

PROPIETARIO - OWNER

PROPRIETARIO - OWNER

**ALTO MAIPO SpA**

**6395-HI-INF-7001**

**INFORME DE PRESENTACIÓN**

**BOCATOMA EL MANZANO. RÍO COLORADO. COMUNA DE**

**SAN JOSE DE MAIPO. PROVINCIA DE CORDILLERA.**

**REGION METROPOLITANA**

REV	PREPARATION PÖYRY		REVIEW PÖYRY		PÖYRY APPROVAL			STRABAG REVIEW		STRABAG APPROVAL	
	NAME	SIGN.	NAME	SIGN.	NAME	SIGN.	DATE	NAME	SIGN.	NAME	SIGN.
A00	G.Bravo				P. Furrer		18-08-2020				
A01	G. Bravo				P. Furrer		22-10-2020				
A02	G. Bravo				P.Furrer		07-01-2021				
A03	G. Bravo				P.Furrer		05-05-2021				
A04	G. Bravo				P.Furrer		12-05-2021				

AES GENER APPROVAL	NAME		SIGNATURE		DATE	
Modifications:						

*El Grupo ÅF de Estocolmo, Suecia y los Grupos Pöyry de Helsinki, Finlandia, han concluido su fusión en una sola entidad en febrero de 2019. El nuevo Grupo AF-Pöyry fue rebautizado como Grupo AFRY. La nueva marca AFRY es una combinación de las letras de ÅF y Pöyry: AF+RY.*

## CONTENIDO

1. Objetivo.....	6
<b>1.1. BOCATOMA EL MANZANO EXISTENTE.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. BOCATOMA EL MANZANO PROYECTADA .....</b>	<b>6</b>
2. ANTECEDENTES GENERALES .....	8
2.1. INDIVIDUALIZACIÓN DEL SOLICITANTE .....	8
2.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	8
2.3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS .....	10
2.3.1. CAPTACIÓN .....	10
2.3.2. TRAMO TUBERÍA HDPE 1,2 m DE DIÁMETRO .....	11
2.3.3. TRAMO CANAL Y VERTEDERO LATERAL .....	13
2.3.4. COMPUERTAS .....	14
2.3.5. CONTROL Y MONITOREO .....	15
3. ESTUDIOS BÁSICOS.....	16
3.1. TOPOGRAFÍA.....	16
3.2. HIDROLOGÍA.....	17
3.3. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.....	18
4. MODELACIONES HIDRÁULICAS .....	18
5. MECÁNICA FLUVIAL.....	19
6. CRITERIOS DE DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL .....	19
6.1. BASES DE DISEÑO HIDRÁULICO.....	19
6.1.1. Rugosidad de Manning.....	19
6.1.2. Hidrología .....	20
6.1.3. Simulación Hidráulica .....	20
6.1.4. Análisis de Flujo Detrítico .....	21
6.1.5. Diseño Hidráulico Bocatoma Manzano.....	21
6.1.5.1. Nivel Máximo de Funcionamiento por gravedad .....	21
6.1.5.3. Flotabilidad.....	22
6.1.5.4. Aplastamiento en Tubería .....	22
6.1.5.5. Vertedero Lateral de excedencia .....	23
6.1.5.6. Compuerta .....	23
6.1.5.7. Enrocado de protección .....	23
6.1.5.8. Socavación General.....	25

