

Diseños básicos de las obras conexas a la Estación de Bombeo de Aguas Residuales de Canoas y preparación de documentos técnicos de licitación para el diseño detallado y construcción de la misma

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

**Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá
Dirección Red Troncal de Alcantarillado**

Revisión 1 – Julio 2017



GREELEY AND HANSEN

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- LISTA DE DISTRIBUCIÓN**

DESTINATARIO	No. DE COPIAS
EAB	1

- ÍNDICE DE MODIFICACIONES**

ÍNDICE DE REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0			Documento original
1	Revisión general	2017-07-20	Se tuvieron en cuenta las observaciones por parte de la EAB y EMGESA.

- ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN**

TÍTULO DEL DOCUMENTO:		Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada				
APROBACIÓN	NÚMERO DE LA REVISIÓN		0	1	2	3
	RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN	Nombre:	A. Montes	A. Montes		
		Firma:				
		Fecha:	2017-05-26	2017-07-20		
	RESPONSABLE POR REVISIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	Nombre:	P. Vogel	P. Vogel		
		Firma:				
		Fecha:	2017-05-26	2017-07-20		
	Vo. Bo. DIRECTOR DEL PROYECTO	Nombre:	F. Sarmiento	F. Sarmiento		
		Firma:				
		Fecha:	2017-05-26	2017-07-20		

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Diseño Hidráulico	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 Cálculos hidráulicos	3
2.2.1 Hidráulica de los pozos de cribado y de succión	3
2.2.2 Hidráulica de la succión y descarga de las bombas	4
2.3 Consideraciones para el golpe de ariete.....	7
2.4 Bombas de desagüe (achique)	7
2.5 Conducciones	8
2.5.1 Conducción a la PTAR.....	8
2.5.2 Conducto de desviación/bypass hacia el Río Bogotá	9
2.5.3 Estructura de descarga al Río Bogotá	9
3. Diseño de Procesos	11
3.1 Generalidades.....	11
3.2 Sistema de cribado grueso.....	11
3.2.1 Diseño del sistema de cribado	12
3.2.2 Sistema de limpieza mecánica	15
3.2.3 Sistema de cuchara bivalva	16
3.3 Unidades de bombeo	17
3.3.1 Bombas centrífugas no-obstruibles en pozo seco de eje vertical	17
3.4 Bombas de desagüe (achique)	19
3.5 Equipos de grúa (elevación o izamiento)	20
3.5.1 Puente grúa.....	20
3.5.2 Sistema de ascensor portátil.....	21
4. Diseño Geotécnico	23
4.1 Información disponible	23
4.2 Descripción del área de estudio y materiales presentes.....	23
4.3 Geología local	24
4.3.1 Q1sa1 - Formación Sabana – Nivel de limo orgánico:	24

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla de Contenido

4.3.2	Q1sa2 - Formación Sabana – Nivel de arcillas grises oscuras:	25
4.3.3	Q1sa3 - Formación Sabana – Nivel de limos grises claros con lentes de diatomita:	25
4.3.4	Q1sa4 - Formación Sabana – Nivel de limos arenosos:	26
4.4	Estimación de parámetros.....	26
4.4.1	Propiedades índice	26
4.4.2	Propiedades de resistencia mecánica.....	28
4.5	Estimación de la profundidad de empotramiento	31
4.6	Evaluación del método constructivo.....	31
5.	Diseño Estructural	36
5.1	Sistema de pozos.....	36
5.1.1	Consideraciones estructurales	36
5.1.2	Losa de soporte para motores de bombas.....	45
5.1.3	Losa a nivel de terreno en pozo de cribado	46
5.2	Estructura para cubierta de pozos	48
5.2.1	Consideraciones estructurales	48
5.2.2	Consideraciones de carga.....	51
5.2.2.1	Cargas gravitatorias.....	51
5.2.2.2	Cargas sísmicas.....	51
5.2.2.3	Cargas de frenado de viga grúa.....	52
5.2.2.4	Cargas de viento.....	52
5.2.3	Límites admisibles de deformación	53
5.2.4	Fundaciones.....	53
5.2.5	Consideraciones de procedimientos constructivos	55
5.3	Estructura para edificio eléctrico	55
5.3.1	Consideraciones estructurales	55
5.3.2	Consideraciones de carga.....	57
5.3.2.1	Cargas gravitatorias.....	57
5.3.2.2	Cargas sísmicas.....	57
5.3.2.3	Cargas de viento.....	57
5.3.3	Límites admisibles de deformación	57
5.3.4	Fundaciones.....	57

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla de Contenido

5.3.5	Consideraciones de procedimientos constructivos	58
5.4	Estructura para edificio de control.....	58
5.4.1	Consideraciones estructurales	58
5.4.2	Consideraciones de carga.....	59
5.4.2.1	Cargas gravitatorias.....	59
5.4.2.2	Cargas sísmicas.....	59
5.4.2.3	Cargas de viento.....	60
5.4.3	Límites admisibles de deformación	60
5.4.4	Fundaciones.....	60
5.4.5	Consideraciones de procedimientos constructivos	60
5.5	Estructuras de conducción hacia PTAR y río Bogotá	60
5.5.1	Consideraciones estructurales	60
5.5.2	Consideraciones de procedimientos constructivos	60
6.	Ventilación, Instalaciones Hidro Sanitarias y Protección Contra Incendio	61
6.1	Exteriores	61
6.1.1	Instalaciones hidro sanitarias exteriores	61
6.1.2	Sistema contra incendios exterior	62
6.2	Edificio de control.....	62
6.2.1	Ventilación del edificio de control.....	63
6.2.2	Sistema hidrosanitario del edificio de control	63
6.2.3	Sistema de protección contra incendio edificio de control.....	63
6.3	Edificio eléctrico	63
6.3.1	Ventilación del edificio eléctrico	63
6.3.2	Sistema hidrosanitario del edificio eléctrico	64
6.3.3	Sistema de protección contra incendio edificio eléctrico.....	64
6.4	Estación de bombeo	64
6.4.1	Ventilación del cuarto de bombeo.....	64
6.4.2	Sistema hidrosanitario de la estación de bombeo.....	65
6.4.3	Sistema de protección contra incendio de la estación de bombeo	65
7.	Diseño del Sistema de Control de Olores	66

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla de Contenido

7.1	Alternativas de control de olores.....	66
7.1.1	Dispersión directa a la atmosfera sin tratamiento	66
7.1.2	Carbón Granular Activado (GAC).....	67
7.1.3	Camas de material impregnado	68
8.	Diseño Eléctrico	70
8.1	Diseño de la EBAR Canoas	70
8.2	Normas y códigos aplicables.....	70
8.3	Diseño de eficiencia de energía	71
8.4	Clasificación de la áreas	71
8.5	Estudio de cargas	72
8.6	Criterios de diseño	72
8.6.1	Subestación al aire libre 115 kV.....	72
8.6.2	Interruptores principales de 13,2 kV.....	72
8.6.3	Variadores de frecuencia para las bombas principales.....	73
8.6.4	Motores de las bombas principales de 4160 V	73
8.6.5	Interruptor de 480 V	73
8.6.6	Centro de control de motores de 480 V	74
8.6.7	Interruptores de transferencia automática de 480 V	75
8.6.8	Generador diésel de 480 V	75
8.6.9	Paneles de distribución de energía y paneles de iluminación.....	76
8.6.10	Motores eléctricos	76
8.6.11	Sistema de iluminación	77
8.6.12	Ductos, cableado y sistemas de puesta a tierra.....	77
8.6.13	Sistema de protección de pararrayos.....	79
8.6.14	Dispositivos de cableado	79
8.6.15	Alarmas contra incendios y sistema de riego.....	79
9.	Diseño de Instrumentación y Control.....	80
9.1	Definiciones.....	80
9.2	Sistema de control de la estación de bombeo	80
9.2.1	Controlador de Lógica Programable (PLC).....	80

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla de Contenido

9.2.2	Interfaz Humano - Máquina (HMI).....	81
9.2.3	Paneles de control	81
9.2.4	Instrumentación.....	82
9.2.5	SCADA.....	83
9.2.6	Filosofía de control.....	84
9.3	Descripción de controles.....	84
9.3.1	Área de pozo de cribado	84
9.3.2	Pozo de bombeo	85
9.4	Otros sistemas	86
9.4.1	Control del sistema de monitoreo de aire.....	86
9.4.2	Sistema de video digital	87

Lista de Tablas

Tabla3-1	Estimación de Carga - Sistema de Ascensor Portátil	21
Tabla4-1	Resumen de los valores de las propiedades índice.....	28
Tabla 4-2	Resumen de los valores de los parámetros de resistencia mecánica	30
Tabla 5-1	Espesores de pantalla y muro interior.....	41
Tabla 5-2	Dimensiones de elementos para losa de fondo y pilas.....	44
Tabla 7-1	Dispersión Directa a la Atmosfera.....	66
Tabla 7-2	Carbón Granular Activado	68
Tabla 7-3	Camas de Material Impregnado.....	68
Tabla 8-1	Cargas eléctricas	72
Tabla 9-1	Definiciones de Instrumentación y Control.....	80

Lista de Figuras

Figura 1-1	Diagrama Simplificado de la EBAR Canoas y sus Obras Conexas.....	1
Figura 2-1	Válvula Cónica.....	6
Figura 3-1	Cantidades de Cribados en Función del Espaciamiento de las Barras	14
Figura 3-2	Fotografía y Diagrama de la Criba y Sistema de Limpieza Mecánica	15
Figura 3-3	Bomba Vertical Centrífuga No-Obstruible de Pozo Seco	19
Figura 3-4	Ilustración de un sistema de ascensor portátil típico	22
Figura 4-1	Planta geológica y perfil geológico estimado de la zona de estudio.....	25
Figura 4-2	Variación de la humedad natural y los índices de plasticidad con la profundidad	27
Figura 4-3	Variación de la cohesión con la profundidad	29
Figura 4-4	Variación del ángulo de fricción con la profundidad	30



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

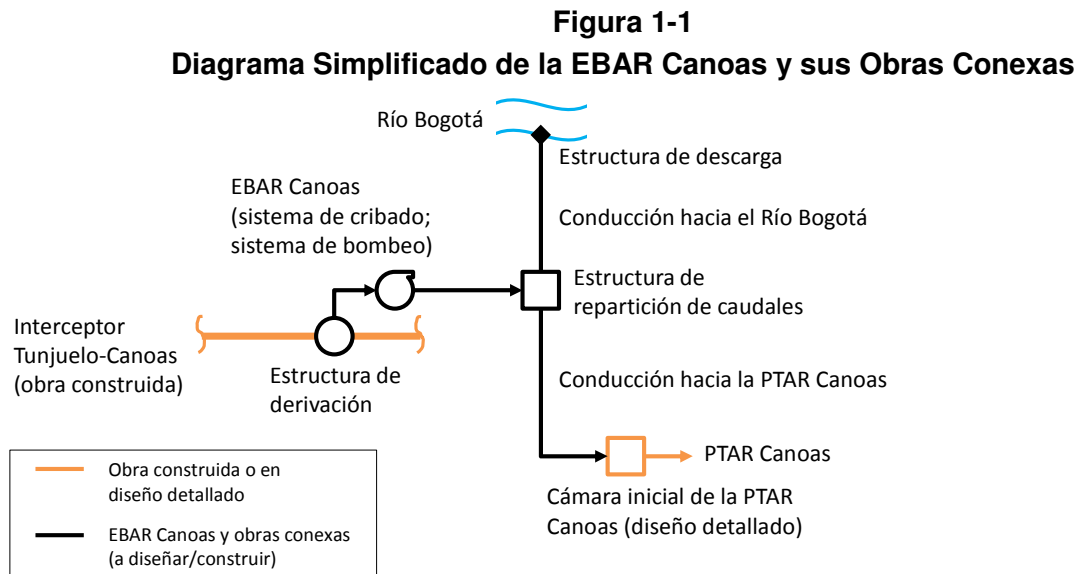
Tabla de Contenido

Figura 4-5 . Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de pantalla y el de muro interior.....	32
Figura 4-6 Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de fondo del pozo	33
Figura 4-7 Esquema de construcción pantallas mediante “hidrofresa”	34
Figura 5-1 Disposición Sistema estructural para pozos	37
Figura 5-2 Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de pantalla y el de muro interior.....	38
Figura 5-3 Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de fondo de pozo	38
Figura 5-4 Esquema modelo análisis para pozos	39
Figura 5-5 Empujes aplicados en el análisis de los pozos.....	40
Figura 5-6 Distribución y parametrización de espesores en pantalla de contención y muro interior.....	41
Figura 5-7 Dimensiones para estructura de fondo	42
Figura 5-8 Capacidad a tracción para pilas de \varnothing 1,50m.....	43
Figura 5-9 Distribución de pilas en losa de fondo	44
Figura 5-10 Sistema estructural para losa de bombas.....	45
Figura 5-11 Modelo de análisis para losa de bombas.....	46
Figura 5-12 Sistema estructural para losa superior en pozo de cribado.....	47
Figura 5-13 Modelo de análisis para losa superior en pozo de cribado	47
Figura 5-14 Esquema general estructura para cubierta de pozos	49
Figura 5-15 Esquema estructural sentido transversal.....	50
Figura 5-16 Esquema estructural sentido longitudinal	50
Figura 5-17 Esquema estructural pórticos viga grúa.....	50
Figura 5-18 Esquema estructural cubierta	51
Figura 5-19 Espectro de respuesta elástico.....	52
Figura 5-20 Esquema estructural fundación de cubierta.....	53
Figura 5-21 Capacidades a tracción y compresión en pilas \varnothing 1,50m.....	54
Figura 5-22 Configuración estructural edificio de eléctrico	56
Figura 5-23 Capacidad admisible del terreno para losas.....	58
Figura 5-24 Configuración estructural edificio de control.....	59
Figura 7-1 Carbón Granular Activado (GAC).....	67

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

1. Introducción

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) contrató con Greeley and Hansen Colombia SAS la consultoría para realizar los diseños básicos de las obras conexas a la Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) Canoas y preparar los documentos técnicos de licitación para el diseño detallado y construcción de la misma, según el Contrato 2-02-25500-00752-2016. Las obras a considerar en esta consultoría son aquellas necesarias para realizar la conexión de la EBAR Canoas con el Interceptor Tunjuelo-Canoas ya construido. Se prevé que estas obras incluirán: Estructura de derivación de caudal desde el Interceptor Tunjuelo-Canoas, sistema de cribado, sistema de bombeo, estructura de repartición del caudal bombeado, conducciones de descarga al Río Bogotá y a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Canoas, sistema eléctrico, sistema de instrumentación y control, y obras civiles complementarias. Las obras principales se muestran en la **Figura 1-1** mediante una representación gráfica simplificada.



El objetivo del diseño a nivel básico es establecer el propósito, características y criterios de diseño de las estructuras y sistemas del proyecto, identificando con suficiente especificidad la configuración de las estructuras, la disposición general de los equipos, los requerimientos de rendimiento y operatividad, y las normas y estándares de diseño aplicables al proyecto. El diseño a nivel básico se contemplará de manera que sirva como punto de partida para el contrato de diseño de detalle y construcción, sin que sea restrictivo o llegue a obstruir la creatividad que el contratista seleccionado pueda aportar durante el diseño de detalle y construcción de las obras.

La consultoría se lleva a cabo a través del desarrollo de cuatro productos de acuerdo con el alcance especificado en los Términos de Referencia del contrato. Estos cuatro productos son:

- Producto 1: Revisión y análisis de la información – Compendio de los resultados de la revisión de información y estudios anteriores disponibles, del análisis de trabajos de terreno realizados por la EAB, y de la revisión de reglamentación y normatividad aplicable al proyecto.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Producto 2: Alternativas de diseño – Análisis de tamizado de tecnologías, investigación de experiencias en proyectos similares, identificación y evaluación de alternativas de bombeo y cribado, y dimensionamiento y modelación de la alternativa seleccionada.
- Producto 3: Diseño de ingeniería básica de la alternativa seleccionada – Elaboración de planos a nivel de diseño conceptual que permitan establecer el propósito, características y criterios de diseño de las estructuras y sistemas del proyecto, identificando con suficiente especificidad la configuración de las estructuras, la disposición general de los equipos, los requerimientos de rendimiento y operatividad, y las normas y estándares de diseño aplicables al proyecto.
- Producto 4: Documentos para contratación – Compilación de los pliegos necesarios para la licitación del diseño detallado y construcción de la EBAR Canoas y sus obras conexas, documentos que incluyen entre otros: Planos a nivel de diseño conceptual, especificaciones técnicas, especificaciones de rendimiento, formularios de características garantizadas, matriz de riesgos, presupuesto de construcción y programación de ejecución del proyecto.

El presente informe corresponde al Producto 3: Diseño de ingeniería básica de la alternativa seleccionada, y está organizado en ocho apartes que cubren los criterios principales y resultados del diseño básico por cada una de las disciplinas principales involucradas en el proyecto, como soporte a los planos de diseño básico que hacen parte de integral del producto.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

2. Diseño Hidráulico

2.1 Introducción

El análisis hidráulico de la EBAR Canoas se realizó con el fin de obtener la base para el diseño, el dimensionamiento y la selección de los equipos hidráulicos y las estructuras para la estación de cribado, bombeo y los conductos/box culvert hacia la PTAR Canoas y río Bogotá. Adicionalmente, el análisis y los cálculos hidráulicos permitieron una evaluación de las características de diseño y la operación hidráulica de todos los equipos y estructuras desde el afluente de la EBAR Canoas hasta los puntos de descarga, bien sea en la cámara de entrada de la PTAR Canoas o en la estructura de entrega directa al río Bogotá. El cálculo del perfil hidráulico desde el afluente de la EBAR Canoas, hasta la estructura de entrada de la PTAR Canoas, y la descarga hacia el Río Bogotá, se muestra en el **Anexo A-1**.

2.2 Cálculos hidráulicos

Los cálculos hidráulicos de los pozos de cribado y de succión de la EBAR Canoas, y la tubería de succión y descarga se describen a continuación. Los cálculos hidráulicos están divididos en dos secciones, debido a la diferencia en los regímenes de flujo existentes en la zona de cribado y en los pozos de succión (i.e. flujo a superficie libre), versus el flujo a presión en la tubería de succión y descarga de las bombas.

2.2.1 Hidráulica de los pozos de cribado y de succión

Se realizó el análisis de los sistemas hidráulicos de la EBAR Canoas, como base para el esquema de diseño básico de los canales de cribado y los pozos de succión de las bombas, así como el dimensionamiento de los equipos y las tuberías. Las pérdidas por fricción a lo largo de los canales, fueron calculadas utilizando la Ecuación de Manning para el flujo en canales abiertos, con un coeficiente de Manning de $n = 0.013$, por ser construidos en concreto. Se utilizaron coeficientes de pérdidas menores de energía (valores de K)¹ para entrada/salida de conductos, contracciones/expansiones y cambios de dirección de flujo. Los cálculos hidráulicos para los canales de las rejillas hasta los pozos de succión, se muestran en el **Anexo A-2**.

Para los cálculos hidráulicos se tuvieron en cuenta condiciones de caudal promedio y caudal pico de $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $36,2 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Bajo condiciones normales de operación, los pozos de succión de las bombas fueron dimensionados para mantener una velocidad promedio en el canal de por lo menos $0,5 \text{ m/s}$, pero sin exceder los $1,3 \text{ m/s}$. Este rango de velocidades previene la deposición de los sólidos suspendidos en el flujo y evita que se genere turbulencia y perturbaciones en la succión de las bombas. Adicionalmente, la profundidad del agua al inicio de los pozos de succión, se estableció como mínimo 3 veces el diámetro por encima de la corona de la toma de succión, para prevenir la entrada de aire por la formación de vórtices en la superficie y para mantener la sumergencia de las bombas en condiciones normales de operación.

¹ Todos los coeficientes de pérdidas menores utilizados tienen la misma referencia.

Munson, et. al. Fundamentals of Fluid Mechanics. 4th Ed. 2002. Brandt and Kauffman. Water Resources Reference Manual. 1st Ed. 2011.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

El canal de transferencia, que conecta el pozo de succión de las bombas con los canales de cribado, fue diseñado para generar las suficientes pérdidas de energía, de tal manera que se logre una profundidad adecuada aguas arriba para controlar las velocidades de aproximación a las rejillas de cribado. Las velocidades de diseño a través de las rejillas de cribado, se determinaron para ser como mínimo de 0,5 m/s, pero no mayores de 1,3 m/s. Además, para controlar la distribución de velocidades del flujo a través de las rejillas de cribado, se ubicaron un grupo de baffles, cerca de la entrada del túnel interceptor, para lograr una distribución del flujo en cada uno de los tres canales de cribado.

Se diseñó un vertedero de excesos para emergencias, por encima de la cámara de succión de cada bomba. El vertedero de excesos opera continuamente de la Cámara de Succión 1 a la Cámara de Succión 2, abarcando una longitud total de 42 m. El vertedero fue diseñado para aliviar el flujo en la cámara de succión durante un evento en el que el flujo que ingresa, no pueda ser descargado adecuadamente por las bombas, como puede ser, un corte prolongado de energía eléctrica. Durante tal evento, el nivel del agua debe aumentar en la cámara de succión de las bombas, hasta alcanzar el nivel de la cresta del vertedero, en donde el agua fluirá por encima del vertedero y se descargará por el Túnel de Emergencia existente hacia el río Bogotá. Las pérdidas de energía sobre la cresta del vertedero, se determinaron con la *Ecuación para Vertederos de Francis*:

$$Q = 1.84 * L * H^{3/2}$$

Para las condiciones de caudal medio y caudal pico, la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero es de 0,35 m y 0,60 m, respectivamente. Estas alturas fueron utilizadas como elevación de la lámina de agua inicial, para el cálculo del perfil hidráulico durante condiciones de vertimiento.

Las pérdidas hidráulicas a través de los canales de cribado y en las cámaras de succión de las bombas, fueron diseñadas para garantizar la operación adecuada de los equipos y las estructuras, bajo el rango de caudales proyectados para el ITC. Además, las pérdidas hidráulicas en la estación de bombeo, fueron estimadas para garantizar que el túnel no se encuentre sobrecargado aguas arriba de la EBAR Canoas.

2.2.2 Hidráulica de la succión y descarga de las bombas

Se realizó un análisis de la succión de las bombas y el sistema de descarga para permitir el dimensionamiento de las bombas, y las tuberías de succión y descarga. El análisis hidráulico desde la entrada de la succión de la bomba hasta la salida de la descarga, se realizó utilizando la ecuación de Hazen-Williams, empleando un Coeficiente de Hazen-Williams de $C = 100$. Las pérdidas en la entrada y la salida, por contracciones/expansiones, por accesorios para el control del flujo, y por codos, fueron calculadas utilizando coeficientes hidráulicos de pérdidas de energía (valores de K). Además, la cabeza estática general se calculó como la diferencia entre la altura final de la descarga y la menor altura esperada en la cámara de succión (i.e. durante eventos de caudales bajos), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta H_{\text{estática}} = Z_{\text{descarga}} - Z_{\text{NMA}}$$

Los cálculos hidráulicos de las tuberías para la succión y la descarga de las bombas, se presentan en el **Anexo A-3**.

La succión de la bomba consiste en una toma con boca de campana, una válvula de compuerta, y una combinación de un codo con reducción de diámetro. Para cada tubería de succión de las bombas, se

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

utiliza una toma con boca de campana de 1,5 m de diámetro para lograr el desarrollo de la condición de flujo y velocidad uniforme en la succión de la bomba. Adicionalmente, la toma de boca de campana genera cerca del 50% menos de pérdidas a la entrada ($K = 0,28$), con respecto a una toma estándar ($K = 0,5$). Cualquier reducción en las pérdidas es ideal para alcanzar la operación más eficiente posible.

Se instala una válvula de compuerta de 1,5 m de diámetro entre la bomba y la toma de la succión de la bomba, para permitir el aislamiento de la bomba y de la tubería de succión. La válvula de compuerta será operada por un dispositivo hidráulico. El dispositivo hidráulico tiene la capacidad de operar la válvula, incluso si se presenta una pérdida de energía temporal. Igualmente puede ser operada manualmente en caso de ser requerido. También se utiliza un codo con cambio de diámetro (1,5 m / 1,2 m) de 90° en la base de la bomba, para acelerar el fluido hacia el caracol. La aceleración del fluido a la entrada, previene que se formen vórtices y vibraciones al interior de la bomba.

La descarga de la bomba consiste en un accesorio de expansión, una válvula cónica, un medidor de caudal y varios codos que dirigen el flujo a lo largo del sistema de tuberías hasta el punto de descarga final. La tubería de descarga de la bomba es de 1,07 m de diámetro. A la salida de la bomba, se tiene un codo de 90° que dirige la descarga verticalmente hacia el nivel de la superficie, e inmediatamente después del codo se tiene un accesorio de expansión de diámetro (1,22 m / 1,07 m). Este accesorio de expansión de diámetro, es necesario para reducir las velocidades de descarga de 12 – 23 m/s a 3,6 – 7,1 m/s, para las condiciones de caudal mínimo y caudal pico respectivamente. Entre menores sean las velocidades, se van a poder reducir las pérdidas de energía a lo largo de la tubería de descarga. Además, las velocidades son suficientes para mover los sólidos verticalmente en la columna hacia el punto de descarga final. Las tuberías de diámetros mayores a 1,20 m, no son recomendadas para ser utilizadas en descargas de ductos verticales, debido a recomendaciones estructurales al momento de realizar los anclajes a la pared del ducto donde se levanta la bomba. De igual forma, se deben considerar los costos de los equipos o accesorios que se deben mandar a hacer a la medida, ya que no se encuentran comercialmente por encima del diámetro de 1,20 m, tales como los medidores de caudal.

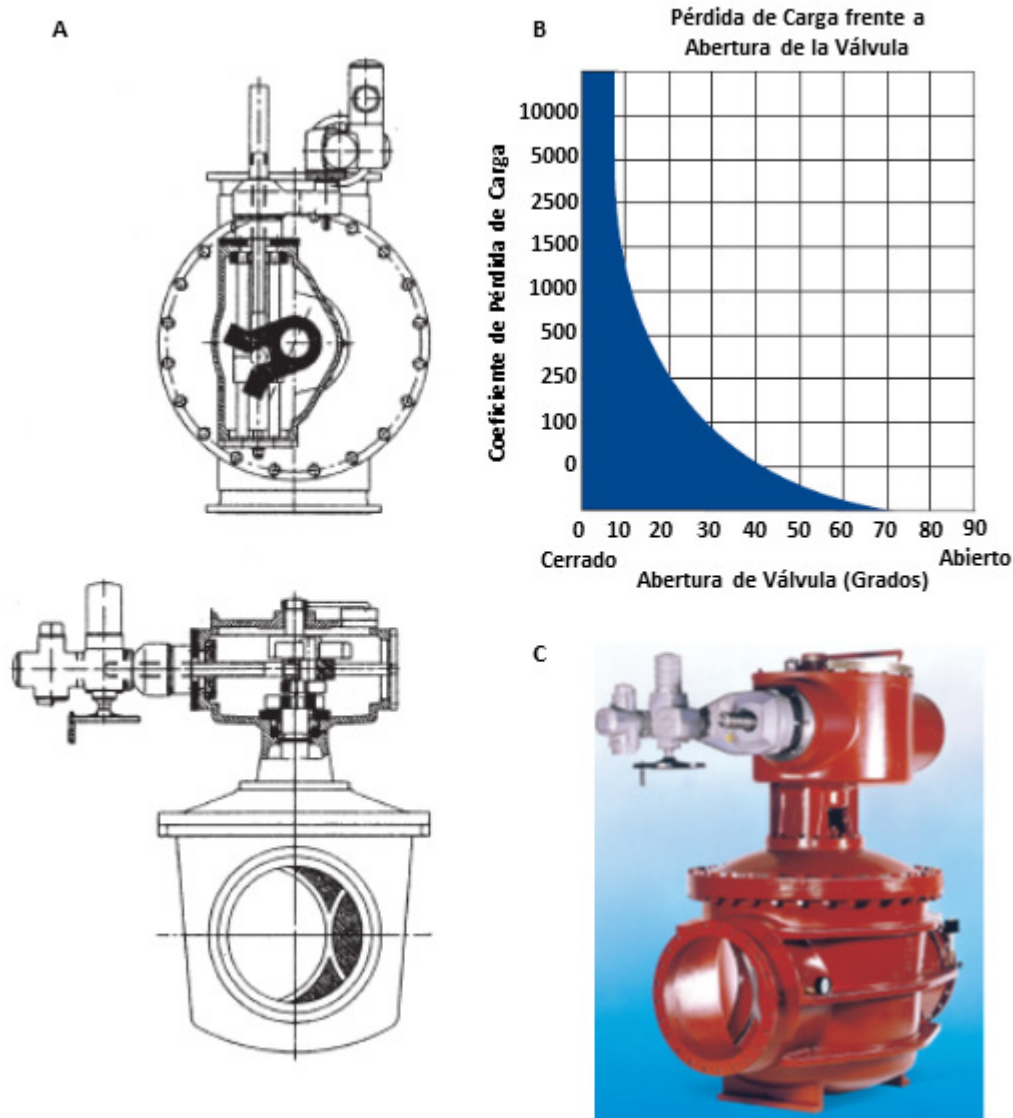
Después del accesorio de expansión, se ubica una válvula cónica, la cual funciona como válvula de cierre/cheque/control. Las válvulas cónicas constan de un cierre ajustado, evitando el contraflujo del caudal por la tubería vertical hacia el caracol de la bomba, durante los procedimientos de cierre, los cuales pueden generar la rotación inversa del impulsor y del motor. De esta manera, las válvulas cónicas tienen ventajas significativas:

- Permiten aperturas totales, obteniendo un flujo con pérdidas de energía equivalentes a tuberías sin obstrucciones.
- Son válvulas de poco mantenimiento con una larga vida útil y bajos costos operacionales.
- Ideal para sistemas de altas velocidades.

