTROL		EQUIPO DE CONTROL	EQUIPOS DE SUPERVISIÓN O DE COMUNICACIONES	OBSERVACIONES
		Local / Manual	Local / Automático			
Descarga de fondo	Compuerta plana de guarda	X	-	TCF-UH1-BO	* Instrumentos de posición	-
	Compuerta radial	X	-	TCF-UH1-BO	* Instrumentos de posición	-
	UOH	X	X	TCF-UH1-BO	* Instrumentos de temperatura * Instrumentos de presión * Instrumentos de nivel	* Acciona las dos compuertas
	2 camaras CCTV	-	-	-	CCTV-TTBO	* Una cámara con vista a los tableros * Una cámara con vista a los equipos mecánicos

TABLERO	UBICACIÓN	TAG	NIVEL DE CONTROL
Tablero de control UOH	Descarga de fondo	TCF-UH-1 BO	1
Tablero CCTV		CCTV-BO	-

8.4.2. Tablero de control

La operación de la descarga de fondo será realizada por el controlador del tablero de control y fuerza de la unidad oleo hidráulica correspondiente [TCF-UH-1 (BO)]. Este será un tablero de nivel 1, que contará con un controlador para supervisión y control de las compuertas radial y plana, y de la unidad oleo hidráulica, también estará encargado de enviar información, desde y hasta el nivel 2. Este controlador integrará la supervisión del sistema eléctrico, y enviará el comando de encendido de la planta de respaldo diesel para transferencia.

El tablero contará con luces piloto, botones y selectores para indicación de estados de la compuerta, y ejecución de comandos locales. El tablero contará con una IHM para operación y visualización del sistema

8.4.3. Tablero de CCTV

Para la cámara de compuertas de la descarga de fondo, se contará con vigilancia por CCTV la cual consistirá en dos cámaras fijas para ser dispuestas con vista a los equipos mecánicos y los equipos eléctricos.

El tablero contará con un switch de comunicaciones para integrar las dos cámaras y enviar su información al tablero CCTV-TTO.



8.4.4. Instrumentación

La instrumentación presente para la descarga de fondo comprende los siguientes instrumentos:

- Instrumentos de medición de temperatura de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de medición de presión de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de medición de nivel de aceite en la cuba de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de posición de las compuertas. Posición continua para la compuerta radial y fines de carrera para ambas compuertas.

Estos serán integrados al tablero de control de nivel 1 correspondiente a la unidad oleo hidráulica.

8.4.5. Integración

El tablero de control de nivel 1 se conectará directamente por la red de supervisión y control con el tablero concentrador TYTTO desde donde se podrá enviar comandos y visualizar el estado del sistema por medio de la IHM. El tablero de CCTV se conectará al tablero CCTV-TTO.

8.5. CAUDAL AMBIENTAL

8.5.1. Operación

En la cámara de la descarga de fondo también se incluye una válvula Howell Bunger (HB) para la regulación del caudal ambiental, con su correspondiente válvula mariposa de guarda. La operación de la válvula de cono será automática, de acuerdo al nivel del embalse y las curvas de operación de la válvula, previendo que se puedan tener consignas locales y remotas de caudal. La operación de la válvula mariposa será local y manual para propósitos de mantenimiento de la válvula HB. Se preverá un tablero de control nivel 1 para los automatismos de apertura y para cierre de las válvulas.

La toma del caudal ambiental se realizará mediante una estructura de captación multinivel, favoreciendo siempre la captación más superficial. Para la apertura y cierre de las tomas correspondientes se utilizarán compuertas de ruedas operadas de manera manual mediante un pórtico grúa.



A continuación se presenta la Tabla 18 resumiendo los sistemas del túnel de transferencia:

Tabla 18. Sistemas del túnel de transferencia

UBICACIÓN	EQUIPO O SISTEMA	MODO DE CONTROL		EQUIPO DE CONTROL	EQUIPOS DE SUPERVISIÓN O DE COMUNICACIONES	OBSERVACIONES
		Local / Manual	Local / Automático			
Caudal ecológico (Descarga de fondo)	Válvula mariposa de guarda	X	-	TCF-UH2-EF	* Instrumentos de posición	-
	Válvula Howell Bunger HB	X	-	TCF-UH2-EF	* Instrumentos de posición	-
	UOH	X	X	TCF-UH2-EF	* Instrumentos de temperatura * Instrumentos de presión * Instrumentos de nivel	* Acciona las dos válvulas

