

**INFORME DE DISEÑO CONCEPTUAL, RESERVORIOS
MULTIPROPÓSITO CUENCA LA VILLA – PRESA EL GATO
VOLUMEN ELÉCTRICA**



CANAL DE PANAMÁ

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	6
2. OBJETIVOS	8
3. DISEÑO SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA	9
3.1 NORMAS	9
3.2 CRITERIOS DE DISEÑO	9
3.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO	10
4. DISEÑO SISTEMAS ELÉCTRICOS	10
4.1. PRESA EL GATO	11
4.1.1. Demanda de potencia	11
4.1.2. Suministro de energía	11
4.1.3. Sistema eléctrico al interior de las obras	14
4.2. ESTACIONES DE BOMBEO DE RIEGO Y ABASTECIMIENTO	15
4.2.1. Demanda de potencia	15
4.2.2. Suministro de energía	16
4.2.3. Análisis económico de los parques fotovoltaicos	23
4.2.4. Sistema eléctrico al interior de las obras	24
5. DISEÑO SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	34
5.1. GENERAL	34
5.2. CRITERIOS DE DISEÑO SISTEMA DE CONTROL	34
5.2.1. ESTÁNDARES	34
5.2.2. CRITERIOS GENERALES	35
5.3. SISTEMA DE CONTROL	35
5.3.1. Modos de control y filosofía de operación	36
5.3.1.1. Descarga de fondo	36
5.3.1.2. Descarga de usos riego / abastecimiento	37
5.3.1.3. Estaciones de bombeo	37
5.3.1.4. Tanques de ruptura de presión	38
5.3.2. Instrumentación	38
5.4. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	38
5.5. RED DE COMUNICACIONES	39
5.6. SISTEMA DE CCTV	39
5.7. SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIO SCI	39
5.7.1. Criterios de diseño del sistema SCI	39
5.7.2. Normas para el sistema contra incendio SCI	40
6 ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación geográfica de la Presa El Gato
- Figura 2. Esquema de obras Presa El Gato
- Figura 3. Conexión Presa El Gato con Macaracas
- Figura 4. Esquema de instalaciones eléctricas obras Presa El Gato
- Figura 5. Localización de las estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3
- Figura 6. Conexión estaciones de bombeo con la subestación La Arena 115 /34.5 kV
- Figura 7. Flujo de carga línea de media tensión estaciones de bombeo
- Figura 8. Sistema de bombeo Riego No.1. Consumo-Producción FV
- Figura 9. Configuración eléctrica parque fotovoltaico sistemas de bombeo
- Figura 10. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.1
- Figura 11. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.2
- Figura 12. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.2-A
- Figura 13. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.3
- Figura 14. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.1
- Figura 15. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.2
- Figura 16. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.2-A
- Figura 17. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.3

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Equipos hidromecánicos y auxiliares de la Presa El Gato
- Tabla 2. Cargas eléctricas de las estaciones de bombeo
- Tabla 3. Balance de energía sistemas de bombeo
- Tabla 4. Potencia pico de los parques solares fotovoltaicos y área estimada de la planta solar
- Tabla 5. Potencia pico de los parques solares fotovoltaicos, costos estimados y retorno inversión
- Tabla 6. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.1
- Tabla 7. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.2

Tabla 8. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.2-A

Tabla 9. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.3

1. RESUMEN EJECUTIVO

Los Reservorios Multipropósitos de La Villa y El Gato operarán en coordinación con cuatro estaciones de bombeo con fines de riego y abastecimiento, las cuales se ubicarán sobre el río La Villa. El presente documento contiene el informe de diseño a nivel conceptual de los sistemas eléctricos y de control y comunicaciones de la Presa El Gato y de las diferentes captaciones y estaciones de bombeo sobre el río La Villa.

El suministro de energía para las diferentes obras de la Presa El Gato se plantea mediante la construcción de una línea de media tensión a nivel 34.5 kV procedente del poblado cercano de Macaracas. Al interior de las obras de la presa con el fin de diferenciar y soldar por separado los consumos de energía asociados a riego, abastecimiento u otros usos futuros, se plantea el suministro eléctrico mediante tableros y medidores eléctricos independientes.



Para las cuatro estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3, dada la relativa cercanía entre ellas, su conexión se realizaría mediante una línea de doble circuito, a nivel de 34.5 kV, desde la subestación La Arena, propiedad de EDEMET-Naturgy. La conexión de las estaciones de bombeo al Sistema Interconectado Nacional de Panamá - SIN se planteó en función de la demanda de potencia en cada estación, la distancia entre las subestaciones eléctricas del SIN más cercanas a los sistemas de bombeo y los niveles de tensión permitidos en Panamá.

La alternativa de conexión con el SIN planteada está sujeta a la verificación con los correspondientes dueños de la subestación, con respecto a la disponibilidad de espacio para la ampliación de la subestación y el estudio eléctrico de conexión que permita verificar la viabilidad técnica de la conexión.



Con el fin de mitigar los gastos de energía que tendrán los sistemas de bombeo se plantea un suministro de energía complementaria mediante la construcción de parques solares fotovoltaicos en cada estación de bombeo, cuyos inversores asociados pueden utilizarse en todo momento para generar o consumir potencia reactiva para control de voltaje en las estaciones de bombeo.

Al interior de las obras teniendo en cuenta el propósito diferenciado del uso de los sistemas de bombeo, ya sea para riego, abastecimiento, riego y abastecimiento se previó la separación eléctrica mediante tableros eléctricos y barrajes dedicados.

Teniendo en cuenta la potencia de cada uno de los motores principales para bombeo asociados al riego de las estaciones No. 1, No. 2 y No. 3 se previó su alimentación a nivel de tensión 4.16 kV y conexión mediante arrancadores suaves y variadores de frecuencia, estos últimos brindan la posibilidad de realizar regulación de caudal.

Para los motores de las estaciones de bombeo No.2-A y No.3 asociados al abastecimiento se previó su alimentación a nivel de tensión 4.16 kV y arranque mediante arrancadores suaves, los cuales reducen las fluctuaciones de voltaje en la red y evitan tener que aumentar la capacidad del transformador.

Para los motores de la estación de bombeo No.1 asociados al abastecimiento con potencia menor a 160 kW se prevé su alimentación desde tableros de distribución a nivel de tensión 480 Vc.a, cada uno con su propio arrancador suave.

En cada una de las obras, Presa El Gato y estaciones de bombeo se prevé la instalación de una planta Diésel de emergencia para el suministro a cargas esenciales.

Para el sistema de control y comunicaciones se plantea una solución jerárquica y distribuida de control, en la cual para cada uno de los dos usuarios (Riego, Abastecimiento) se cuenta con tableros de control para los equipos mecánicos del servicio correspondiente. Los equipos mecánicos tendrán control local para la operación, el control podrá ser manual o automático. Para la operación se integrarán a cada tablero señales de instrumentos que midan variables tanto de los equipos como del componente hidráulico. En el modo automático el funcionamiento será un control a partir de consignas de operación ingresadas de forma local o remota desde la red de comunicaciones, y así mismo deberá considerar las curvas de operación de los equipos mecánicos.

Para cada usuario se contará con una estación de operación donde se podrán visualizar las condiciones de operación de los sistemas del servicio correspondiente y se podrá enviar consignas de operación a los tableros del servicio correspondiente.

El proyecto contará con un sistema de vigilancia CCTV, para cada usuario, el cual será centralizado en la estación de operación correspondiente. Así mismo el proyecto contará con un sistema contra incendio independiente para cada sitio del proyecto, y monitoreado centralmente en las estaciones de operación de cada usuario.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de la etapa de diseño conceptual de los sistemas eléctricos y de control y comunicaciones de la Presa El Gato y estaciones de bombeo sobre el río La Villa son los siguientes:

- Realizar la configuración a nivel conceptual de los sistemas eléctricos para el suministro de energía de:
 - Los equipos hidromecánicos asociados a la Presa El Gato.
 - Equipos hidromecánicos de las captaciones para las estaciones de bombeo sobre el río La Villa.
 - Estaciones de bombeo sobre el río La Villa.
- Determinar posibles puntos de conexión con el Sistema Interconectado de Panamá-SIN para cada una de las obras conforme al estimativo de cargas eléctricas de los equipos hidromecánicos, electromecánicos y sistemas auxiliares eléctricos de cada obra.
- Estimar el costo asociado a los sistemas eléctricos para elaborar el presupuesto eléctrico del proyecto.
- Realizar la definición de la estructura del sistema de control, definir los modos de operación, definir la red de control y la red de comunicaciones.
- Definir otros subsistemas a ser integrados a la red de comunicaciones, tales como el sistema de vigilancia CCTV y el sistema contra incendios SCI.

3. DISEÑO SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA



Esta sección contiene las normas, criterios y metodología a seguir para el diseño del sistema de suministro de energía de la presa El Gato y de las estaciones de bombeo sobre el río La Villa.

3.1 NORMAS

Las siguientes normas y referencias, en su versión vigente, aplican para los diseños a nivel preliminar, conceptual y posteriores etapas de diseño para los equipos y sistemas eléctricos.

- RIE Reglamento para las Instalaciones Eléctricas de Panamá
- 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)
- IEEE C62.11 IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV)
- IEEE C62.41 IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits
- IEEE C57.12.00 IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers
- IEEE 80 IEEE Guide for Safety in AC Substation
- IEEE Std 141 IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- Norma Técnica para el Suministro Eléctrico a Clientes. Aprobadas mediante la resolución JD-4163 para EDEMET (Naturgy)
- Bulletin 1724E-200 U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff División, 2012

3.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Los diseños eléctricos se realizarán según los siguientes criterios:

- Confiabilidad en el suministro de energía eléctrica. Teniendo en cuenta que la continuidad en la operación de los equipos de las obras (presa, obras de captación y estaciones de bombeo) está ligada a la continuidad en la alimentación de energía eléctrica, para el suministro de energía se considerará en los diseños:
 - Redundancia en las acometidas principales, conforme a la disponibilidad de las subestaciones del sistema de distribución local cercanos a los sitios de las obras.

- Suplencia mediante plantas Diesel de emergencia para cargas esenciales.
- Sistemas regulados (instalación de UPS's) según los requerimientos de cargas sensibles en cada una de las obras.
- El diseño del sistema será tal que la operación del sistema eléctrico sea lo más simple posible.
- Todos los equipos serán resistentes a la intemperie, corrosión, humedad y uso, de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio.
- Se seleccionarán niveles de tensión conforme a las tensiones de uso en Panamá, y tales que los voltajes en los sitios de utilización sean adecuados para las cargas por alimentar. De acuerdo a los voltajes nominales, se plantean los siguientes niveles de tensión dependiendo del tipo de carga:
 - Motores de potencia menor a 160 kW: 480 Vca
 - Motores de potencia mayor a 160 kW: 4160 Vca
 - Iluminación interior/externo y tomacorrientes: 208Y/120
- Los equipos eléctricos necesarios para los equipos hidromecánicos se considerarán incluidos como parte de los equipos hidromecánicos. Los voltajes de operación de estos equipos serán de 480/277 V, 60 Hz. alimentados desde tableros de distribución local, instalados en cuartos eléctricos cerca a los equipos hidromecánicos.
- Para el sistema de desvío de la presa 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.
- Los sistemas eléctricos estarán protegidos contra sobretensiones transitorias para lo cual se dispondrán DPS, en los tableros principales y secundarios.
- Para discriminar los consumos de los diferentes usos/clientes el diseño contemplará la instalación de tableros dedicados por cliente con medidores de energía y tableros para servicios comunes.
- Se coordinará con el área mecánica y estructural para que se disponga de espacios suficientes para la instalación de los equipos que, permitan la operación y mantenimiento segura.

3.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La configuración de los diferentes sistemas eléctricos y de control y comunicaciones se basará en los requerimientos para la operación de las diferentes obras, conforme a las características establecidas en los esquemas generales del proyecto y en el diseño de los sistemas hidromecánicos y electromecánicos, presentados en el volumen de hidrología e hidráulica y en el volumen de mecánica respectivamente.