El valor del coeficiente hidráulico K adoptado para la válvula cónica en los cálculos de pérdidas hidráulicas es de $K = 0,19$, el cual es bastante conservador para la estimación de pérdidas en la válvula. El diagrama esquemático de la válvula cónica, la curva de pérdidas de energía y la fotografía del ensamblaje total, se muestran en la **Figura 2-1**.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

**Figura 2-1
Válvula Cónica**



Cada válvula cónica es operada por un dispositivo hidráulico. Al igual que la válvula de compuerta, pero con mayor importancia, el dispositivo hidráulico tiene la capacidad de operar la válvula cónica, incluso cuando se presenta un corte súbito de la energía eléctrica, para limitar el contraflujo por el sistema de tuberías y la bomba.

En cada tubería del sistema de descarga, se instala un medidor de caudal magnético, para permitirle a los operarios de la EBAR, la obtención de datos de mediciones de caudal para cada una de las tuberías de descarga. Los medidores se ubican estratégicamente a lo largo de un tramo recto de tubería de por lo menos 10 veces el diámetro de la tubería, antes de cualquier accesorio o unión hacia aguas abajo, y 7

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

veces el diámetro hacia aguas arriba. La disposición recta de las tuberías minimiza cualquier perturbación y no-uniformidades en el flujo, a causa de las uniones o los accesorios en las tuberías, lo cual tiene un efecto adverso en la apropiada operación y precisión de los medidores de caudal. Se seleccionó un medidor de caudal de 1,2 m de diámetro para evitar cualquier pérdida de energía asociada con la impulsión del flujo por un orificio más pequeño que la tubería misma. Se seleccionó un coeficiente de pérdidas de energía de $K = 0,25$ para el medidor de caudal.

Aguas abajo del medidor de caudal, la tubería llega a su expansión final de 1,22 m a 1,70 m. Esta expansión final permite una reducción de velocidades a valores inferiores a 5 m/s. El último tramo de tubería después de la expansión, incluye 4 cambios de dirección. Por esta razón, reducir las velocidades en este último tramo es importante para minimizar las pérdidas de energía acumuladas por los accesorios de las tuberías. Los accesorios en este tramo de tubería presentan valores típicos de K entre $K = 0,42$ hasta $K = 0,60$, los cuales resaltan la importancia de minimizar la velocidad en este tramo final de tubería.

El punto final y común de descarga para todas las bombas es una estructura de repartición de caudales ubicada inmediatamente al sur de la EBAR Canoas. La entrega de la tubería de descarga se encuentra localizada 0,6 m por encima del nivel máximo de agua esperado en la estructura, con lo que elimina la posibilidad de cualquier contraflujo por la tubería de descarga.

2.3 Consideraciones para el golpe de ariete

El fenómeno de golpe de ariete ocurre generalmente cuando una válvula se cierra súbitamente al final de un sistema de tubería, generando una onda presurizada que se propaga en el sistema causando un choque hidráulico. La onda presurizada también puede generar otras afectaciones como ruido, vibración, fallas en las válvulas, fracturamiento de los tubos, colapso de las tuberías o la combinación de varios de estos fenómenos. Para evitar la generación de un potencial fenómeno de golpe de ariete en un sistema de bombeo de aguas residuales, se eliminan las válvulas al final del sistema para tener una descarga abierta con lo que se libera o se mitiga la energía que se propaga con la onda presurizada, la cual puede causar los daños descritos anteriormente. Adicionalmente, para mitigar los efectos del golpe de ariete, la descarga abierta de la tubería del sistema, se ubica por encima del nivel del agua de la estructura de repartición de caudales, para prevenir el contraflujo en el sistema de tuberías.

Además, se cuenta con una válvula cónica de operación hidráulica en la tubería de descarga, la cual se cierra con una tasa controlada incluso cuando se presenta una interrupción en el servicio de energía eléctrica. La válvula cónica está diseñada para prevenir el contraflujo a través de las tuberías y las bombas, causados por la cabeza estática de la columna de agua que busca devolver el agua al pozo de succión. El contraflujo genera que el impulsor y la bomba del motor operen en dirección inversa, lo cual puede generar daños en el sistema de bombeo al reiniciar las bombas durante un evento de contraflujo.

2.4 Bombas de desagüe (achique)

Al igual que con las tuberías de succión y descarga de las bombas de la EBAR Canoas, se dimensionaron las bombas de desagüe y los cálculos hidráulicos de las tuberías, los cuales se realizaron utilizando la ecuación de Hazen-Williams, con un coeficiente $C = 100$, para acero. Todos los valores utilizados de los coeficientes de pérdidas de energía de la ecuación de Hazen-Williams, son valores estándar de K , identificados para los respectivos accesorios. Los cálculos hidráulicos para las bombas de desagüe, se pueden ver en el **Anexo A-3**.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

2.5 Conducciones

Inmediatamente al sur de la EBAR Canoas, se ubicó una estructura de repartición de caudales, la cual se diseñó para recibir la descarga de cada una de las seis bombas mencionadas anteriormente. Bajo una condición de operación normal, el flujo sale de la estructura de repartición de caudales hacia la PTAR Canoas a través de un sistema de conducción tipo box culvert en concreto reforzado, el cual se describe a continuación. Debido a condiciones imprevistas en la capacidad de la PTAR Canoas, o algún evento adverso que requiera un alivio de emergencia, se diseñó un conducto de bypass tipo box culvert, en concreto reforzado, para conducir el flujo directamente al río Bogotá sin entrar a la planta (durante los primeros años de operación de la EBAR, este último será el esquema de operación adoptado, hasta la entrada en operación de la PTAR Canoas).

2.5.1 Conducción a la PTAR

Durante las condiciones normales de operación de la descarga de la EBAR Canoas, el flujo se conduce por un conducto de concreto reforzado tipo box culvert, hasta la PTAR Canoas. El conducto fue dimensionado bajo la condición de flujo a superficie libre, utilizando la Ecuación de Manning con un coeficiente de Manning de $n = 0,013$. Como condición de frontera para los cálculos hidráulicos, se estableció la profundidad de flujo en la cámara de ingreso a la planta con un valor de 3,41 m, lo anterior acorde con lo definido por el diseñador de la PTAR Canoas para un caudal máximo aceptable de 32 m³/s. Adicionalmente, se consideró un escenario posible con cerramiento de alguna de las dos compuertas de entrada a la planta; en este caso, la profundidad en la frontera aumenta.

Las dimensiones del box culvert son 6,3 m de ancho por 5,0 m de alto, y será construido sobre la superficie. La longitud del conducto desde la estructura de repartición de caudales hasta la PTAR Canoas, es de 120 m aproximadamente. La diferencia de elevación entre el punto de descarga más alto de la EBAR y la entrada a la PTAR Canoas, es de 0,03 m, con lo que se tiene una pendiente de fondo de 0,02% para el box culvert. La pendiente del box fue minimizada para controlar las velocidades en la conducción y prevenir alguna turbulencia que pueda generar efectos adversos en la entrada del flujo a la PTAR Canoas. Las velocidades de diseño en la conducción para condiciones normales de operación para el caudal medio y el caudal pico, son 0,7 y 1,4 m/s, respectivamente.

Durante el diseño de la PTAR Canoas, la estructura de conducción de entrada a la planta fue diseñada de manera separada en dos canales de concreto tipo box, de 4,0 m x 4,0 m; sin embargo, se propone esta nueva configuración que permite una operación “pasiva” del sistema de bypass hacia el río Bogotá, el cual se describe a continuación:

A lo largo de los primeros 70 m de longitud de la conducción/box a la planta, se diseñó una estructura de vertimiento de excesos para permitir el rebosamiento en caso de emergencia, hacia el conducto/box de bypass, durante los períodos en que la planta presente algún tipo de imprevisto. El conducto de bypass, descarga directamente al Río Bogotá. La elevación de la cresta del vertedero en el canal de bypass, fue ubicada 0,1 m por encima del nivel de agua máximo en el conducto, para un caudal de 32 m³/s. La elevación de la cresta fue dispuesta para aliviar el sobreflujo, una vez que la planta alcance su máxima capacidad, o se suspenda el ingreso de agua a la misma. La longitud total del vertedero es de 70 m y la altura de la lámina de agua sobre el vertedero se calculó con base en la *Ecuación Francis Weir*:

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

$$Q = 1.84 * L * H^{3/2}$$

La altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero para el caudal pico de bombeo (36,2 m³/s) es 0,43 m y 0,25 m para el caudal medio de 16 m³/s.

2.5.2 Conducto de desviación/bypass hacia el Río Bogotá

El conducto de bypass provee una solución de emergencia durante eventos en los que la planta no alcanza totalmente o de manera adecuada a recibir el caudal descargado por la EBAR Canoas. Esta conducción fue dimensionada de la misma manera que la conducción a la planta, utilizando la hidráulica de canales abiertos, utilizando un coeficiente de Manning $n = 0,013$. El caudal de diseño que se utilizó para el conducto de bypass hacia el río Bogotá es el caudal pico de la descarga de la EBAR Canoas de 36,2 m³/s, y el caudal medio de 16,0 m³/s. Las dimensiones del conducto de bypass, son las mismas que las de la conducción a la planta (6,3 m de ancho x 5,0 m de alto).

El conducto de bypass es principalmente construido bajo el nivel del suelo, con un trazado que cruza entre la EBAR Canoas y las estructuras de la PTAR Canoas. Para acomodar el trazado, se debieron ubicar una serie de caídas en el conducto, para proveer la cobertura suficiente. Se requiere de una cobertura de por lo menos 2 m para acomodar la geometría de los drenajes a cada lado del trazado. Se consideró el aumento de la pendiente del conducto, pero después del análisis hidráulico, las velocidades resultaron mayores que los límites aceptados. Por lo tanto, se incluyó en el diseño la opción de caídas en cascada en incrementos de dos, con una caída de 2 m y una con caída de 1,5 m. Seguidos de caídas incrementales, la pendiente de todos los tramos hacia el Río Bogotá es de 0,02%.

2.5.3 Estructura de descarga al Río Bogotá

Se diseñó una estructura de caída ubicada en la banca del río, para permitir una descarga sumergida y un control de velocidad antes de la descarga al río. La estructura de caída sirve como barrera física durante la operación normal y un evento de tormenta para las profundidades de flujo en el Río Bogotá, y el conducto de bypass. La diferencia de nivel entre el conducto de bypass y la estructura de repartición de caudales es de 2 m por encima del nivel máximo para la creciente de los 100 años. Por lo tanto, se espera que el conducto de bypass se mantenga seco y libre de desechos cuando no se encuentra en servicio. La estructura de caída tiene 17,0 m de ancho por 10,0 m de largo y 14,1 m de altura. La parte superior de la estructura se encuentra al nivel de la superficie del suelo en la banca del río. La entrega de la estructura de caída tiene una elevación de 2534,90 msnm y se espera que se encuentre sumergida para las profundidades promedio del río. Para la construcción de la estructura de caída y los conductos de descarga, se requiere la construcción de un sistema de represamiento temporal para permitir el trabajo en seco.

La estructura de entrega al río consiste de 4 tuberías de concreto de 3,0 m de diámetro. Cada tubería de concreto se dimensionó para conducir un caudal de por lo menos 9,05 m³/s, o 25% del caudal pico de 36,2 m³/s. Las tuberías de descarga fueron diseñadas utilizando la ecuación de Manning con un coeficiente de $n = 0,013$. Las tuberías fueron diseñadas para descargar por debajo del nivel de la lámina de agua en el río con velocidades para el caudal pico de 2,4 m/s, para diluir el agua residual sin tratamiento, aguas abajo del punto de descarga. Debido a que la descarga de las tuberías es sumergida, se utilizó la siguiente ecuación para canales sumergidos, para el cálculo de las velocidades de descarga:

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

$$\frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 + K_e + K_C L}}$$

Donde, K_e y K_C son los coeficientes de pérdidas por salida y por fricción para la tubería, L es la longitud de de la tubería, g es la aceleración de la gravedad, y H es la diferencia de cabeza entre el nivel de agua en el río y el nivel de la estructura de caída. El coeficiente de pérdidas a la salida, K_e se toma como 1, y el coeficiente de pérdidas para una tubería fluyendo a tubo lleno, fue tomado como $K_C = 0,005$. El valor de K_C fue determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$K_C = \frac{1244522n^2}{D^{4/3}}$$

Donde n es el coeficiente de Manning, tomado como 0,013, y D es el diámetro de la tubería de 3,0 m.

La banca del río a lo largo de la longitud y el ancho de la tubería de descarga, y 10 m después de la descarga hacia el eje del río, se debe cubrir con rocas de diámetro 100 cm y superiores para proteger la estructura de caída de la socavación y la erosión.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

3. Diseño de Procesos

3.1 Generalidades

La ingeniería de diseño básico para la EBAR incluye una estación de bombeo profunda con equipos de cribado grueso y bombeo y además incluye los sistemas de carga/transporte respectivos, que se requieren para la operación y mantenimiento de los equipos principales.

El informe de diseño básico de la EBAR Canoas incluye criterios de diseño mecánico para procesos y las dimensiones del equipo mecánico de proceso seleccionado para el EBAR Canoas. Estas dimensiones se utilizan para preparar los planos básicos de diseño para las instalaciones.

3.2 Sistema de cribado grueso

Los sistemas de cribado grueso se utilizan para la eliminación de objetos, como trapos, ladrillos, latas, botellas de plástico, ramas de árboles, entre otros que logran encontrar su camino en el sistema de alcantarillado. El sistema común utiliza una serie de barras de acero para atrapar los escombros mientras que el resto de las aguas residuales fluye a través de las mismas. Los objetos de gran tamaño presentes en el flujo pueden obstruir o dañar equipos de bombeo, válvulas, tuberías e interferir con la correcta operación de los procesos de tratamiento aguas abajo. Por lo anterior, estos sistemas son vitales para el correcto funcionamiento y protección de una EBAR.

El cribado grueso constituye la primera línea de defensa para eliminar objetos que plantean un riesgo significativo de obstrucción y/o daño de equipos posteriores. Las cribas requieren de atención periódica constante para limpiar el surtido de materiales recogidos o atrapados. A menudo, se emplean motores eléctricos en asociación con cables, cadenas o engranajes para la operación de rastrillos que limpian mecánicamente el sistema. Los desechos recolectados se almacenan en contenedores o tolvas para su transporte y disposición final.

Para la EBAR Canoas el sistema de limpieza de las cribas es un sistema integral junto con el carro que coloca los tambores de elevación del rastrillo sobre las cribas. Las pantallas mecánicamente accionadas utilizan un sistema de dos cables en el que los cables pasan sobre los tambores para mover un solo rastrillo a través de la cara de la criba. Un cable baja y eleva el rastrillo, mientras que el segundo cable engancha los dientes del rastrillo en el espacio entre las barras de la criba. La ventaja del sistema de rastrillo de cable es que todas las partes móviles están situadas por encima de las aguas residuales para facilitar la inspección y el mantenimiento. Además, este sistema es muy adecuado para aplicaciones profundas. Los escombros recogidos de la cara de la criba son arrastrados a la superficie y colocados directamente en un contenedor para luego ser transportados a un botadero autorizado para su eliminación.

Las cribas de la EBAR Canoas, consisten de una serie de barras de acero verticales o inclinadas soldadas en un marco y espaciadas igualmente a través de un canal o conducto abierto con aberturas entre barras de 60 mm a través de las cuales fluye el agua residual. Cada una de las bombas no obturables (non-clog) en la EBAR Canoas puede manejar esferas de hasta 305 mm de diámetro. El requisito general para la protección de las bombas aguas abajo es que las cribas eliminen desechos sólidos con un diámetro mayor de 0,3 a 0,5 del diámetro de la esfera que puede ser manejado por la bomba. Las aberturas de 60 mm de las barras de las cribas cumplen este criterio ampliamente. Adicional a lo anterior, para la selección del

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

espaciamiento entre barras, se consideraron los sistemas previstos aguas abajo de las bombas propiamente dichas (ej. Sistemas de cribado medio y fino previstos en la PTAR Canoas), con el objetivo de retener sólidos que puedan comprometer la operación o la integridad de los mismos.

Debido a la profundidad de las cribas debajo de la superficie se fijan en un ángulo de 90 grados desde la horizontal hacia abajo. Dado que las cribas recogen los residuos en la cara de la pantalla, el nivel del agua aguas arriba sube (debido a la pérdida de carga adicional). Los desechos deben ser despejados o retirados regularmente para devolver los niveles de agua a la normalidad y evitar el desbordamiento del sistema. La cantidad de desechos retenidos tiende a ser inversamente proporcional del espaciamiento entre las barras.

Las cribas limpiadas mecánicamente han sido de uso común por más de 50 años. Más recientemente, en las estaciones de bombeo se instalan cribas limpiadas mecánicamente para proteger el equipo de bombeo, particularmente en sistemas de alcantarillado combinado, donde los flujos de aguas pluviales pueden transportar escombros (materiales sólidos) muy grandes. Comúnmente se proporcionan un mínimo de dos cribas con una en servicio mientras que la otra criba está en modo de espera.

A medida que el sistema atrapa sólidos y escombros, la cara de la criba se obstruye, lo que bloquea el paso de las aguas residuales a través de las barras, provocando así que el nivel hacia aguas arriba suba. Una vez que los sólidos se acumulan y la elevación del agua ascendente aumenta, se inicia el ciclo del mecanismo de limpieza. El dispositivo de limpieza mecánica se activa mediante un interruptor manual de arranque / parada, un temporizador o un sensor diferencial de presión o flotador que mide los niveles de agua aguas arriba y aguas abajo de la criba. El diferencial de nivel de agua activa el ciclo de limpieza en una elevación diferencial predeterminada. Un nivel alto-alto aguas arriba de las pantallas de barras invalidará las otras medidas de control e iniciará el funcionamiento del sistema de rastrillo mecánico de limpieza.

Dentro de los sistemas de transporte de aguas residuales la generación de sulfuro de hidrógeno ocurre bajo ciertas condiciones ambientales dentro del alcantarillado. Esto es una preocupación importante para el personal de operación y mantenimiento (O & M) que trabaja alrededor de los sistemas de cribas de aguas residuales municipales. Además, los productos volátiles de petróleo descargados en alcantarillados aguas arriba, o gases combustibles, como el metano generado por la actividad biológica dentro de las alcantarillas, se convierten en un peligro para la seguridad del personal que supervisa o trabaja en el equipo de cribas cerca del nivel del agua. Por seguridad, el espacio de trabajo alrededor de las cribas debe ser monitoreado continuamente en cuanto a la calidad del aire y bien ventilado para la seguridad cuando el personal trabaja cerca del nivel de agua en las cribas.

3.2.1 Diseño del sistema de cribado

Además de consideraciones de pérdidas de carga, la velocidad también debe optimizarse para asegurar el correcto funcionamiento de las cribas de limpieza mecánica. El flujo debe estar uniformemente distribuido a través de la pantalla de la criba. El flujo uniforme se consigue proporcionando en la medida de lo posible, un canal de aproximación recto delante de la criba. Para reducir la deposición de arena, la velocidad de aproximación mínima en el canal debe estar entre los 0,3 m/s y 0,6 m/s. La velocidad a través de las barras de las cribas no debe exceder los 0,6 m/s en caudales medios; y para reducir la rotura de los escombros, la velocidad a través de la pantalla de la barra no debe exceder los 1,2 m/s durante el caudal pico.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Las pérdidas hidráulicas (pérdida de carga) son función de la forma de la barra y la velocidad del flujo entre las barras. La pérdida de carga a través de la pantalla aumenta a medida que los materiales se acumulan en las cribas antes de su extracción (limpieza). Típicamente, la pérdida de cabeza permitida a través de un sistema de cribado grueso como el de la EBAR Canoas es de entre 0,15 m y 0,6 m.

Con las cribas de limpieza mecánica, el costo de mano de obra para operación y mantenimiento tiende a ser menor, y se pueden manejar grandes cantidades de desechos. La captura de cribados es más eficiente y los grandes desechos se eliminan con menos complicaciones. En las aplicaciones de aguas residuales municipales, las instalaciones de cribado son construidas con materiales robustos, tales como acero inoxidable, para resistir la corrosión.

Típicamente, hay dos o más canales de cribas para manejar el flujo. Dos unidades permiten que una unidad sea retirada del servicio para su inspección y mantenimiento mientras la otra sigue en servicio. Para el EBAR Canoas habrá tres canales de cribado con un sistema mecánico accionado por cable para la eliminación de escombros recogidos de las pantallas/rejas. Cada pantalla/reja tendrá capacidad para manejar la mitad del flujo máximo.

El sistema de limpieza mecánica consiste de una carretilla colocada sobre una viga de apoyo. Un sistema de dos cables, en el que los cables pasan sobre tambores y mueven un rastrillo único a través de la cara de la pantalla. Esto activa una caja con dientes de rastrillo que captura los sólidos atrapados entre las barras. Un cable baja y eleva el rastrillo, mientras que el segundo cable coge la caja y engrana el rastrillo en el espacio entre las barras de la pantalla. La caja de captura con dientes de rastrillo se mantiene abierta durante el descenso y se cierra al llegar a la parte inferior para atrapar (retener) los sólidos retirados de la criba. La caja y el rastrillo llevan los escombros atrapados hasta la superficie, para dejarlos caer en un camión volquete, remolque o contenedor posicionado debajo de los tambores de cable.

Algunos escombros no se pueden eliminar fácilmente. Los materiales fibrosos tienden a aglomerarse con otros materiales fibrosos o materiales no fibrosos y formar bolas filosas o "cabezas de mopa", que pueden enredarse alrededor y entre las barras y pueden presentar algunos problemas durante la limpieza. Dependiendo de la forma y la profundidad de las barras de la criba, los residuos pueden quedar acuñados o alojados entre las barras, lo que aumenta la pérdida de carga a través de la pantalla. Los rastrillos de limpieza necesitan eliminar los materiales de cribado no sólo de la cara de las pantallas/rejas, sino también entre las barras mismas. Los rastrillos para la EBAR Canoas estarán equipados con dientes reemplazables que penetran los espacios entre las barras para desalojar los materiales atrapados.

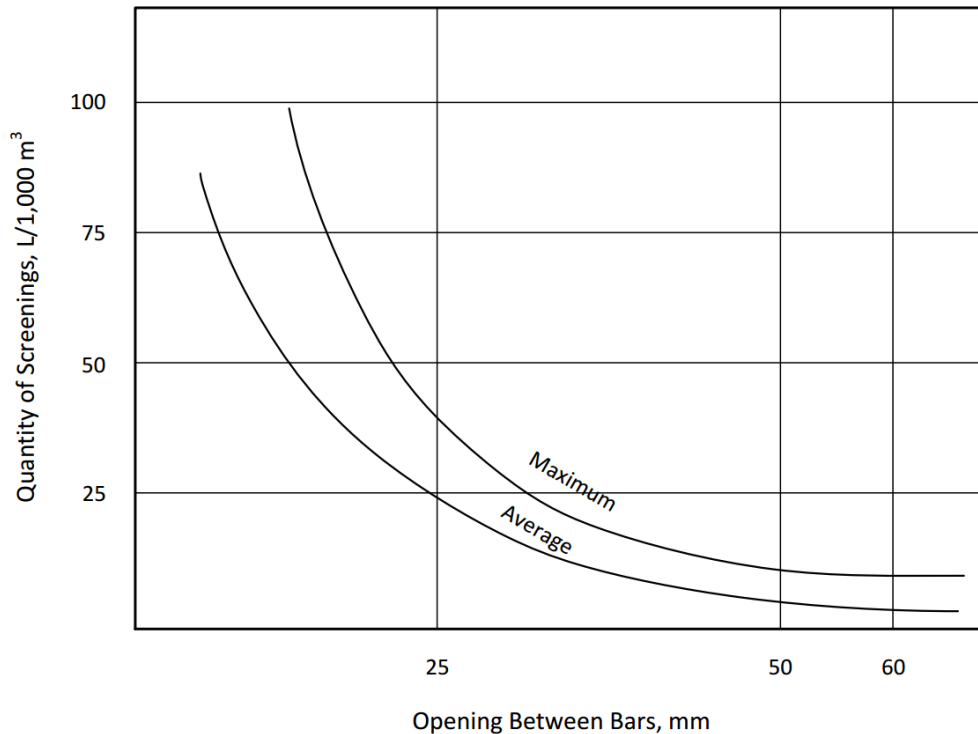
Cantidades de Cribados (escombros) Capturados

Las cantidades de cribado recogidos varían dependiendo del espaciamiento entre las barras, la velocidad del flujo de aguas residuales, las características de las aguas residuales, el tipo de sistema de recogida y el tipo de pantalla/reja. Las cantidades son difíciles de determinar sin datos operativos reales. La **Figura 3-1** muestra cantidades medias y máximas de cribados capturados en más de 100 sistemas municipales de alcantarillado en función de la separación de las barras.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 3-1

Cantidades de Cribados en Función del Espaciamiento de las Barras



(Fuente: Design of Wastewater Treatment Plants, WEF MOP No. 8)

Para alcantarillas de aguas residuales combinadas las cantidades escombros capturados pueden variar desde 3,5 L/1.000m³ a-84 L/1000m³. Se supone que los valores más bajos se basan en aberturas de barra anchas y los valores más altos en aberturas de barra estrecha.

No contándose con valores históricos correspondientes al volumen de sólidos que podría transportar el interceptor afluente a la EBAR Canoas, las cantidades de escombros se estiman sobre la base de los valores presentados en la **Figura 3-1**. Usando un espacio libre de abertura de 60 mm entre barras, las cantidades de cribados se estiman en 7 litros por 1.000 m³ de aguas residuales. Las cantidades máximas se basan en un factor de pico de 2 (o, 14L/1000 m³). Sobre esta base, las proyecciones para el volumen diario promedio y máximo, se presentan a continuación.

Cantidades Estimadas de Cribados

- Media = 9,7 m³/ día [Q = 16,0 m³/ s @ 7 L / 1.000 m³]
- Máxima = 21,9 m³/ día [Q = 36,2 m³/ s @ 2 x 7 L / 1.000m³]

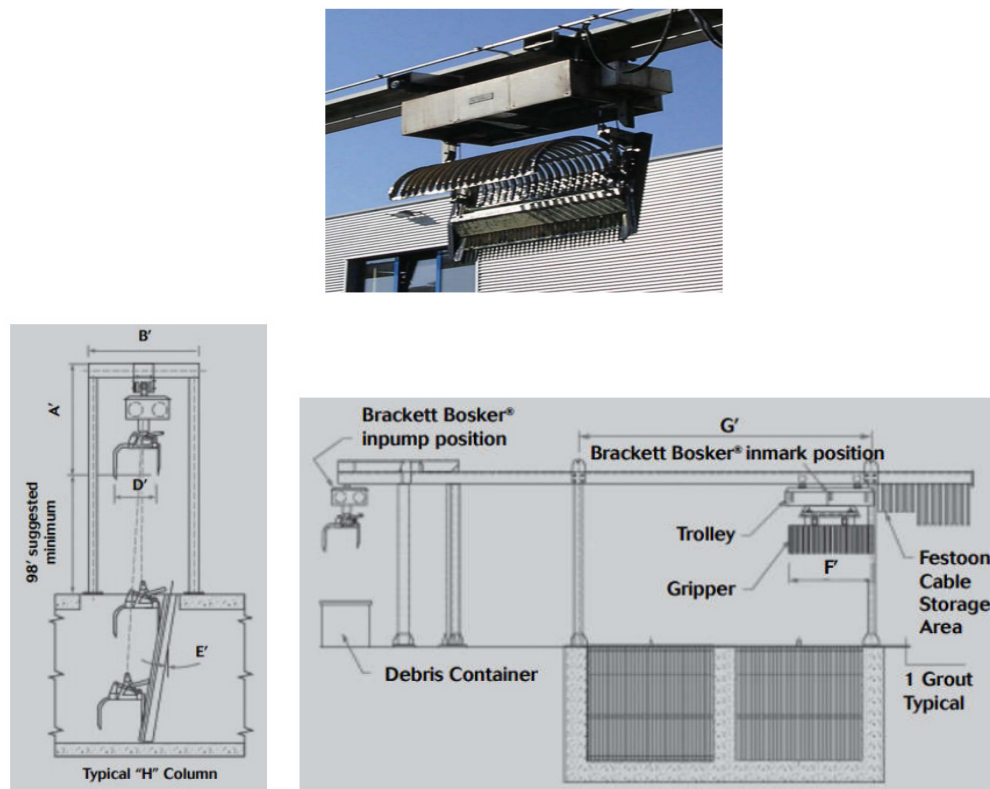
Con base en lo anterior, el volumen de almacenamiento para un período de 5 días sería de 48,5 m³.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

3.2.2 Sistema de limpieza mecánica

En la **Figura 3-2** se muestra una fotografía y un diagrama de la criba y del sistema de limpieza mecánica. Para la EBAR Canoas, los cribados serán descargados directamente en la tolva de un camión o en un sistema de remolque para minimizar su manipulación y facilitar su remoción fuera del sitio. La fotografía muestra un ejemplo del sistema de rastrillo y el tipo de desechos eliminados.

Figura 3-2
Fotografía y Diagrama de la Criba y Sistema de Limpieza Mecánica



Características de los equipos seleccionados:

Sistema de Cribas

- Tipo: Reja de barra fija
- Ancho del canal de la criba: 4,0 m
- Número de canales de cribado: 3
- Flujo máximo a través de cualquier combinación de dos cribas: 36,2 m³/s
- Espacio entre barras: 60 mm
- Número de rastrillos: 2 (uno es unidad de repuesto)

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Velocidad de elevación: 40 m/min.
- Velocidad de descenso: 40 m/min.
- Velocidad a través de la pantalla/reja: 9 m/min.
- Capacidad del rastrillo: 1,15 m³ (1,8 toneladas métricas)
- Velocidad de la Carretilla (Trolley): 12 m/min.
- Potencia de la Carretilla (Trolley): 2 @ 5,6 kw
- Potencia para izar (elevar): 30,0 Kw
- Materiales de Construcción: AISI 316L SS
- Adecuado para el funcionamiento al aire libre

El sistema de cribado puede ser equipado con un compartimento para bajar con seguridad a los niveles inferiores el personal de servicio y mantenimiento. Se deberá proveer un sistema de transporte de personal con el sistema de criba. Información técnica adicional para las cribas se proporciona en el Anexo B-1.