6.1.5.9.	Socavación Local .....	25
6.1.5.10.	Transporte de Solidos .....	26
6.2.	BASES DE DISEÑO ESTRUCTURAL .....	28
6.2.1.	Normativas .....	28
6.2.2.	Materiales .....	28
6.2.2.1.	Hormigón G-30.....	28
6.2.2.2.	Emplantillado.....	28
6.2.2.3.	Acero de refuerzo.....	29
6.2.3.	Cargas de diseño .....	29
6.2.3.1.	Peso propio (D) .....	29
6.2.3.2.	Cargas de nieve (S) .....	29
6.2.3.3.	Empuje Estático del suelo (H) .....	29
6.2.3.4.	Empuje sísmico del suelo (HE) .....	30
6.2.3.5.	Empuje sísmico del agua ( $\Delta F$ ) .....	30
6.2.3.6.	Sismo (E) .....	31
6.2.3.7.	Subpresiones (SP) .....	31
6.2.4.	Combinaciones de carga .....	31
6.2.4.1.	Combinaciones de estabilidad: .....	32
6.2.4.2.	Combinaciones de diseño: .....	32
6.2.5.	CRITERIOS DE DISEÑO .....	33
6.2.5.1.	Estabilidad.....	33
6.2.5.2.	Volcamiento .....	33
6.2.5.3.	Volcamiento .....	33
6.2.5.4.	Flotación.....	33
6.2.6.	Armaduras mínimas .....	34
6.2.7.	Control de fisuración.....	34
7.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	35
8.	CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO .....	35
9.	PLAN DE MANEJO Y CONTINGENCIA .....	36
10.	DESVÍO DE CAUCE.....	36
11.	PLANOS DE PROYECTO .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 – ESQUEMA BOCATOMA MANZANO EXISTENTE.....	6
FIGURA 2-1 – ESQUEMA UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	8
FIGURA 2-2 – ESQUEMA UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	9
FIGURA 2-3 – VISTA AÉREA ZONA DEL PROYECTO BOCATOMA MANZANO .....	9
FIGURA 2-4 – ESQUEMA UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO CON COORDENADAS.....	10
FIGURA 2-5 – VISTA EN PLANTA DE LA CAPTACIÓN BOCATOMA MANZANO .....	11
FIGURA 2-6 – ELEVACIÓN CAPTACIÓN BOCATOMA MANZANO .....	11
FIGURA 2-7 – SECCIÓN TRANSVERSAL TRAMO DE TUBERÍA HDPE DE 1,2 M DE DIÁMETRO Y ENROCADO DE PROTECCIÓN .....	12
FIGURA 2-8 – VISTA EN PLANTA LAS CÁMARAS DE ACCESO DISPUESTAS EN LA TUBERÍA .....	12
FIGURA 2-9 – SECCIÓN TRANSVERSAL CÁMARA DE ACCESO DISPUESTA EN LA TUBERÍA.....	13
FIGURA 2-10 – VISTA 3D DEL CANAL DE CONEXIÓN Y VERTEDERO LATERAL .....	13
FIGURA 2-11 – SECCIÓN TRANSVERSAL CANAL DE CONEXIÓN Y ENROCADO DE PROTECCIÓN .....	14
FIGURA 2-11 – DISPOSICIÓN GENERAL DE COMPUERTAS .....	14
FIGURA 2-13 – ESQUEMA UBICACIÓN ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA.....	15
FIGURA 2-14 – DETALLE DE UBICACIÓN DE ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA.....	16
FIGURA 3-1 – ESQUEMA DE TOPOGRAFÍA EL MANZANO .....	17
FIGURA 4-1 – ISOMÉTRICO CAUDAL MÍNIMO (2,5 M3/S) .....	19

## INDICE DE PLANOS

1. 6395-CI-PLA-3001:	Aducción Manzano. Planta General y Perfil Longitudinal
2. 6395-CI-PLA-3002:	Aducción Manzano. Perfiles con Obra Proyectada
3. 6395-CI-PLA-3004:	Aducción Manzano. Secciones Transversales
4. 6395-CI-PLA-3005:	Ubicación General del Proyecto 1 de 2
5. 6395-CI-PLA-3006:	Ubicación General del Proyecto 2 de 2
6. 6395-ME-PLA-3001:	Captación Bocatoma Manzano. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Válvula Mariposa. Bocatoma
7. 6395-ME-PLA-3002:	Empalme Canal Manzano Existente. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Compuertas de Desfogue
8. 6395-ME-PLA-3003:	Empalme Canal Manzano Existente. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Obra Civil y Piezas Embebidas primera etapa
9. 6395-ME-PLA-3004:	Captación Bocatoma Manzano. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Rejilla Gruesa Bocatoma
10. 6395-HI-PLA-3001:	Río Colorado. Planta General y Perfil Longitudinal. Con y Sin Proyecto
11. 6395-HI-PLA-3002:	Río Colorado. Secciones Transversales 1 de 4. Con y Sin Proyecto
12. 6395-HI-PLA-3003:	Río Colorado. Secciones Transversales 2 de 4. Con y Sin Proyecto
13. 6395-HI-PLA-3004:	Río Colorado. Secciones Transversales 3 de 4. Con y Sin Proyecto
14. -6395-HI-PLA-3005:	Río Colorado. Secciones Transversales 4 de 4. Con y Sin Proyecto
15. -6395-HI-PLA-3006:	Río Colorado. Planta General T=100 años. Con y Sin Proyecto