Para el diseño eléctrico de los sistemas de suministro se seguirá la siguiente metodología:

- Se estimará la demanda de potencia asociada a la operación en cada una de las obras que conforman el proyecto, a saber: Presa El Gato, incluye: Túnel de desvío, descarga de fondo, descarga de usos y cuatro sistemas de bombeo con sus correspondientes obras de captación.
- A partir de la demanda estimada se buscarán posibles fuentes de suministro de energía eléctrica desde subestaciones del Sistema Interconectado Nacional de Panamá-SIN cercanas a las obras, mediante Google Earth Pro y guiados por el diagrama unifilar del SIN de ETESA (tomado de www.etsa.com.pa). A partir de esta información secundaria se realizará la consulta a las empresas de distribución dueñas de las subestaciones, con respecto a la oportunidad de conexión de demanda. En caso de no obtener respuesta se determinará la posible fuente de suministro (subestación) en función de la cercanía a las obras y su capacidad instalada.
- Como fuente de suministro complementaria de bajo costo para los sistemas de bombeo se planteará un sistema de autoconsumo fotovoltaico en cada estación de bombeo.
 - Para la construcción de las obras se estimará la demanda a partir de experiencia en proyectos similares. Se buscarán alternativas para suministro de energía, conexión al SIN e instalación de plantas Diésel.

4. DISEÑO SISTEMAS ELÉCTRICOS

4.1. PRESA EL GATO

4.1.1. Demanda de potencia

Para la Presa El Gato se consideran los siguientes requerimientos:

- Demanda de potencia para construcción de la presa y obras asociadas. Se estima un valor de 2.7 MVA a partir de datos de proyectos similares.
- Demanda de potencia para la operación del Reservoirio. Se estimó un valor de 50 kVA a partir de las cargas asociadas a los equipos hidromecánicos y servicios eléctricos auxiliares cuya configuración eléctrica de conexión se presenta en la sección [4.1.3. Sistema eléctrico al interior de las obras.](#)

4.1.2. Suministro de energía

Teniendo en cuenta la localización de la Presa El Gato y la carga máxima estimada para su construcción se analizaron alternativas de conexión de esta carga al Sistema Interconectado Nacional de Panamá mediante subestaciones eléctricas cercanas a la obra.

4.1.2.1. Localización de la Presa El Gato.

La Presa del Reservoirio Multipropósito El Gato se encuentra ubicada en la provincia de Herrera, al suroeste de la ciudad de Chitré y cerca del pueblo de Macaracas, en las coordenadas latitud 7.6974, longitud -80.6132, véase la Figura 1.

En la Figura 2 se detallan las obras del lado de la presa con requerimiento de suministro de energía.

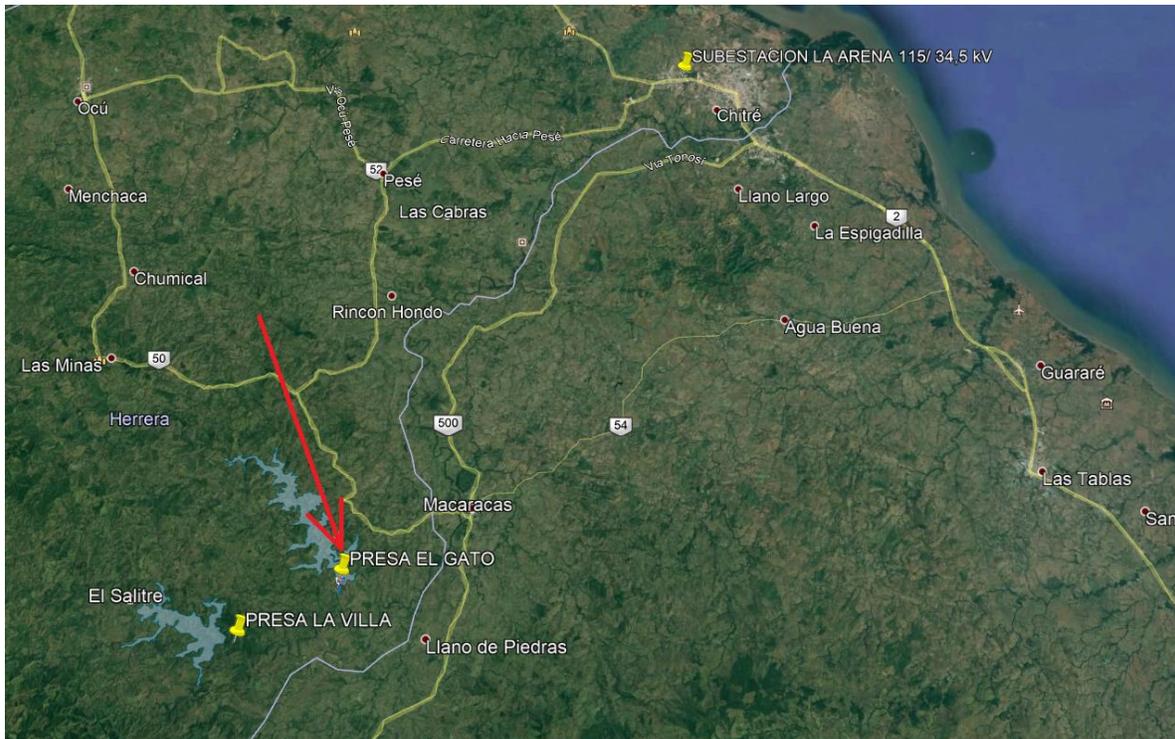


Figura 1. Ubicación geográfica de la Presa El Gato
Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth.

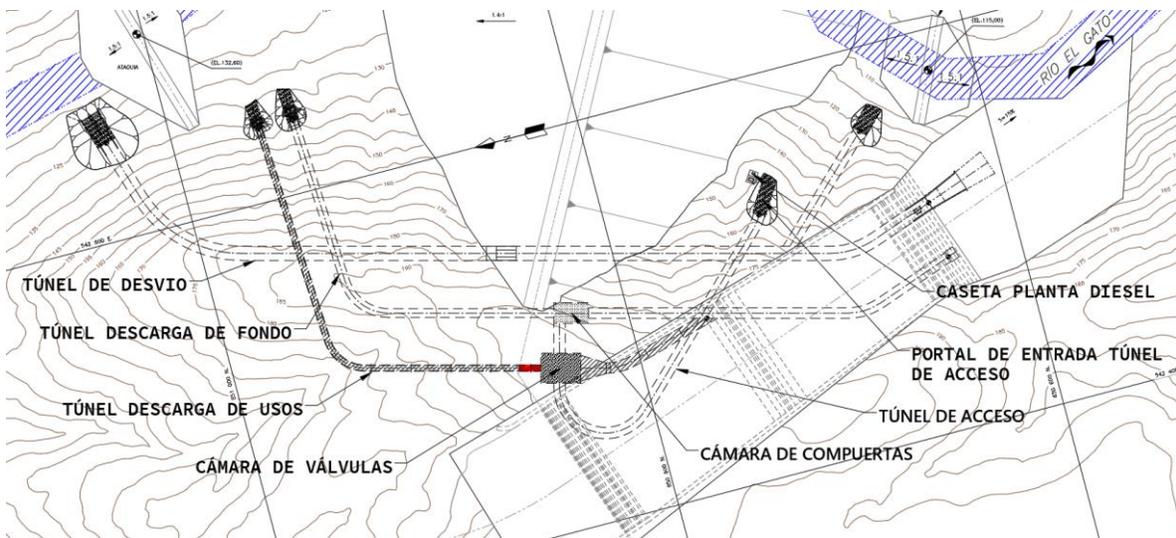


Figura 2. Esquema de obras Presa El Gato
Fuente: INGETEC.

4.1.2.2. Conexión de la carga al Sistema Interconectado de Panamá

A continuación se presenta el punto de conexión eléctrico más cercano al proyecto analizado como alternativa de conexión para la Presa El Gato:

Pueblo de Macaracas

El pueblo de Macaracas es alimentado por una línea eléctrica 34.5 kV y se encuentra a 10 km de distancia por carretera de la Presa El Gato, por esta razón, se plantea el suministro eléctrico para construcción de las obras de la presa desde Macaracas mediante la construcción de una línea de distribución a nivel de tensión 34.5 kV, semi aislada a 46 kV, con conductor Raven 1/0 AWG, ACSR, siguiendo vías existentes en la ruta indicada en la Figura 3 (Línea roja), con lo cual la caída de tensión es del 1.93%, véase reporte de flujo de carga en el Anexo 2. Flujo de carga.



Características de la línea de distribución 34.5 kV Presa El Gato

- Longitud por carretera: 10 km
- Tipo de red: Trifásica
- Nivel de tensión: 34.5 kV trifásico
- Conductor: ACSR Raven, 1/0 AWG, 242 Amperios, semiaislado 46 kV
- Configuración de la línea: triangular, 47 cm de separación entre fases
- Potencia a transportar: 2.7 MVA aproximadamente
- Corriente trifásica nominal de la línea: 46 Amperios
- Altura de los postes: 14 metros
- Distancia entre postes: 50 metros

La construcción de esta nueva línea de distribución tomará tiempo, por lo que, en las primeras etapas de construcción de las obras de la Presa El Gato, se tendrán que usar plantas Diésel para el suministro eléctrico, a menos que la línea se construya anticipadamente.



Figura 3. Conexión Presa El Gato con Macaracas
Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth.

La alternativa de conexión propuesta está sujeta a la verificación mediante el estudio de conexión correspondiente. En caso de no ser viable la atención de la demanda para construcción de las obras por medio del punto de conexión mencionado, sería viable su atención mediante plantas Diésel.

En cualquier caso para las obras en las cuales se ubican cargas esenciales para la construcción, tales como sistemas de ventilación, sistemas de iluminación, sistemas de bombeo y drenaje se deberá prever la instalación de plantas Diésel de emergencia.

4.1.3. Sistema eléctrico al interior de las obras

En la Tabla 1 se describen los equipos hidromecánicos y electromecánicos y sistemas auxiliares eléctricos de las obras de la presa con requerimiento de suministro de energía eléctrica, en la cual en la última columna se indica el Cliente/Usó al cual está asociada la carga, a efectos de separar los consumos para su posterior facturación.

Tabla 1. Equipos hidromecánicos y auxiliares de la Presa El Gato

Item	Cant.	Potencia [kW]	Potencia total [kW]	Tipo de actuador	Equipo Esencial	Cliente/Usó
Presá El Gato						
Desvíó						
Compuertas planas de ruedas	2	20	20	Cilindros oleohidráulicos y UOH	NO	Común
Cámara de compuertas del túnel de descarga de fondo						
Compuerta plana de mantenimiento	1	16	20	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI	Común
Compuerta radial de servicio	1	20			SI	Común
Camara de válvulas del túnel de descarga de usos						
Válvula HB riego	1	5	5	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI	Riego
Válvula mariposa riego	1				SI	Riego
Válvula HB abastecimiento	1	3	3	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI	Abastecimiento
Válvula mariposa abastecimiento	1				SI	Abastecimiento
Válvula émbolo a paso anular uso futuro	1	0.25	0.25	Actuador eléctrico	SI	Uso futuro
Válvula mariposa uso futuro	1	0.25	0.25	Actuador eléctrico	SI	Uso futuro
Puente grúa caverna válvula usos	1	25	25	Motor polipasto	SI	Común
Servicios auxiliares	1	14	14	Iluminación, tomas, ups, etc.	SI	Común

Fuente: Elaboración propia.

Las compuertas planas de ruedas en el túnel de desvíó funcionan una única vez durante el cierre del desvíó, por lo tanto, no se requiere red eléctrica para esta carga. 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.

En el Anexo 1. Listado de cargas sistema eléctrico Presa El Gato se detalla el listado de cargas de las obras de la presa, sin el desvíó, considerando los servicios para sistemas de iluminación y tomacorrientes, servicios de los tableros de control, comunicaciones y CCTV, estos últimos alimentados mediante UPS's. En la Figura 4 se presenta el esquema eléctrico propuesto para las instalaciones eléctricas de las obras de la Presa El Gato, en el cual se prevé la instalación de un tablero de distribución por cliente y un tablero de servicios comunes.