3.2.3 Sistema de cuchara bivalva

En la EBAR Canoas se proporcionará antes de las cribas, un cangilón, un carro, una pista (guía de desplazamiento) y un sistema para elevar los sólidos pesados capturados. La función del sistema de cucharón es eliminar los sólidos de la parte inferior del pozo de la trampa de rocas y descargar el contenido del cucharón en un contenedor situado en tierra adyacente al eje del sistema. El sistema de cucharón incluye una carretilla que posiciona un sistema electrohidráulico de izamiento con el cucharón sobre el área de la trampa de rocas abajo. El cucharón se mueve hacia arriba y hacia abajo mediante el paso del cable de izamiento sobre un tambor. Las mandíbulas del cucharón están abiertas mientras que descienden y se cierran en el fondo del descenso. El polipasto del cucharón lleva los sólidos hacia arriba y la carretilla transportadora coloca el cucharón en posición para abrir y dejar caer los escombros directamente en un contenedor para luego ser transportados.

Una ventaja del sistema de cucharón es que todas las partes móviles están situadas por encima de las aguas residuales para una fácil inspección y mantenimiento. Más importante aún, este sistema es muy adecuado para aplicaciones profundas.

Características del sistema y equipo de cucharón seleccionados:

Sistema de cucharón

- Número de unidades: 1
- Velocidad de elevación: 40 m/min.
- Velocidad de descenso: 40 m/min.
- Capacidad de la pala: 1,0 m³ (1/8 toneladas métricas)
- Velocidad de la Carretilla (Trolley): 12 m/min.
- Potencia de la Carretilla (Trolley): 2 @ 5,6 kw
- Potencia para izar (elevar): 30.0 Kw
- Materiales de Construcción: AISI 316L SS

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Adecuado para operaciones al aire libre

3.3 Unidades de bombeo

La EBAR Canoas requiere elevar agua residual cruda desde el túnel Interceptor Tunjuelo-Canoas hasta una cámara de repartición en superficie, que permitirá derivar el flujo hacia el río Bogotá directamente o a la futura PTAR Canoas. El agua residual cruda contiene sólidos en suspensión como arenas, sólidos orgánicos e inorgánicos y materiales fibrosos. Por lo anterior, las bombas deberán ser construidas a partir de materiales resistentes a la abrasión, equipadas con las clases apropiadas de sellos y con un impulsor cerrado de flujo mixto o inatascable. Estos impulsores permiten bombear líquidos que contengan sólidos y material fibroso sin obstruirse y no requieren de limpieza y/o mantenimiento frecuente.

Las bombas deben ser instaladas dentro de un pozo vertical profundo, a una cota inferior a la del Interceptor Tunjuelo-Canoas. Por lo anterior, para minimizar la excavación total y el volumen de construcción de obra civil de la estación de bombeo, el diámetro del pozo de bombeo debe ser el mínimo posible. Esto favorece sistemas de bombeo con un diseño compacto (espacio).

Para la selección del sistema de bombeo, se utilizaron los siguientes valores de capacidad y elevación. Los requisitos de carga hidráulica se analizan con mayor detalle en la sección correspondiente al Diseño Hidráulico.

Capacidades de flujo de la bomba (con carga hidráulica de 48 metros)

- La capacidad total de la estación de bombeo es de 38,4 m³/s.
- Máxima capacidad “Firme” de flujo = 32,0 m³/s [Capacidad FIRME = caudal total con al menos una de las unidades más grandes fuera de servicio]
- Caudal mínimo = 6,2 m³/s
- Caudal medio diario = 16,0 m³/s

Basándose en los requerimientos de capacidad hidráulica para la EBAR Canoas, esta se equipará con seis (6) bombas centrífugas verticales no obstruibles (non-clog, por su denominación en inglés), cada una con una capacidad de 6,4 m³/s.

3.3.1 Bombas centrífugas no-obstruibles en pozo seco de eje vertical

Las bombas centrífugas en pozo seco tienen una larga historia con uso documentado desde el siglo XVII. Unidades para servicio de aguas residuales están disponibles en una variedad de capacidades de descarga y con cabezas de hasta 90 metros. Las bombas de pozo seco están disponibles en diseños por separado (bomba y motor), en diseño acoplado o compactas para montaje vertical u horizontal. La capacidad de bombeo de unidades de eje vertical puede ser significativamente más grande que las de eje horizontal, porque el peso del impulsor no impone una deflexión horizontal en el eje.

Impulsor

El impulsor de bombas centrífugas no-obstruibles tiene paletas con una sección hidráulica diseñada para prevenir el atrapamiento de material (incluyendo materiales fibrosos que suelen enrollarse en otros tipos de impulsores). Las bombas grandes se construyen con dos o tres paletas. Un número reducido de paletas

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

aumenta el tamaño de los pasos de flujo y permite que los sólidos más grandes pasen. La capacidad de manejo de sólidos de la bomba se define habitualmente como el tamaño de esfera sólida que pasará a través de la bomba. Las bombas de aguas residuales de EBAR Canoas tendrán la capacidad de pasar sólidos con diámetros de por lo menos 300 mm.

Anillos de desgaste

Las bombas están equipadas con anillos de desgaste axial y radial, y con anillos de desgaste de diseño especial. Debido a la presencia de materiales abrasivos en las aguas residuales, la duración de la vida útil del anillo de desgaste es una consideración importante. Los anillos de desgaste de diseño especiales son necesarios para las bombas más grandes para prolongar la vida útil. Estos diseños pueden incluir anillos montados a ras con la superficie, anillos en forma de L o anillos hechos de materiales especiales resistentes a la abrasión. La carcasa del cojinete de empuje estará equipada con tornillos roscados que permiten que la carcasa del rodamiento se mueva axialmente de manera que se puedan insertar calzos entre el marco y la brida del alojamiento. Este ajuste mueve el conjunto del rotor y fija la holgura de los anillos de desgaste.

Limpiezas

La fundición del cuerpo de la bomba y la boquilla de succión estarán equipadas con orificios con tapones manuales para permitir la inspección del impulsor y la eliminación fácil de la basura atrapada dentro de la bomba. Los orificios (con tapón) para acceso a la voluta (caracol del cárcamo de la bomba) facilitan la limpieza de la voluta. Además el acceso permite la limpieza de los impulsores. Estas son las dos áreas más críticas. Los tapones de los orificios de acceso para limpieza no deben obstruir el flujo y deben estar diseñados para estar a ras con la superficie.

Sellos

Las bombas que se usarán para el manejo de sólidos tendrán un anillo de sellamiento de agua con inyección de líquido limpio para evitar la intrusión de material abrasivo y consecuente daño al eje. Los sellos mecánicos de doble cara se especifican con frecuencia para Bombas No-obstruibles y son los recomendados por esta consultoría. Los sellos mecánicos de doble cara suelen tener superficies de carbón y cerámica. Los sellos deben estar emplazados en la carcasa de manera que sean accesibles para una adecuada limpieza y se pueda asegurar el enfriamiento de las superficies de sellamiento.

Motores

En el diseño de la EBAR Canoas se recomiendan motores estándares que permitan acceso fácil para servicio y mantenimiento. Estos motores, que están separados de las bombas, requieren de un eje conector entre la bomba y el motor. Este arreglo proporciona acceso fácil a los sellos de la bomba y cojinetes del motor, pero requiere el uso de acoplamientos universales. Debido al potencial de pérdidas repentinas y temporales de potencia, los motores y las bombas deberán estar diseñados para la rotación total en reversa que podría ser inducida por la columna de agua en la tubería de descarga (durante un lapso de pérdida de energía). Además, todos los motores deben ser adecuados para el servicio al aire libre.

La información obtenida de los fabricantes de bombas con respecto a la EBAR Canoas se resume a continuación.

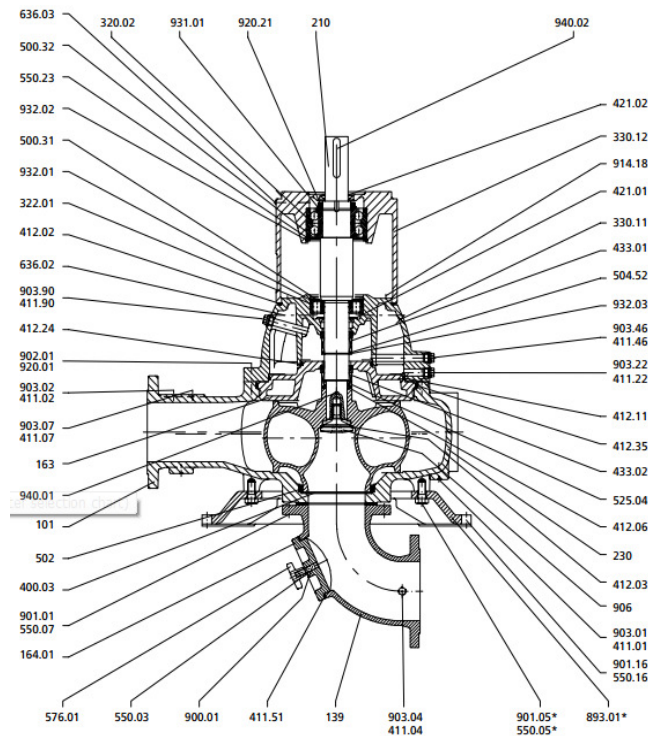
Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Fabricante	Modelo No.	Capacidad, (m ³ /s) c/u	Velocidad Max. (rpm)	Carga (m)	Eficiencia (%)	Diámetro Impulsor (mm)	Diámetro Esfera sólida (mm)	Numero NPSH de Bombas	
								No.	m
KSB	Sewatec K1000-1800 VGW	6.4	368	48	88	1780	360	6	6.8
Flygt	48x42 SSF	6.4	297	48	89	1905	305	6	5.5

Las bombas listadas en esta tabla anterior se utilizaron como base para dimensionar el sistema de bombeo.

En la **Figura 3-3** se muestra la sección típica de una bomba centrífuga No-obstruible de eje vertical de pozo seco.

Figura 3-3
Bomba Vertical Centrífuga No-Obstruible de Pozo Seco



Las curvas con las características de las bombas para el sistema seleccionado para el EBAR Canoas se proporcionan en el Anexo B-2.

3.4 Bombas de desagüe (achique)

En el diseño de las cámaras de succión se incluyen dos bombas de desagüe, una para cada cámara de succión. Las bombas de desagüe son bombas auxiliares con el fin de eliminar el agua residual de cada cámara de succión en instancias en las que la cámara necesita ser vaciada y los niveles de agua residual

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

son demasiado bajos para operar las bombas de descarga principales. Cada bomba de drenaje será especificada para manejar al menos 20 L/s con una carga dinámica total de al menos 16 m. Las bombas de drenaje tendrán un diámetro de succión y descarga de, por lo menos, 150 mm. Se instalarán válvulas de compuerta en la succión y en la descarga de cada bomba para permitir aislar y potencialmente retirarla para su mantenimiento o reemplazo. Cada bomba de drenaje será conectada mediante una tubería a la cámara de succión opuesta para así poder desaguar (vaciar) la cámara que se necesita trabajar. Bajo condiciones normales de funcionamiento, las bombas principales en la cámara de succión opuesta están operativas mientras se está realizando el drenaje de la otra cámara.

Las bombas de desagüe presentan las siguientes características:

- Caudal: 20 l/s
- Tipo: Vertical, Sumergible
- Carga Dinámica Total: 16 m
- Potencia: 15 kW
- Velocidad: 1755 rpm
- Eficiencia: 78,6%

3.5 Equipos de grúa (elevación o izamiento)

3.5.1 Puente grúa

El puente grúa es un equipo importante para las operaciones y el mantenimiento sistema de la EBAR Canoas. Este proporcionará la capacidad de izamiento de equipo y materiales pesados, servirá para bajar y extraer equipos del pozo. El puente grúa funcionará a lo largo del eje de los pozos y cubrirá toda la superficie de cada pozo. Específicamente, se extenderá 43 m a través de los ejes, con una distancia de carril de 65 m. La superestructura del puente grúa está diseñada de tal manera que los carriles están situados 10 m sobre la superficie. Esto permite que la grúa cargada tenga suficiente espacio libre sobre las estructuras tales como: cribas y la estructura de la escalera.

Las características del equipo seleccionado son:

- Altura: 10 m (arriba de la superficie)
- Alcance vertical del gancho: 46 m
- Capacidad mínima de izamiento: 40 Toneladas métricas
- Velocidad de la grúa: 32 m/min (variable)
- Velocidad de caretilla (Trolley): 20 m/min
- Velocidad de izamiento (del gancho): 4 m/min (variable)

Los equipos más pesados que se subirán (izarán) a la superficie serán los motores de las bombas, que tienen un peso estimado de 30 toneladas. La estación de bombeo será diseñada de manera que la grúa tenga acceso a equipos debajo de la losa superior a través de escotillas de hormigón prefabricado con tapas que se puedan quitar.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

3.5.2 Sistema de ascensor portátil

Como posible asistencia a los operadores cuando necesiten acceder a niveles inferiores de la EBAR Canoas, se podría considerar el uso de un elevador (ascensor) de acceso portátil. Este ascensor portátil se puede montar en el sitio y es manejado por un sistema de contrapeso que movilizaría al personal de forma segura. El sistema de ascensor portátil se ubicaría interiormente para así prolongar la vida útil y confiabilidad del sistema. Las siguientes son las características del equipo seleccionado:

- Capacidad bruta: 567 kg
- Dimensiones: 0,9 m L x 0,7 m L x 1,8 m H
- Equipamiento Peso: 118 kg
- Velocidad de desplazamiento: 0,8 m / min
- Distancia de viaje vertical: 61 m
- El sistema se alimenta a través 220 V de energía (una o 3 - fases)

La **Tabla 3-1**, a continuación, proporciona una estimación de la capacidad típica de carga del sistema portátil de ascensor cuando se opera bajo procedimientos y condiciones estándar.

Tabla3-1

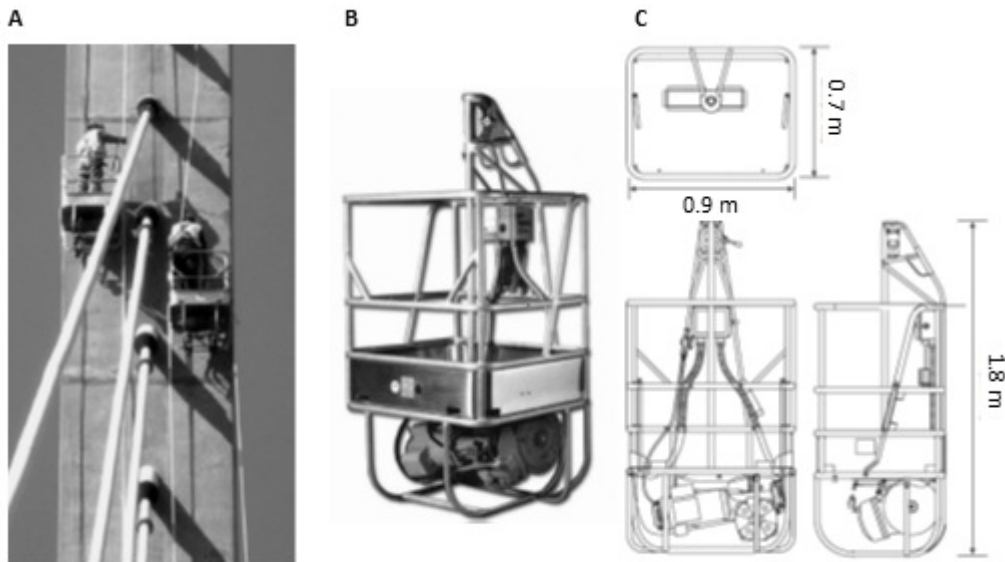
Estimación de Carga - Sistema de Ascensor Portátil

Carga Estimada Para El Sistema De Ascensor Portátil				
No.	Descripción	Peso (kg)	Cantidad	Peso total (kg)
1	Peso del operador (aprox.)	85	1	85
2	Herramientas	50	1	50
3	Herramientas y equipos eléctricos	30	1	30
4	Herramientas y accesorios de soldadura	60	1	60
Estimación de la carga total para el sistema de ascensor portátil (dadas las condiciones listadas)::				225

La carga estimada es de aproximadamente 225 kg, que es aproximadamente la mitad de la capacidad bruta (567 kg) del sistema. La **Figura 3-4** muestra un sistema de ascensor portátil típico.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 3-4
Ilustración de un sistema de ascensor portátil típico



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

4. Diseño Geotécnico

De acuerdo con la revisión de la información disponible, se estimaron parámetros de diseño, con la finalidad de establecer la profundidad mínima de la pantalla para la excavación de los pozos y adicionalmente plantear la metodología constructiva.

A continuación, se presenta un resumen de la evaluación presentada así como aspectos generales del sitio:

4.1 Información disponible

La información básica consistió en el informe de geotecnia entregado por el Consorcio CDM Smith – INGESAM para realizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas”. Estos trabajos comprendieron los siguientes alcances:

- Levantamiento topográfico detallado del terreno de la Hacienda Canoas,
- Revisión del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Soacha para la construcción de la PTAR Canoas.
- Evaluación geotécnica preliminar del terreno de la Hacienda Canoas, destinado por el POT de Soacha para la construcción de la PTAR Canoas.
- Estudio de propagación – comunicación.
- Mediciones de resistividad de tierra para diseño de malla a tierra.

4.2 Descripción del área de estudio y materiales presentes

La evaluación geotécnica preliminar realizada por el Consorcio CDM Smith – INGESAM, concluyó que el área de estudio localizada en la actual Hacienda Canoas, presenta 5 tipos de materiales denominados en el presente informe como capas, cuyas descripciones se transcriben a continuación:

- **Capa vegetal:** Corresponde a un suelo limoso de color café a negro, con presencia de raíces, de humedad alta, alta plasticidad, clasificado como MH. Esta capa se encontró entre 0,0 m y 0,3 m de profundidad.
- **Capa 1:** Arcilla limosa de color habano, con presencia de lentes de arena de grano fino y oxidaciones, humedad alta, plasticidad alta y consistencia blanda, clasificado como CH. La capa es sub-horizontal levemente inclinada hacia el oriente. Esta capa se observó entre 0,3 m y 15,0 m de profundidad en la terraza superior del predio Canoas. Adicionalmente se determinó que esta capa está sobreconsolidada, y presenta un alto potencial expansivo. No es colapsable y no es susceptible a fenómenos de licuación ni a pérdida de resistencia por ablandamiento cíclico.
- **Capa 2:** Subyaciendo la capa 1, se encontró una arcilla limosa gris clara, con lentes de arena y presencia de oxidaciones, plasticidad alta, clasificada como CH. La capa está dispuesta horizontalmente hacia el sector más oriental del predio y en la margen derecha del río Bogotá. Se observó entre 15,0 y 30,0 m de profundidad en la zona occidental del área de estudio, en cercanía al afloramiento rocoso de la Formación Arenisca de Labor y Tierna. En la base de esta capa se encuentran lentes y bolsas de arena fina de colores gris y amarillo, y lentes de materia de orgánica con espesores hasta de 7,0 m interdigitados con las arcillas limosas. La capa 2 está sobreconsolidada, es altamente susceptible a la expansión, no se identifica como suelo

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

colapsable y no es susceptible a fenómenos de licuación ni a pérdida de resistencia por ablandamiento cíclico.

- **Capa 3:** Corresponde a una capa horizontal de material de color gris oscuro compuesto por limo orgánico y arcillas limosas de color gris oscuro con lentes continuos de arena, los materiales finos son altamente compresibles. En algunas perforaciones cercanas al cauce del río Bogotá se encontró turba dentro de esta capa con espesores de 0,5 a 5,0 m. Esta capa de suelo está ligeramente sobreconsolidada, es altamente susceptible a la expansión, no se identifica como suelo colapsable ni susceptible a fenómenos de licuación, ni a pérdida de resistencia por ablandamiento cíclico.
- **Capa 4:** Corresponde a fragmentos de arcillolita de color gris verdoso o arcillolita muy meteorizada. Se encontró en la zona occidental a profundidades entre 45,0 y 50,0 m.
- **Capa 5:** Corresponde a limos arenosos y arenas grises claras de grano fino, de densidad media. Este material aflora en la zona sur del área de estudio, en la zona conocida como área de cultivos. El espesor de esta capa es de aproximadamente 10,0 m.

4.3 Geología local

El estudio geotécnico de referencia indica que el reconocimiento de campo realizado y la integración de los datos obtenidos en las perforaciones mecánicas, permitieron definir que, desde el punto de vista geológico, los sedimentos que conforman el área de la PTAR y la EBAR Canoas hacen parte de la Formación Sabana (Q1sa), compuesta por capas horizontales de sedimentos finos acumulados en un ambiente de relleno lacustre y fluvial, enmarcado dentro del antiguo lago de la Sabana de Bogotá, pero localmente asociado e influenciado también por los depósitos aluviales del río Bogotá. El mapa geológico de la **Figura 4-1** presenta la distribución espacial de las unidades en la zona de estudio. Según los datos de las perforaciones, el basamento de la secuencia cuaternaria corresponde a arcillolitas verdosas de la Formación Guaduas. Conforme a la información de la exploración del subsuelo, para la Formación Sabana en el área del estudio se pudieron diferenciar cuatro niveles estratigráficos de base a techo, así:

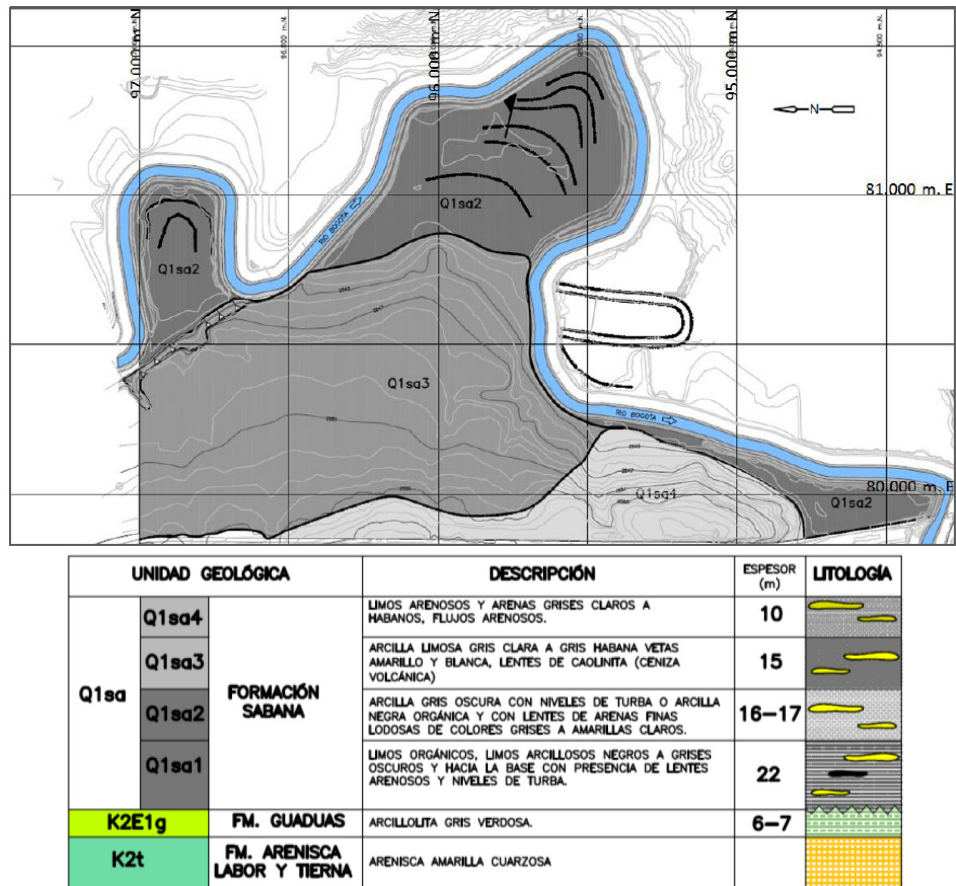
4.3.1 Q1sa1 - Formación Sabana – Nivel de limo orgánico:

Compuesto por capas horizontales de limos orgánicos arcillosos de color negro, con horizontes delgados de turba y presencia de lentes arenosos hacia la base. Espesor promedio: 22 metros.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-1

Planta geológica y perfil geológico estimado de la zona de estudio



4.3.2 Q1sa2 - Formación Sabana – Nivel de arcillas grises oscuras:

Capas de arcillas grises oscuras con abundantes lentes delgadas de arenas finas lodosas de color gris a amarillo claro; en superficie están dispuestas horizontalmente hacia el sector más oriental del área y en la margen occidental del río Bogotá conformando geomorfológicamente su plano inundable. Espesor promedio: 15 metros.

4.3.3 Q1sa3 - Formación Sabana – Nivel de limos grises claros con lentes de diatomita:

Capas sub-horizontales levemente inclinadas al oriente (hacia el cauce actual del Río Bogotá), de limos arcillosos de color gris claro a gris amarillento muy claro con lentes delgadas (espesor máximo de 10 a 15 cm) de diatomita de coloración clara a blanca asociadas con depósitos de ceniza volcánica. Espesor promedio: 15 metros.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

4.3.4 Q1sa4 - Formación Sabana – Nivel de limos arenosos:

Capas de sedimentos limo - arenosos semiconsolidados desde el punto de vista geológico, con leve inclinación hacia el oriente, de ambiente fluvial con aporte de flujos arenosos de las laderas adyacentes (Formación Arenisca Labor y Tierna) fuera del área del estudio. Espesor promedio: 6,0 metros. Este nivel presenta una morfología ondulada suave con pendiente hacia el río Bogotá.

4.4 Estimación de parámetros

De acuerdo con la campaña de exploración geotécnica y ensayos de laboratorio realizado por el Consorcio CDM Smith – INGESAM, su informe geotécnico reporta las propiedades índice y parámetros de resistencia mecánica de las capas de suelo y sus resultados se reproducen a continuación.

4.4.1 Propiedades índice

Los datos de humedad natural y límites de consistencia fueron presentados de manera gráfica según se observa en la **Figura 4-2**. El resumen de los valores medios y su variabilidad se presenta en la **Tabla 4-1**

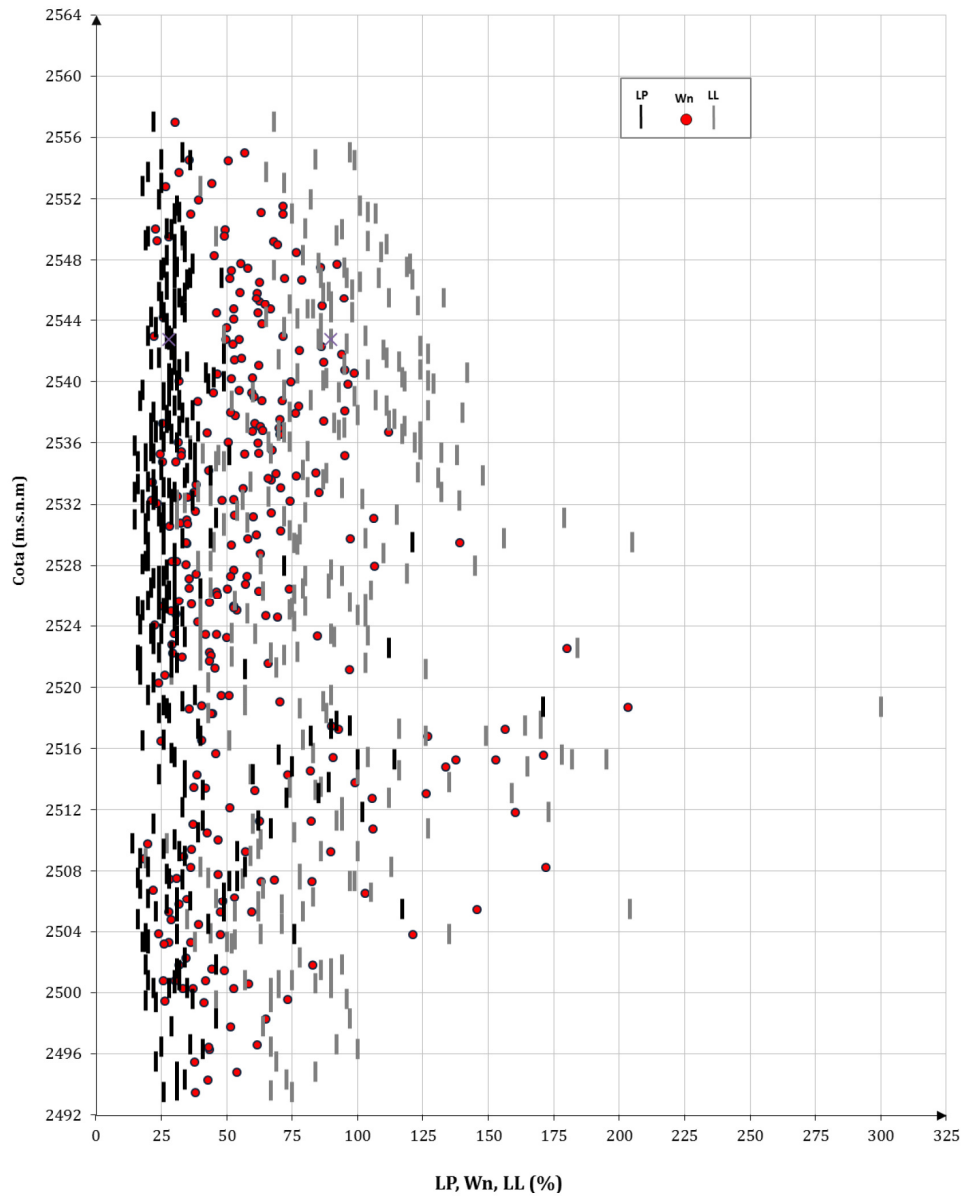
Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla4-1
Resumen de los valores de las propiedades índice

Figura 4-2

Variación de la humedad natural y los índices de plasticidad con la profundidad

(Fuente: Consorcio CDM Smith – INGESAM - Informe geotécnico).