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| 16.-6395-HI-PLA-3007: | Bocatoma Manzano. Eje Hidráulico $Q=0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Perfil Longitudinal y Secciones Transversales. |
| 17.-6395-HI-PLA-3008: | Aducción Manzano. Diseño Básico. Puntos de Control Hidrología  |
| 18.-6395-HI-PLA-3009: | Bocatoma Manzano. Desvío de Cauce. Río Colorado  |
| 19.6395-ES-PLA-3001:  | Diseño Estructural Canal de Empalme. Planta y Elevaciones 1 de 2   |
| 20.6395-ES-PLA-3002:  | Diseño Estructural Canal de Empalme. Planta y Elevaciones 2 de 2   |
| 21.6395-ES-PLA-3003:  | Diseño Estructural Canal de Empalme. Detalle y Cubicación 1 de 2   |
| 22.6395-ES-PLA-3004:  | Diseño Estructural Canal de Empalme. Detalle y Cubicación 2 de 2   |
| 23.6395-ES-PLA-3005:  | Diseño Estructural Cámara de Mantenición. Detalle y Cubicación   |
| 24.6395-ES-PLA-3006:  | Diseño Estructural Captación. Detalle y Cubicación 1 de 2  |
| 25.6395-ES-PLA-3007:  | Diseño Estructural Captación. Detalle y Cubicación 2 de 2  |

## INDICE DE ANEXOS

Anexo A	:	Memoria de Cálculo Hidráulico
Anexo B	:	Memoria de Cálculo Estructural
Anexo C	:	Estudios Geotécnicos
Anexo D	:	Topografía
Anexo E	:	Modelación Hidráulica Hec Ras
Anexo F	:	Especificaciones Técnicas
Anexo G	:	Planos
Anexo H	:	Cronograma
Anexo I	:	Presupuesto
Anexo J	:	Planes de Manejo y Contingencia
Anexo K	:	Control y Monitoreo
Anexo L	:	Desvío de Cauce

## 1. OBJETIVO

El objetivo del presente informe, según lo dispone el artículo 151 del Código de Aguas, es presentar para su aprobación el proyecto de la Bocatoma Manzano (Proyecto de Construcción, Modificación, Cambio y Unificación de Bocatomas) en el río Colorado, comuna de San José de Maipo, provincia de Cordillera, región Metropolitana.

### 1.1. BOCATOMA EL MANZANO EXISTENTE

La bocatoma Manzano existente corresponde a un canal abierto excavado en tierra, sin control de acceso, de aproximadamente 7,5 m de ancho inicial, su captación está ubicada en las coordenadas WGS 84 N: 6.284.745 m y E: 374.819 m aproximadamente.



Figura 1-1 – Esquema Bocatoma Manzano Existente

En su conducción, inicialmente posee una protección de su ribera izquierda compuesta por rocas y gaviones que permiten encauzar el flujo hacia el canal manzano, luego de aproximadamente 100 m de longitud el canal es de hormigón armado el resto de su trayecto. La bocatoma el manzano cuenta con un derecho de aprovechamiento de aguas asociado a un caudal de 0.4 m<sup>3</sup>/s, según constitución de Comunidad de Aguas Canal el Manzano de fecha 23 de agosto de 1994, del primer juzgado civil de mayor cuantía de Puente Alto.

### 1.2. BOCATOMA EL MANZANO PROYECTADA

La bocatoma Manzano proyectada, como se mencionó anteriormente, se encuentra asociada a un derecho de aprovechamiento de aguas de 0,4 m<sup>3</sup>/s para el canal Manzano, por lo cual se proyecta una captación de 134 m de longitud, aproximadamente 43 m aguas arriba de la captación existente, con el fin de asegurar la captación, mediante flujo libre, del caudal por derecho para caudales mínimos de 2,5 m<sup>3</sup>/s en el río Colorado.

De esta forma, se proyecta una captación a flujo libre por medio de una tubería de 1,2 m de diámetro y de 99,1 m de longitud, para luego continuar su conducción hidráulica con

un canal abierto de hormigón armado de 1,2 m de ancho, 1,45 m de altura mínima y 35 m de longitud que permite la entrega al canal existente por medio de una compuerta de 1m de ancho y una abertura máxima de 0,34 m.