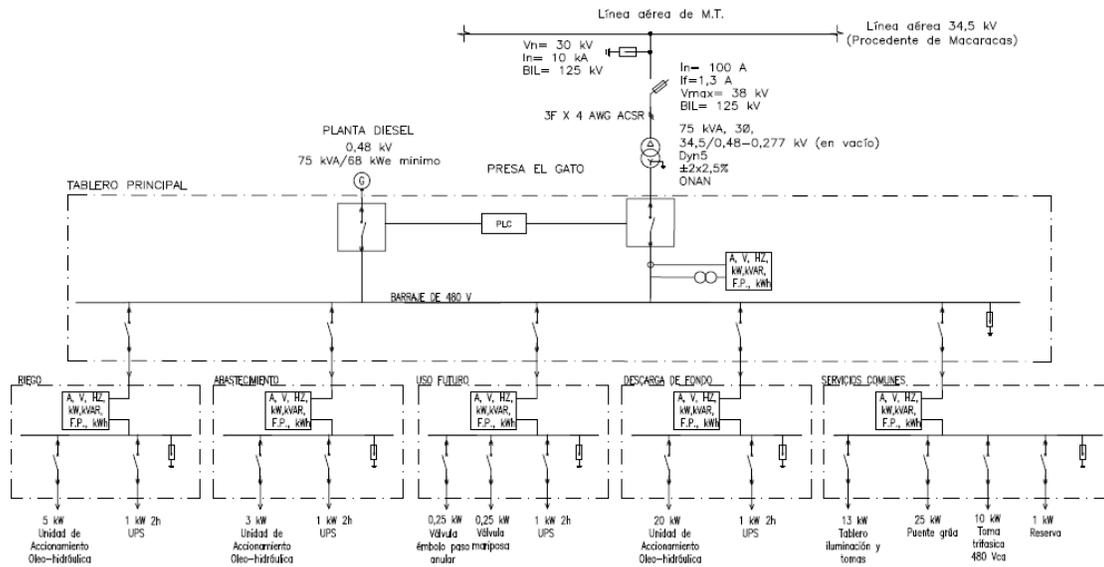


Figura 4. Esquema de instalaciones eléctricas obras Presa El Gato
 Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la demanda coincidente de 50 kVA aproximadamente, se prevé la instalación de un transformador de distribución para instalación en poste de 34.5 /0.48 kV - 75 kVA, el cual se ubicaría cerca al portal de entrada del túnel de acceso de las cámaras de compuertas y válvulas, junto a la caseta para la planta Diésel de emergencia, véase Figura 2, la capacidad de 75 kVA considera el arranque de la unidad oleo-hidráulica de mayor capacidad con el generador, para lo cual las unidades contarían con arrancador suave para su arranque.

4.2. ESTACIONES DE BOMBEO DE RIEGO Y ABASTECIMIENTO

4.2.1. Demanda de potencia

Para las estaciones de bombeo y captaciones asociadas se consideran los siguientes requerimientos:

- Demanda de potencia para construcción. Se estimó un valor de 250 kVA por estación de bombeo a partir de datos de proyectos similares, y considerando que no se contempla construcción de túneles en ninguno de estos sistemas.
- Demanda de potencia para la operación de los sistemas de bombeo. Se estimó la demanda para cada una de las estaciones de bombeo a partir de las cargas asociadas a los equipos hidromecánicos (obras de captación) y equipos electromecánicos y sistemas auxiliares de los sistemas de bombeo, cuya configuración eléctrica se describe en la sección [4.2.4 Sistema eléctrico al interior de las obras](#). En la Tabla 2 se resume la carga estimada para operación de las estaciones de bombeo.

Tabla 2. Cargas eléctricas de las estaciones de bombeo

Estación de bombeo	Aplicación /Cliente	Tanque Asociado	Demanda en operación
Estación de bombeo No.1	Sistema de bombeo No.1 para Riego	Tanque No.1	8.953 MVA
	Sistema de bombeo No.1 para Uso (abastecimiento)		0.153 MVA
	Sistema de bombeo No.1-A para Uso (abastecimiento)	Tanque No.1-A	0.180 MVA
	Servicios auxiliares de toda la estación (SA)	-	0.366 MVA
Estación de bombeo No.2	Sistema de bombeo No.2 sólo de Riego	Tanque No.2	10.956 MVA
Estación de bombeo No.2-A	Sistema de bombeo No.2-A sólo de Uso (abastecimiento)	Tanque No.2-A	1.467 MVA
Estación de bombeo No.3	Sistema de bombeo No.3 para Riego	Tanque No.3	14.405 MVA
	Sistema de bombeo No.3 para Uso (abastecimiento)		0.795 MVA
	Servicios auxiliares de toda la estación (SA)	-	0.355 MVA

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se aclara que los sistemas de bombeo No.1 para riego, No.1 para uso y No.1-A para uso hacen uso de la misma infraestructura, la cual es la estación de bombeo No.1.

4.2.2. Suministro de energía

4.2.2.1. Estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3.

Las estaciones de riego y uso (No.1 y No.3), de solo riego (No.2) y de solo de uso (No.2-A) se ubican al suroeste de la ciudad de Chitré en la provincia de Herrera, como se presenta en la Figura 5.

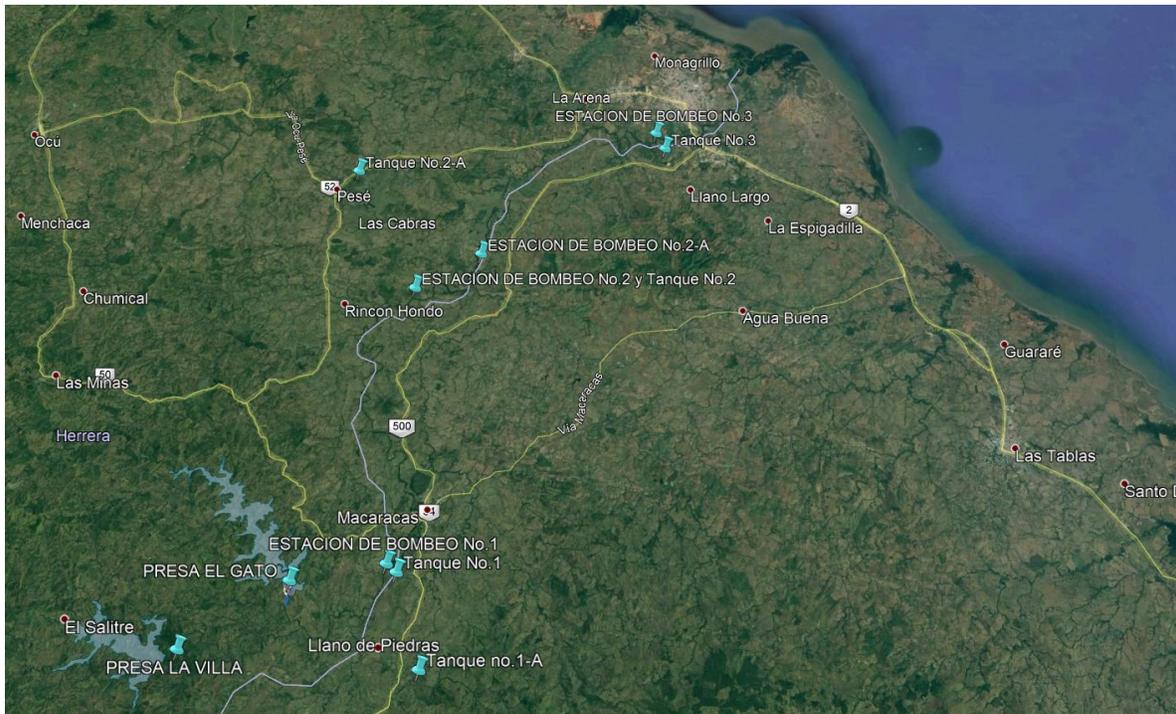


Figura 5. Localización de las estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3
Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth.

4.2.2.2. Conexión al Sistema Interconectado Nacional de Panamá

El suministro de energía se plantea mediante la conexión al Sistema Interconectado de Panamá-SIN. Adicionalmente, se prevé generación de energía de bajo costo mediante un sistema fotovoltaico sin baterías en cada estación de bombeo para autoconsumo y acumulación de créditos, como se describe a continuación.

La conexión al SIN sería mediante una red de media tensión que conecte las cuatro estaciones de bombeo dada la cercanía entre ellas. Esta conexión también servirá para inyectar al SIN los excedentes de energía producidos por las plantas solares fotovoltaicas.

De acuerdo con el diagrama unifilar del Sistema Interconectado Nacional de Panamá, localización de los sistemas de bombeo y su demanda de potencia en operación se plantea su conexión al SIN a través de la subestación de La Arena 115 / 34.5 kV, propiedad de Empresa de Distribución Eléctrica Metro-Oeste, S. A, para lo cual se propone construir una línea de transmisión de 34.5 kV, de doble circuito, de 48 km de longitud, con conductor 477 kcmil ACSR, siguiendo vías existentes en la ruta indicada en la Figura 6 (línea roja). Se prevé línea semi aislada como medida para evitar salidas por contacto con vegetación.



El suministro de energía de cada uno de los sistemas de bombeo se realizaría normalmente desde una de las dos líneas, esto con el fin de lograr una caída de tensión cercana al 5%. En cada uno de los puntos de derivación desde la línea hacia las estaciones de bombeo se prevé la instalación de equipos de maniobra para poder conectar las estaciones de bombeo a cualquiera de los dos circuitos.

Esta alternativa de conexión implica dos bahías de salida de circuito de línea de 34.5 kV en la subestación La Arena, para lo cual se deberá realizar la correspondiente verificación con el dueño de la subestación de los espacios requeridos para la ampliación, y confirmación mediante el estudio de conexión de la viabilidad técnica de la conexión, en la cual se verifique entre otros, la carga de los transformadores y la capacidad de corto de los equipos existentes en la subestación de 34.5



kV. La subestación Arena de acuerdo al diagrama unifilar del Sistema Interconectado de Panamá dispone de dos transformadores de 115/34.5 kV con capacidad 15/20/25 MVA y 30/40/50 MVA.

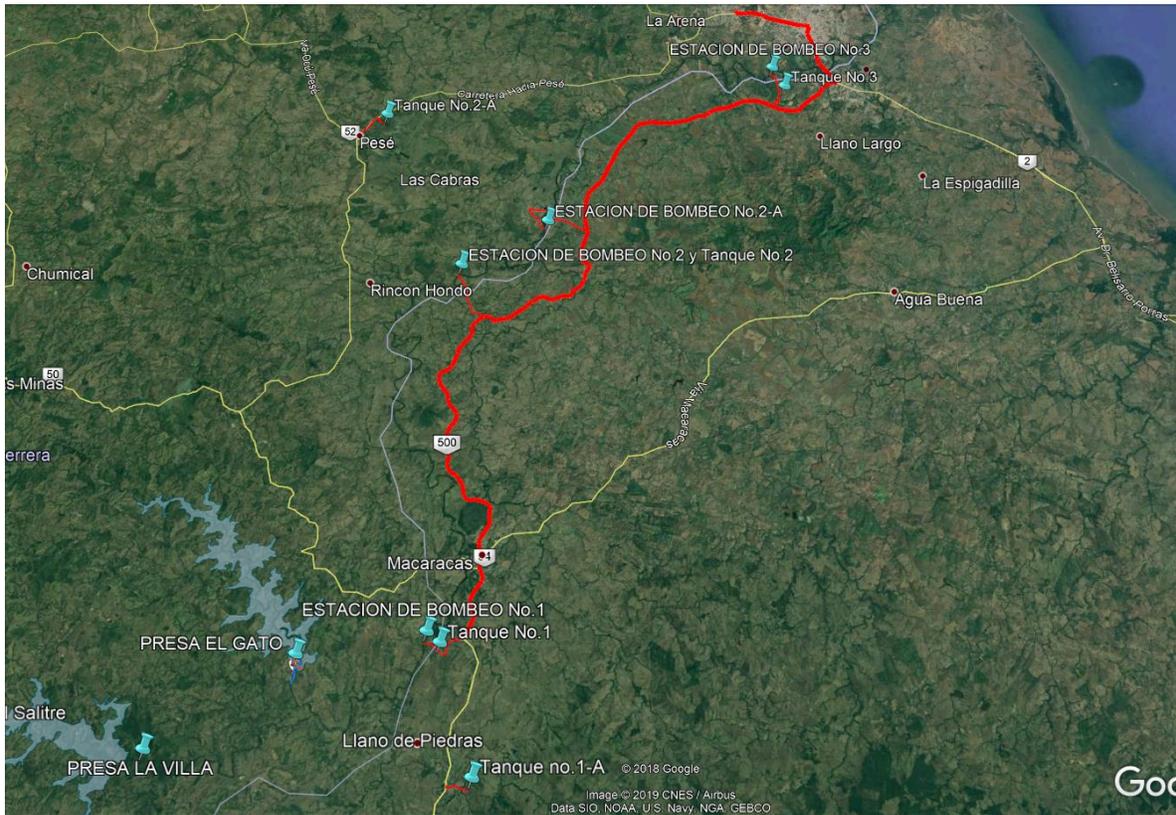


Figura 6. Conexión estaciones de bombeo con la subestación La Arena 115 /34.5 kV
Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth.