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla4-1

Resumen de los valores de las propiedades índice

(Fuente: Consorcio CDM Smith – INGESAM - Informe geotécnico)

Capa	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	MO (%)
Capa 1	58 ± 20	92 ± 20	29 ± 7	5 ± 2
Capa 2	54 ± 26	85 ± 35	30 ± 16	19 ± 20
Capa 3	69 ± 40	90 ± 47	42 ± 28	27 ± 27
Capa 4	31 ± 7	-	-	-
Capa 5	26 ± 16	-	-	-

4.4.2 Propiedades de resistencia mecánica.

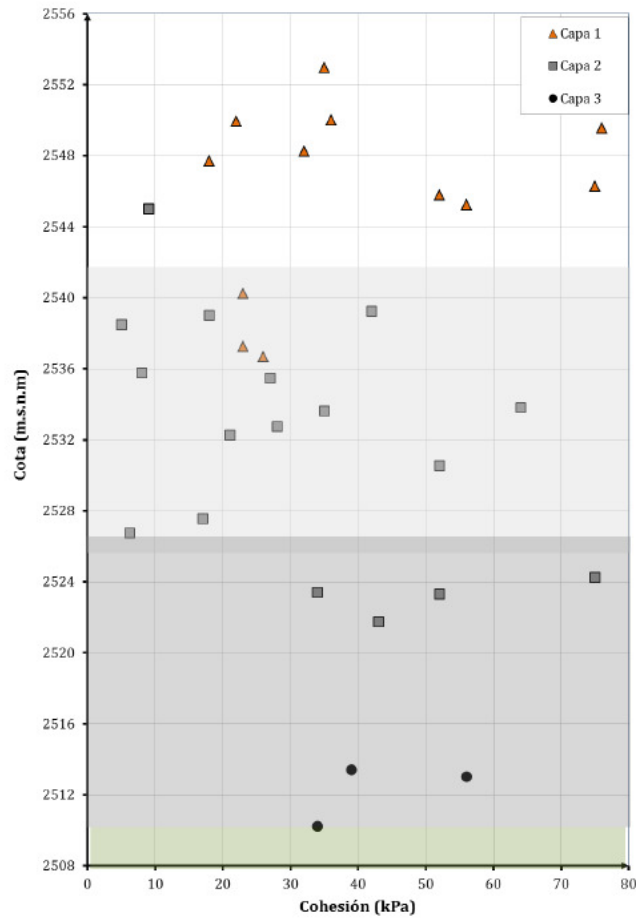
Según el informe geotécnico, las propiedades de resistencia mecánica fueron estimadas a partir de ensayos de corte directo y de compresión simple, y posteriormente comparadas con los resultados del ensayo de penetración estándar. En la **Figura 4-3** se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos para la variación de la cohesión con la profundidad y en la **Figura 4-4** se presentan los resultados de variación del ángulo de fricción interna. El resumen de los valores medios y su variabilidad se presenta en la **Tabla 4-2**.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-3

. Variación de la cohesión con la profundidad

(Fuente: Consorcio CDM Smith – INGESAM - Informe geotécnico).



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-4

. Variación del ángulo de fricción con la profundidad

(Fuente: Consorcio CDM Smith – INGESAM - Informe geotécnico)

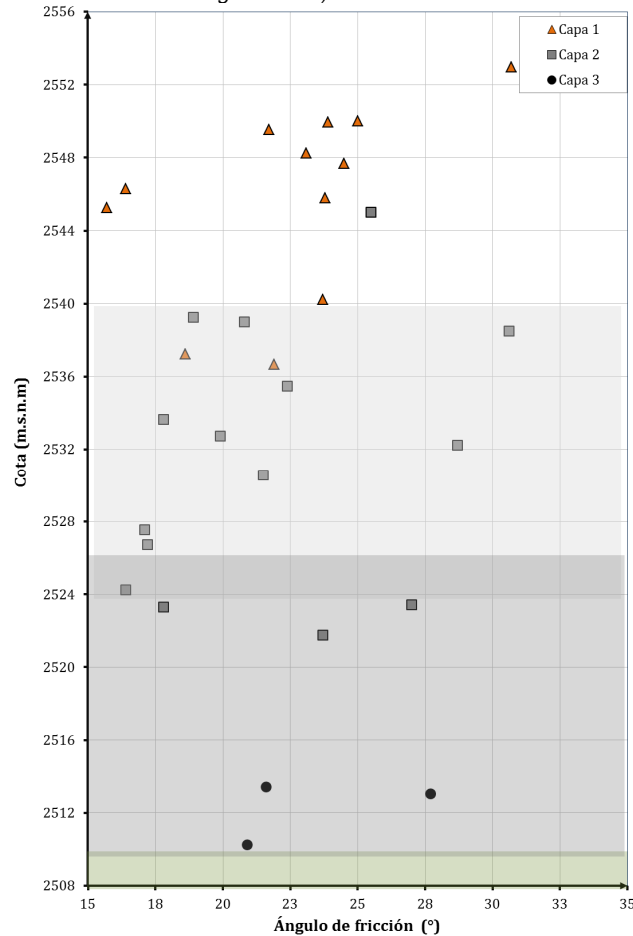


Tabla 4-2

Resumen de los valores de los parámetros de resistencia mecánica

(Fuente: Consorcio CDM Smith – INGESAM - Informe geotécnico)

Capa	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de Fricción (°)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	16 ± 1	40 ± 20	22 ± 4	4,0-8,0
2	17 ± 1	33 ± 20	22 ± 6	8,0-12,0
3	16 ± 1	43 ± 11	24 ± 3	12,0
4-5*	21 ± 2	0	35	24,0

*Estimado a partir del ensayo de penetración estándar.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

4.5 Estimación de la profundidad de empotramiento.

La longitud de empotramiento se determinó calculando la profundidad necesaria para que el empuje activo más la reacción del muro a nivel de la excavación sean iguales al empuje pasivo desarrollado en la zona del empotramiento, manteniendo un factor de seguridad mayor a 1,5. Para este caso la longitud de empotramiento necesaria es de 40,0 m, es decir la longitud total de la pantalla deberá ser de 80,0 m (considerando una profundidad de excavación de 40,0 m).

Para la siguiente etapa de diseño se deberá realizar una evaluación conjunta de las excavaciones considerando la combinación de pantallas pre-excavadas. Por otra parte, en relación al sistema constructivo, se consideró viable la utilización de “hidrofresa” ya que permite alcanzar los siguientes propósitos de manera simultánea:

- Sostenimiento adecuado durante la excavación de los materiales sueltos con nivel freático alto (a 1m de la superficie del terreno natural).
- Control del caudal infiltrado hacia el interior de las excavaciones durante la etapa de construcción.
- El sistema de soporte para la excavación podría servir como parte de la estructura definitiva de contención.

Se verificarán adicionalmente diferentes condiciones y mecanismos de falla del sistema de contención como son:

- Falla de fondo de la excavación.
- Desplazamientos excesivos en la corona de la excavación.
- Evaluación de comportamiento durante la secuencia de construcción, permitiendo ajustar la secuencia para mantener su estabilidad.

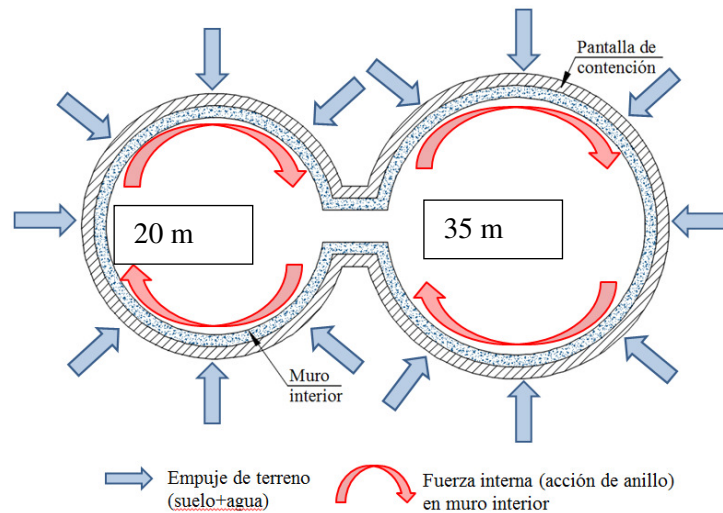
4.6 Evaluación del método constructivo

El sistema de contención contempla la construcción de una pantalla de concreto con espesor constante, la cual se dispone en todo el contorno del pozo de cribado y del pozo de bombeo. Este sistema es el encargado de resistir temporalmente los empujes del suelo durante el proceso de excavación; el cual se realizará por franjas de arriba hacia abajo hasta llegar al fondo. Por lo tanto, el sistema de contención es el encargado de estabilizar el suelo en el frente de excavación a medida que se va completando la capacidad de la estructura con el revestimiento interior y la losa de fondo para la condición final de excavación completa del pozo. El esquema de la **Figura 4-5** muestra una vista en planta de la estructura y las fuerzas actuantes.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-5

. Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de pantalla y el de muro interior



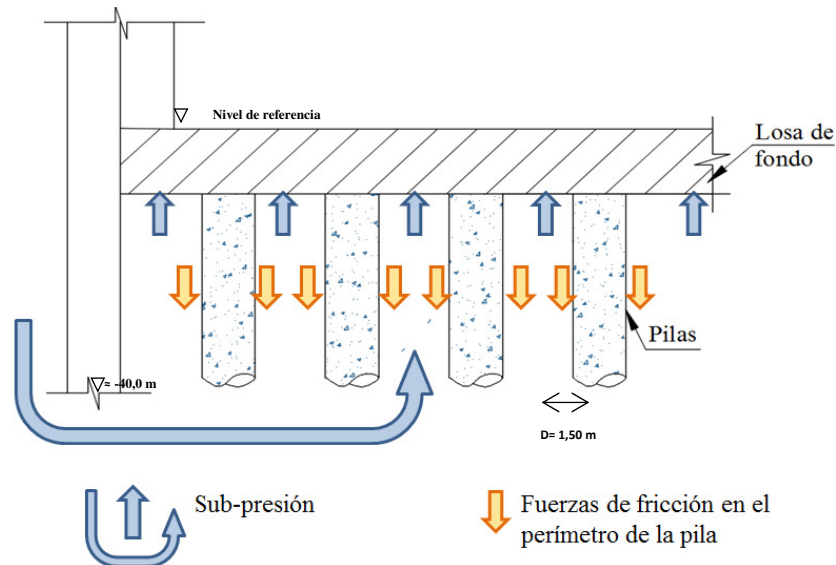
El sistema completo comprende la disposición del sistema de contención hasta una profundidad total de 80m, de los cuales los 40m iniciales serán excavados internamente y generarán el espacio necesario para la operación de la estación de bombeo, el cual quedará apoyado sobre una losa de fondo, hasta esta profundidad se dispone de los anillos del revestimiento interior y en el fondo se ubicará la losa y sus respectivas pilas estructurales que tendrán una longitud de al menos 40 m (longitud a precisar en diseño estructural)

En la **Figura 4-6**, se muestra la configuración de la losa de fondo y la propuesta de las pilas estructurales para mitigar las fuerzas de subpresión generadas por la columna de agua.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-6

Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de fondo del pozo



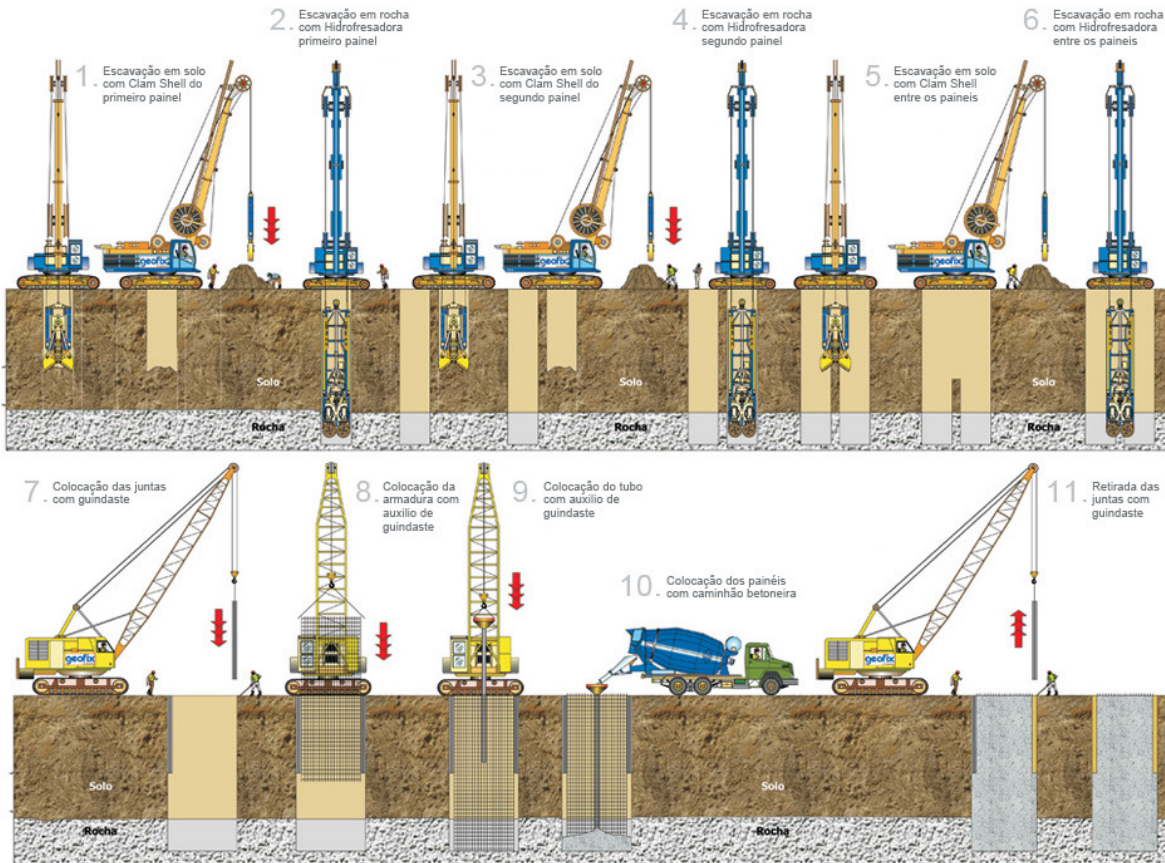
Es importante destacar que debido a las dimensiones de la estructura y las condiciones difíciles del subsuelo, la construcción siempre implica algún nivel de riesgo. Por lo anterior, el contratista de la construcción debe tener amplia experiencia específica en este tipo de excavaciones y en este tipo de terrenos. A continuación, se presenta el sistema constructivo que se considera óptimo para realizar la excavación del sistema de contención para la alternativa definitiva.

El procedimiento consiste básicamente en introducir en una zanja una fresadora que consta de dos ruedas dentadas que girando en sentidos opuestos, trituran el material y éste en suspensión sobre lodos, es aspirado por un conducto central hasta llevarlo a una estación de recuperación y tratamiento de lodos. La secuencia gráfica presentada en la **Figura 4-7** describe el proceso constructivo, el cual se explica con mayor detalle a continuación.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 4-7

Esquema de construcción pantallas mediante “hidrofresa”



La primera tarea consiste en ejecutar un muro guía y la instalación en el lado interno de un marco de acero, con la finalidad de guiar la hidrofresa en el eje teórico del panel a ser excavado. Se realiza la pre-excavación del panel con una cuchara almeja hasta una profundidad de 4 metros.

Como la bomba de aspiración del equipo va situada tres o cuatro metros por encima del frente de excavación de las ruedas dentadas, es preciso, antes de iniciar el trabajo de la hidrofresa, realizar una prezanja de 3 a 5 metros de profundidad.

El proceso constructivo de un panel individual estará dividido en dos etapas:

- Panel primario:** Excavación del suelo en una sola fase según la sección de corte de la hidrofresa (1.20m x 2.80 m) y colocación del sistema de refuerzo y hormigonado del panel.
- Panel secundario:** Cuando estén fraguados dos paneles primarios sucesivos, se procede a la excavación del panel secundario en el espacio comprendido entre éstos, fresando parte del

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

hormigón de cada panel primario, siguiendo las mismas etapas de armado y colocación del hormigón.

La verticalidad de la excavación (eje z) y la ortogonalidad del sistema completo (en tres direcciones X, Y, Z), es verificada por un sistema de monitoreo de precisión ubicado en el cuerpo de la hidrofresa y se conecta a un dispositivo de lectura en el tablero de comando. El ajuste de la verticalidad en el eje del panel puede ser logrado, por ejemplo, variando la velocidad de giro de las ruedas porta dientes o inclinando la placa con las ruedas de corte..

Una vez alcanzada la cota inferior de la excavación se procede al hormigonado de la losa de fondo.

En cuanto al proceso de ejecución entre paneles, la hidrofresa forma una junta estanca entre paneles, que no requiere la utilización de encofrados de junta. El sobreconsumo de concreto durante la ejecución es inferior al que se registra en otros sistemas.

Es importante también mencionar que las ruedas de corte de la hidrofresa, debido a la disposición de los “dientes” de corte, va realizando ranuras en la excavación; en el proceso de excavación de los tableros primarios, dichas ranuras quedan impresas en el concreto de los tableros secundarios adyacentes. Estas ranuras van a ser rellenadas de concreto cuando se realice el vaciado del tablero primario. Lo anterior le ayuda a garantizar una mejor unión entre los tableros, ya que estas ranuras trabajan como un machihembrado dentro del concreto, para formar una junta que dé continuidad entre las pantallas.

Es de resaltar, que para mantener estabilizada la excavación se utilizan soluciones de bentonita o polímeros para evitar el derrumbe interno de las paredes de la excavación.

Los equipos de hidrofresa, por lo general alcanzan rendimientos entre 50-60 m³/día, es importante mencionar que es posible realizar un trabajo mixto entre hidrofresadora y equipos mecánicos para incrementar dicho rendimiento.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5. Diseño Estructural

5.1 Sistema de pozos

5.1.1 Consideraciones estructurales

En lo que a estructuración se refiere, de acuerdo con la configuración de los pozos, es posible diferenciar tres sistemas principales para la estructura de los mismos:

- Sistema de contención.
- Sistema de revestimiento interior.
- Sistema de fondo.

El sistema de contención, dadas las características del terreno, prevé realizarse mediante la construcción de una pantalla continua de concreto con espesor constante en su altura, la cual se dispone en todo el contorno del pozo de cribado y del pozo de bombeo. Este sistema, es el encargado de resistir temporalmente los empujes del terreno debidos al suelo y al nivel de agua freática durante el proceso de excavación; el cual se realizará por franjas de arriba hacia abajo hasta llegar al fondo. Por lo tanto, el sistema de contención es el encargado de estabilizar el suelo en el frente de excavación, a medida que se va completando la capacidad de la estructura con el revestimiento interior y la losa de fondo para la condición final de excavación completa del pozo.

El sistema completo comprende la disposición del sistema de contención hasta una profundidad total de 80 m, de los cuales los 40 metros iniciales serán excavados al interior y generarán el espacio necesario para la operación del bombeo, hasta esta profundidad se dispone de los anillos del revestimiento interior y en el fondo se ubicará la losa y sus respectivas pilas que tendrán una longitud de 40 m.

Los empujes estáticos del suelo se obtienen con base en la caracterización del suelo, los parámetros geotécnicos según cada estrato y el procedimiento constructivo asociado al método y secuencia de excavación.

El sistema de revestimiento interior, se proyecta mediante un muro interior de espesor variable en altura, el cual además de su función hidráulica, actúa como soporte para la pantalla perimetral de contención durante el avance de la excavación del recinto de los pozos, gracias a desarrollar circunferencialmente la acción de anillo, permitiendo así compensar los empujes del suelo.

Con el trabajo conjunto de la pantalla de contención y del muro interior, se logra un comportamiento autoportante de la estructura vertical durante la fase de excavación y de puesta en servicio, evitando así la necesidad de disponer elementos estructurales de apuntalamiento al interior de los pozos.

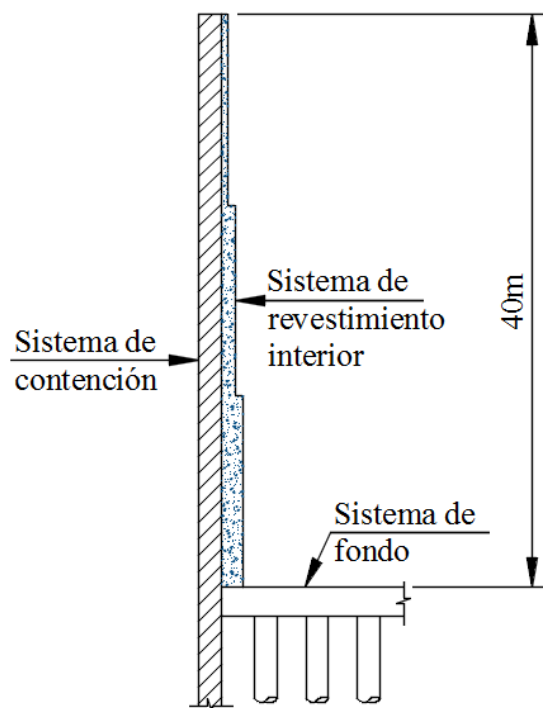
Finalmente, el sistema de fondo de los pozos está constituido por una losa maciza de concreto reforzado con espesor estructural constante, la cual cubre todo el fondo y sobre la que nace el muro interior de revestimiento. Esta losa tiene como función estructural, resistir los efectos de la sub-presión generada por la cabeza de presión hidrostática contada a partir del nivel de agua freática. Esta presión se localiza en la cara inferior de la losa y genera un efecto de flotabilidad global de la estructura, lo cual hace necesario que se dispongan elementos que anclen la estructura al terreno. Estos elementos, para el caso particular

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

que nos ocupa, se prevén mediante pilotes de concreto reforzado desarrollando fuerzas de rozamiento en su perímetro para contrarrestar el efecto de la subpresión que actúa bajo la losa.

En la **Figura 5-1**, **Figura 5-2** y **Figura 5-3** se ilustran la disposición de los sistemas anteriormente descritos y su mecanismo de funcionamiento estructural, respectivamente.

Figura 5-1
Disposición Sistema estructural para pozos



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-2

Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de pantalla y el de muro interior

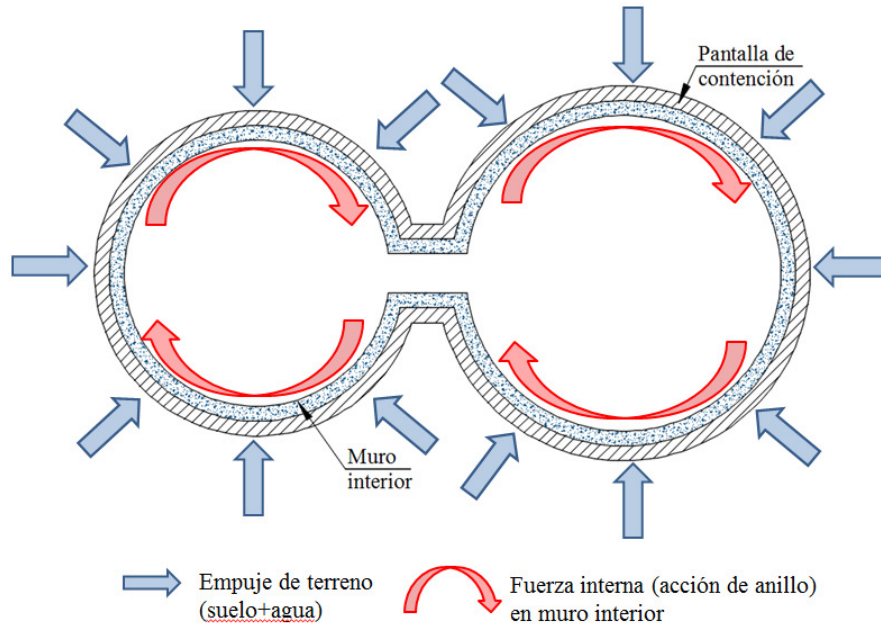
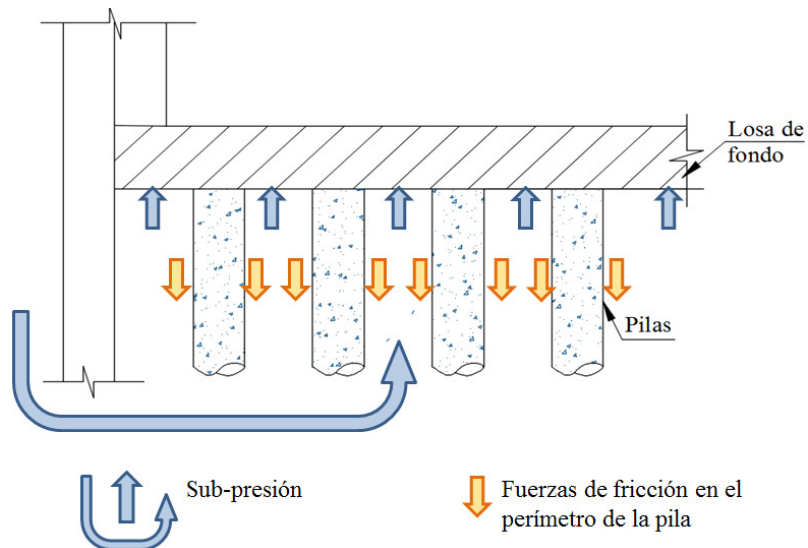


Figura 5-3

Fuerzas actuantes y desarrolladas en el sistema de fondo de pozo

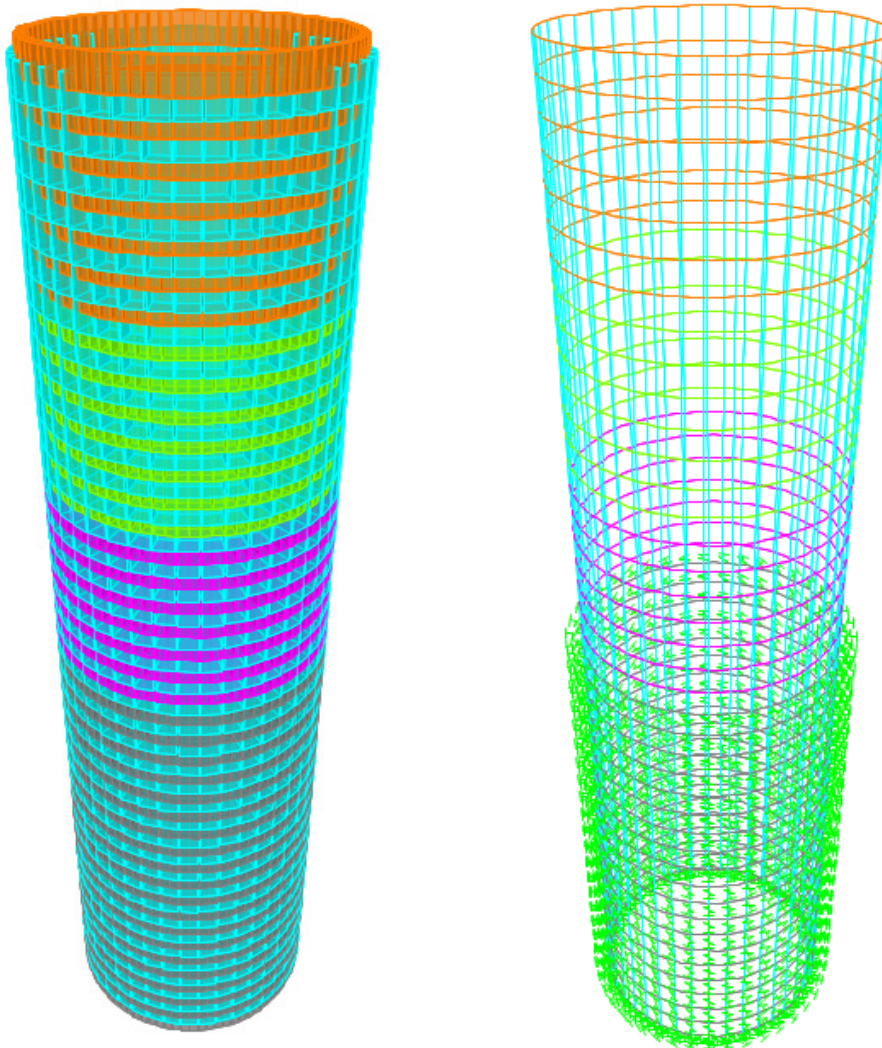


Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

En el análisis de las pantallas y de los muros interiores que conformarán los pozos de 20 m y 35 m de diámetro, se han considerado los empujes de terreno de acuerdo con la estratigrafía y propiedades mecánicas de cada estrato de suelo.