Al inicio de la captación, se dispone de una válvula mariposa que permite cerrar el acceso de caudal hacia la aducción en el caso de crecidas y para mantenciones y limpieza del tramo en tubería, esta captación considera una cámara de acceso para inspección y mantención de la válvula, y el nivel superior de esta cámara se encuentra sobre el nivel de agua para la crecida de  $T = 100$  años. De esta forma, la Bocatoma no contempla un control de caudal en su ingreso, solo el cierre de la válvula en caso de crecidas. Debido a esto, posterior al tramo de tubería, se diseñó, en el tramo de canal abierto de aproximadamente 35 m de longitud, un vertedero lateral de excedencias de 19,8 m de largo, que permite evacuar el caudal en el caso de ser mayor al caudal de diseño asociado al derecho de aprovechamiento de aguas de  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Con respecto al vertedero lateral, se diseñó para un caudal máximo de  $3,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que corresponde a un caudal en el río Colorado de  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual se consideró como el escenario más desfavorable considerando que para la operación de crecidas mayores se cerrará el acceso a la aducción mediante la válvula mariposa implementada al inicio de la aducción.

De esta forma, el vertedero lateral es capaz de evacuar el total del caudal de diseño al río Colorado en el caso que la compuerta de entrega se encuentre cerrada o fuera de operación y, la compuerta, permite entregar al canal existente hasta  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  justo antes de entrar en operación el vertedero lateral, lo cual se ajusta al derecho de aprovechamiento de aguas a utilizar por el canal Manzano. Además, se dispone de una compuerta de 0,7m de ancho y 1,47 m de alto hacia el río Colorado con el fin de permitir la mantención y limpieza de la tubería y el canal de empalme al canal existente.

La obra proyectada se diseña con un enrocado de protección consolidado en toda su longitud con un espesor mínimo de 1m y con rocas de diámetro mínimo de 0,5 m en doble capa, Dicho enrocado consolidado se dispone con un talud hacia el río de 1:1 H:V y una profundidad de fundación de 2,5 m.

En general, en este informe, se demuestra que la obra de intervención (Con proyecto) mantiene el escurrimiento en condiciones similares a las originales (Sin Proyecto), no produce peligro a las personas ni genera alteración a la calidad de aguas



## 2. ANTECEDENTES GENERALES

### 2.1. INDIVIDUALIZACIÓN DEL SOLICITANTE

Razón Social	:	Comunidad de Aguas Canal El Manzano
RUT	:	72.704.000-5
Giro	:	Captación y Distribución de Aguas
Dirección Comercial	:	Camino al Volcán 11323, Interior Ex Estación FFCC El Manzano, San José de Maipo
Representante Legal	:	Leopoldo A. Fajardo T.
CI Representante Legal	:	5.394.375-6
Teléfono	:	+56 9 82739458
Correo electrónico	:	<a href="mailto:presidente@carelmanzano.cl">presidente@carelmanzano.cl</a>

### 2.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en la ribera derecha del río Colorado situada aproximadamente 3 km aguas arriba de la confluencia de este río con el Maipo, en la cuenca del río Maipo, comuna de San José de Maipo, provincia de Cordillera, Región Metropolitana. Específicamente entre las coordenadas **UTM Datum WGS84 huso 19: 374.850,44 m E; 6.284.736,88 m N y 374.718,67 m E; 6.284.754,96 m N.**