En la Figura 7 se presenta el flujo de carga, simulado en el programa ETAP de la red de media tensión propuesta para las estaciones de bombeo en el cual se observa una tensión de 94.76% en la estación No 2, donde se presenta la máxima caída de tensión de 5.24%, valor aceptable si se considera que se ha estimado una línea de 48 km, siguiendo vías existente. Según el Bulletin 1724E-200 (U.S. Department of Agriculture Rural Utilities Service Electric Staff División, 2012) capítulo 9, se recomienda una caída de tensión del orden del 5% para líneas de distribución de media tensión. En Anexo 2. Análisis de flujo de carga, se presenta el reporte completo.

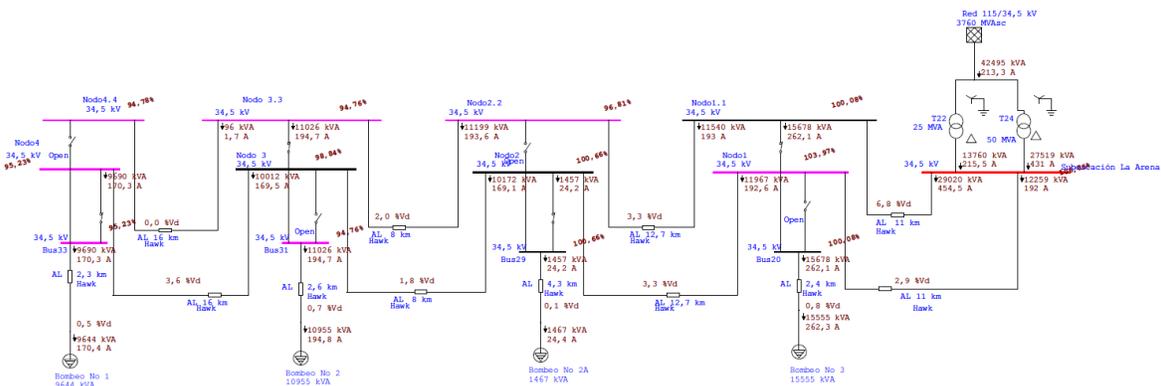


Figura 7. Flujo de carga línea de media tensión estaciones de bombeo
Fuente: Elaboración propia, a partir de ETAP.

4.2.2.3. Parques fotovoltaicos en estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3

Los sitios de emplazamiento de las estaciones de bombeo poseen una buena situación geográfica para aprovechar la energía solar. De acuerdo con el mapa de radiación solar de Panamá descargado de la base de datos de Solargis, <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/panama>, esta zona tiene una irradiación diaria promedio de 4.8 kWh/m² con un comportamiento estable durante el año. Adicionalmente, se dispone de terrenos con topografía plana cercanos a los sitios de los sistemas de bombeo, condición que favorece la implantación de parques de generación solar fotovoltaica.

Los parques fotovoltaicos tendrían una capacidad instalada efectiva (MWp) tal que se cubra parte del requerimiento para autoconsumo de las estaciones y adicionalmente, se produzcan excedentes que puedan ser acumulados como créditos, hasta un máximo del 25% del consumo histórico anual, de acuerdo a la legislación de Panamá.

El [Procedimiento para Autoconsumo con Fuentes Nuevas, Renovables y Limpias](#), aprobado en la Reglamentación de Panamá en la resolución AN No. 10206-ELEC de 11 de julio de 2016, establece el procedimiento para que los clientes de las empresas de distribución conecten sus plantas de generación para autoconsumo. A continuación se transcribe el propósito de este procedimiento:

“El propósito del presente procedimiento consiste en que los clientes puedan satisfacer su consumo eléctrico, mediante la instalación de Plantas de Generación que utilicen energías renovables y limpias, y también puedan vender sus excedentes cuando existan.

Este procedimiento aplica a los clientes de las empresas distribuidoras que tienen como objetivo disminuir su consumo de energía del Sistema Interconectado Nacional (SIN) o del Sistema Aislado, utilizando una Planta de Generación que utilice fuentes nuevas, renovables y limpias conectadas a líneas de media y baja tensión”.

El balance entre el consumo, inyección de energía y forma de pago de la energía inyectada a la red se presenta en los artículos 9, 10 y 12 del procedimiento, como se indica a continuación:

“Artículo 9º: La empresa distribuidora facturará mensualmente al cliente con uno de los métodos siguientes, aplicando los subsidios correspondientes tomando como referencia el consumo neto que resulte:

i. Cuando la medición neta mensual muestre un consumo en (kWh): se facturará el cargo fijo, la demanda leída (kW) (de tener una tarifa con demanda) y la energía (kWh) que resulte como consumo neto. El consumo neto se produce cuando los kWh consumidos por el cliente de la Red son mayores a los kWh entregados por el cliente a la red, medidos en el medidor bidireccional instalado. Los cargos que correspondan se facturarán de acuerdo con la tarifa regulada vigente y también podrán aplicar otros cargos contenidos en la tarifa vigente.

El consumo neto se establece de la siguiente ecuación:

kWh consumidos de la red > kWh entregados cliente a la red

Consumo neto (kWh) = kWh consumidos de la red – kWh entregados cliente a la red

ii. Cuando la medición neta mensual muestre inyección en (kWh): se facturará el cargo fijo, la demanda leída (kW) (de tener una tarifa con demanda) y la energía que resulte como inyección se acumulará como créditos de energía (kWh). La inyección se produce cuando los kWh entregados por el cliente a la red es mayor a los kWh consumidos por el cliente de la Red, medidos por el medidor bidireccional instalado. Los cargos que correspondan se facturarán de acuerdo con la tarifa regulada vigente y también podrán aplicar otros cargos contenidos en la tarifa vigente.

La inyección neta se produce cuando se cumple la siguiente ecuación:

kWh consumidos de la red < kWh entregados cliente a la red

Inyección (kWh) = kWh entregados cliente a la red - kWh consumidos de la red

Artículo 10º: El cliente tendrá derecho a acumular Créditos Excedentes en kilowatts-hora (kWh), en adelante Créditos, en períodos anuales o semestrales, hasta un límite máximo de 25%, en base a un análisis del histórico de consumo, lo cual deberá quedar consignado en el Acuerdo de Interconexión.

Artículo 12º: Los pagos por los créditos acumulados, de existir, se harán, a solicitud del cliente a través de cheque, ACH o se acreditarán en dinero a la cuenta de electricidad del cliente, y se aplicarán de acuerdo a lo siguiente:

a) Créditos Anuales: Los Créditos a favor del cliente que seleccione un período anual se contabilizarán del 1 de enero al 31 de diciembre, y deberán pagarse al cliente, de existir excedentes, antes del 16 de febrero del año siguiente, al costo promedio anual de compra en contratos de energía (kWh) de la empresa distribuidora, en el año en que se acumularon los excedentes.

b) Créditos Semestrales: Los Créditos a favor del cliente que seleccione un período semestral, se contabilizarán del 1 de enero al 30 de junio (primer semestre) y del 1 de julio al 31 de diciembre (segundo semestre), y deberán pagarse al cliente, de existir excedentes, en el caso del primer semestre, antes del 16 de agosto del semestre siguiente, y en el caso del segundo semestre, antes del 16 de febrero del año siguiente. En ambos casos, los créditos se pagarán al costo promedio semestral de compra en contratos de energía (kWh) de la empresa distribuidora, en el semestre en que se acumularon los excedentes.”

Por lo cual, para la conexión de los parques al SIN se debe seguir este Procedimiento. El tipo de conexión aplicable para el proyecto, de acuerdo con la generación estimada mayor a 500 kW y conexión a nivel de media tensión sería el dispuesto en el Procedimiento en su anexo B.

Teniendo en cuenta las características de consumo de los parques, en particular para los sistemas de bombeo de riego, se observa que los primeros meses del año (hasta abril) se presentan altos consumos y para los demás meses el consumo es reducido. Por lo cual, se plantea instalar plantas con las cuales se cubra parte del consumo del sistema de bombeo, el faltante se compra a la red. Para los meses restantes se tendrá autoconsumo y excedentes que serán inyectados a la red, sólo hasta acumular máximo el 25% del consumo histórico anual.

Como ejemplo, en la Figura 8 se presenta el caso del sistema de bombeo No.1 para riego, en el cual con un parque de potencia instalada de 6.80 MWp se cubre parte del consumo de los cuatro primeros meses, y durante los otros meses los excedentes se inyectan a la red, sin exceder el 25% del consumo histórico del año.

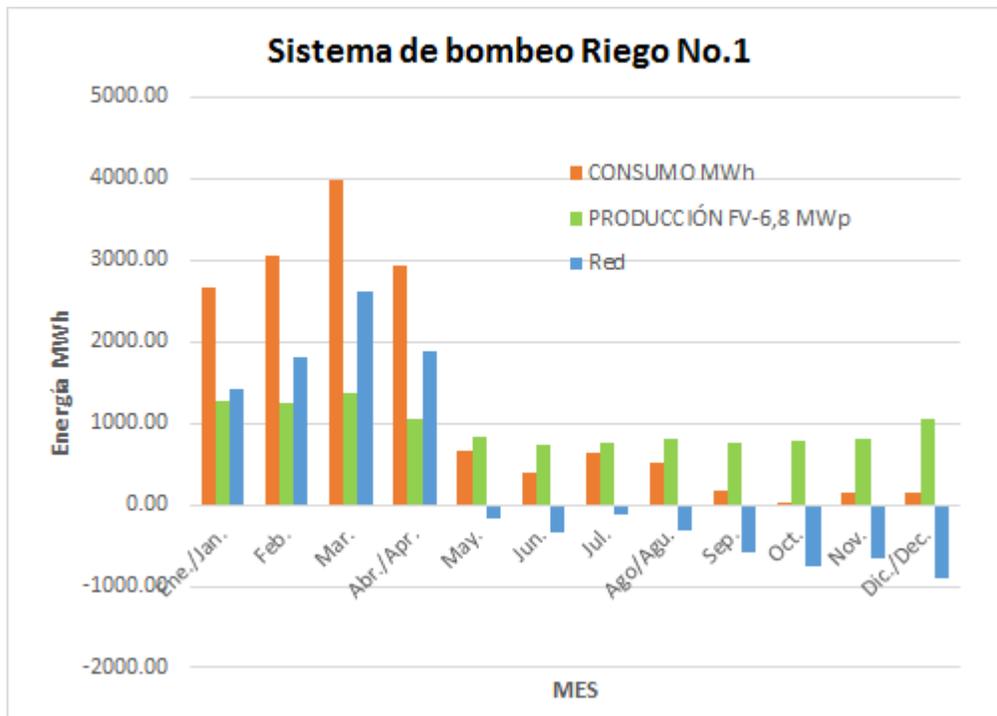


Figura 8. Sistema de bombeo Riego No.1. Consumo-Producción FV
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se resumen los resultados de autoconsumo, energía comprada a la red y excedentes de energía acumulados en un año, en cada uno de los sistemas de bombeo.

Tabla 3. Balance de energía sistemas de bombeo

Sistemas de bombeo	Potencia demandada sistemas de bombeo (MW)	Consumo Anual MWh	Potencia fotovoltaica instalada MWp	Generación FV anual MWh	Energía de origen FV (MWh/año)	Energía comprada a la red (MWh/año)	Energía Acumulada Créditos (MWh/año)	% Energía acumulada anual Créditos
Sistema de bombeo No.1 Riego+SA	8.4	15373	6.8	11488	74.7%	25.3%	3825	24.9%
Sistema de bombeo No.1 Abastecimiento	0.139	965	0.71	1199	124%	0%	240	24.9%
Sistema de bombeo No.1-A Abastecimiento	0.162	1134	0.83	1402	123.7%	0%	276	24.4%
Sistema de bombeo No.2 Riego	9.8	19730	8.6	15854	80.4%	19.6%	4831	24.5%
Sistema de bombeo No.2-A Abastecimiento	1.3	8384	5.65	10416	124.2%	0%	2050	24.5%
Sistema de bombeo No.3 Riego+SA	13.3	26061	11.1	20867	80.1%	19.9%	6445	24.5%

Sistema de bombeo No.3 Abastecimiento	0.7	5218	3.45	6486	124.3%	0%	1280	24.5%
---------------------------------------	-----	------	------	------	--------	----	------	-------

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se resume la potencia FV instalada recomendada para cada sistema de bombeo. Adicionalmente, se presenta la estimación del área para la instalación de los parques, considerando el dato presentado en el estudio “*Consultoría para establecer una metodología para el cálculo de energía firme de una planta solar - Fonroche Renewable Energies*” realizado para la CREG- Comisión de regulación de Energía y gas de Colombia, en el cual se estima un área de 2.35 Ha por MWp, para la instalación en estructura con seguidor a un eje.