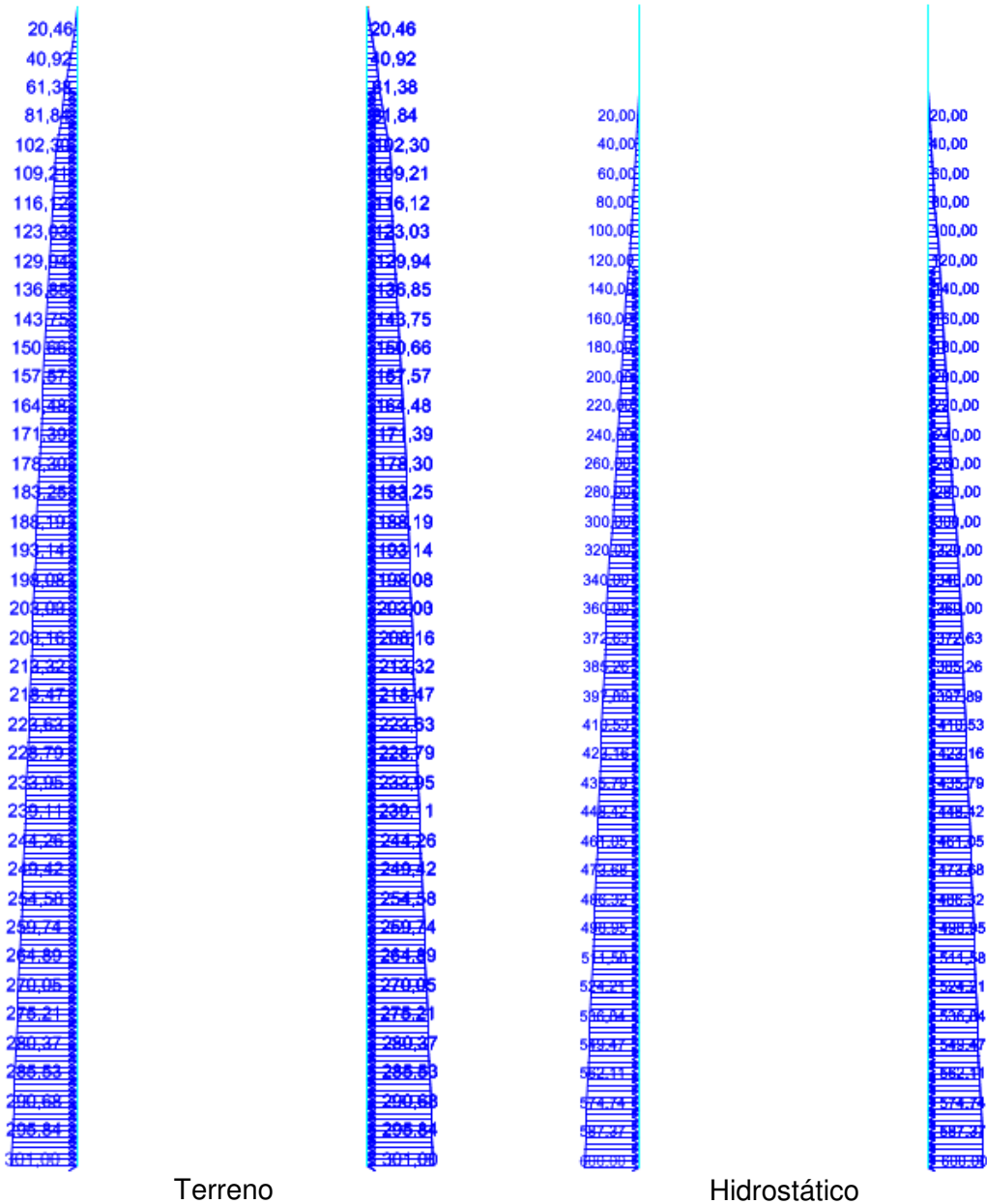
En la **Figura 5-4** y **Figura 5-5** se muestra el modelo utilizado en el análisis de los pozos y las fuerzas de empuje consideradas en el mismo.

Figura 5-4
Esquema modelo análisis para pozos



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-5
Empujes aplicados en el análisis de los pozos



A continuación se indican los resultados obtenidos para los espesores de muro de contención para la opción de pantalla continua. Así mismo se indican los espesores obtenidos para los anillos del muro interior.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-6

Distribución y parametrización de espesores en pantalla de contención y muro interior

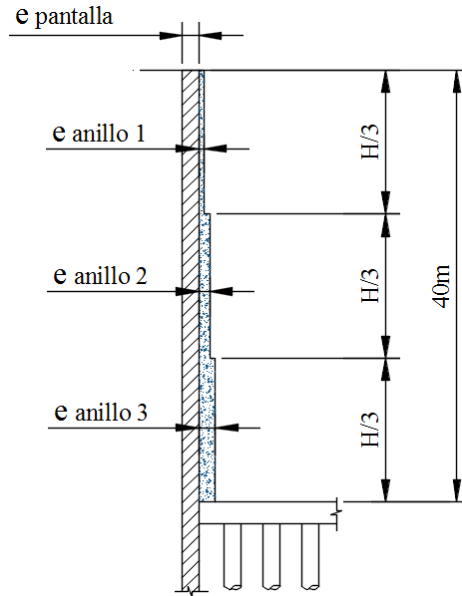


Tabla 5-1

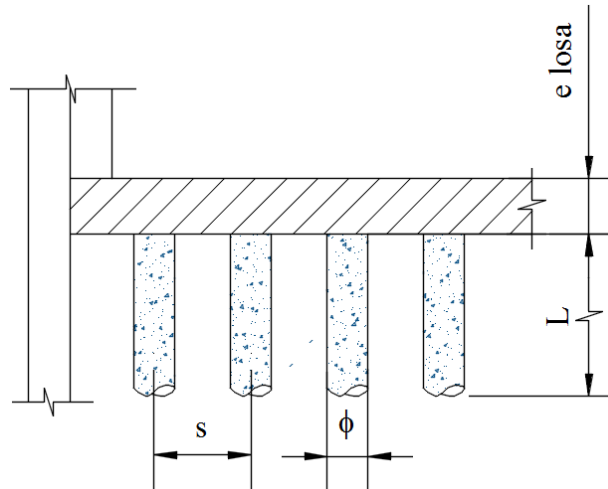
Espesores de pantalla y muro interior

POZO DE CRIBADO ϕ int = 20m			
PANTALLA DE CONTENCIÓN			MURO INTERIOR
	OPCIÓN Pantalla continua	OPCIÓN Pantalla de pilas tangentes	
Espesor (m)	1,50	1,50	(e anillo1/ e anillo2 / e anillo3) 0,40 / 0,80 / 1,30

CÁMARA DE SUCCIÓN ϕ int = 35m			
PANTALLA DE CONTENCIÓN			MURO INTERIOR
	OPCIÓN Pantalla continua	OPCIÓN Pantalla de pilas tangentes	
Espesor (m)	1,50	1,50	(e anillo1/ e anillo2 / e anillo3) 0,50 / 0,90 / 1,40

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-7
Dimensiones para estructura de fondo



Para la definición del espesor de la losa de fondo y la profundidad de las pilas, se han considerado la fase constructiva más desfavorable durante la excavación de los pozos.

Esta fase contempla el mínimo peso propio de la estructura frente a la máxima presión de empuje hidrostático ejercida por la columna de agua freática. Dicha presión se ha calculado tomando como nivel máximo el de la superficie del terreno, es decir, la altura de agua freática será equivalente a la altura máxima de excavación.

Esta hipótesis se plantea una vez que de acuerdo con los sondeos disponibles, el nivel freático se encuentra a 2,00m de la superficie del terreno.

Así pues, la presión ascendente en el fondo de la losa en el pozo de bombeo es:

$$F_{\text{losa}} = F_{\text{agua}} - W_{\text{losa}} - W_{\text{muros interiores}}$$

Con:

$$Q_{\text{agua}} = \gamma_{\text{agua}} * H_{\text{agua}} = 10 \text{ kN/m}^3 * 43\text{m} = 430 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{losa}} = \gamma_{\text{concreto}} * H_{\text{losa}} = 24 \text{ kN/m}^3 * 2\text{m} = 48 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{\text{losa}} = 755\text{m}^2$$

$$F_{\text{agua}} = (430 \text{ kN/m}^2 * 755\text{m}^2) = 324.650\text{kN}$$

$$W_{\text{losa}} = (48 \text{ kN/m}^2 * 755\text{m}^2) = 36.240\text{kN}$$

$$W_{\text{muros interiores}} = \gamma_{\text{concreto}} * V_{\text{muros interiores}} = 24 \text{ kN/m}^3 * 2.350 \text{ m}^3 = 56.400\text{kN}$$

$$F_{\text{losa}} = 324.650\text{kN} - 36.240\text{kN} - 56.400\text{kN} = 232.010\text{kN}$$

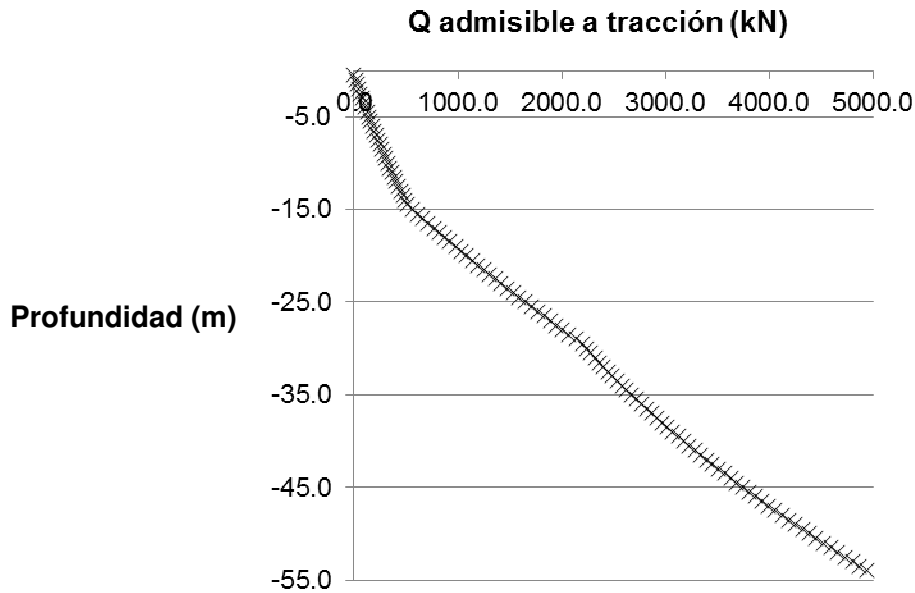
Esta fuerza ascendente debe ser resistida por las pilas de fondo, sometidas a tracción.

La capacidad máxima a tracción para las pilas de 1,50m de diámetro, de acuerdo con los parámetros geotécnicos de los estratos encontrados, se obtiene del gráfico ilustrado en la **Figura 5-8**.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-8

Capacidad a tracción para pilas de ϕ 1,50m



Para una profundidad de 50 m, la tracción admisible para las pilas de 1,50 de diámetro es de 4.385kN. Para esta capacidad, el número de pilas requerido para resistir la fuerza ascendente de presión hidrostática, es de:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de pilas} &= F_{\text{losa}} / Q_{\text{pila}} \\ \text{N}^\circ \text{ de pilas} &= 232.010\text{kN} / 4.385\text{kN} = \mathbf{53 \text{ pilas de } 50\text{m de longitud}} \end{aligned}$$

Para el pozo de cribado, con igual esquema de cálculos, se obtienen **21 pilas de 50 m de longitud.**

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-9
Distribución de pilas en losa de fondo

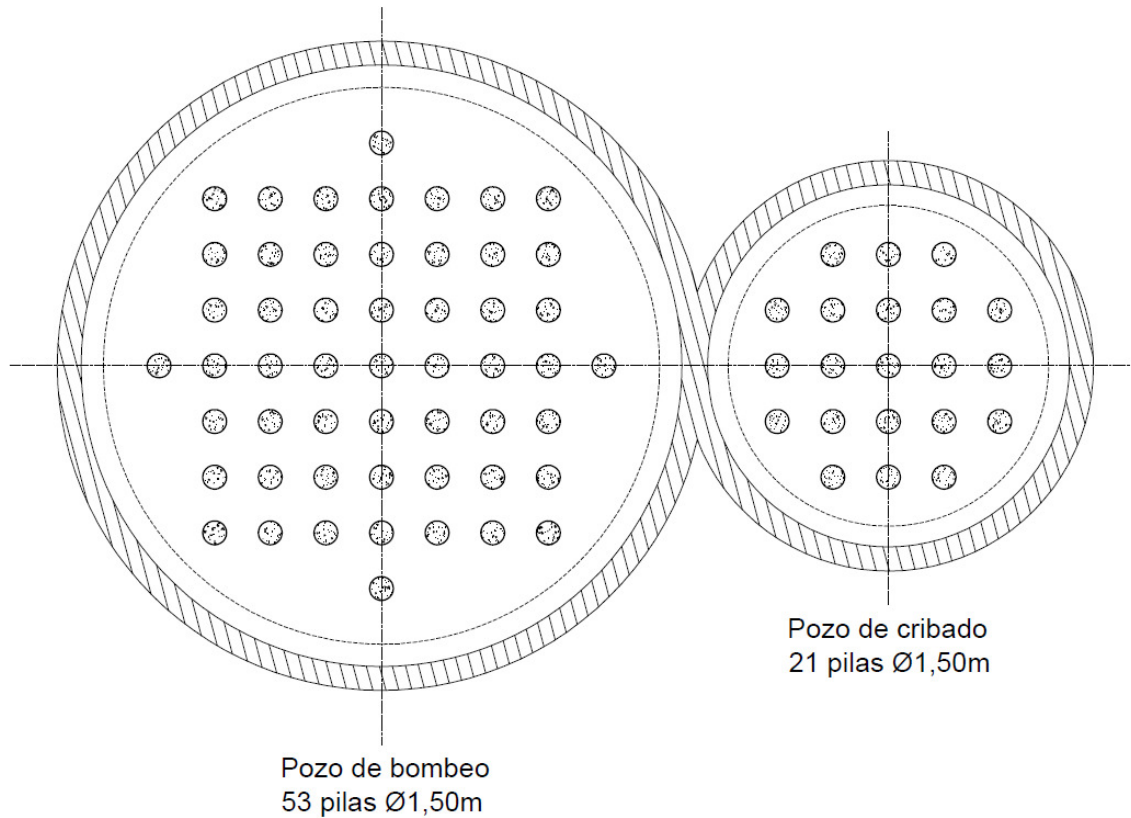


Tabla 5-2
Dimensiones de elementos para losa de fondo y pilas

	POZO DE CRIBADO ϕ int = 20 m POZO DE BOMBEO ϕ int = 35 m	
	LOSA	PILAS
e (m)	2,00	-
ϕ (m)	-	1,50
S (m)	-	3,50
L (m)	-	50,00

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.1.2 Losa de soporte para motores de bombas

Al interior del pozo de bombeo se localiza la losa sobre la que se apoyará el sistema de motores para las bombas.

El sistema estructural propuesto para esta losa consiste en cuatro (4) pórticos de vigas de concreto reforzado con sección 1,00 m x 1,50 m paralelas entre sí. Éstas están apoyadas en los muros interiores del pozo y en columnas intermedias de concreto reforzado de sección 1,00 m x 1,00 m.

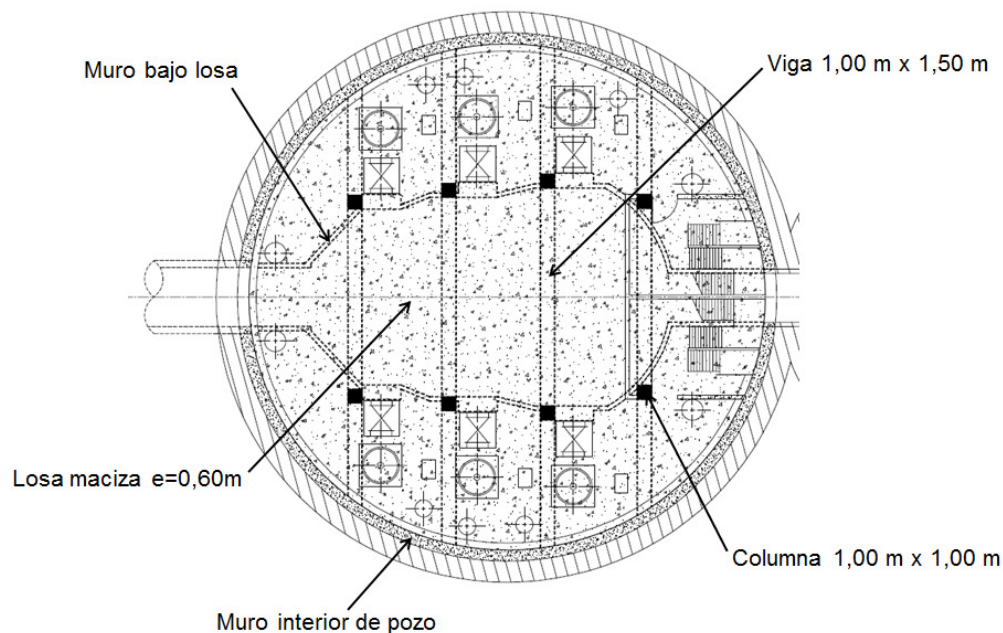
Entre las vigas anteriormente descritas, se dispone una losa maciza de 0,60 m de espesor, sobre la que se apoyarán las bombas y demás cargas previstas.

Dichas cargas se resumen a continuación.

- Motores para las bombas =	249,5 kN
- Área de apoyo =	9,00 m ²
- Carga superficial equivalente =	27,72 kN/m ²
- Carga muerta adicional =	5,00 kN/m ²
- Carga viva =	5,00 kN/m ²

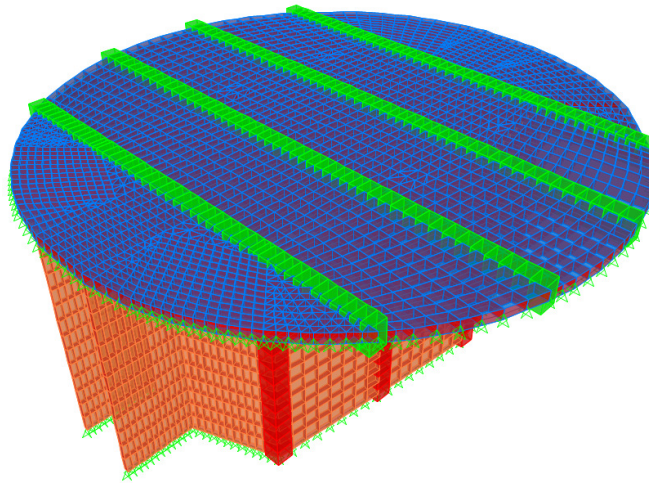
La estructuración anteriormente descrita y un esquema del modelo analizado para esta losa, se ilustran en la **Figura 5-10** y **Figura 5-11**.

Figura 5-10
Sistema estructural para losa de bombas



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-11
Modelo de análisis para losa de bombas



5.1.3 Losa a nivel de terreno en pozo de cribado

En el nivel superior del pozo de cribado se dispondrá una losa que ocupará casi la mitad su área libre. Sobre esta losa se prevé que circulen camiones que realizarán las labores de carga y retiro del material cribado.

El sistema estructural propuesto para esta losa consiste en una viga de concreto reforzado con sección 1,00 m x 2,00 m; la cual irá apoyada entre los muros interiores del pozo.

Entre esta viga y los bordes del pozo, se dispone una losa maciza de 0,60 m de espesor, sobre la que se dará apoyo al tránsito anteriormente comentado.

La carga aplicada sobre esta losa se ha definido para un camión de 320 kN sobre un área 1,90 m x 4,40 m para un equivalente en carga superficial del 38,28 kN/m².

La estructuración anteriormente descrita y un esquema del modelo analizado para esta losa, se ilustran en la **Figura 5-12** y **Figura 5-13**.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-12

Sistema estructural para losa superior en pozo de cribado.

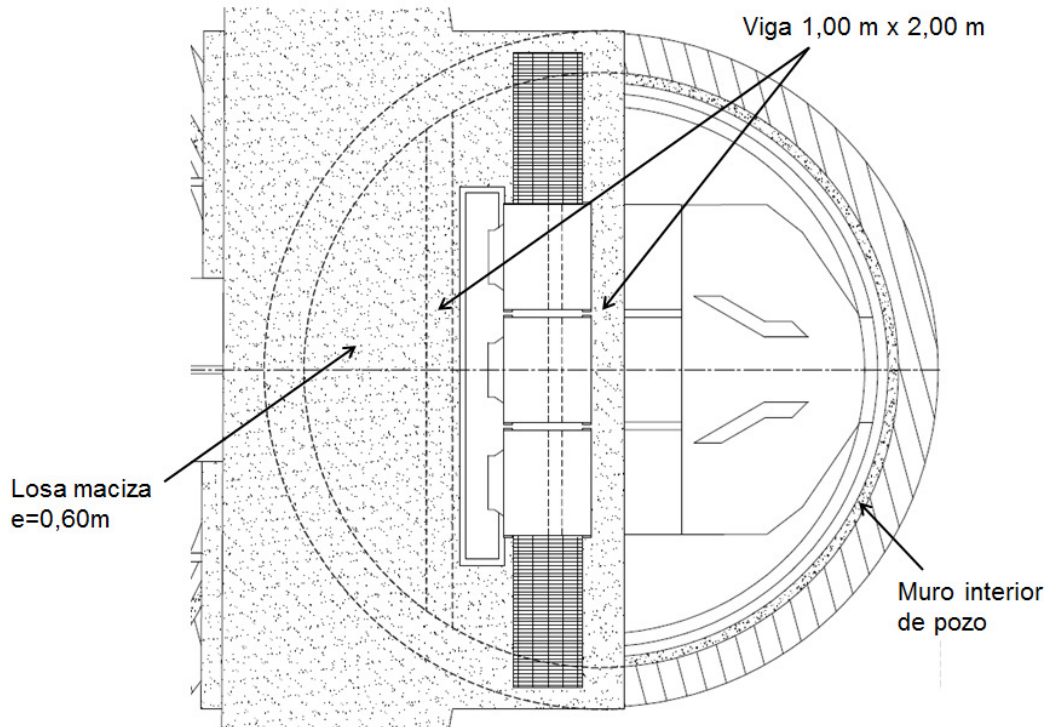
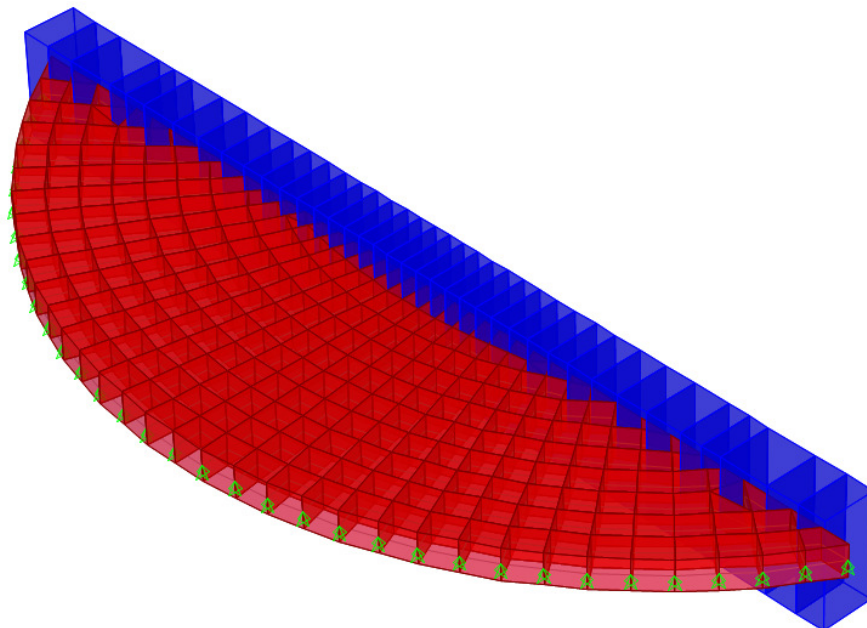


Figura 5-13

Modelo de análisis para losa superior en pozo de cribado



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.2 Estructura para cubierta de pozos

5.2.1 Consideraciones estructurales

Para la configuración final del sistema de pozos, se contempla la disposición de una cubierta que permita cubrir la totalidad del área abarcada por los pozos, dando techo a todos los sistemas mecánicos y a los procedimientos de operación realizados en su interior, así como a los componentes del puente grúa.

La estructura de cubierta para los pozos se ha concebido mediante una configuración espacial de elementos metálicos.

Bajo dicha configuración, en el sentido transversal de la cubierta se plantea la disposición de dos sistemas de columnas:

- Línea longitudinal exterior de columnas: Se encuentran espaciadas 47m entre sí y se disponen para resistir las cargas verticales provenientes de la cubierta.
- Línea longitudinal interior de columnas: Se encuentran espaciadas 43m entre sí y se disponen para resistir las cargas verticales provenientes del puente grúa.

Estas dos líneas de columnas se conectan verticalmente hasta el nivel del puente grúa, con el fin de dar rigidez lateral al sistema global frente a las cargas laterales debidas al sismo, viento y reacciones horizontales de frenado del puente grúa. Dicha conexión se realiza mediante entramado en celosía de perfiles angulares.

En el sentido longitudinal de la cubierta, en las dos caras longitudinales, se ubican sendos pórticos arriostrados mediante sistema de cruces de San Andrés.

Por otra parte, para la estructura del techo se plantea un sistema de ocho (8) cerchas transversales, espaciadas 9,15m y constituidas por perfiles metálicos de alma llena con sección en "I". Entre estas cerchas se dispone un sistema secundario de cerchas, espaciadas 3,35m y sobre las cuales se dispondrán las correas con una separación de 2,30m aproximadamente.

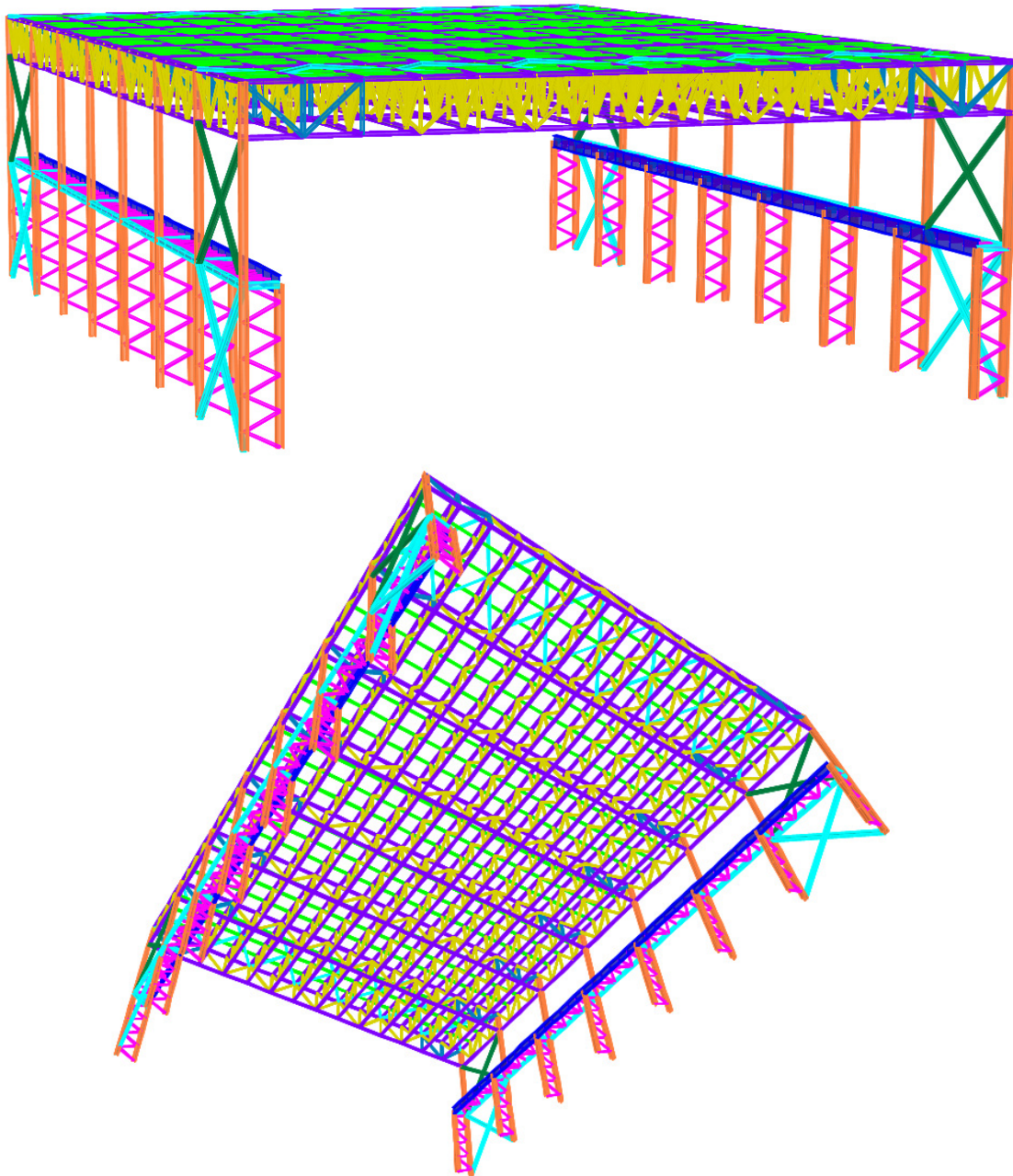
La cubierta propiamente dicha se realizará mediante sistema ligero tipo "panel sándwich".