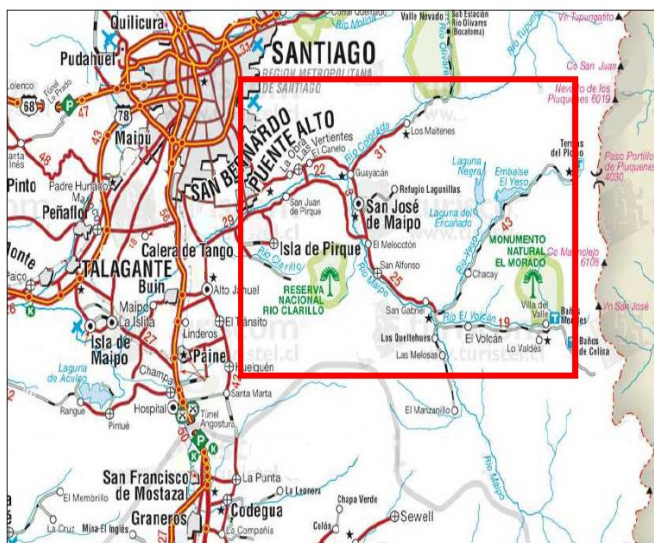


Figura 2-1 – Esquema Ubicación General del Proyecto





Figura 2-2 – Esquema Ubicación General del Proyecto

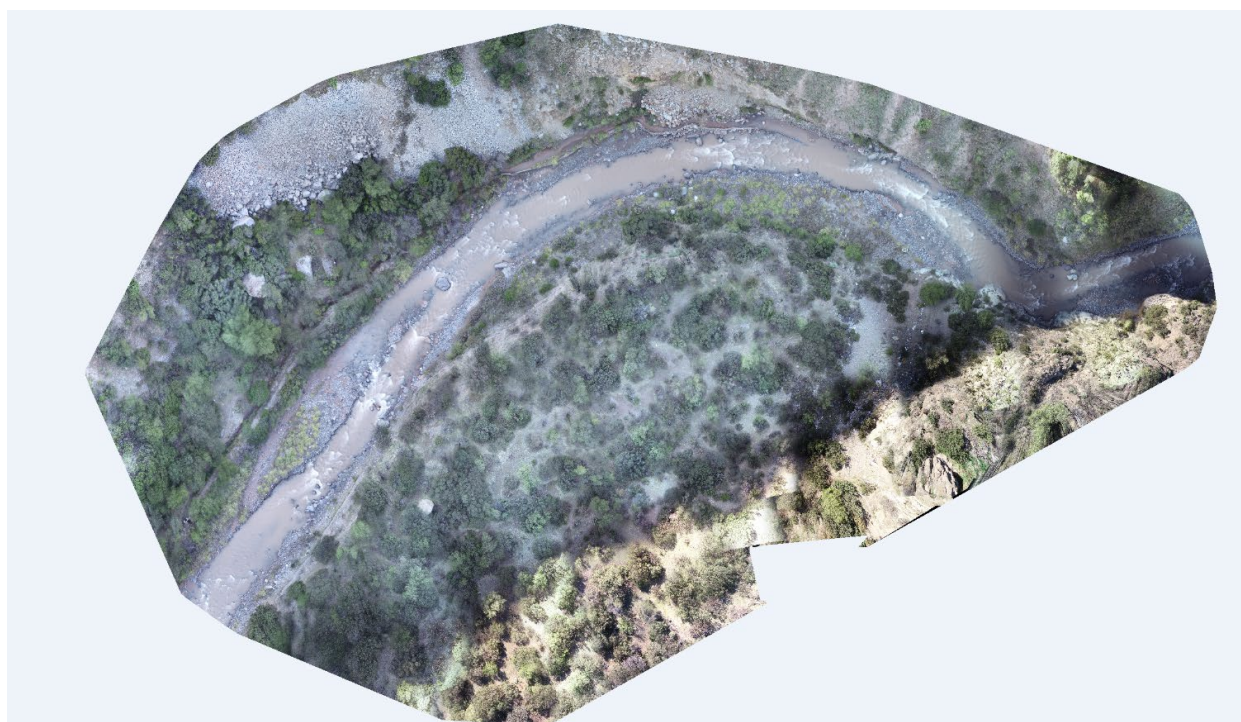


Figura 2-3 – Vista aérea zona del Proyecto Bocatoma Manzano

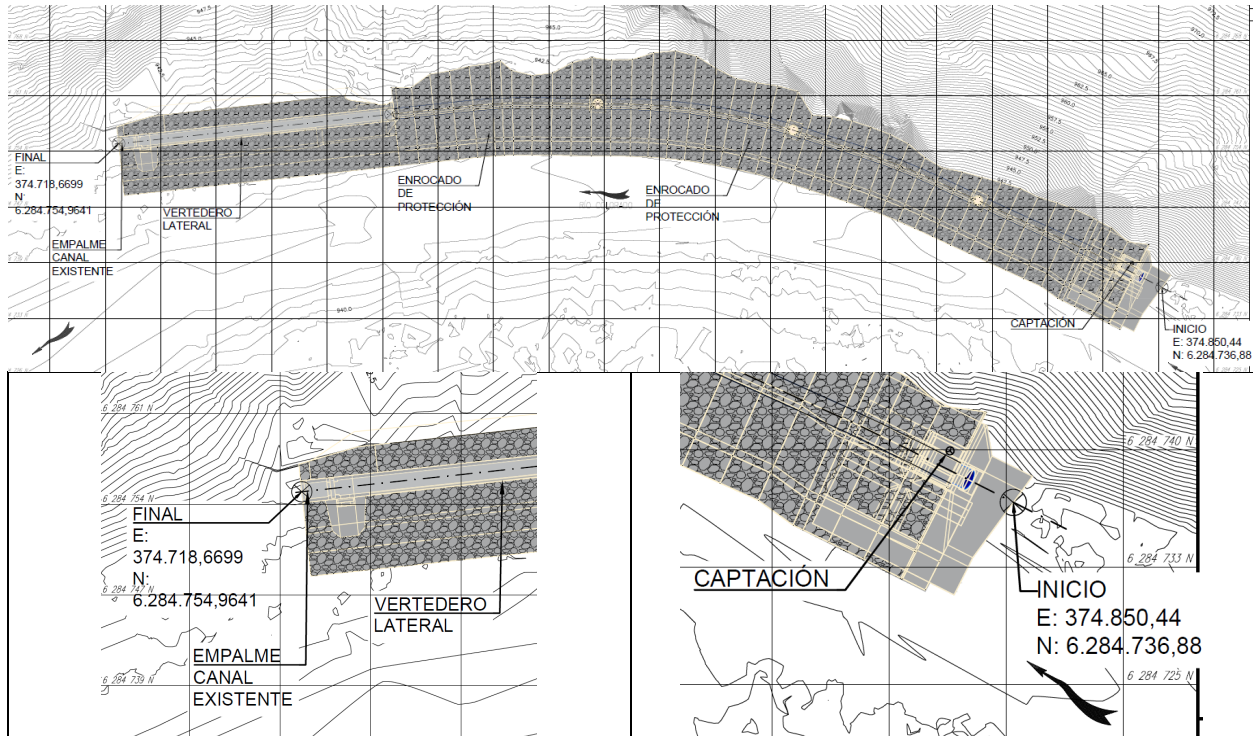


Figura 2-4 – Esquema Ubicación General del Proyecto con coordenadas

La ubicación general del proyecto se muestra en los planos 6395-CI-PLA-3005 y 6395-CI-PLA-3006 en el **Anexo G**

## 2.3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

La Bocatoma Manzano se ubica en la ribera derecha del río Colorado y cuyas obras se describen a continuación:

### 2.3.1. CAPTACIÓN

Se compone de una captación de hormigón armado que asegura el acceso de agua de 0,4 m<sup>3</sup>/s mínimo, mediante flujo libre, para un caudal mínimo de 2,5 m<sup>3</sup>/s en el río Colorado. Para luego pasar a una tubería de HDPE de 1,2 m de diámetro. La Captación contiene una válvula para cerrar la toma de agua para su mantención, además, considera una cámara de acceso para inspección y control, el nivel superior de esta cámara se encuentra sobre el nivel de agua para una crecida de T = 100 años período de retorno, para un caudal de 242,9 m<sup>3</sup>/s. A continuación, se muestran las figuras de la captación:



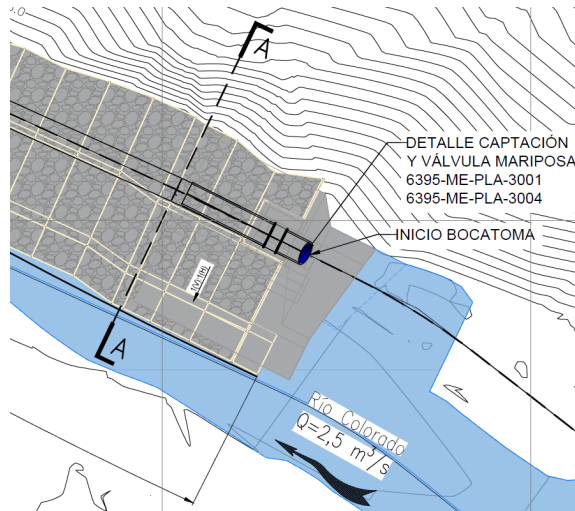


Figura 2-5 – Vista en Planta de la Captación Bocatoma Manzano

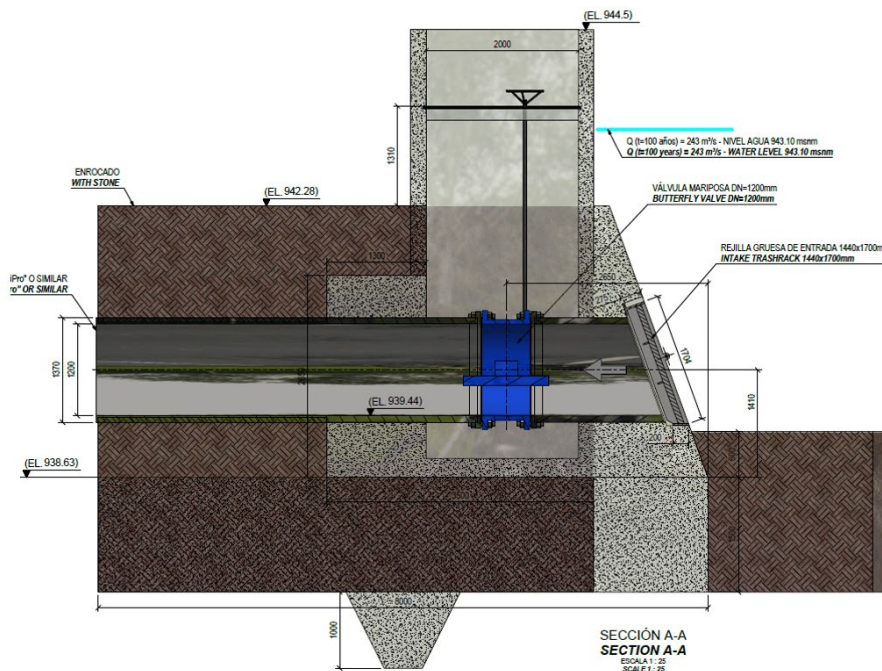


Figura 2-6 – Elevación Captación Bocatoma Manzano

### 2.3.2. TRAMO TUBERÍA HDPE 1,2 m DE DIÁMETRO

La aducción de la bocatoma Manzano continua aproximadamente 99.1 m. de longitud con una tubería de HDPE de 1,2 m de diámetro con un enrocado de protección consolidado de 1.00 m de espesor mínimo, talud de 1:1, anclado a una profundidad de 2,5 m y rocas de 0.5 m de diámetro mínimo y 180 kg de peso mínimo, tal como se muestra en la siguiente figura:

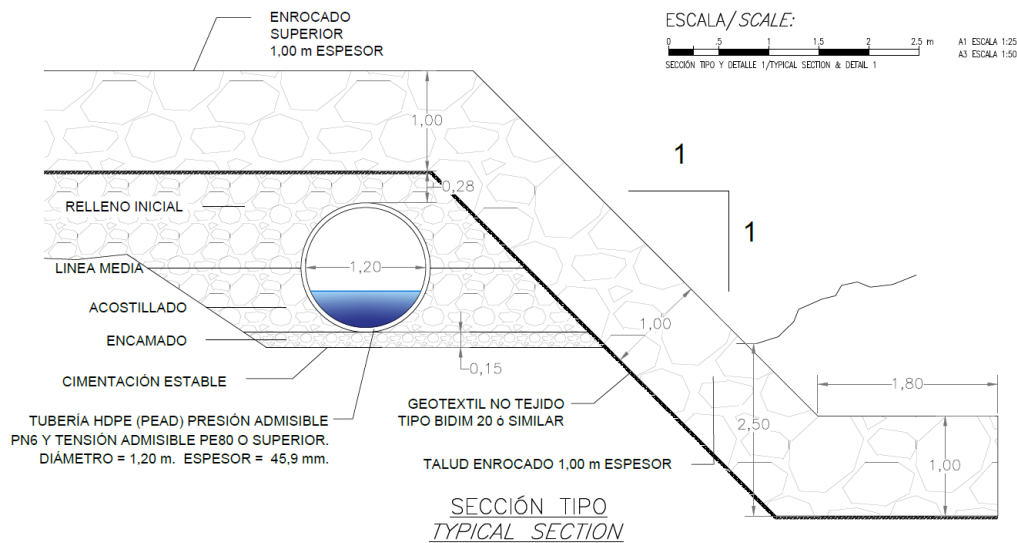


Figura 2-7 – Sección transversal tramo de tubería HDPE de 1,2 m de diámetro y enrocado de protección