Tabla 4. Potencia pico de los parques solares fotovoltaicos y área estimada de la planta solar

Sistemas de bombeo	Potencia pico de los parques solares (MWp)	Área estimada (Ha)
Sistema de bombeo No.1-Riego	6.8	16
Sistema de bombeo No.1-Abastecimiento 1	0.71	1.7
Sistema de bombeo No.1-Abastecimiento 1-A	0.83	2
Sistema de bombeo No.2-Riego	8.6	20.2
Sistema de bombeo No.2-A- Solo Abastecimiento	5.65	13.3
Sistema de bombeo No.3-Riego	11.1	26
Sistema de bombeo No.3-Abastecimiento	3.45	8.1

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de maximizar la eficiencia de transmisión de la energía de los parques solares estos serían ubicadas lo más cerca posible de las estaciones de bombeo. En la Figura 9 se presenta la configuración eléctrica típica para los parques solares propuestos.

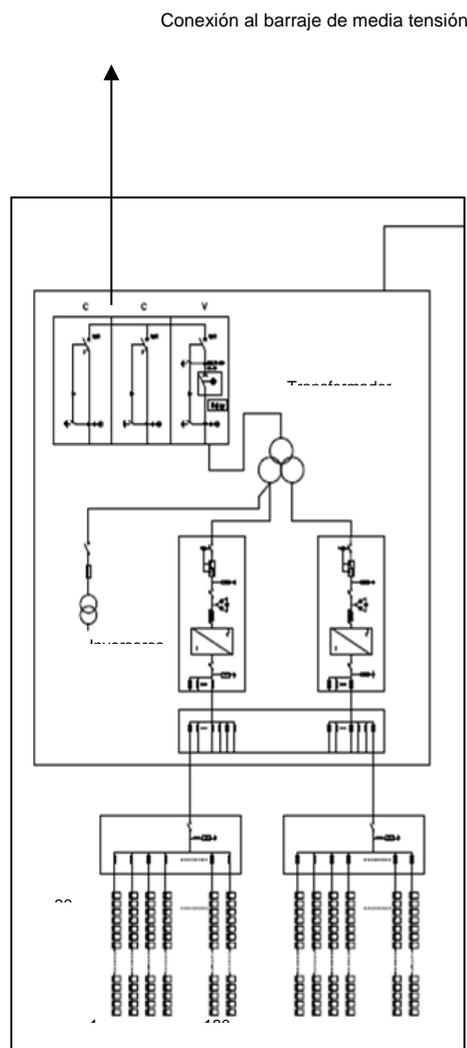


Figura 9. Configuración eléctrica parque fotovoltaico sistemas de bombeo
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Análisis económico de los parques fotovoltaicos

En la Tabla 5 se presenta la potencia pico propuesta para los parques fotovoltaicos para cada sistema de bombeo y el costo estimado en dólares americanos. Adicionalmente, se presenta la estimación del tiempo de retorno de la inversión con una tarifa de 0.131 Dólares/kWh, la cual para grandes clientes que compran energía directamente en el mercado mayorista de electricidad se compone del precio de generación establecido en el contrato de suministro y de la facturación por el uso de redes de distribución de la empresa de distribución local. El promedio de precios MWh de los contratos de suministro en el mercado mayorista de electricidad de Panamá se encuentra en el siguiente enlace: <http://www.energia.gob.pa/buscador/?buscar=ELECTRICIDAD&submit=Buscar>. Las tarifas de los cargos que componen la facturación por el uso de redes de distribución son aprobadas por la ASEP y se encuentran en el siguiente enlace: https://www.asep.gob.pa/?page_id=12682.

Tabla 5. Potencia pico de los parques solares fotovoltaicos, costos estimados y retorno inversión

Sistema de bombeo	Potencia pico de los parques solares (MWp)	Costo estimado de los parques solares (\$)	Ahorro anual de los parques solares (\$)	Tiempo de retorno de los parques solares (años)
Sistema de bombeo No.1 de Riego	6.8	5.440.000	1.504.928	3.8
Sistema de bombeo No.1 de Uso (Abastecimiento)	0.71	568.000	157.069	3.8
Sistema de bombeo No.1-A de Uso (Abastecimiento)	0.83	664.000	183.662	3.8
Sistema de bombeo No.2 solo de Riego	8.6	6.880.000	2.076.874	3.5
Sistema de bombeo No.2-A solo de Uso (Abastecimiento)	5.65	4.520.000	1.364.496	3.5
Sistema de bombeo No.3 de Riego	11.1	8.880.000	2.733.577	3.4
Sistema de bombeo No.3 de Uso (Abastecimiento)	3.45	2.760.000	849.667	3.4

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Sistema eléctrico al interior de las obras

En las Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 se describen los equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos de las estaciones de bombeo que presentan requerimiento de suministro de energía eléctrica.

Tabla 6. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.1

Item	Cant.	Potencia [kW]	Potencia total [kW]	Tipo de actuador	Equipo Esencial
Estación de bombeo No.1					
Canal de limpia					
Compuerta radial de servicio	1	20	20	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI
Tablón de mantenimiento	1	12	12	Motor polipasto	NO
Captación y desarenador					
Compuertas planas de entrada	3	12	36	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI
Tablones de cierre para mantenimiento compuertas	3	4.3	4.3	Motor polipasto	NO
Compuerta tipo guillotina para caudal ecológico, incluye actuador	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina de lavado de sedimentos, incluye actuador	3	5	15	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina tanque de carga	1	5	5	Motor eléctrico	NO

Estación de bombeo					
Bombas horizontales principales para riego	3	2686.27	8058.82	Motor eléctrico	NO
Bomba horizontal para uso	1	129.41	129.41	Motor eléctrico	NO
Bomba horizontal para uso 1-A	1	152.94	152.94	Motor eléctrico	NO
Puente grúa casa máquinas	1	50	50	Motor eléctrico	NO
Válvula Mariposa Succión	8	6	48	Actuador Eléctrico	NO
Válvula Mariposa Descarga	8	6	48	Actuador Eléctrico	NO
Sistema de ventilación y aire acondicionado	1	100	100	-	SI
Sistema de drenaje y desagüe	1	50	50	-	NO
Tanque de almacenamiento No.1 (Fuera de la estación de bombeo)					
Válvula para riego	2	30	60	Actuador eléctrico	NO
Válvula para abastecimiento	2	6	12	Actuador eléctrico	NO
Tanque de almacenamiento No.1-A (Fuera de la estación de bombeo)					
Válvula para abastecimiento	2	6	12	Actuador eléctrico	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.2

Item	Cant.	Potencia [kW]	Potencia total [kW]	Tipo de actuador	Equipo Esencial
Estación de bombeo No.2					
Canal de limpia					
Compuerta radial de servicio	1	20	20	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI
Tablón de mantenimiento	1	12	12	Motor polipasto	NO
Captación y desarenador					
Compuertas planas de entrada	3	2	6	Motor eléctrico	SI
Tablones de cierre para mantenimiento compuertas	3	4.3	4.3	Motor polipasto	NO
Compuerta tipo guillotina para caudal ecológico, incluye actuador	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina de lavado de sedimentos, incluye actuador	3	5	15	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina tanque de carga	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Estación de bombeo					

Bombas horizontales principales para riego	3	3207.84	9623.53	Motor eléctrico	NO
Puente grúa casa máquinas	1	50	50	Motor polipasto	NO
Válvula Mariposa Succión	4	6	24	Actuador Eléctrico	NO
Válvula Mariposa Descarga	4	6	24	Actuador Eléctrico	NO
Sistema de ventilación y aire acondicionado	1	50	50	-	SI
Sistema de drenaje y desagüe	1	25	25	-	NO
Tanque de almacenamiento No.2 (Fuera de la estación de bombeo)					
Válvula para riego	2	30	60	Actuador eléctrico	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.2-A

Item	Cant.	Potencia [kW]	Potencia total [kW]	Tipo de actuador	Equipo Esencial
Estación de bombeo No.2-A					
Canal de limpia					
Compuerta radial de servicio	1	20	20	Cilindros oleohidráulicos y UOH	SI
Tablón de mantenimiento	1	11	11	Motor polipasto	NO
Captación y desarenador					
Compuertas planas de entrada	3	2	6	Motor eléctrico	SI
Tablones de cierre para mantenimiento compuertas	3	4.3	4.3	Motor polipasto	NO
Compuerta tipo guillotina para caudal ecológico, incluye actuador	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina de lavado de sedimentos, incluye actuador	3	5	15	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina tanque de carga	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Estación de bombeo					
Bomba horizontal principal para abastecimiento	1	1105.88	1105.88	Motor eléctrico	NO
Puente grúa casa máquinas	1	50	50	Motor polipasto	NO
Válvula Mariposa Succión	2	6	12	Actuador Eléctrico	NO
Válvula Mariposa Descarga	2	6	12	Actuador Eléctrico	NO
Sistema de ventilación y aire acondicionado	1	40	40	-	SI
Sistema de drenaje y desagüe	1	15	15	-	NO
Tanque de almacenamiento No.2-A (Fuera					

de la estación de bombeo)					
Válvula para abastecimiento	2	30	60	Actuador eléctrico	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Equipos hidromecánicos y auxiliares mecánicos estación de bombeo No.3

Item	Cant.	Potencia [kW]	Potencia total [kW]	Tipo de actuador	Equipo Esencial
Estación de bombeo No.3					
Canal de limpia					
Compuerta radial de servicio	1	20	20	Motor eléctrico	SI
Tablón de mantenimiento	1	11	11	Motor polipasto	NO
Captación y desarenador					
Compuertas planas de entrada	3	2	6	Motor eléctrico	SI
Tablones de cierre para mantenimiento compuertas	3	4.3	4.3	Motor polipasto	NO
Compuerta tipo guillotina para caudal ecológico, incluye actuador	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina de lavado de sedimentos, incluye actuador	3	5	15	Motor eléctrico	NO
Compuertas tipo guillotina tanque de carga	1	5	5	Motor eléctrico	NO
Estación de bombeo					
Bombas horizontales principales para riego	4	3241.18	12964.71	Motor eléctrico	NO
Bomba horizontal para uso	1	705.88	705.88	Motor eléctrico	NO
Puente grúa casa máquinas	1	50	50	Motor polipasto	NO
Válvula Mariposa Succión	7	6	42	Actuador Eléctrico	NO
Válvula Mariposa Descarga	7	6	42	Actuador Eléctrico	NO
Sistema de ventilación y aire acondicionado	1	100	100	-	SI
Sistema de drenaje y desagüe	1	50	50	-	NO
Tanque de almacenamiento No.3 (Fuera de la estación de bombeo)					
Válvula para riego	2	30	60	Actuador eléctrico	NO
Válvula para abastecimiento	2	6	12	Actuador eléctrico	NO

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 3. Cuadro de cargas sistema eléctrico estaciones de bombeo río La Villa se detalla el listado de cargas de las estaciones de bombeo considerando los servicios para sistemas de iluminación y tomacorrientes, servicios de los tableros de control, comunicaciones y CCTV, estos últimos alimentados mediante UPS's, sistema de corriente continua y se presentan los esquemas de conexión propuestos.

En cada una de las estaciones se instalará un transformador de distribución principal cuya potencia seleccionada estará acorde con la demanda coincidente en cada estación, véase resumen Tabla 2, y cuyo nivel de tensión por el lado de alta será 34.5 kV, de acuerdo con la alternativa de conexión propuesta para cada uno de los bombeos.

4.2.4.1. Configuración desde el lado secundario del transformador principal

Estaciones de bombeo No.1, No.2, No.2-A y No.3.

El nivel de tensión de los terminales del secundario del transformador principal será de 4.16 kV, valor seleccionado considerando la potencia de los motores de los grupos de bombeo principales asociados al suministro de agua para riego y abastecimiento en las cuatro estaciones de bombeo, la cual se encuentra entre 0.70 MW y 3.24 MW. Este nivel de tensión es estándar en Panamá, conforme al RIE Tabla 2.

La estación de bombeo No.1 además de contar con bombeo para riego con motores de 2.68 MW, posee bombeo para abastecimiento con motores de potencia de 130 kW y 153 kW. Para estos últimos motores el nivel de tensión recomendado es 480 Vca, por lo que, se dispondría de un transformador de relación 4.16 /0.48 kV destinado a suplir el bombeo para abastecimiento.