	Instrumentos de equilibrio de presiones	-	-	TCF-UH2-EF		*Instrumentos a instalarse en la tubería metálica antes y después de la válvula mariposa
	Instrumentos de medición de nivel	-	-	TCF-UH2-EF	-	*Sonda piezoeléctrica para instalación sobre la cara de la presa. * La medida deberá compartirse al tablero TCF-UH-1-BO
Captación del caudal ecológico	2 camaras CCTV	-	-	-	CCTV-EF	* Una cámara con vista a los tableros en el interior de la caseta * Una cámara con vista a los equipos mecánicos

TABLERO	UBICACIÓN	TAG	NIVEL DE CONTROL
Tablero de control UOH	Caudal ecológico (Descarga de fondo)	TCF-UH-2 EF	1
Tablero CCTV	Captación del caudal ecológico	CCTV-EF	1

8.5.2. Tableros de control

La operación de la regulación de caudal ambiental será realizada por el controlador del tablero de control y fuerza de la unidad oleo hidráulica correspondiente [TCF-UH-2 (EF)]. Este será un tablero de nivel 1 y contará con un controlador para supervisión y control de las válvulas y de la unidad oleo hidráulica y del nivel del embalse, también estará encargado de recibir comandos y enviar información, desde y hasta el nivel 2.

El tablero contará con luces piloto, botones y selectores para indicación de estados de la compuerta, y ejecución de comandos locales. El tablero contará con una IHM para operación y visualización del sistema.

Se dispondrán de alarmas, de señalización remota, para indicación de falla en el sistema de descarga de caudal ecológico.

8.5.3. Tablero de CCTV

Para la caseta de captación del caudal ambiental, se contará con vigilancia por CCTV la cual consistirá en dos cámaras fijas para ser dispuestas con vista a los equipos mecánicos y las obras hídricas.

El tablero contará con un switch de comunicaciones para integrar las dos cámaras y enviar su información al tablero CCTV-TTO.

8.5.4. Instrumentación

La instrumentación presente para la descarga de fondo comprende los siguientes instrumentos:

- Instrumentos de medición de temperatura de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de medición de presión de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de medición de nivel de aceite en la cuba de la unidad oleo hidráulica
- Instrumentos de posición de las válvulas

Estos serán integrados al tablero de control de nivel 1 correspondiente a la unidad oleo hidráulica. Adicionalmente deberá integrarse:



- Una sonda piezoeléctrica para el cálculo del nivel del embalse. Esta sonda deberá instalarse sobre la presa alejada de la descarga de fondo y zonas que puedan tener flujo de agua que afecte la lectura.
- Dos transmisores de presión, uno antes y uno después de la válvula mariposa para realizar la lectura de presión de agua, la cual se utiliza para generar la señal de equilibrio de presiones.

8.5.5. Integración

El tablero de control de nivel 1 se conectará directamente por la red de supervisión y control con el tablero concentrador TYTTO desde donde se podrá enviar comandos y visualizar el estado del sistema por medio de la IHM. El tablero de CCTV se conectará directamente al tablero CCTV-TTO.

9. REFERENCIAS

Ingetec S.A.S (2018). Reporte Intermedio de Diseño Conceptual Volumen Diseño Eléctrico – Análisis de demanda de potencia. Bogotá, Colombia: Ingetec S.A.S.

ASEP (2018). *Autoridad Nacional de los Servicios Públicos*. Recuperado de <https://www.asep.gob.pa/>. [12-2-2018]

U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff Division (2012). *Bulletin 1724E-200 Design Manual for High Voltage Transmission Lines*. United States: .

ENSA (2006). Normas de construcción aérea Capítulo 1 - Especificaciones Construcción líneas aéreas. Panamá: ENSA.

J. J. Grainger, W. D. (1997). *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill.

10. ANEXOS

ANEXO 1. Comunicación ETESA ETE-DTE-GPL-164-2018. Información de no disponibilidad para conexión de carga en la Subestación La Chorrera.

ANEXO 2. Flujo de carga media tensión - Energía para construcción.

ANEXO 3. Cuadro de cargas. Túnel de trasvase Salida.

ANEXO 4. Cuadro de cargas. Túnel de trasvase Entrada.

ANEXO 5. Cuadro de cargas. Cámara de compuertas.

ANEXO 6. Cuadro de cargas. Caseta de control compuertas caudal ambiental.