En la **Figura 5-14**, **Figura 5-15**, **Figura 5-16**, **Figura 5-17** y **Figura 5-18**; se ilustra la configuración estructural descrita en los párrafos anteriores.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-14

Esquema general estructura para cubierta de pozos



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-15
Esquema estructural sentido transversal

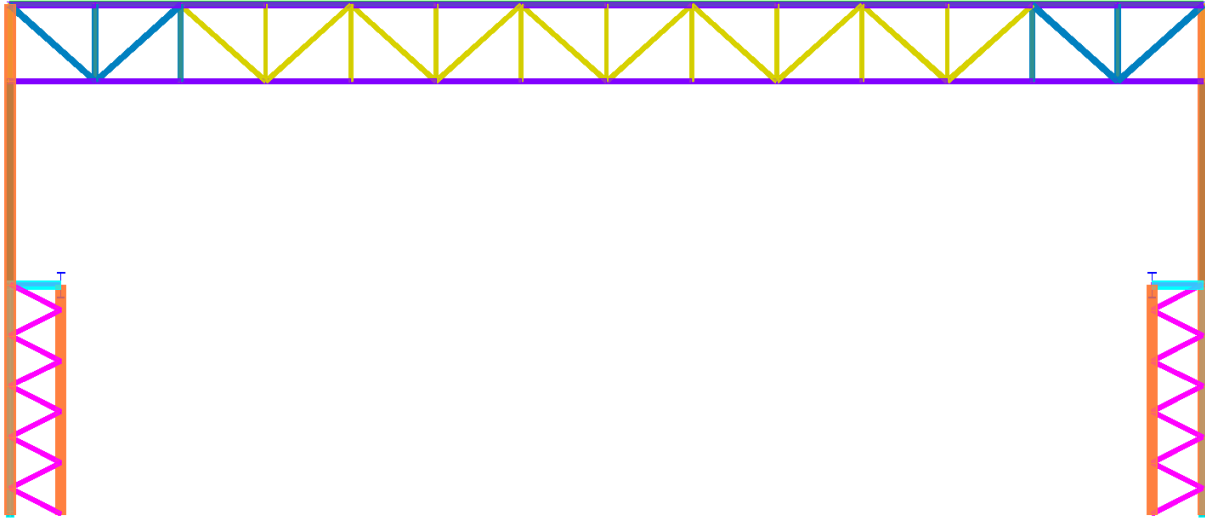


Figura 5-16
Esquema estructural sentido longitudinal

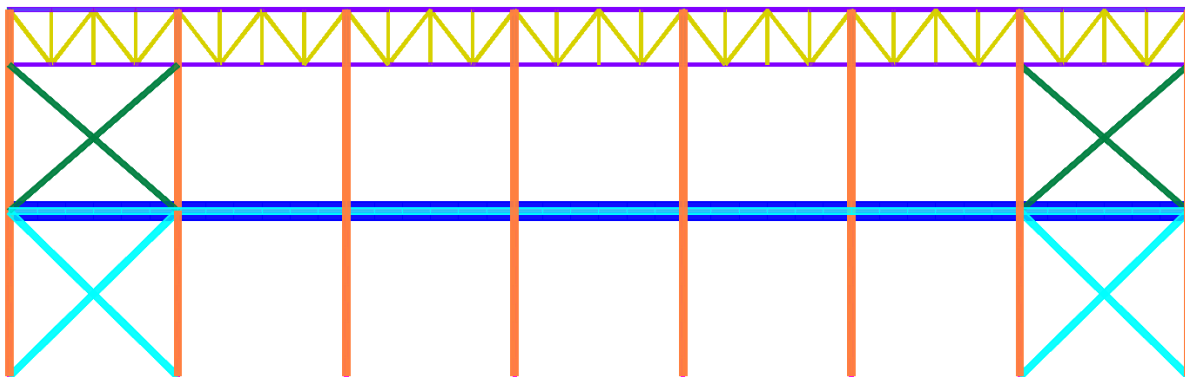
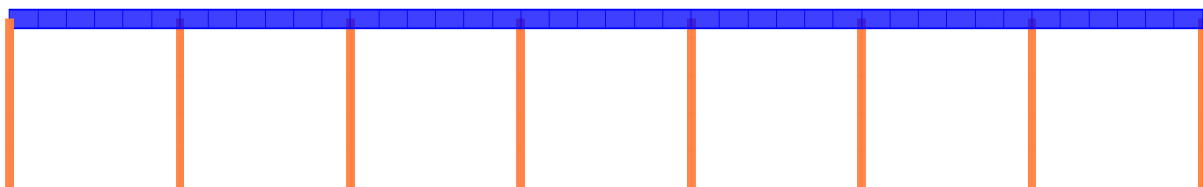
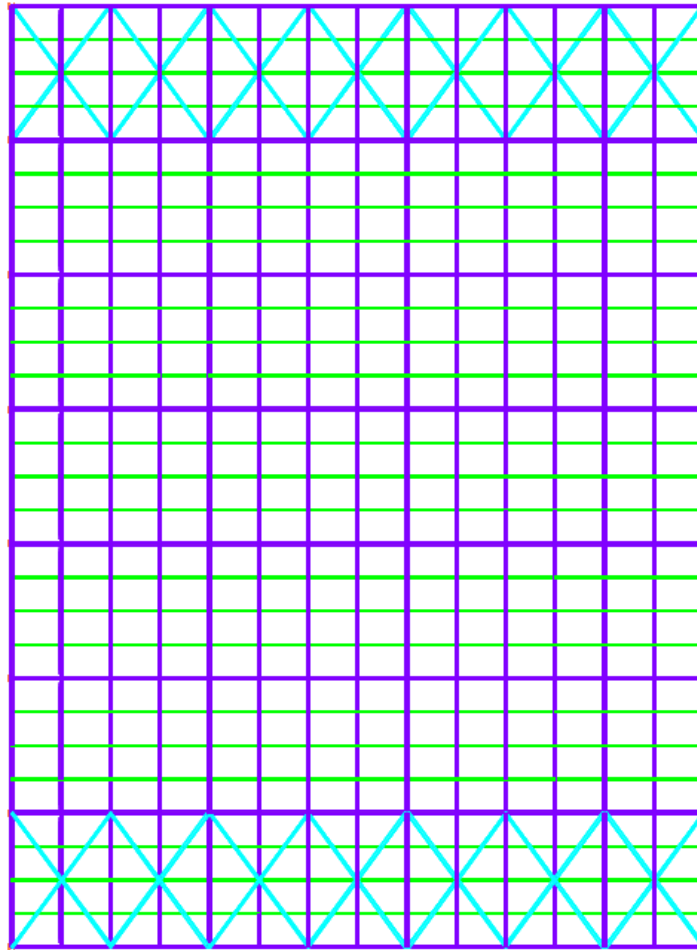


Figura 5-17
Esquema estructural pórticos viga grúa



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-18
Esquema estructural cubierta



5.2.2 Consideraciones de carga

5.2.2.1 Cargas gravitatorias.

Paneles de cubierta =	0,15 kN/m ² (tipo panel sándwich)
Sobrecarga de cubierta =	0,50 kN/m ²
- Peso sistema puente grúa =	12.100 kN
- Máxima capacidad puente grúa =	400 kN

5.2.2.2 Cargas sísmicas.

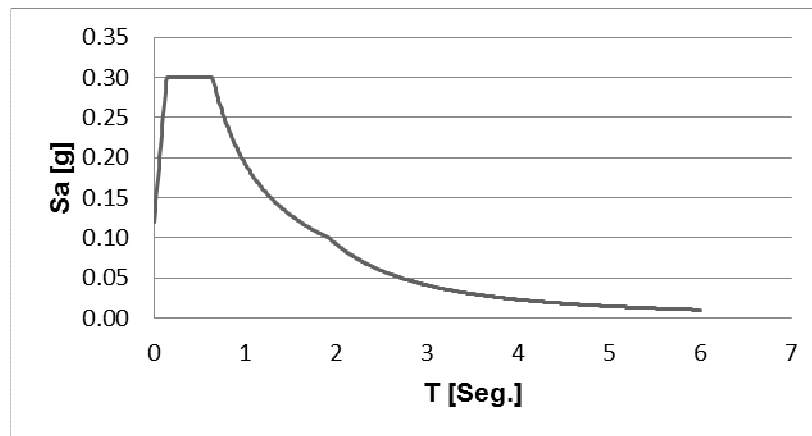
Para la definición de la acción sísmica se han considerado los siguientes parámetros.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Aceleración básica (A_a) =	0,15g (amenaza sísmica intermedia)
Tipo de suelo =	D
- Coeficiente A_v =	0,20
- Coeficiente F_a =	1,50
- Coeficiente F_v =	2,00

Con ellos se ha obtenido el espectro de respuesta de acuerdo con las especificaciones del numeral A.2.6 de la Norma Sismo Resistente NSR-10.

Figura 5-19
Espectro de respuesta elástico



5.2.2.3 Cargas de frenado de viga grúa.

Para la determinación de las acciones horizontales derivadas de la operación del equipo puente grúa, se han tenido en consideración las especificaciones del apartado B.4.6 del reglamento NSR-10.

De acuerdo con lo anterior, en el sentido paralelo al puente grúa se ha calculado una reacción horizontal equivalente al 20% de la máxima reacción obtenida en cada rueda de apoyo. Mientras que en el sentido de avance del mismo, dicho porcentaje es del 10%.

Así, se obtienen los siguientes valores:

Reacción horizontal transversal =	160 kN
Reacción horizontal longitudinal =	90 kN

5.2.2.4 Cargas de viento.

En el pre-dimensionamiento de la estructura de cubierta no se han considerado las cargas de viento ya que se ha considerado la acción sísmica como la que gobierna el diseño estructural.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.2.3 Límites admisibles de deformación

En la validación del pre-dimensionamiento de la estructura de la cubierta, se han tenido bajo consideración los siguientes límites de deformación.

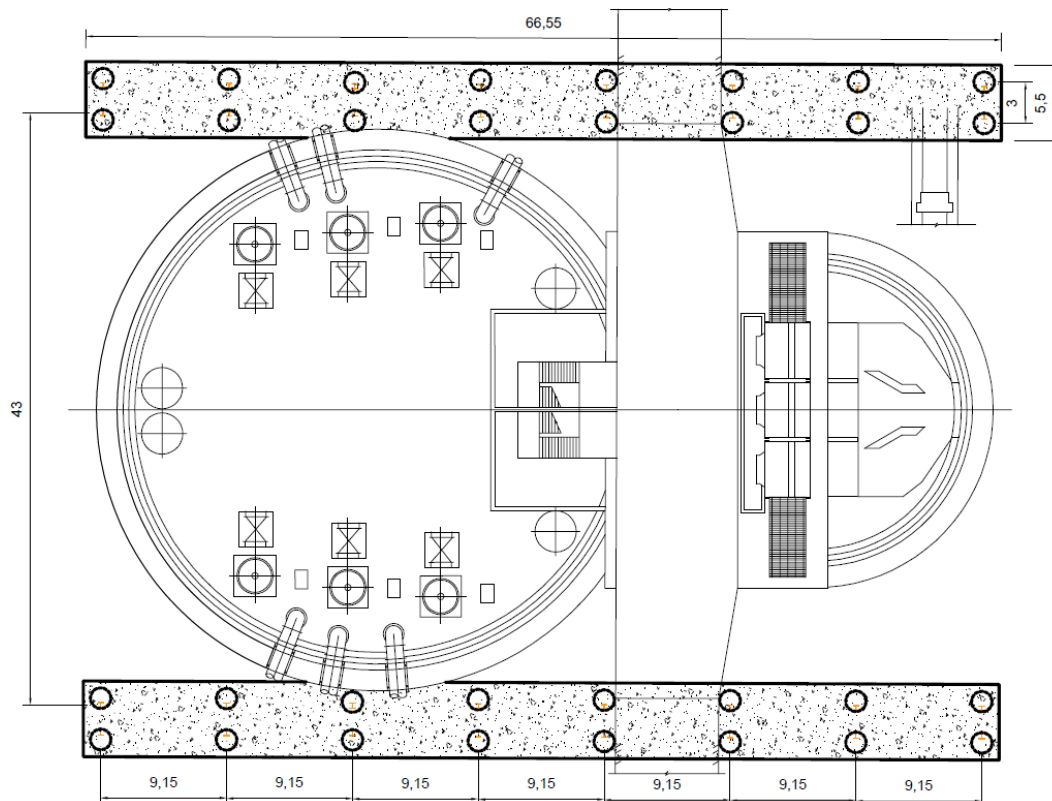
Vertical en cubierta =	L/400
Vertical viga carril =	L/600
- Horizontal cubierta =	H/100
- Horizontal viga carril =	H/400

5.2.4 Fundaciones

Debido al nivel de cargas transferido por la estructura de la cubierta a su base, la fundación se ha proyectado mediante un sistema de pilas profundas de 1,50m de diámetro.

Se han dispuesto dos pilas en cada apoyo, espaciadas 3,00m entre sí, con el fin transferir al terreno las reacciones de tracción y compresión que resiste cada columna. Las pilas se interconectan mediante un encepado de 1,50m de espesor, 5,50m de ancho y 66,55m de longitud, localizado bajo cada una de las dos caras longitudinales de la estructura de cubierta.

Figura 5-20
Esquema estructural fundación de cubierta



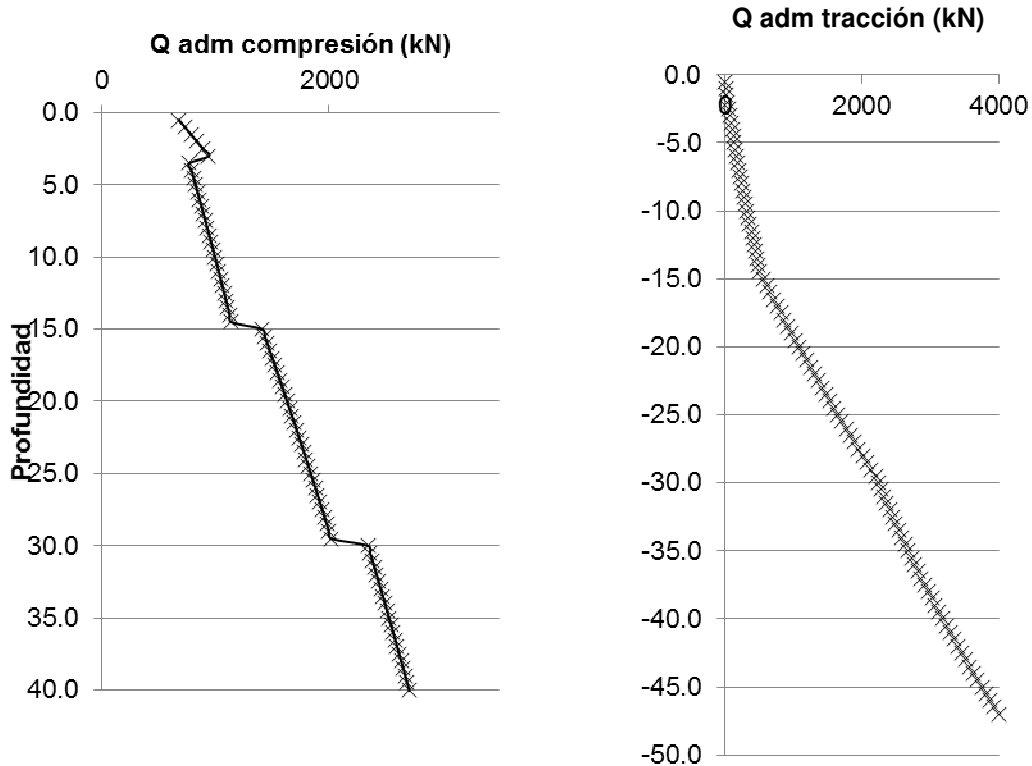
Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Como se indicó anteriormente, en el pre-dimensionamiento de las pilas se han considerado las máximas reacciones de tracción y compresión resistidas por las columnas de la cubierta. Las reacciones obtenidas, son:

- Vertical de compresión= 2.500 kN
- Vertical de tracción = 2.000 kN

Con estas reacciones se ha obtenido la longitud de pila requerida en cada apoyo, basados en las resistencias del terreno, las cuales se han calculado a partir de los parámetros geotécnicos. Las capacidades geotécnicas para cada pila de 1,50m de diámetro, se ilustran en la siguiente gráfica en función de su profundidad.

Figura 5-21
Capacidades a tracción y compresión en pilas ϕ 1,50m



De acuerdo con los valores de compresión y tracción máxima, la longitud mínima de pilas para la fundación de la estructura de cubierta, es de 40m aproximadamente.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.2.5 Consideraciones de procedimientos constructivos

En esta etapa de pre-dimensionamiento de la cubierta, no se ha valorado la tipología de conexión entre los elementos estructurales que la componen, pudiendo ser mediante uniones pernadas o soldadas.

Este aspecto debe valorarse en el diseño final para construcción. Estimado general de costo de construcción

5.3 Estructura para edificio eléctrico

5.3.1 Consideraciones estructurales

El edificio eléctrico se localiza sobre superficie. Consta de un único nivel y se distribuye sobre un área de 15,05 m x 35,50 m.

El sistema estructural concebido para este edificio consta de pórticos metálicos resistentes a momento, formados por perfiles metálicos de alma llena con sección en “T”. Estos pórticos se han distribuido uniformemente en toda la longitud de la planta, con separación máxima de 5,50 m entre pórticos. Entre estos pórticos se disponen las correas que soportarán la cubierta del edificio. Éstas están espaciadas entre sí 1,85 m aproximadamente.

La estabilidad lateral del conjunto frente a cargas laterales (viento y sismo) se proporciona de la siguiente forma. En el sentido corto de la edificación se provee de rigidez y resistencia suficiente para contar con el mecanismo de pórticos resistentes a momento. Mientras que en el sentido longitudinal, en el cual se dispone de menor rigidez y resistencia por la orientación en el sentido débil de las columnas metálicas, se han dispuesto vanos arriostrados mediante cruces de San Andrés. Dichos arriostramientos no serían visibles, una vez que se han dispuesto en zonas donde la arquitectura indica la existencia de elementos de cerramiento.

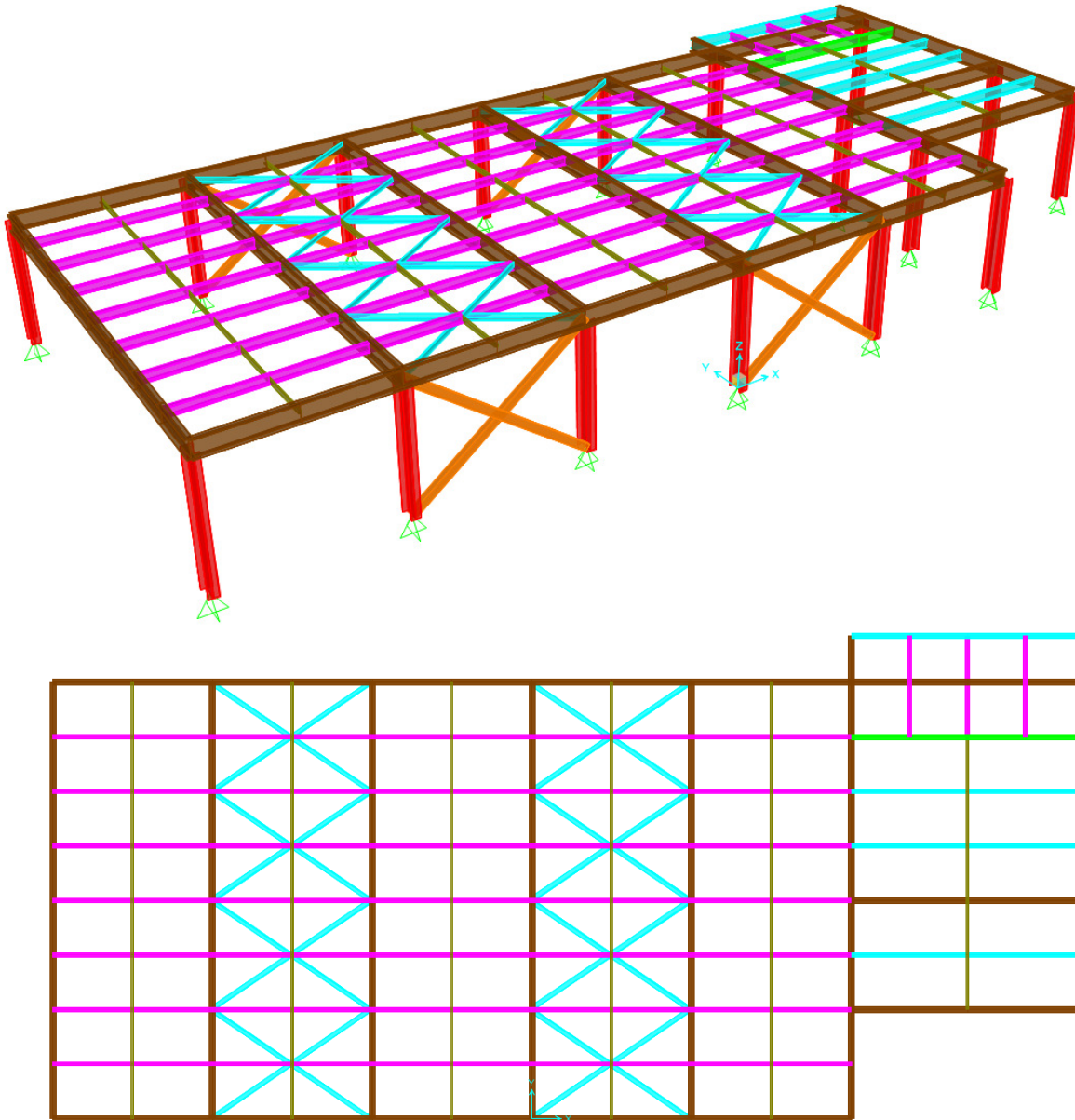
A nivel de cubierta se disponen arriostramientos coincidentes con los arriostramientos verticales, con el fin de conferir de mayor rigidez y compatibilidad global a la estructura, especialmente en la zona de grandes luces (Sala de VFDs).

La cubierta del edificio será plana y dura, del tipo “steel deck”.

En la **Figura 5-22** se ilustra la configuración estructural anteriormente descrita.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-22
Configuración estructural edificio de eléctrico



Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.3.2 Consideraciones de carga

5.3.2.1 Cargas gravitatorias.

Cubrición de cubierta =	2,00 kN/m ² (tipo steel deck)
Peso pendientes =	1,00 kN/m ²
Sobrecarga de cubierta =	1,00 kN/m ²

5.3.2.2 Cargas sísmicas.

Para la definición de la acción sísmica se han considerado los siguientes parámetros.

Aceleración básica (Aa) =	0,15g (amenaza sísmica intermedia)
Tipo de suelo =	D
- Coeficiente A _v =	0,20
- Coeficiente F _a =	1,50
- Coeficiente F _v =	2,00

Con ellos se ha obtenido el espectro de respuesta de acuerdo con las especificaciones de A.2.6 del reglamento NSR-10, el cual se ilustra en la Figura 5-19.

5.3.2.3 Cargas de viento.

En el pre-dimensionamiento de la estructura del edificio de control no se han considerado las cargas de viento ya que se ha considerado la acción sísmica como la que gobierna el diseño estructural.

5.3.3 Límites admisibles de deformación

En la validación del pre-dimensionamiento de la estructura de la cubierta, se han tenido bajo consideración los siguientes límites de deformación.

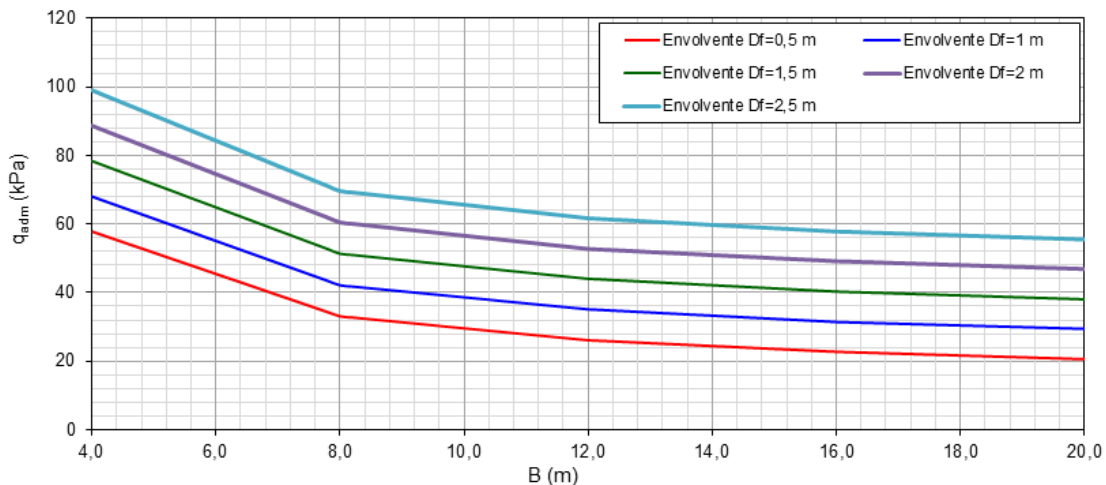
- Vertical en cubierta =	L/300
- Horizontal cubierta =	H/100

5.3.4 Fundaciones

Debido al nivel de cargas transferido por la estructura de la cubierta a su base, la fundación se ha proyectado mediante un sistema de losa maciza de 0,60m de espesor, de acuerdo con las capacidades del suelo indicadas en la **Figura 5-23** Capacidad admisible del terreno para losas

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Figura 5-23
Capacidad admisible del terreno para losas



5.3.5 Consideraciones de procedimientos constructivos

En esta etapa de pre-dimensionamiento de la cubierta, no se ha valorado la tipología de conexión entre los elementos estructurales que la componen, pudiendo ser mediante uniones pernadas o soldadas.

Este aspecto debe valorarse en el diseño final para construcción.

5.4 Estructura para edificio de control

5.4.1 Consideraciones estructurales

El edificio de control se localiza sobre superficie. Consta de un único nivel y se distribuye sobre un área de 15,60 m x 15,60 m.

El sistema estructural concebido para este edificio consta de pórticos metálicos resistentes a momento, formados por perfiles metálicos de alma llena con sección en “T”. Estos pórticos se han distribuido uniformemente en toda la longitud de la planta, con separación máxima de 4,50 m entre pórticos. Entre estos pórticos se disponen las correas que soportarán la cubierta del edificio. Éstas están espaciadas entre sí 2,18 m aproximadamente.

La estabilidad lateral del conjunto frente a cargas laterales (viento y sismo) se proporciona de la siguiente forma. En uno de los sentidos de la edificación se provee de rigidez y resistencia suficiente para contar con el mecanismo de pórticos resistentes a momento. Mientras que en el sentido opuesto, en el cual se dispone de menor rigidez y resistencia por la orientación en el sentido débil de las columnas metálicas, se han dispuesto vanos arriostrados mediante cruces de San Andrés. Dichos arriostramientos no serían

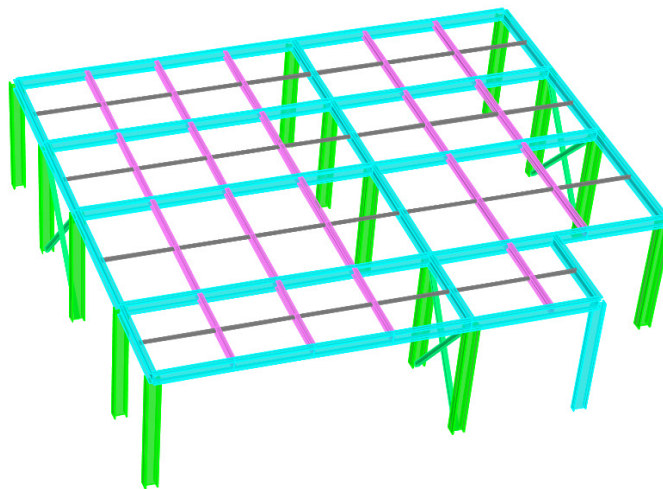
Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

visibles, una vez que se han dispuesto en zonas donde la arquitectura indica la existencia de elementos de cerramiento.

La cubierta del edificio será plana y dura, del tipo “steel deck”.

En la **Figura 5-24** se ilustra la configuración estructural anteriormente descrita.

Figura 5-24
Configuración estructural edificio de control



5.4.2 Consideraciones de carga

5.4.2.1 Cargas gravitatorias.

Cubierta =	2,00 kN/m ² (tipo steel deck)
Peso pendientes =	1,00 kN/m ²
Sobrecarga de cubierta =	1,00 kN/m ²

5.4.2.2 Cargas sísmicas.

Para la definición de la acción sísmica se han considerado los siguientes parámetros.

Aceleración básica (A_a) =	0,15g (amenaza sísmica intermedia)
Tipo de suelo =	D
- Coeficiente A_v =	0,20
- Coeficiente F_a =	1,50
- Coeficiente F_v =	2,00

Con ellos se ha obtenido el espectro de respuesta de acuerdo con las especificaciones del numeral A.2.6 del reglamento NSR-10, el cual se ilustra en la Figura 5-19.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

5.4.2.3 Cargas de viento.

En el pre-dimensionamiento de la estructura del edificio de control no se han considerado las cargas de viento ya que se ha considerado la acción sísmica como la que gobierna el diseño estructural.

5.4.3 Límites admisibles de deformación

En la validación del pre-dimensionamiento de la estructura de la cubierta, se han tenido bajo consideración los siguientes límites de deformación.

- Vertical en cubierta = $L/300$
- Horizontal cubierta = $H/100$

5.4.4 Fundaciones

Debido al nivel de cargas transferido por la estructura de la cubierta a su base, la fundación se ha proyectado mediante un sistema de losa maciza de 0,60m de espesor, de acuerdo con las capacidades del suelo indicadas en **Figura 5-23**
Capacidad admisible del terreno para losas

5.4.5 Consideraciones de procedimientos constructivos

En esta etapa de pre-dimensionamiento de la cubierta, no se ha valorado la tipología de conexión entre los elementos estructurales que la componen, pudiendo ser mediante uniones pernadas o soldadas.

Este aspecto debe valorarse en el diseño final para construcción.

5.5 Estructuras de conducción hacia PTAR y río Bogotá

5.5.1 Consideraciones estructurales

La estructura del sistema de box culvert dispuesta para realizar la conexión con la PTAR y la eliminación de excesos hacia el río Bogotá, se plantea mediante una serie de canales de concreto reforzado que pueden estar parcial o totalmente enterrados.

Por tal motivo, los elementos estructurales que compondrán cada uno de los canales, deberán resistir los empujes inducidos por la condición estática y dinámica del suelo y el agua freática.

5.5.2 Consideraciones de procedimientos constructivos

En lo que a excavaciones se refiere, se ha tenido como premisa básica que la excavación pueda realizarse mediante taludes laterales detrás de las paredes de los box culvert.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

6. Ventilación, Instalaciones Hidro Sanitarias y Protección Contra Incendio

A continuación se describen los aspectos relacionados con la Ventilación, Instalaciones Sanitarias y Protección Contra Incendio para la EBAR Canoas.

El Proyecto en general está dividido en cuatro áreas de servicio que se indican continuación:

1. Exteriores
2. Edificio de control
3. Edificio eléctrico
4. Estación de bombeo

Los criterios para el enfoque, dimensionamiento y selección de los equipos para las áreas de proceso están basados en la norma NFPA 820 2016 y en las mejores prácticas usadas en el diseño de plantas de tratamiento y estaciones de bombeo de aguas residuales. Es de esperarse la aparición de una ligera corrosión en las instalaciones debido a la exposición ocasional al sulfuro de hidrógeno presente en la estación de bombeo.

6.1 Exteriores

El sistema de protección contra incendio exterior incluye los hidrantes, las bombas Diésel y las tuberías de suministro de agua para el sistema de rociadores automáticos de los edificios.

Los materiales que se escojan para las tuberías enterradas, expuestas y los hidrantes deben ser de larga vida.

6.1.1 Instalaciones hidro sanitarias exteriores

El sistema hidrosanitario exterior está compuesto por la red de agua potable y agua no potable. La red de agua potable abastecerá todo el sistema contra incendio y el suministro para sanitarios y lavamanos en todo el proyecto.