Para los motores asociados al bombeo para riego para reducir fluctuaciones en el sistema ocasionadas por el arranque directo de los motores y tener la posibilidad de realizar regulación de caudales, se plantea el arranque y operación mediante variadores de frecuencia-VDF, para la última unidad a ser arrancada.



Para la estación No.1 (riego y abastecimiento) a nivel de media tensión 4.16 kV se configuraría el sistema mediante celdas para:

- La conexión del transformador de distribución desde el lado de media tensión con la estación de bombeo.
- El suministro de energía a cada uno de los variadores de frecuencia y arrancadores suaves para los grupos de bombeo de riego.
- Medición de energía.
- El suministro de energía para el transformador de sistemas auxiliares de la estación de bombeo y de la captación correspondiente.
- El suministro de energía para el transformador de 4.16/0.48 kV para los grupos de bombeo de abastecimiento y sus sistemas auxiliares.
- El suministro de energía para el tanque de almacenamiento No.1, ubicado a 540 metros de la estación.

Debido a la lejanía entre la estación de bombeo No.1 y el tanque No.1-A, se plantea el suministro de energía del tanque No.1-A mediante redes de distribución locales del poblado Llano de piedras.

Para las estaciones No.2 (solo riego) y No.2-A (solo abastecimiento) a nivel de media tensión 4.16 kV se configuraría el sistema mediante celdas para:

- La conexión del transformador de distribución desde el lado de media tensión con la estación de bombeo.
- El suministro de energía a cada uno de los variadores de frecuencia y arrancadores suaves.
- Medición de energía.
- El suministro de energía para el transformador de sistemas auxiliares de la estación de bombeo y de la captación correspondiente.
- El suministro de energía para el tanque de almacenamiento No.2, ubicado a 200 metros de la estación.

Debido a la lejanía entre la estación de bombeo No.2-A y el tanque No.2-A, se plantea el suministro de energía del tanque No.2-A mediante redes de distribución locales del poblado Pesé.

Para la estación No.3 (riego y abastecimiento) a nivel de media tensión a 4.16 kV se configuraría el sistema mediante celdas para:

- La conexión del transformador de distribución desde el lado de media tensión con la estación de bombeo.
- El suministro de energía a cada uno de los variadores de frecuencia y arrancadores suaves para los grupos de bombeo de riego.
- El suministro de energía a cada uno de los arrancadores suaves para los grupos de bombeo de abastecimiento.
- Medición de energía.
- El suministro de energía para el transformador de sistemas auxiliares de la estación de bombeo y de la captación correspondiente.

Debido a la lejanía entre la estación de bombeo No.3 y el tanque No.3, se plantea el suministro de energía del tanque No.3 por medio de una derivación en media tensión 34.5 kV desde la línea que alimenta la estación de bombeo No.3.

En la Figura 10, Figura 11, Figura 12 y Figura 13 se presenta la configuración prevista para los grupos de bombeo de las estaciones de bombeo.

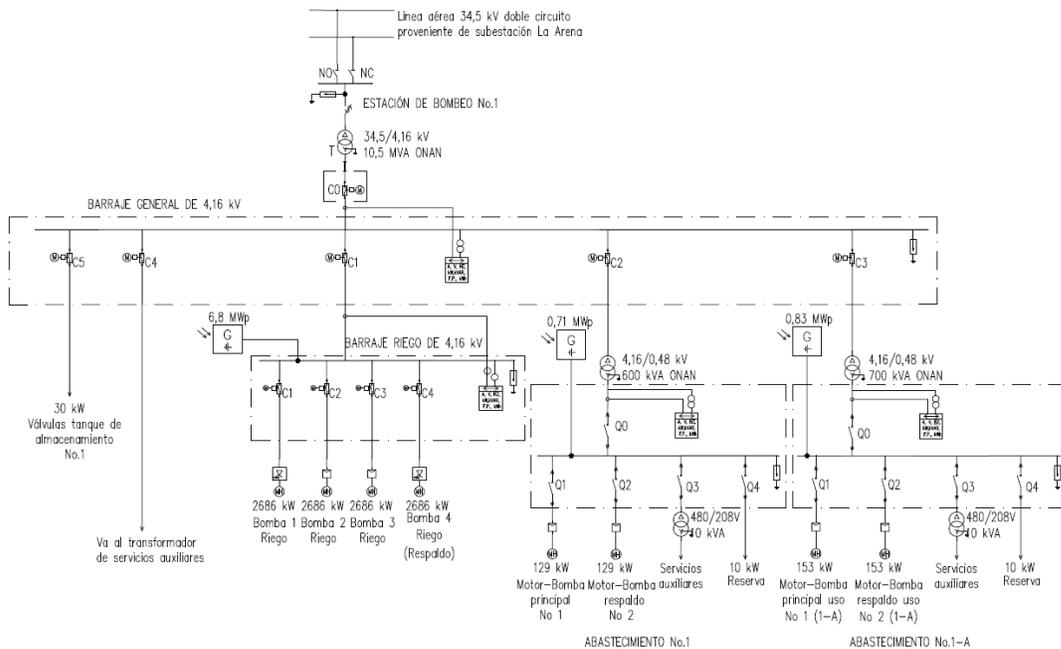


Figura 10. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.1
Fuente: Elaboración propia.

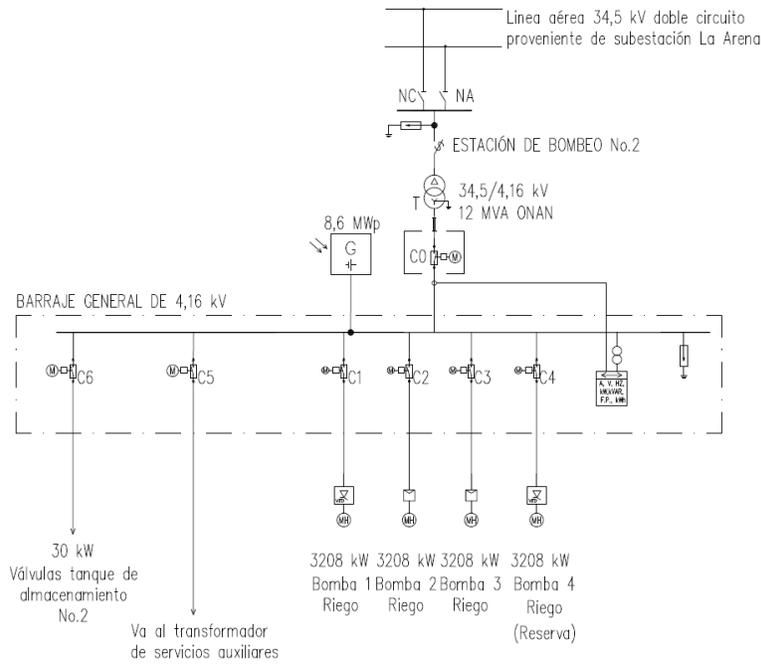


Figura 11. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.2
 Fuente: Elaboración propia.

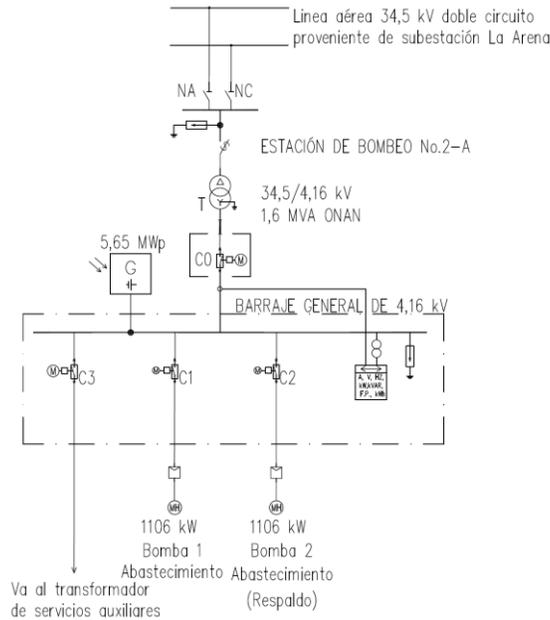


Figura 12. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.2-A
 Fuente: Elaboración propia.

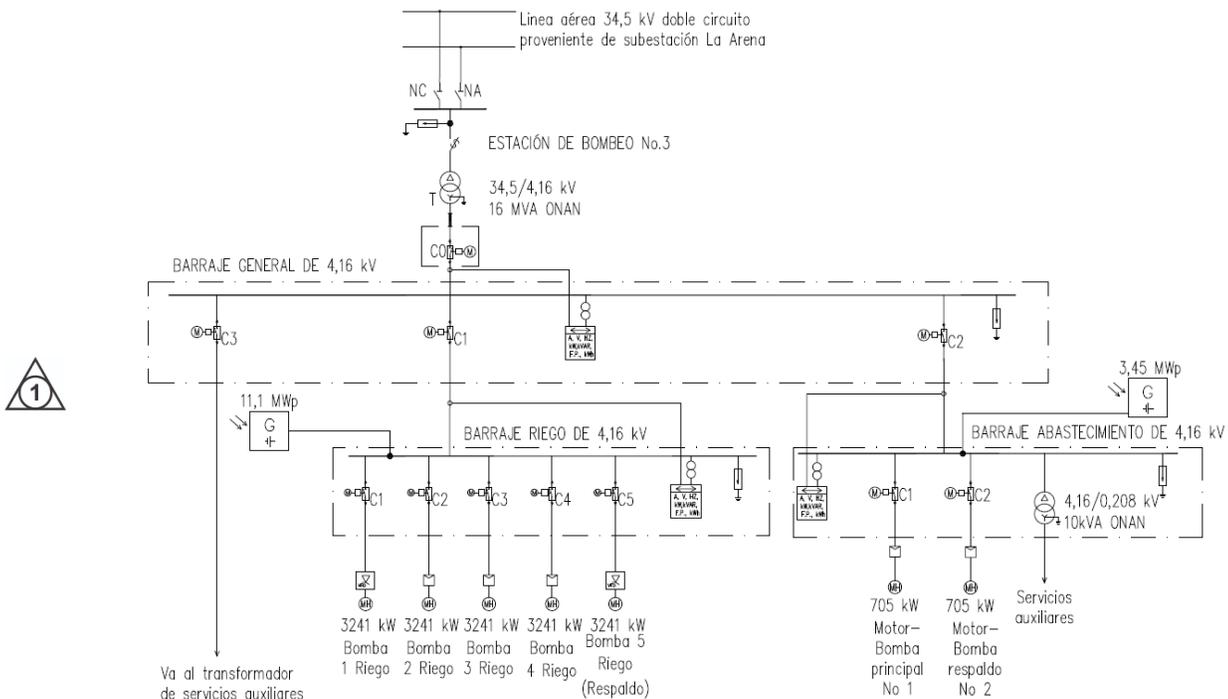


Figura 13. Esquema de instalaciones media tensión estación de bombeo No.3
 Fuente: Elaboración propia.

Estaciones de bombeo - Servicios auxiliares en baja tensión

Para los servicios auxiliares de baja tensión en corriente alterna en cada una de las casas de máquinas de los sistemas de bombeo, se prevé la instalación de un transformador de servicios auxiliares de 4.16 /0.480 kV. Cada transformador tendrá la capacidad de suplir los servicios de toda la estación de bombeo y las obras asociadas a la captación. Los transformadores serán instalados al exterior de la casa de máquinas. Adicionalmente, se prevé la instalación de una planta Diésel con capacidad de suministro de las cargas esenciales del sistema de bombeo y la captación.

La configuración eléctrica del sistema en baja tensión se presenta en la Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17. En el cual se dispone de un tablero de distribución principal a ubicarse en la casa de máquinas, desde el cual se derivan los servicios auxiliares para el sistema de bombeo y tres acometidas principales hacia las obras de la captación, el canal de limpia y el sistema de lavado de sedimentos, obras en las cuales se dispondrá un tablero de distribución secundario para suministro a los equipos hidromecánicos y servicios de iluminación y tomacorrientes en esta zonas.

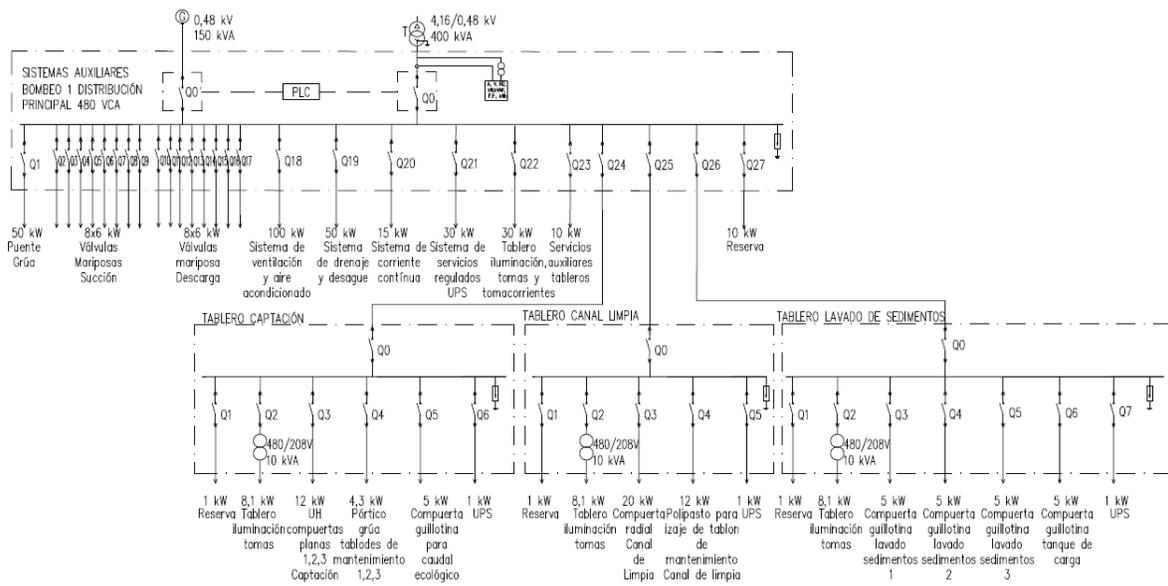


Figura 14. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.1
 Fuente: Elaboración propia.

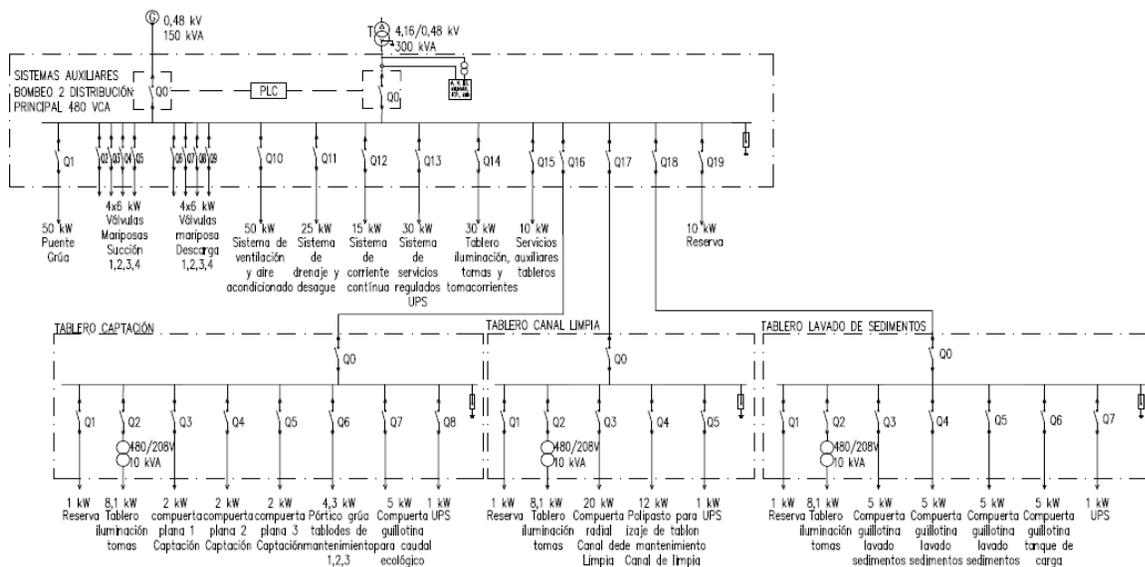


Figura 15. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.2
 Fuente: Elaboración propia.

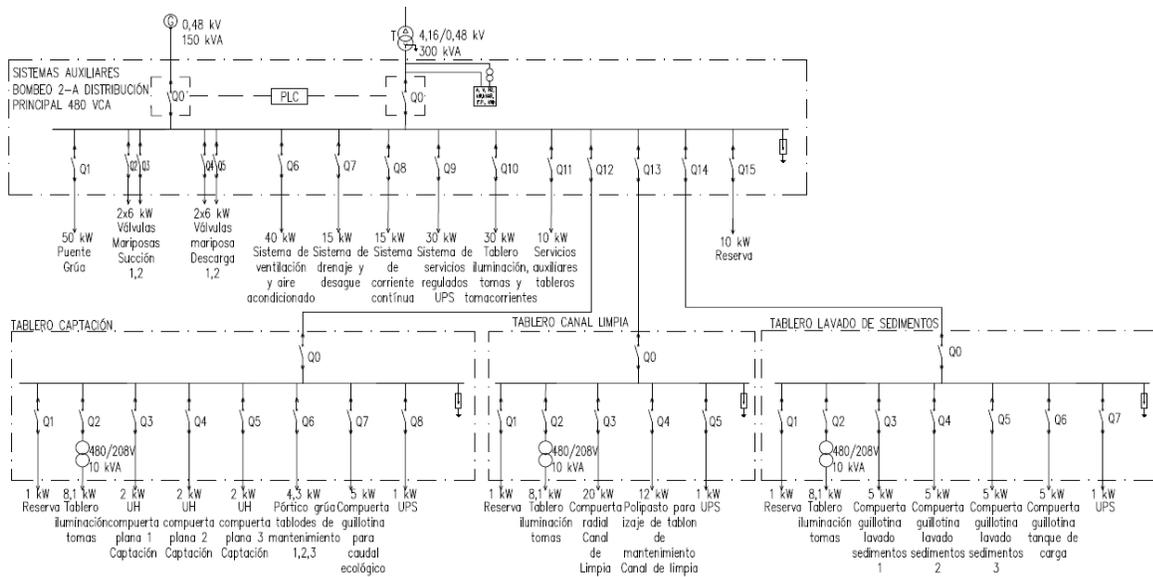


Figura 16. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.2-A
 Fuente: Elaboración propia.

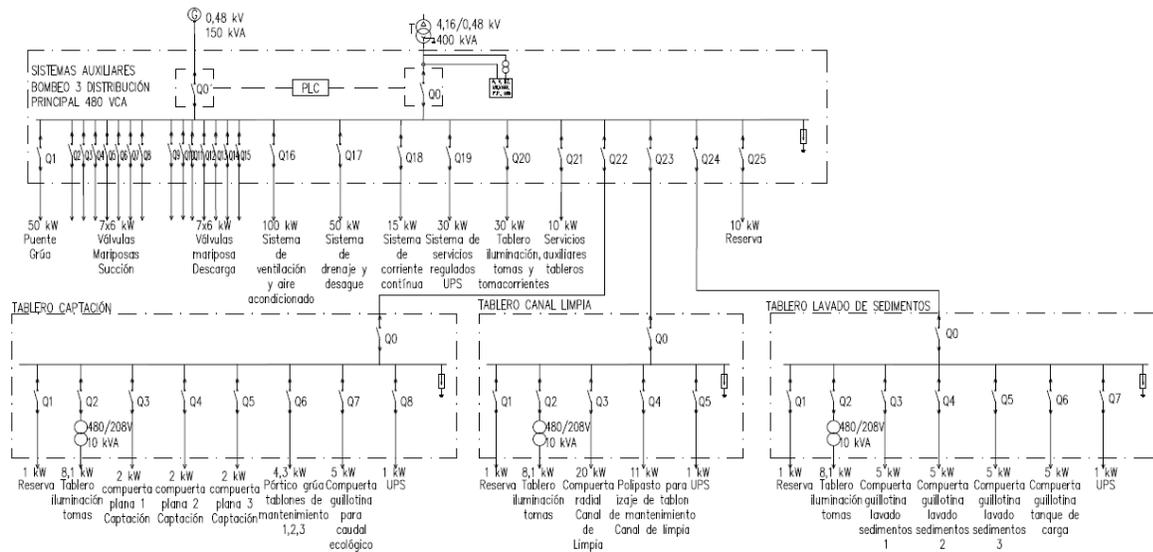


Figura 17. Esquema de instalaciones de servicios auxiliares estación de bombeo No.3
 Fuente: Elaboración propia.

5. DISEÑO SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIONES

5.1. GENERAL

El sistema de control del proyecto contará con dos sistemas de supervisión y control, independientes entre sí. Un sistema de supervisión y control para el servicio de Riego, y otro sistema de control para el servicio de Abastecimiento. Adicionalmente, se tendrá un sistema de supervisión y control local independiente para la descarga de fondo de la presa principal, y un sistema de monitoreo de la instrumentación geotécnica.

Los sistemas de control serán jerárquicos y distribuidos, tendrán como función permitir la supervisión y operación de los sistemas mecánicos y eléctricos del proyecto, esto incluye compuertas, válvulas, bombas, y unidades oleo hidráulicas, ubicados en la descarga de la presa principal, y en las estaciones de bombeo.

Para la presa se contemplan:

- Tablero para la descarga de fondo
- Tablero para descarga de usos servicio de riego
- Tablero para descarga de usos servicio de abastecimiento

Para cada una de las estaciones de bombeo:

- Tablero para la captación
- Tablero para las bombas de riego en las estaciones de bombeo 1, 2 y 3
- Tablero para las bombas de abastecimiento en las estaciones de bombeo 1, 1A, 2A y 3

Para los tanques de ruptura de presión:

- Una I/O remota para monitoreo del estado de los equipos mecánicos

El sistema de control contará con una red de comunicaciones la cual servirá para integrar los dispositivos de control en los distintos sitios del proyecto.

Se plantea que cada sitio cuente con vigilancia por circuito cerrado de televisión CCTV y un sistema de detección y alarma de incendio SCI.

La operación de la cuenca se podrá hacer desde una estación de operación para cada uso, donde se integren los sistemas de control.

Teniendo en cuenta que las estructuras se podrán construir en etapas, las estaciones de operación serán ubicadas en la caseta de la primera estación de bombeo que sea construida. Posteriormente, se plantea que las dos estaciones de operación sean ubicadas en la caseta de la Estación de Bombeo 3 (una vez entre en operación), dado que esta estación cuenta con los equipos mecánicos y eléctricos más robustos del proyecto.

5.2. CRITERIOS DE DISEÑO SISTEMA DE CONTROL

Esta sección contiene los criterios y parámetros de diseño que se utilizarán para realizar el diseño de factibilidad de control, instrumentación y comunicaciones de las obras principales del proyecto, referentes a la presa principal El Gato, las estaciones de bombeo, y los tanques de ruptura de presión.

5.2.1. ESTÁNDARES

Las siguientes normas, en su versión vigente, aplican para el diseño de nivel conceptual y posteriores etapas para 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
- ITU-R P-series, F-series, RS-series

5.2.2. CRITERIOS GENERALES

Los diseños se realizarán según los siguientes criterios:

- Todos los equipos serán robustos, confiables y de última tecnología vigente en el mercado, con capacidad de actualización tecnológica.
- Los equipos electrónicos estarán protegidos frente a variaciones de la fuente de alimentación y descargas eléctricas.
- Se consideran 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 serán resistentes a la intemperie, corrosión, humedad y uso, de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio.
- Se consideran instrumentos redundantes para las medidas críticas.
- El suministro del equipo electrónico deberá ser 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.

5.3. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control contará con tres (3) niveles jerárquicos como se muestra en la arquitectura general del documento AZUEG-ES-TT-GRAL-06-001, AZUEG-ES-TT-GRAL-06-002 y AZUEG-ES-TT-GRAL-06-003.

Nivel 0: Consta de los instrumentos y equipos mecánicos, los cuales serán integrados en el tablero de nivel 1 del subsistema correspondiente.

Nivel 1: Conformado por los tableros de control y fuerza de cada unidad oleo hidráulica y de las bombas de cada estación de bombeo. A estos tableros se integran las señales de los instrumentos y equipos eléctricos asociados al subsistema. Cada subsistema opera independientemente desde su correspondiente tablero de nivel 1. Los tableros de nivel 1 recibirán las consignas de operación, para el caso donde aplique operación automática, las cuales podrán ser ingresadas de forma local en el tablero o de forma remota desde el nivel 2 de control.