Un tanque para almacenar el agua potable para que se suministre desde el exterior de la estación y dos bombas de refuerzo para distribuir el agua dentro de la EBAR y para recircular el flujo al tanque de almacenamiento.

Se debe suministrar una estación de bombeo de hipoclorito de sodio para mantener una concentración de desinfección segura.

Adyacente a la estación de bombeo de hipoclorito de sodio se debe instalar una ducha lavajos de seguridad para uso en caso de emergencia.

El tanque de almacenamiento de agua debe tener suficiente capacidad para garantizar el suministro de agua potable para el uso normal de la planta de agua no potable por 30 días y hasta tanto se establezca el suministro normal de agua potable desde la futura PTAR Canoas.

La red de agua no potable atenderá todas las demás necesidades de la EBAR e incluye una bocatoma desde el río Bogotá, sistema de pretratamiento, bombas de succión y el sistema de tubería necesario para llevar el agua no potable a un tanque de almacenamiento y tratamiento de agua en la EBAR Canoas. El

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

sistema de succión de agua debe ser un sistema dúplex con cada bomba capaz de suministrar las necesidades de agua no potable de la EBAR.

El tanque de almacenamiento de agua no potable deberá satisfacer las necesidades de la planta de agua no potable por 7 días incluyendo la demanda del sistema contra incendio y todos los servicios de agua para procesos requeridos por la EBAR Canoas. La planta de tratamiento deberá producir agua tratada con los estándares de calidad requeridos por el sistema contra incendio, lavado de equipos y agua para procesos.

El sistema de tratamiento de agua deberá incluir un sistema de almacenamiento e inyección de hipoclorito de sodio para la desinfección del sistema de agua no potable distribuida en la EBAR. Adyacente a la estación de bombeo de hipoclorito de sodio se debe instalar una ducha lavaojos de seguridad para uso en caso de emergencia.

El tanque de almacenamiento de agua no potable debe tener un sistema de bypass que permita sacarlo de servicio para inspección y mantenimiento sin interrumpir el sistema de suministro de agua no potable a la estación.

El sistema de agua no potable debe ser tal que pueda conectarse en el futuro al sistema de agua no potable de la PTAR Canoas.

Los materiales que se escojan para las tuberías enterradas, expuestas y los hidrantes deben ser de larga vida.

6.1.2 Sistema contra incendios exterior

Las normas locales indican que toda edificación comercial o industrial debe contar con un sistema de protección contra incendio a partir de agua, lo cual aplica para el edificio de control, el edificio eléctrico y de bombeo. Se recomienda que el diseñador del sistema contra incendio se ponga en contacto con las autoridades competentes para buscar una excepción a la norma especialmente en lo referente a los cuartos eléctricos, ya que resulta inconveniente implementar un sistema con agua en dicho sector.

La fuente de agua potable debe satisfacer la norma de los 45 minutos de flujo de agua contra incendio requeridos con tanque de agua. Se recomienda una bomba Diésel con tanque de reserva dimensionada según las normas y capaz de operar por 2 horas como equipo de reserva para el sistema de suministro de agua contra incendio.

Los hidrantes exteriores y todo el sistema contra incendio deberán ser diseñados según las normas y revisado con las autoridades competentes.

6.2 Edificio de control

Las instalaciones mecánicas del edificio de control incluyen la ventilación, sistema hidrosanitario y de protección contra incendio. El edificio estará ocupado por el personal de operaciones de la EBAR Canoas. El edificio deberá dotarse de estos sistemas diseñados para el uso adecuado de estos espacios.

Los materiales que se seleccionen para los ductos y tuberías deberán ser de larga vida. Los condensadores y evaporadores del equipo de aire acondicionado deben ser protegidos con una película fenólica horneada. (Esmaltado fenólico)

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

6.2.1 Ventilación del edificio de control

El sistema de ventilación y aire acondicionado debe ser dimensionado para cumplir con las normas vigentes. Se recomienda se suministren dos unidades de aire acondicionado separadas; una para cada cuarto eléctrico.

6.2.2 Sistema hidrosanitario del edificio de control

El sistema hidrosanitario debe ser dimensionado para cumplir con las normas vigentes incluyendo las áreas para el personal.

Una unidad de presión constante con tanque de presión asegura el suministro confiable de presión para las aplicaciones que usan agua potable. El tamaño final de la unidad debe ser diseñada para atender las necesidades de agua potable del edificio.

El tamaño preliminar de la unidad se estima debe contar con tres bombas presurizadoras de 7,5 hp cada una.

6.2.3 Sistema de protección contra incendio edificio de control

Las normas indican que toda edificación comercial o industrial debe contar con un sistema de protección contra incendio lo cual aplica para el edificio de Control. Se recomienda que el diseñador del sistema contra incendio se ponga en contacto con las autoridades competentes para buscar una excepción a la norma para este edificio especialmente en lo referente a los cuartos eléctricos.

6.3 Edificio eléctrico

Los sistemas mecánicos para el edificio eléctrico incluyen la ventilación, las redes hidrosanitarias y el sistema de protección contra incendios.

El grupo de ocupación del edificio según la norma es industrial y en él se instalarán los variadores de frecuencia (VFD) para controlar las bombas principales y los equipos eléctricos para el sistema de bombeo.

6.3.1 Ventilación del edificio eléctrico

El sistema de ventilación y aire acondicionado debe ser dimensionado para satisfacer las cargas de enfriamiento requeridas para atender el calor generado por los equipos eléctricos. Los sistemas eléctricos y equipos contenidos en el edificio son equipos de servicio crítico para el EBAR Canoas. Debe haber múltiples unidades de aire acondicionado, cada una dimensionada al 75% de la capacidad. Una alarma de sobrecalentamiento del espacio debe dispararse en el espacio mismo y en la estación de monitoreo en el edificio de control.

No se deben ubicar ductos de aire acondicionado o penetraciones en el techo sobre los equipos eléctricos para evitar exponer los equipos a goteos accidentales.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

6.3.2 Sistema hidrosanitario del edificio eléctrico

Se debe instalar una ducha lavaojos de seguridad para uso en caso de emergencia en la puerta de salida del cuarto de baterías.

6.3.3 Sistema de protección contra incendio edificio eléctrico

Las normas indican que toda edificación comercial o industrial debe contar con un sistema de protección contra incendio lo cual aplica para el edificio Eléctrico. Se recomienda que el diseñador del sistema contra incendio se ponga en contacto con las autoridades competentes para buscar una excepción a la norma para este edificio especialmente en lo referente a los cuartos eléctricos, con el objetivo de implementar un sistema seco como alternativa al sistema de agua potable que requiere la norma.

6.4 Estación de bombeo

Los equipos mecánicos para la estación de bombeo incluyen la ventilación, el sistema hidrosanitario y el sistema de protección contra incendios. Este edificio funciona como un pozo seco para las operaciones de bombeo de la planta principal de tratamiento. El cuarto de bombas es un espacio que está bajo el nivel del terreno y a cielo abierto

6.4.1 Ventilación del cuarto de bombeo

Según la norma NEC el cuarto de bombas requiere 6 cambios de aire por hora para ser un espacio desclasificado. (Ver NFPA 820 2016 Tabla 4.2.2 línea 17.a para pozos secos bajo el nivel del terreno). Debido al tamaño del pozo y por ser un espacio a cielo abierto bajo el nivel del terreno se recomienda que los cambios de aire se realcen utilizando extractores únicamente. El aire para la ventilación se debe tomar directamente del exterior.

Los extractores se deben instalar a nivel del terreno para facilitar las labores de mantenimiento. Se recomienda que la descarga de aire sea a través de una chimenea desfasada con la boca a 2,00 m sobre el nivel de la cubierta. Se deben usar monitores de continuidad de corriente para detectar daños en los ventiladores. La señal de fallo se debe enviar a la estación de monitoreo en el edificio de control.

El cuarto de bombas debe estar aislado del nivel de motores. Se deben instalar ventiladores axiales para transferir aire al nivel de motores. Los ductos deben atravesar el piso del nivel de motores para extracción de aire. Se deben usar monitores de continuidad de corriente para detectar daños en los ventiladores. La señal de fallo se debe enviar a la estación de monitoreo en el edificio de control.

Según la NFPA 820 para espacios sin clasificar las escaleras que bajan al cuarto de bombas y al nivel de motores deben tener seis cambios de aire. Se deben instalar ventiladores independientes en el techo de las escaleras con celosías de alivio descargando dentro del cuarto de bombas y ubicadas a intervalos regulares para asegurar el cambio completo del aire dentro de las escaleras.

Se deben usar monitores de continuidad de corriente para detectar daños en los ventiladores. La señal de fallo se debe enviar a la estación de monitoreo en el Edificio de control.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

6.4.2 Sistema hidrosanitario de la estación de bombeo

Suministrar las salidas de agua potable y no potable requeridas al igual que los desagües necesarios según el uso. Los desagües de piso deben conducirse a sumideros con bombas dúplex localizados en el nivel de bombeo. La descarga de los sumideros debe hacerse en la parte alta de las cámaras de succión.

Se deben instalar medidores de nivel de agua que envíen señal a la estación de monitoreo en el edificio de control, cuando el nivel de agua está muy alto.

6.4.3 Sistema de protección contra incendio de la estación de bombeo

Las normas indican que toda edificación comercial o industrial debe contar con un sistema de protección contra incendio lo cual aplica para la estación de bombeo. Se recomienda que el diseñador del sistema contra incendio se ponga en contacto con las autoridades competentes para buscar una excepción a la norma para este edificio especialmente en lo referente a los cuartos eléctricos, con el objetivo de implementar un sistema seco como alternativa al sistema de agua potable que requiere la norma.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

7. Diseño del Sistema de Control de Olores

En la EBAR Canoas se hace necesario tratar el aire viciado en tres áreas: el pozo de cribado, la estructura de repartición (donde la descarga de las bombas se conecta al sistema de conducción hacia la PTAR o río Bogotá) y en la estructura de descarga al río Bogotá. Este último sitio se considera porque existe la posibilidad de que los gases presentes en las aguas residuales sean liberados a causa de la caída y agitación de las aguas.

Como no existen datos de calidad de aire en el sistema de túneles interceptores; se determinó que el uso de sistemas físico-químicos es el sistema más conveniente y eficaz para el tratamiento de olores. El uso de filtros biológicos o sistemas químicos de purificación se habría considerado si se tuviesen los datos con la caracterización específica de los olores. Sin los parámetros específicos de los componentes de los olores, los sistemas de purificación biológica son difíciles de diseñar.

El sistema de purificación físico-químico se debe implementar inmediatamente. El tipo de tratamiento de olores en la EBAR Canoas se podría reconsiderar una vez que la futura PTAR Canoas este en operación y se tengan los datos de la caracterización de los olores.

7.1 Alternativas de control de olores

Para la EBAR Canoas se consideraron tres tipos de tratamiento de olores, dos de ellos sistemas físico-químicos. Los sistemas considerados fueron:

1. Dispersión directa a la atmosfera sin tratamiento.
2. Filtros de carbón granular activado
3. Camas de material impregnado (Alúmina activada impregnada con permanganato de potasio)

7.1.1 Dispersión directa a la atmosfera sin tratamiento

En algunos casos cuando existen grandes volúmenes de aire que contienen bajas concentraciones de olores estos se pueden ventilar directamente a la atmosfera usando una chimenea para dispersión. Para considerar esta opción, los modelos de dispersión deben demostrar que la columna de aire viciado puede ser efectivamente dispersada y diluida en la atmosfera sin alcanzar niveles molestos. Las ventajas y desventajas de esta aproximación se muestran a continuación:

Tabla 7-1
Dispersión Directa a la Atmosfera

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ■ Adecuado para grandes volúmenes de aire con pequeñas concentraciones de olores. ■ Rentable ■ Diseño mínimo del sistema de tratamiento ■ Baja inversión de capital 	<ul style="list-style-type: none"> ■ No es efectivo para volúmenes de aire con alta concentración de olores ■ Las condiciones atmosféricas pueden limitar la dispersión eficiente de la columna de olores. ■ En ciertas ocasiones puede no ser efectivo aliviando los olores

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

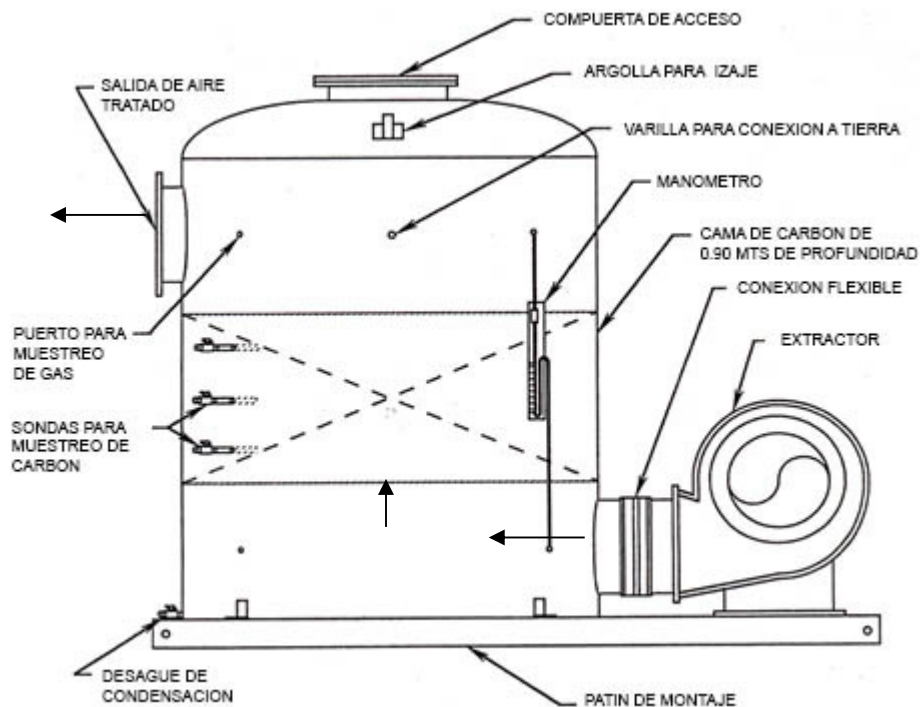
Basados en la experiencia general en estaciones de bombeo implementadas en otras plantas de tratamiento, es de esperarse que las concentraciones de olores en cualquiera de los tres sitios considerados para la EBAR Canoas no será bajo. Por lo tanto esta opción fue descartada.

7.1.2 Carbón Granular Activado (GAC)

Los sistemas de carbón granular activado son capaces de remover del aire altos niveles de sulfuro de hidrogeno. Sin embargo las concentraciones altas de sulfuro de hidrógeno agotan rápidamente la capacidad de absorción del carbón, haciendo necesario el remplazo periódico y probablemente frecuente del carbón.

Los sistemas de carbón granular activado tienen la capacidad para remover otra variedad de compuestos odoríficos como los compuestos orgánicos volátiles (VOC). Sin embargo las largas cadenas moleculares de estos compuestos limitan la capacidad de remoción del carbón. En muchos casos los equipos de carbón granular activado experimentan infiltración de los compuestos que generan los olores en los compuestos orgánicos volátiles sin perder su capacidad para remover el sulfuro de hidrogeno. Adicionalmente el carbón activado no ha demostrado la capacidad para remover amoniacio de las corrientes de aire. Un equipo de carbón activado granular se ilustra en la **Figura 7-1**.

Figura 7-1
Carbón Granular Activado (GAC)



Las ventajas y desventajas de los sistemas de carbón granular activado se muestran a continuación

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Tabla 7-2
Carbón Granular Activado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tecnología comprobada y bien posicionada ■ Nivel de control de olores alto y consistente ■ Elimina hidrogeno de sulfuro en bajas concentraciones ■ Ocupan poco espacio ■ Costos moderados de operación y mantenimiento (Mano de Obra) ■ Puede controlar oscilaciones en las concentraciones de entrada de los olores ■ Inicio inmediato 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Inversión de capital de moderada a alta ■ Costos de operación de moderados a altos (Consumo de energía) ■ Capacidad limitada para remover compuestos orgánicos volátiles (VOC) ■ Altos costos de reemplazo del carbón granular activado

7.1.3 Camas de material impregnado

Las camas de material impregnado utilizando alúmina impregnada con potasio de permanganato tienen alta capacidad para absorber y oxidar el sulfuro de hidrogeno y son también efectivas removiendo muchos compuestos orgánicos volátiles (VOC's). La configuración del sistema es muy similar a los de Carbón Granular Activado; sin embargo, debido a su alto costo este sistema no es efectivo para tratar grandes volúmenes de aire con olores.

Las camas de material impregnado han sido utilizadas para purificación secundaria en casos donde es importante remover todos los compuestos corrosivos del aire como en el suministro de aire a laboratorios o salas de computadores. Las ventajas y desventajas de esta aproximación se muestran a continuación:

Tabla 7-3
Camas de Material Impregnado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ■ Muy buena eliminación de los compuestos orgánicos volátiles VOC's ■ Ocupan poco espacio ■ Costos moderados de operación y mantenimiento (Mano de Obra) ■ Puede controlar oscilaciones en las concentraciones de entrada de los olores ■ Inicio inmediato 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Inversión de capital de moderada a alta ■ No es rentable para tratar grandes volúmenes de aire crudo y oloroso. ■ Costos de operación de moderados ■ Alto costo de reemplazo los materiales activos

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Recomendaciones

Se recomienda el uso de Carbón Granular Activado (GAC) o de Camas de Material Impregnado como sistemas para el tratamiento de olores en la EBAR Canoas

El ventilador para el aire viciado del pozo de cribado debe dimensionarse para dos cambios de aire por hora. Los ductos deben bajar hasta dos terceras partes de la altura del pozo con la toma de aire realizada a través de rejillas localizadas a nivel del terreno

En la estructura de repartición de caudales y en la estructura de descarga al río el aire viciado debe llevarse utilizando ductos hasta las unidades de tratamiento de olores. La unidad de tratamiento de olores para la estructura de repartición se debe construir a nivel del terreno y próxima a una vía. El sistema de tratamiento de olores par la estructura de descarga debe construirse encima de la estructura de caída prevista inmediatamente aguas arriba de las tuberías de descarga.

Los ventiladores deben ser en fibra de vidrio y contruidos bajo la norma AMCA spark A para ambientes peligrosos. Los ductos enterrados deben tener sumideros al final de los tramos verticales con bombas o desagües para evacuar el agua de condensación que se acumule en los ductos.

Todo los ductos del sistema de control de olores deben ser en fibra de vidrio.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

8. Diseño Eléctrico

8.1 Diseño de la EBAR Canoas

El diseño eléctrico de la EBAR Canoas tendrá en cuenta lo siguiente:

- Seguridad
- Fiabilidad
- Simplicidad de la operación
- Regulación de voltaje
- Mantenimiento
- Flexibilidad
- Costo inicial

Los sistemas eléctricos y equipos consistirán de lo siguiente:

- Subestación al aire libre de 115 kV
- Transformadores de 115000 – 13200Y/7620 V
- Interruptor principal de 13,2 kV
- Unidades de VFD de voltaje medio
- Motores de bombas principales de 4160 V
- Transformadores de 13200 – 480Y/277 V
- Distribución de 480 V
- Centros de control de motores de 480 V
- Interruptores de transferencia automática de 480 V
- Generador diésel de 480 V
- Tableros de 480 V
- Sistema de 208Y/120 V
- Puesta a tierra y sistema de protección para rayos
- Cables de 15 kV y 600V
- Cable de instrumentos y control
- Sistemas de canalización
- Sistemas de iluminación
- Sistema de alarma de incendio

8.2 Normas y códigos aplicables

Las normas y prácticas recomendadas de las siguientes organizaciones y organismos reguladores apropiados regirán el diseño, construcción, instalación, inspección y pruebas de trabajo del equipo eléctrico y materiales:

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Código eléctrico colombiano (NTC 2050)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- Estándares de Underwriters Laboratories (UL)
- El Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, Inc. (IEEE por sus siglas en inglés)
- Asociación nacional de fabricantes eléctricos (NEMA, por sus siglas en inglés)
- Código nacional de seguridad eléctrica (NESC, por sus siglas en inglés)

8.3 Diseño de eficiencia de energía

El diseño incorporará el uso de equipos eficientes en consumo de energía para reducir costos de operación eléctricos. Productos de consumo eficiente de energía incluyen:

- Motores de consumo eficiente de energía
- Transformadores de temperatura baja
- Accesorios de iluminación LED

8.4 Clasificación de la áreas

Las zonas afectadas por este proyecto incluirán las siguientes clasificaciones:

- Áreas polvorientas
- Áreas húmedas y corrosivas
- Áreas al aire libre
- Áreas bajo tierra
- Áreas peligrosas, Clase I, División 1, Grupo D
- Áreas peligrosos, Clase I, División 2, Grupo D

Material y equipo para áreas con presencia de polvo cumplirán requisitos de la NEMA 12. Materiales y equipos en áreas húmedas, corrosivas, al aire libre y por debajo de la tierra cumplirán requisitos NEMA 4 X. Se proporcionará recubrimientos de PVC. Zonas peligrosas utilizarán la clasificación Clase I, División 1 y División 2, Grupo D para construcción eléctrica con conductos de PVC recubierto y accesorios de sellado.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

8.5 Estudio de cargas

Tabla 8-1
Cargas eléctricas

Descripción	Carga conectada (kVA)	Carga de Operación (kVA)	Carga de emergencia (kVA)
Bomba principal P-1	4750	4536	--
Bomba principal P-2	4750	4536	--
Bomba principal P-3	4750	4536	--
Bomba principal P-4	4750	4536	--
Bomba principal P-5	4750	4536	--
Bomba principal P-6	4750	--	--
Equipo de cribado	10	10	10
Puente grúa	75	50	50
HVAC	350	260	60
Iluminación	5	2	--
Iluminación de emergencia	2	2	2
Varios	258	198	98
Total	29200	23200	220

8.6 Criterios de diseño

8.6.1 Subestación al aire libre 115 kV

La subestación eléctrica al aire libre será diseñada y construida conforme a los requisitos de CODENSA S.A. E.S.P. El lado principal de la subestación utilizará una configuración de un interruptor y medio. Los interruptores de circuito serán tanque vivo de tipo SF6.

Los transformadores reductores serán de tipo subestación llena de aceite con 650 kV BIL y el 10% de impedancia. El relé diferencial del transformador se proporcionará utilizando relés digitales grado de utilidad fabricados por Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). El control de energía se proveerá de un sistema de estación de baterías de 125 VDC.

Una provisión de alimentador de 115 kV se instalará para la futura PTAR Canoas.

8.6.2 Interruptores principales de 13,2 kV

El interruptor principal será tipo enchapado en metal con interruptores de circuito de sacado de vacío (draw-out). El interruptor se configurará en un arreglo de interruptor de circuito principal-de cierre

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

manual-principal. Los interruptores principal y manual serán operados eléctricamente y tendrá la capacidad de ser operados remotamente.

Los interruptores de circuito estarán equipados con protección basada en microprocesador y sistema de monitoreo de ser necesario. El sistema de medición y protección será listado con estándares UL, según la norma ANSI C37.90 y será adecuado para montaje en el cubículo del interruptor de circuito.

Se proporcionará un mecanismo de inserción/extracción remoto para los interruptores del tablero de potencia. Este dispositivo permitirá la inserción/extracción de interruptores de extracción de circuito utilizando un mecanismo impulsado con un motor que puede ser controlado remotamente. El operador no tendrá que estar frente al interruptor, lo que reduce la posibilidad de lesiones en caso de un incidente de arco eléctrico.

El transformador 13200 – 480Y/277 V estará lleno de aceite, construido sobre una plataforma con 90 kV BIL y 5,75% de impedancia. En condiciones normales, cada transformador se cargará aproximadamente el 50 por ciento de su calificación. Asimismo, cada transformador proporcionará redundancia del 100 por ciento para el otro transformador. Los transformadores usan aislamiento Clase H con 220 grados C de clasificación. El aumento de la temperatura de bobina no excederá 80 grados C sobre un ambiente a plena carga de 40 grados C.

8.6.3 Variadores de frecuencia para las bombas principales

Las unidades utilizarán un diseño de 18 o 24 pulsos, o un extremo delantero activo, para la mitigación de armónicos. Cada unidad incluirá un transformador de aislamiento de entrada de 13200 – 4160Y/2400 V, tipo seco, y un contactor de salida de 5 kV. Las unidades serán enfriadas por aire y se instalará en una habitación con aire acondicionado.

8.6.4 Motores de las bombas principales de 4160 V

Los motores para las seis bombas principales serán de 4160 V, tipo inducción, en cajas protectoras contra la intemperie tipo WPII. La protección del motor incluye la monitorización de la temperatura de bobinado, temperatura de cojinetes y vibración del motor. Las señales de monitoreo se enviarán al sistema de monitoreo en la Sala de Control.

8.6.5 Interruptor de 480 V

El tablero interruptor de 480-volt será construido de fábrica tipo cerrado con protección metálica, con frente muerto y autosoportado. El interruptor consistirá en un conjunto de estructura fija removible, con interruptores disyuntores de estado sólido de tipo de energía almacenada, transformadores de corriente y potencia, interruptores de control y prueba, instrumentos, equipamiento necesario y accesorios.

Los interruptores se configurarán en un arreglo de interruptor de circuito principal-de cierre manual-principal. Los interruptores principal y manual serán operados eléctricamente y tendrá la capacidad de ser operados remotamente.

El interruptor principal de circuito será dimensionarán para llevar la carga plena de calificación del transformador. Los interruptores automáticos principal y manual serán de clasificación nominal de 480

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

voltios, 3 polos, interruptores de circuito de aire operados manualmente de clase de 600 voltios teniendo 65.000 rms amperios simétricos de interrupción nominal. Los interruptores de circuito alimentador tendrán calificaciones similares.

Los interruptores automáticos estarán equipados con protección basada en microprocesador y monitoreo de sistemas según sea necesario. El sistema de medición y protección será listado con estándar UL, según la norma ANSI C37.90 y será adecuado para montaje en el cubículo del interruptor automático. Los interruptores automáticos principales y manuales serán con enclave entrelazado para evitar el cierre simultáneo de más de dos interruptores.

Se proporcionará un mecanismo de inserción/extracción remoto para los interruptores del tablero de potencia. Este dispositivo permitirá la inserción/extracción de interruptores de extracción de circuito utilizando un mecanismo impulsado con un motor que puede ser controlado remotamente. El operador no tendrá que estar frente al interruptor, lo que reduce la posibilidad de lesiones en caso de un incidente de arco eléctrico.

8.6.6 Centro de control de motores de 480 V

Los centros de control de motores serán construidos e instalados de acuerdo con norma IC-S2 de NEMA y la norma UL 845. Cada centro de control de motores tendrá etiquetas UL para toda la estructura y para cada sección vertical.

Centros de control de motores serán de 480V, 3 hilos, 3 fases, 60 Hertz, construcción de estructura tipo NEMA 12 principal-de cierre manual-principal totalmente cerrado, con frente muerto, con empaquetaduras, auto-soportantes e independientes. Se proporcionará un bus horizontal principal a través de cada estructura clasificada en 1000 amperios por 6,35 cm² de bus. Los buses principales serán barras de cobre estañadas clasificadas y dimensionadas de acuerdo con aumentos estándar de temperatura según NEMA para esta clase de equipo basado en una temperatura ambiente de 40 grados C y humedad de hasta un 90% sin condensación. Todos los trabajos de buses se apoyarán adecuadamente para soportar la corriente de corto circuito máxima disponible del sistema. Cables de cobre enterrados sin aislamiento con agarradera para conexión a la puesta a tierra de la planta se instalará continuamente a través de la parte inferior de cada centro de control del motor.

Cada centro de control del motor será NEMA Clase II, tipo B, montado en fábrica, incluyendo bloqueo interno y cableado del controlador. Cada centro de control del motor se configurará en un arreglo principal-de cierre manual-principal con cada interruptor principal alimentado desde un interruptor de circuito alimentador en el tablero de 480V. Un UL 1449 listado Tipo 2, 250kA por modo, con dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD por sus siglas en inglés), se instalará en cada interruptor para proteger el centro de control de motores de transitorios del sistema de distribución de energía. Los tamaños de cable de conductor serán de un mínimo de 12 AWG.

Los arrancadores de motor cerrados en compartimentos individuales. Cada arrancador estará equipado con transformador de control de potencia individual para derivar los 120V para el circuito de la unidad de control. El protector de circuito del motor será tripolar con unidad magnética de disparo ajustable para activar una barra común de viaje para abrir todos los polos.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Los dispositivos de control serán de tipo industrial, de alta resistente, con cierre de aceite, dispuesto para montaje en panel empotrado con placas de leyenda. La clasificación de contactos será mínimo de 10 amperios. Las luces de indicación serán de baja tensión LED tipo presión a prueba con transformadores integrados para operación a 120V, 60 Hz AC de voltaje de control de circuito.

Todos los interruptores del circuito alimentador serán de 2 o 3 polos, con caja moldeada, automáticos, tipo magnético térmica con mínima tensión nominal de 600V. La capacidad de interrupción nominal en 480V será adecuada para interrumpir la corriente de corto circuito máxima disponible del sistema.

Los interruptores principales y manuales serán de 3 polos, tipo caja moldeada equipada con monitoreo basado en microprocesador y dispositivos de monitoreo y protección e igual corriente de falla a soportar la capacidad de los interruptores del alimentador. Bloqueos de clave se proporcionará para prevenir emparejamiento de alimentadores de entrada.

Todos los transformadores de corriente en los centros de control de motores serán de tipo seco, con aislamiento totalmente coordinado para la clase de aislamiento de 600 V. Los transformadores de potencial y control serán de 480 a 120V.

El tiempo transcurrido en metros será tipo no reinicio, diseñado para funcionamiento en 120V, 60 Hertz con registros de hasta 9999,9 horas. Relés de bloqueo y control será de clase 600V de calidad de herramienta de máquina, con contactos convertibles. Relés de tiempo será dos polos, doble tiro con rangos de distribución en operación ON/DELAY, u OFF/DELAY como sea necesario.

Conectores y terminales de cerrado tipo de compresión sin soldadora, adecuados para conductores de cobre, se proveerán para terminación de cables.