Nivel 2: El nivel de control 2 corresponde a las estaciones de operación desde las cuales se podrán supervisar los tableros de nivel 1 del uso correspondiente. También será posible generar consignas de operación desde esta estación hacia cada tablero que cuente con operación remota de nivel 1.

Se definirá un punto central de operación para cada usuario, en la estación de bombeo 3, en donde se podrán monitorear en tiempo real la operación del equipamiento electromecánico, distribuido en las diferentes áreas de intervención del proyecto, y los parámetros requeridos para su funcionamiento.

El sistema será jerárquico y distribuido, contando cada sistema y cada sitio con su sistema de control propio, autónomo e independiente del control de otros sistemas. Desde cada sitio será posible realizar el control local de los sistemas correspondientes. El diseño considerará que en caso de presentarse falla en un subsistema se aisle la misma para que los otros subsistemas no se vean afectados en su operación.

Para el sistema de control, se contemplará la utilización de protocolos normalizados sobre TCP/IP para aplicaciones industriales, considerando la aplicabilidad de redes LAN/WAN.

El diseño del sistema considerará la evaluación de los protocolos de comunicación, de acuerdo al tipo de datos transmitidos y las funcionalidades requeridas en cada nivel de control. El criterio será el uso de protocolos que sean ampliamente difundidos y probados para comunicaciones de campo y para redes de control, considerando la utilización de la menor cantidad de protocolos distintos.

5.3.1. Modos de control y filosofía de operación

El sistema de control contará con los siguientes modos de control:

- Local-Manual: En el modo de control local-manual, el operario podrá accionar los equipos mecánicos asociados al tablero de nivel 1 correspondiente, por medio de las interfaces físicas de cada tablero. Para realizar la operación, estarán disponibles para el operario las señales provenientes de cada instrumento del subsistema, las cuales serán visibles en el tablero. El controlador del tablero contará con los enclavamientos mínimos para permitir la operación segura del subsistema.
- Local-Automático: En el modo de operación local-automático, el controlador de cada tablero de nivel 1 será el responsable de generar los comandos hacia los equipos mecánicos basándose en las lecturas de los instrumentos, en las curvas de operación de los equipos y en la consigna de operación que podrá recibir de forma local o remota.
- Remoto: Este será el modo normal de operación, donde el operador manualmente podrá ingresar las consignas desde el nivel 2 de control.

5.3.1.1. Descarga de fondo

El subsistema consistirá principalmente del equipo electrónico y la instrumentación necesaria para la operación de la compuerta radial y la compuerta plana, ubicadas en la descarga de fondo. La operación de las compuertas será por medio de una unidad oleo hidráulica la cual será monitoreada y operada desde un tablero de nivel 1.

El diseño evaluará y establecerá las condiciones y enclavamientos mínimos para la operación segura de acuerdo a las reglas de operación definidas:

- Las operaciones automáticas usarán las medidas y señales de los instrumentos especializados para validar los estados de las compuertas, nivel del reservorio y los enclavamientos de los equipos electromecánicos. En particular se considerará el enclavamiento para la operación del sistema de acuerdo al nivel disponible en el reservorio.

Se considerarán los siguientes equipos:

- Instrumentos para la medición del nivel de agua del reservorio.

- Supervisión del estado y operación de las unidades hidráulicas y actuadores para la apertura y cierre de las compuertas.
- Instrumentos para la posición abierta/cerrada de las compuertas.
- Controladores para la definición de las lógicas de control y enclavamientos.

5.3.1.2. Descarga de usos riego / abastecimiento

El subsistema consistirá principalmente del equipo electrónico y la instrumentación necesaria para la operación de las válvulas mariposa y cono para el servicio de riego / abastecimiento, ubicadas en la descarga de usos. La operación de las válvulas será por medio de una unidad oleo hidráulica para las válvulas de cada cliente (riego/abastecimiento) la cual será monitoreada y operada desde un tablero de nivel 1.

El diseño evaluará y establecerá las condiciones y enclavamientos mínimos para la operación segura de acuerdo a las reglas de operación definidas:

- Regulación del caudal ecológico.
- Regulación del agua para bombeo.
- Las operaciones automáticas usarán las medidas y señales de los instrumentos especializados para validar los estados de las válvulas, nivel del reservorio y los enclavamientos de los equipos electromecánicos. En particular se considerará el enclavamiento para la operación del sistema de bombeo de acuerdo al nivel disponible en el reservorio.

Se considerarán los siguientes equipos:

- Instrumentos para la medición del nivel de agua del reservorio.
- Supervisión del estado y operación de las unidades hidráulicas y actuadores para la apertura y cierre de las válvulas.
- Instrumentos para la posición abierta/cerrada de las compuertas.
- Controladores para la definición de las lógicas de control y enclavamientos.

5.3.1.3. Estaciones de bombeo

La función principal de este subsistema será el control del sistema de bombeo para cada una de las estaciones que conforman el proyecto.

El subsistema consistirá en el equipo electrónico y la instrumentación necesaria para la operación de las bombas, válvulas y arrancadores de los motores de las bombas.

El diseño contemplará lo siguiente:

- El diseño evaluará y establecerá las condiciones y enclavamientos mínimos para la operación del equipamiento mecánico y eléctrico.
- El diseño contemplará las secuencias de arranque de las bombas y la conmutación con el variador de velocidad.
- El diseño contemplará las lógicas de transferencia de operación de las bombas en caso de fallas y según el tiempo de operación.
- El diseño contemplará la operación de las compuertas de la captación para los bombeos. Contemplará la medición de nivel en la toma y en el tanque de carga, para incluir los enclavamientos que eviten que las bombas succionen en vacío.
- El diseño contemplará las lógicas para la operación de las compuertas de canal de limpia, caudal ecológico, y limpieza de desarenador.

Para los diseños, se considerarán los siguientes equipos

- Instrumentos para la medición de caudal y presión en las tuberías de salida.

- Instrumentos para la posición abierta/cerrada de las válvulas principales.
- Instrumentos para la medición de nivel en la toma y en el tanque de carga
- Instrumentos para la medición de nivel de sedimentos
- Supervisión y/o control de los arrancadores de motores de las bombas.
- Controlador para la definición de las lógicas de control y enclavamientos.
- Supervisión del estado y operación de las unidades hidráulicas y actuadores para la apertura y cierre de las compuertas.

5.3.1.4. Tanques de ruptura de presión

La función principal de este subsistema será la supervisión de las válvulas de entrada y salida de los tanques de ruptura de presión.

Para los diseños, se considerarán los siguientes equipos:

- Instrumentos para la posición abierta/cerrada de las válvulas principales.
- Supervisión del estado de los actuadores para la apertura y cierre de las válvulas.
- Unidad remota de I/O para la lectura de las lógicas de control y enclavamientos.
- Interfaz para visualización y operación

5.3.2. Instrumentación

Cada subsistema contará con la instrumentación que permita la operación segura del mismo.

Todas las unidades oleohidráulicas del proyecto contarán con instrumentación para medir temperatura, nivel y presión de las cubas y los circuitos de aceite. Todas las compuertas y válvulas de regulación de caudales de agua contarán con instrumentos de posición. Todos los actuadores eléctricos contarán con señales de salida que indiquen el estado del actuador.

Para el reservorio, por cada servicio (descarga de fondo, descarga de usos para riego, y descarga de usos para abastecimiento), habrán instrumentos redundantes de medición de nivel.

En la captación de cada estación de bombeo se contará con instrumentos de medición de nivel en la bocatoma, instrumentos de medición de nivel de sedimentos en los desarenadores, y medición de nivel redundante en los tanques de carga.

Las válvulas y compuertas que requieran apertura con equilibrio de presiones contarán con instrumentos de medición de presión del agua, aguas arriba y aguas abajo para verificar el equilibrio de presiones.

Para los tanques de ruptura de presión de cada estación de bombeo se contará con monitoreo del estado de las válvulas, señales que serán integrada al sistema de supervisión y control por medio de un módulo de entradas y salidas remoto (I/O remoto).

5.4. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Para la presa principal se tendrá monitoreo de la instrumentación geotécnica mencionada en el Volumen Geotécnico del informe de diseño. La información quedará disponible de forma remota por conexión a internet, ver plano AZUEG-ES-TT-GRAL-06-005.

5.5. RED DE COMUNICACIONES

Para cada servicio, el proyecto contará con una infraestructura de comunicaciones para el envío de información desde cada estación de bombeo, desde cada tanque de ruptura de presión y desde la zona de la presa principal, hasta las estaciones de operación donde se centralizará la supervisión y el control.

Esta red contará con canales físicos y/o virtuales independientes para cada sistema (Control, CCTV, SCI).

Para la comunicación entre las estaciones de bombeo, se plantea utilizar fibra óptica tendida sobre la misma infraestructura de la línea de alimentación eléctrica entre las estaciones.

Para la comunicación con la presa, se plantea comunicación inalámbrica por medio de antenas de radio frecuencia, las cuales se ubicaran garantizando línea de vista.

Para la comunicación con los tanques de ruptura de presión, se plantea utilizar fibra óptica ADSS para tender en los postes de alimentación eléctrica o en tubería por el mismo camino que la conducción de agua.

5.6. SISTEMA DE CCTV

Cada servicio contará con vigilancia por circuito cerrado de televisión, la cual consistirá en cámaras de video a ser ubicadas en el interior de cada caseta de estación de bombeo, cada cámara de compuertas y válvulas, y cada caseta con unidades oleohidráulicas; del servicio correspondiente.

Las cámaras serán orientadas hacia los equipos mecánicos, los tableros eléctricos y los accesos.

Adicionalmente el proyecto contará con cámaras para vigilancia de la presa principal, su captación, su descarga de fondo, y el vertedero. Se contempla redundancia en estas cámaras para integrarlas a cada una de las dos estaciones de operación.

Los grupos de cámaras en cada sitio del proyecto serán agrupados hasta un rack de CCTV ubicado en el sitio correspondiente. Desde este rack de CCTV se realizará la conexión a la red de comunicaciones. En la misma ubicación de las estaciones de operación, habrá un sistema de grabación y administración de video que permita gestionar el contenido de las cámaras, por usuario, y permita visualizar en una pantalla dedicada para el sistema de CCTV.

5.7. SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIO SCI

El proyecto contará con un sistema de extinción el cual estará conformado como se indica en el Volumen Mecánico del informe de diseño.

Para cada sitio a ser protegido, se contará con un panel contra incendio PCI. Todos los instrumentos requeridos para la detección de incendios serán cableados al PCI local el cual será independiente de los otros PCI y generará las alarmas para la detección de conato de incendio.

Cada PCI generará señales de estado y supervisión que serán enviadas a cada controlador de proceso del sitio correspondiente. Adicionalmente, la red de los paneles contra incendio se centralizará en el panel principal ubicado en la estación de bombeo 1, desde donde se podrán visualizar los detectores direccionables que se activen.

5.7.1. Criterios de diseño del sistema SCI

La funcionalidad de este subsistema será la de preservar la vida humana, como primer objetivo, los activos más importantes del proyecto como segundo objetivo y disminuir el lucro cesante como tercer objetivo. Por lo tanto, se contemplan sistemas que permitan una detección temprana de conatos de incendio y una anunciación oportuna al personal cercano y al personal de operación.

El sistema se define del tipo direccionable, por lo que se considera un panel de detección de incendio, dispositivos de inicialización y anunciación de alarma, automáticos y manuales.

Dado que se considera que los sitios serán inatendidos, la visualización y anunciación se realizará desde el panel principal en la estación de bombeo 1 y las alarmas serán notificadas al sistema de control, mediante conexión al sitio correspondiente.

El cableado del sistema al interior de los sitios del proyecto se plantea por ductos independientes a otras redes, según lo requerido por la NFPA 70.

5.7.2. Normas para el sistema contra incendio SCI

Para el sistema de detección y alarma de incendio aplican las siguientes normas:

- NFPA 13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems
- NFPA 14, Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems
- NFPA 20, Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection
- NFPA 70, National Electric Code
- NFPA 72, National Fire Alarm and Signaling Code
- NFPA 92, Standard for Smoke Control Systems
- NFPA 101, Life Safety Code
- NFPA 170, Standard for Fire Safety and Emergency Symbols

6 ANEXOS

Anexo 1. Listado de cargas sistema eléctrico Presa El Gato

Anexo 2. Análisis de flujo de carga

Anexo 3. Cuadro de cargas sistema eléctrico estaciones de bombeo río La Villa