Estaciones de control remoto será de tipo de alta resistencia, con sellos de aceite, que consisten en botones de contacto, luces de indicación, y conmutadores de selección con contactos de plata de doble ruptura instalados con clasificación NEMA en recintos cerrados

8.6.7 Interruptores de transferencia automática de 480 V

Los interruptores de transferencia automática se proporcionarán para transferencia automática de la potencia en el caso de falla de la fuente primaria de energía. Los interruptores de transferencia automática se clasificarán para 600V AC, conveniente para la operación en 480 voltios, 3-fases, 3-cables, 60-Hertz y serán capaces de transportar 100 por ciento de la corriente listada.

Los interruptores de transferencia automática serán unidades montadas completamente en fábrica y proporcionan controles de estado sólidos. Todas las fases de ambas fuentes de energía se proporcionarán con sensores de voltaje bajo para el monitoreo continuo y control de transferencia de retardo de tiempo ajustable.

8.6.8 Generador diésel de 480 V

El generador de reserva será con motor a diésel. Será instalado en una estructura cerrada con protección a la intemperie, con elementos para atenuación de sonido, con un tanque de combustible sub superficial. Los fines principales del generador de reserva son para seguridad de la vida del personal (ventilador de

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

suministro de aire en las escaleras de la sala de bombas y otros lugares críticos) y proporcionar energía para el equipo de cribas en caso de corte de energía inesperado.

El tanque de combustible se dimensionará para 48 horas de funcionamiento del grupo electrógeno a plena carga. El tanque de combustible utilizará la construcción de doble pared y se incluyen detección de seguimiento y pérdida de nivel de combustible.

8.6.9 Paneles de distribución de energía y paneles de iluminación

Los paneles de distribución de energía serán clasificados para 600 V y conveniente para la operación en 480V, 3-hilos, 3 fases, 60 Hertz. Todos los paneles de distribución se ajustan a NEMA PB 1 y UL 67.

Paneles de iluminación serán clasificados 208Y/120 V, 3 fases, 4 hilos. Los paneles de iluminación serán de frente muerto con interruptores automáticos, magnéticos térmicos, libre y atornillable interruptores automáticos. Los elementos de disparo se clasificarán a 15 amperios, o según lo requerido por la carga servida.

Los tableros serán montados en pared con clasificación NEMA para estructuras cerradas de acuerdo a su designación de área interruptores principales y sus ramales según sea necesario. Un dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD) listado UL 1449, tipo 2, 80 kA por modo, se instalará en el interruptor principal para proteger el tablero de transientes de sistema de distribución de energía.

Transformadores tipo seco serán diseñados para 480V, 3 fases, 60 Hertz para conexión primaria en delta y 208/120V, 3 fases, 4 hilos para conexiones a tierra secundarias en yee. Todos los transformadores de iluminación tendrá cuatro llaves a 2,5 por ciento completo capacidad en la línea primaria, dos arriba y dos abajo del voltaje de clasificación. Las bobinas del transformador serán encapsuladas, de cobre, aislamiento de clase H y se montarán en estructuras cerradas de hojas de metal adecuadas para montaje en piso o pared.

8.6.10 Motores eléctricos

Los motores eléctricos serán de alta eficiencia en energía, de tipo de alto factor de energía. Los motores se diseñarán para tener las características de torque de salida y velocidad convenientes para operar continuamente en la totalidad del rango de carga, sin cargar el motor por encima de la placa de capacidad determinada. En general, las clasificaciones de motor se basarán en diseño NEMA B con aislamiento resistente a la humedad NEMA clase H y NEMA Clase B, 80 grados C, para aumento de la temperatura por encima de una temperatura ambiente de 40 grados centígrados.

El control del motor será de 120V obtenidos de transformadores de control de potencia individual de 480/120V en el compartimiento de arranque asociado.

Todos los motores en áreas no peligrosas, secas, limpias y bien ventiladas será tipo abierto a prueba de goteo o protegidos contra la intemperie como sea necesario. Motores al aire libre, situados por debajo del nivel de terreno y en lugares mojados, húmedos, polvorientos o corrosivos será totalmente cerrados, enfriados por ventilador, de servicio en molinos y químicos con tapón de drenaje removible.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Los motores en áreas clasificadas se especificarán para ser apropiados para la clasificación de área apropiada. Los motores de bombas sumergibles serán completamente sellados con cable flexible sumergible de control y energía instalados en fábrica.

Motores al aire libre de carga nominal de 5 HP y mayores se proveerán con calentadores de espacio para mantener la temperatura del motor 5°C a 10°C sobre la temperatura ambiente para evitar la formación de condensación cuando los motores no están en operación. Los calentadores se diseñarán para operar a 120 V en monofásico.

8.6.11 Sistema de iluminación

Todas nuevas luminarias será LED listados tipo UL. Los sensores controlará la iluminación general de interiores, excepto en espacios de alto riesgo tales como salas eléctricas y áreas de proceso.

El alumbrado de salida y emergencia consistirá en luminarias energizadas con paneles de iluminación de emergencia. Se instalarán sistemas para permitir la salida segura de las estructuras en caso de pérdida de energía normal.

En general, niveles de iluminación mantenidos para las diferentes zonas interiores será como sigue:

- Sala de control: 500
- Corredores: 100
- Sala eléctrica: 500
- Sala de mecánica: 300
- Áreas de equipo de proceso: 300
- Escaleras: 200

8.6.12 Ductos, cableado y sistemas de puesta a tierra

Se utilizarán conductos de PVC Cédula 40 para ductos subterráneos e instalaciones interiores. Se utilizarán conductos de acero galvanizado revestido de PVC para uso al aire libre, a prueba de explosiones y en lugares corrosivos. El conducto revestido de acero deberá tener un recubrimiento exterior de PVC de 40 mil, 2 mil de recubrimiento interior de uretano y una capa de uretano transparente sobre los hilos de rosca galvanizados.

Uniones selladas de conductos a prueba de explosiones se proporcionará para todos los conductos dentro y a la salida de un área designada como Clase I, División 1, Grupo D o Clase I, División 2, lugares peligrosos Grupo D. El tamaño mínimo de conducto será de 20 mm. Los conductos se colocarán expuestos excepto en oficina y otras áreas con acabado arquitectónico donde pueden ocultarse.

Las cajas de terminales, empalmes y de tirón se instalarán como sean necesarias. Las cajas de terminal, empalmes y tirón montadas en la superficie serán sostenidas con orejetas de montaje, bujes roscados y cubiertas con empaques. Las cajas recubiertas de PVC se utilizarán en las áreas que requieren conductos de PVC cubiertos.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

Excepto para la iluminación del sitio, los conductos enterrados tendrán una cubierta de encierre de concreto. Los ductos serán de acero reforzado y con pendiente hacia afuera de los edificios. Los pozos de inspección estarán ubicados para permitir un acceso fácil a los conductores del alimentador.

Los cables y alambres completos se proveerán para conectar todos los componentes de equipos y controles de todos los sistemas. Todos los cables estarán de acuerdo con las normas IEEE y NEMA aplicables, cumpliendo los requisitos de la NTC 2050 y listados UL.

Los cables de media tensión 15 kV consistirán de conductores de cobre trenzados, pantalla del conductor, 5,59 mm de aislamiento EPR base, pantalla de aislamiento, pantalla metálica de puesta a tierra, chaqueta exterior y aplicable para el uso en lugares húmedos y secos donde se instale el conducto.

El aislamiento para conductores de cobre de 600V será tipo THHN/THWN. Todos los cables de 600V para potencia, control, puesta a tierra e iluminación serán de conductor de cobre estirado o recocido con una conductividad mínima 98 por ciento, cumpliendo los requerimientos del ASTM B3. Todos los cables serán trenzados excepto N° 12 y N° 10 AWG que puede ser sólidos para accesorios de iluminación y cableado de salida de conveniencia. El tamaño mínimo del conductor de poder, control e iluminación será no. 12 AWG. Circuitos de baja tensión serán conectados con conductores aislados de 600V, dimensionados para la carga actual a servir.

Dos conductores y multi-par trenzado y cables blindados para la instrumentación serán alambre de cobre no. 16 AWG trenzado con aislamiento de 600V. El aislamiento del conductor será polietileno con cinta metalizada y alambre de drenaje de cobre estañado. El revestimiento externo del cable será de cloruro de polivinilo.

Todos los alambres y cables serán etiquetados con un número de identificación y código de color en cada terminación final y en cada punto de conexión en cajas de empalme.

Un sistema completo de puesta a tierra de cable de cobre desnudo y barras de acero revestido de cobre envolverán el nuevo edificio eléctrico. Todos los edificios y redes a tierra de la subestación primaria estarán interconectados. Ductos de hormigón cerrados incluirán un conductor de tierra de cobre pelado encajonado para la unión de la red de tierra. El equipo eléctrico y sistema de cableado a tierra se hará con los requisitos de la NTC 2050 y las prácticas recomendadas de la IEEE.

El sistema de puesta a tierra incluye todos los nuevos equipos eléctricos. Todas las partes metálicas que no llevan corriente del sistema de cableado eléctrico deberá estar conectado a tierra. Motores, luminarias y cajas de control deberán ser conectados a tierra mediante cables de cobre trenzado aislados de 600V instalados en el sistema de conductos. El cable será atornillado a la caja terminal del equipo y al bus de tierra de la fuente de energía asociado.

Los conductores de puesta a tierra van en conductos con conductores de circuito serán de cable trenzado de cobre con aislamiento de color verde de 600V. Los conductores de puesta a tierra se dimensionarán por la NTC 2050.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

8.6.13 Sistema de protección de pararrayos

Un sistema completo de protección de pararrayos será provisto siempre para los nuevos edificios y cubiertas usando materiales de protección pararrayos Clase I. En general, el sistema de protección pararrayos cumplirá con el estándar NFPA 780 para la instalación de sistemas de protección de rayos. Los conductores del sistema de pararrayos serán fabricados de cobre de un grado adecuado para el trabajo eléctrico comercial y generalmente designados como el 95 por ciento de conducción cuando recocido, con un estañado para protección contra la corrosión.

Dispositivos terminales aéreos de golpeo de rayos serán provistos para todas las partes de las estructuras que pueden dañarse por golpes directos de rayos. Los dispositivos terminales aéreos de golpeo de rayos se colocarán a intervalos dictados por el diseño aplicable para la estructura. Los terminales aéreos serán de acero inoxidable tipo 316.

Los conductores inferiores se instalarán en conductos de PVC de 25 mm. Los conductos serán cerrados en las paredes exteriores. La distancia promedio entre los conductores no excederá 30 m.

Los electrodos de tierra serán barras de acero de 3m de largo y 20 mm de diámetro revestido de cobre. Estarán interconectados a todos los sistemas de puesta a tierra para proporcionar una potencial de conexión a tierra común.

8.6.14 Dispositivos de cableado

Los dispositivos de cableado serán de grado de especificación en tipo, color, configuración NEMA, y potencia eléctrica para los servicios indicados.

Los interruptores de palanca se clasificaron en 20 amperios, 120-277V AC conforme al estándar 20 UL. Interruptores serán de polos simples o múltiples con una vía, tres vías o configuración de cuatro vías como se indica.

Los receptáculos de conveniencia serán listados UL. Los receptáculos dúplex se clasificaron en 20 amperios, 120 voltios AC, 2 polos, 3 hilos.

Los interruptores de uso especial, tomacorrientes y enchufes se utilizarán cuando se requiera para la aplicación.

8.6.15 Alarmas contra incendios y sistema de riego

Un sistema zonificado de alarmas de incendio será provisto siempre para todos los edificios. Detectores de humo, detectores de calor, estaciones y alarmas audiovisuales estará ubicados a lo largo de la zona en construcción e identificados por zonas. El sistema de riego se incorporará dentro del sistema general de alarmas contra incendio. El sistema de alarmas contra incendio listado con estándar UL estarán conforme a las últimas ediciones de la NTC 2050 y la NFPA.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

9. Diseño de Instrumentación y Control

Esta sección describe la instrumentación general y aspectos de control del proyecto EBAR Canoas.

9.1 Definiciones

Tabla 9-1
Definiciones de Instrumentación y Control

Abreviatura	Explicación
E-STOP	Parada de emergencia (interruptor)
HMI	Interfaz máquina - humano (estación de trabajo del operador o panel de OIT)
I/O	Entrada/salida
LCS	Estación de Control local (ubicado en cerca de un equipo controlado)
LOR	Local/apagado/control remoto (conmutador)
PLC	Controlador lógico programable
PTZ	Pan/Tilt/Zoom (cámara de vídeo digital)
OIT	Terminal de interfaz de operador (típicamente montado en la parte delantera del panel)
UPS	Fuente de alimentación ininterrumpida
SCADA	Control y sistema de adquisición de datos
VFD	Accionamiento de frecuencia variable

9.2 Sistema de control de la estación de bombeo

Para la EBAR Canoas el sistema de control utilizará un hardware controlador de lógica programable (PLC). Habrá un (1) nuevo PLC: PLC-PS que se encuentra en el nuevo edificio de Control. El PLC-PS supervisará el equipo de proceso y ejecutar los comandos operacionales emitidos por los operadores de la estación de bombeo a través de la terminal de PLC montado en el panel HMI o en la estación de trabajo SCADA cuando el equipo controlado está en modo automático o remoto. La estación de trabajo SCADA de la estación de bombeo no estará operativa hasta que se construya la PTAR Canoas y el sistema SCADA sea puesto en servicio. Control local, principalmente para el mantenimiento, entrenamiento y uso para pruebas estará disponible en el equipo.

9.2.1 Controlador de Lógica Programable (PLC)

El nuevo PLC será un PLC ControlLogix de Allen-Bradley e incorporará la última tecnología disponible del sistema. Módulos Analógicas y digitales I/O se proveerán para interfaces de cableado con equipo de procesos. Módulos de comunicación serán proporcionados para interfaces datalink al paquete de control del sistema PLC, VFDs para las bombas así como para la futura red de SCADA de la PTAR Canoas. Fuentes de alimentación redundantes se entregará para mayor fiabilidad. Tipos de señales de I/O del PLC será como sigue:

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Entradas digitales (DI): Contacto seco en campo con alimentación de potencia de 120 VAC o con fuente de 24 VDC en el panel PLC
- Salidas digitales (DO): 120 VCA o salidas 24 VDC activando relés de interposición en el panel PLC para eliminar la posibilidad de voltajes extraños en los módulos de I/O del PLC. Contactos relés de interposición clasificado para 10A a 120VAC (min). Control de voltaje para las salidas digitales aisladas (interponiendo los contactos del relé) que proviene del aparato de entrega como un regulador del motor.
- Entradas analógicas (AI): 4-20 mADC en tarjetas de entrada aisladas.
- Salida analógica (AO): 4-20 mADC en 24 VDC a 550 ohmios, alimentado desde el módulo de salida analógica del PLC

Una pequeña unidad de UPS se ubicará dentro del panel PLC-PS para brindar alimentación de respaldo a las cargas de sistema de control crítico durante apagones de utilidad. El respaldo de batería de UPS tendrá capacidad suficiente para energizar el sistema durante 20 minutos (mínimos) después de un apagón cuando el UPS está completamente cargado. La UPS estará configurada para permitir monitoreo del PLC del estado y disponibilidad de poder del UPS. En caso de falla del UPS, la alimentación de la UPS será reconducida manualmente mediante un interruptor de transferencia.

9.2.2 Interfaz Humano - Máquina (HMI)

Una terminal HMI Allen-Bradley PanelView Plus 7 será montada en el panel y se incorporará la última tecnología disponible del sistema. La pantalla táctil del terminal HMI permitirá a los operadores controlar el equipo de la estación de bombeo en modo automático/remoto.

Como el PLC-PS se une a la futura red SCADA de la PTAR Canoas vía el panel de conexión de fibra óptica ubicado en la sala de Control, monitoreo y control remoto del equipo de la estación de bombeo estará disponible en las estaciones de trabajo SCADA HMI una vez que el sistema SCADA de la PTAR esté en pleno funcionamiento.

9.2.3 Paneles de control

El nuevo panel PLC-PS albergará un PLC, el terminal HMI y el equipo de red requerido. El panel PLC-PS estará ubicado dentro del nuevo edificio de Control y se comunicará con los siguientes paneles de control de equipos:

- Panel de criba mecánica (SCR) (proporcionado por Screen MFR)
- Panel VFD P-1
- Panel VFD P-2
- Panel VFD P-3
- Panel VFD P-4
- Panel VFD P-5
- Panel VFD P-6
- Generador de reserva

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Panel de control de monitoreo de aire (suministrado por el sistema de monitoreo de aire MFR.)
- Panel de control de bomba de sumidero (proporcionada por bomba de sumidero Mfr.)
- Válvulas de cono de bomba principal
- Compuertas de succión de la bomba principal
- Compuertas de cribas
- Compuertas de pozo de succión

Las interfaces de panel de control serán a través de enlaces de comunicación Ethernet/IP o señales cableadas como se muestra en los planos.

La filosofía de configuración y control del sistema de control varía según el área de proceso y generalmente consiste en los siguientes componentes:

- Dispositivos de control manual local en el motor
- Selección de control manual/automático en uno o más lugares:
 - Selector Manual-Apagado-Automático en el MCC.
 - Interruptor selector Local-Apagado-Remoto en el panel de control local.
 - Selector Manual-Apagado-Automático (o similar) en el panel de control local o VFD.
- PLC y HMI para mando manual y automático.
 - Mando manual de control del equipo a través del HMI basado en comandos de operador
 - Control automático del equipo basado en ingreso de puntos de referencia por operador y medición de las condiciones de proceso.

Dispositivos de Panel de Control: Luces indicadores piloto. Se utilizarán los siguientes códigos de color:

- Equipo apagado = verde
- Válvula cerrada = verde
- Apertura de la válvula = rojo
- Equipos en operación = rojo
- Alarma = rojo
- Encendido = negro
- Detener = rojo
- Parada de emergencia = Botón de cabeza de Empuje - Tirón (rojo)
- Advertencia = ámbar
- Condición = azul
- Potencia = blanco

9.2.4 Instrumentación

Para el proyecto se proporcionará la siguiente instrumentación:

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Instrumentación de nivel
 - Transductores/transmisores de ultrasonido para medir el nivel de aguas arriba y aguas abajo de las cribas mecánicas (proporcionado por el proveedor de las cribas)
 - Interruptores de nivel de flotador
 - Alarma de nivel superior en las cribas mecánicas (proporcionado por el proveedor de la pantalla)
 - Alarma de nivel alto de la cámara de succión
 - Alarma de inundación en la cámara del medidor de flujo.
 - Transmisores de nivel de radar
 - Niveles de la cámara de succión de las bombas
 - Nivel en la cámara
- Instrumentación de presión
 - Transmisores de presión equipados con sellos de diafragma para medición de presión de descarga de las bombas
- Instrumentación de flujo
 - Medidores de flujo magnéticos para la medición de las bombas de descarga flujos
- Instrumentación de temperatura
 - Cojinetes de bombas y bobina de motor y sensores de temperatura (suministrados por el proveedor de la bomba/motor)
- Instrumentos de vibración
 - Sensores de vibración de bomba y el motor (suministrados por el proveedor de la bomba/motor)
- Instrumentación de control de aire
 - Sensores de H₂S, CO₂, CH₄ y O₂ (suministrados por el proveedor de sistemas de monitoreo de aire)
 - Transmisores de H₂S, CO₂, CH₄ y O₂ (suministrados por el proveedor de sistemas de monitoreo de aire)

Transmisores de la red de telecomunicaciones serial de 2 hilos serán alimentados de fuentes de poder independientes de 24 VDC en el panel PLC. Transmisores de la red de telecomunicaciones serial de 4 hilos transmisores serán alimentados (campo) con 120 VAC. La energía de alimentación para transmisores se distribuirá desde paneles de iluminación local.

9.2.5 SCADA

La EBAR Canoas contendrá el hardware y software necesario para una interfaz a futuro con el sistema SCADA de la PTAR Canoas. Una estación de trabajo SCADA será suministrada e instalada en la sala de control del nuevo edificio de control de la estación de bombeo. La estación de trabajo se conectará a un panel de conexión de fibra óptica de la que se proporcionará enlace redundante de fibra óptica a los interruptores de red futura SCADA. La conexión "uplink" para SCADA transmitirá y recibirá datos a velocidades de 1GB/s.

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

9.2.6 Filosofía de control

La filosofía de control recomendada incluye control local del equipo para el mantenimiento o uso de emergencia y mando manual y automático del HMI para un uso normal.

- **Control local:** Todos los equipos tendrán capacidad de control manual local en o cerca del equipo. Equipos que pueden ser controlados remotamente por el PLC contará con un selector interruptor Local-Off-Remoto en el equipo para seleccionar la ubicación del control. Si el selector está en la posición Local, se activa el control manual local, y se desactivará el control remoto del PLC/HMI.
- **Control remoto:** Cuando el selector Local-Off-Remoto está en la posición Remoto, se activará el control PLC y se deshabilitará el control manual local. El PLC controla el equipo en cualquiera de los dos posiciones de operación, en remoto manual o remoto automático, seleccionado en el HMI.
- **Mando Remoto Manual:** El modo de control manual remoto requiere acción del operador en el HMI para cambiar el estado operativo del equipo.
- **Mando automático:** El control automático remoto del PLC permite al PLC el control de los equipos en base a puntos de ajuste especificados por el operador y los valores de medición.

9.3 Descripción de controles

9.3.1 Área de pozo de cribado

Cribas Mecánicas

Tres (3) cribas mecánicas (SCR) se incluirán en el pozo de cribado de la estación de bombeo para hacer el cribado del afluente de aguas residuales y proteger las bombas de sólidos grandes. La criba contará con un Panel de Control de Cribas con base en el PLC y una Estación de Control Local (LCS) situado al aire libre al nivel de las cribas.

Durante el funcionamiento normal las cribas funcionarán en modo automático y controlado por el PLC de cribado. En operación normal, las cribas se llamarán para iniciar y detener la operación basado en el diferencial de niveles a través de las cribas. La operación y control manual de las cribas puede realizarse en el LCS de cada criba.

Ya que cada PLC de las cribas se une al PLC-PS de la EBAR Canoas, todo control y capacidades de monitoreo de los PLC de las cribas estarán disponibles en el SCADA de la PTAR Canoas en el futuro.

Un interruptor selector de Local/Off/Remoto (LOR) en el LCS de las cribas seleccionará el modo de funcionamiento de cada criba. Cuando el LCS LOR está en la posición "REMOTO", la criba será controlada por el panel PLC de la pantalla. En la pantalla terminal del panel HMI, el operador podrá seleccionar el modo "MANUAL REMOTO" o "AUTOMÁTICO REMOTO" de operación. En "MANUAL REMOTO", el operador controla la operación de la criba desde el HMI terminal. En "REMOTO AUTOMÁTICO", las cribas se controlan automáticamente en el "Modo de Nivel Diferencial" o el "Modo de Ciclo de Tiempo".

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

En "Modo de Nivel Diferencial" (funcionamiento normal), se controlarán las cribas en base al nivel diferencial a través de las cribas que se mide por transductores ultrasónicos de nivel. Cuando el nivel diferencial sube por encima de un punto de referencia alto predeterminado, la pantalla PLC comenzará la pantalla del ciclo de operaciones. Cuando el nivel diferencial cae por debajo de un valor deseado bajo predeterminado, el PLC de la criba parará el ciclo de operaciones. El nivel diferencial calculado, junto con los niveles aguas arriba y aguas abajo serán monitoreados continuamente por el PLC de las cribas y aparece en el panel del terminal HMI.

En "Modo de Ciclo de Tiempo", se controlará las cribas basado en intervalos de tiempo. Los intervalos de tiempo se establecerán por los operadores.

Se proveerá un interruptor de flotador de nivel alto aguas arriba de cada criba mecánica. Al recibir la alarma de nivel alto de agua, la pantalla PLC anula el modo de temporizador o el modo de nivel diferencial y la pantalla funciona continuamente hasta que se desactive la alarma en nivel descendente.

Cuando la pantalla mecánica LOR está en la posición "LOCAL", la criba mecánica será controlada por el selector local de "Adelante/Apagado/Reversa" local y control remoto de pantalla que PLC se desactivará. La pantalla mecánica funcionará en la dirección seleccionada por el selector de "Adelante/Apagado/Reversa" en el LCS. Las direcciones de avance y reversa sólo estará disponible en el modo "LOCAL" de operación. Cuando la posición "Adelante/Apagado/Reversa" está en "OFF", la criba no funcionará bajo ninguna condición.

9.3.2 Pozo de bombeo

Bombas de aguas residuales

Seis (6) bombas de aguas residuales de velocidad variable (P-1 a P-6) se proporcionarán en el área de pozo de bombeo y bombeará agua residual de dos (2) cámaras de succión de la futura PTAR Canoas. Tres (3) bombas tendrá succión de la cámara #1 y tres (3) bombas tendrá succión de la cámara #2. En operación normal (condiciones de flujo promedio), tres (3) bombas de tres 3 estará en operación con los otros tres 3 en modo de espera. PLC-PS va a determinar que las bombas están funcionando y que las bombas están en modo de espera sujeto a disponibilidad, horas de operación, número de arranques acumulados y los fallos existentes.

Un selector Local/Off/Remoto (LOR) en el panel VFD seleccionará el modo de funcionamiento de cada bomba. Cuando el LOR VFD esté en la posición "REMOTA", la bomba será controlada por la estación de bombeo de PLC (PLC-PS) y el operador será capaz de seleccionar el modo de "MANUAL REMOTO" o operación "AUTOMÁTICA REMOTO". En "MANUAL REMOTO", el operador controla el funcionamiento de la bomba desde el terminal HMI. En "REMOTO AUTOMÁTICO", la bomba será controlada automáticamente basados en el nivel de la cámara de succión correspondiente. Como los niveles de la cámara de succión se elevan por encima y caen por debajo de los puntos de referencia predeterminados, el PLC-PS iniciará o parará las bombas y ajustará la velocidad de la bomba como sea necesario para mantener la consigna de nivel deseada.

Cuando el VFD LOR está en la posición "LOCAL", las bombas serán controladas desde el panel VFD y se deshabilitará el control remoto del PLC-PS. Se proporcionará electores, botones y luces en el frente del

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

panel VFD para permitir el control local de la bomba. La perilla de ajuste de velocidad se proporcionará para el control de la velocidad local.

Se proveerá un interruptor de cabeza de hongo de parada de emergencia en la bomba y en el panel VFD. Los contactos normalmente cerrados de ambas paradas de emergencia serán conectados en serie al circuito del VFD. La activación de parada de emergencia des-energizará inmediatamente la bomba correspondiente.

Cada bomba de aguas residuales y su motor serán monitoreados para temperatura y vibración. Sensores de temperatura y vibración se conectan a módulos de temperatura y vibración situados en el panel VFD. Los módulos serán conectados en red al controlador VFD y los datos serán enviados al PLC-PS por el datalink de VFD. Los PLC-PS emitirán alarmas por alta temperatura y vibraciones y dispararán la parada de las bombas a alta temperatura y/o vibraciones.

Válvulas de descarga y succión de las bombas de aguas residuales

Cada bomba de aguas residuales tendrá una válvula de succión de accionamiento hidráulico y una válvula de descarga de accionamiento hidráulico para controlar el flujo de las aguas residuales dentro y fuera de la bomba.

Un selector de Local/Off/Remoto (LOR) en el actuador hidráulico LCS seleccionará el modo de funcionamiento de cada válvula. Cuando el actuador LOR está en la posición "REMOTA", la válvula será controlada por la estación de bombeo de PLC (PLC-PS) y el operador será capaz de seleccionar el modo de "MANUAL REMOTO" o "AUTOMANTICA REMOTO" de la operación. En modo "MANUAL REMOTO", el operador tiene control de la operación de la válvula desde el terminal HMI. En modo "REMOTO AUTOMÁTICO", la válvula será automáticamente controlada basados en secuencias de arranque y apagado de la bomba. La válvula de succión se abrirá antes de que la bomba arranque y se cierra la válvula de descarga antes de la bomba se detiene.

Cuando el actuador hidráulico LOR está en la posición "LOCAL", se controlará la válvula del LCS del actuador y se deshabilitará el control remoto del PLC-PS. Se proveerán selectores, botones y luces de indicación en la parte delantera del actuador LCS para permitir el control local de la válvula.

9.4 Otros sistemas

9.4.1 Control del sistema de monitoreo de aire

Se proporcionará un sistema continuo de monitoreo de aire continuamente detectar y monitorear el aire ambiente para gases inflamables y peligrosos. El sistema autónomo consistirá en una unidad base de microprocesador programable con múltiples canales de comunicación para sensores/transmisores de gas a distancia diseñado para medir las concentraciones de gases. Los gases combustibles medidos incluirá lo siguiente:

- Sulfuro de hidrógeno (H₂S)
- Dióxido de carbono (CO₂)

Producto 3: Diseño de Ingeniería Básica de la Alternativa Seleccionada

- Metano (CH₄)
- Oxígeno (O₂)

Se instalarán transmisores y sensores de gas, sirenas locales y luces estroboscópicas instaladas en diferentes áreas de la estación de bombeo y cableadas al aire Panel de Control de Monitoreo de Aire que contiene el sistema de control. Las señales de alarma de gas combustible estarán cableadas desde el Panel de Control de Monitoreo de Aire al PLC de la estación de bombeo (PLC-PS).

9.4.2 Sistema de video digital

Se entregará un sistema de vídeo digital para proporcionar video vigilancia las 24 horas del día los 7 días de la semana en las instalaciones de la EBAR Canoas. El sistema autónomo consistirá en un servidor en caja de red y hardware interruptor, además de una estación de trabajo del sistema de video con un monitor LCD y múltiples IP basado en cámaras de vídeo de alta definición instaladas en la estación de bombeo. Las cámaras serán de lente fijo o tipo de pan-tilt-zoom (PTZ) según sea necesario.

Los operadores podrán acceder a cualquier vídeo desde una estación de trabajo dedicada en la sala de control de la estación de bombeo. El sistema de la red de video proporcionará una conexión con panel de fibra óptica para la futura interfaz a la red SCADA de la PTAR Canoas.