Debido a las características del área, la solución optada de protección superior de la tubería ejerce la función también de mitigar el deterioro de la vida útil de la futura obra en lo que se refiere a impactos producto del escurrimiento de suelo que ocurren de forma natural. El acúmulo de material sobre el enrocado de protección (producto de escurrimientos naturales del talud, arrastres de crecidas fluviales o bien debido a la influencia pluvial) será monitoreado en la etapa de operación de la futura Bocatoma Manzano

A lo largo de la conducción en tubería se dispone de 3 cámaras de accesos para mantención y limpieza de la tubería, como se muestran a continuación:

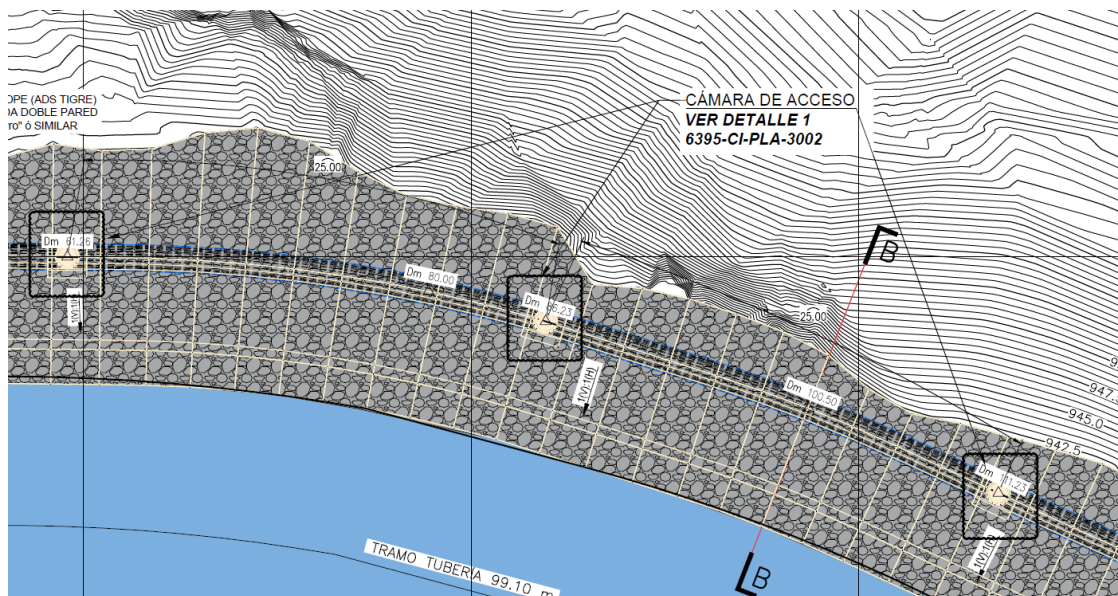


Figura 2-8 – Vista en Planta las cámaras de acceso dispuestas en la tubería

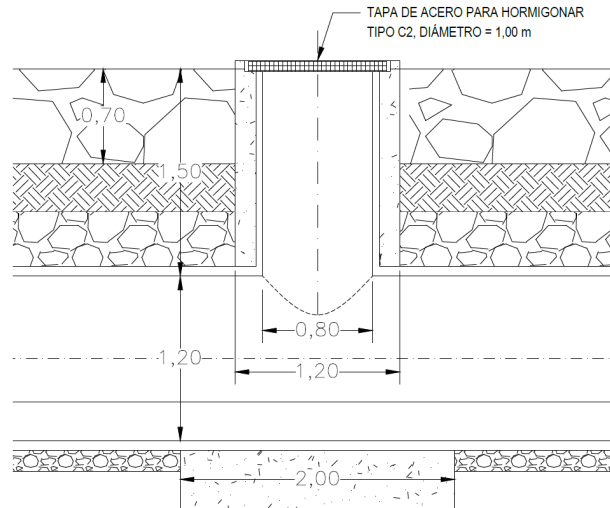


Figura 2-9 – Sección Transversal Cámara de acceso dispuesta en la tubería

### 2.3.3. TRAMO CANAL Y VERTEDERO LATERAL

Luego de la conducción en Tubería, se proyecta un tramo de 35 m de un canal de empalme con el canal existente el manzano, el cual contiene un vertedero lateral de excedencias de 19,8 m de largo que permite regular el caudal a entregar junto con las compuertas de entrega al final del canal, a continuación, se muestran las figuras del canal de conexión:

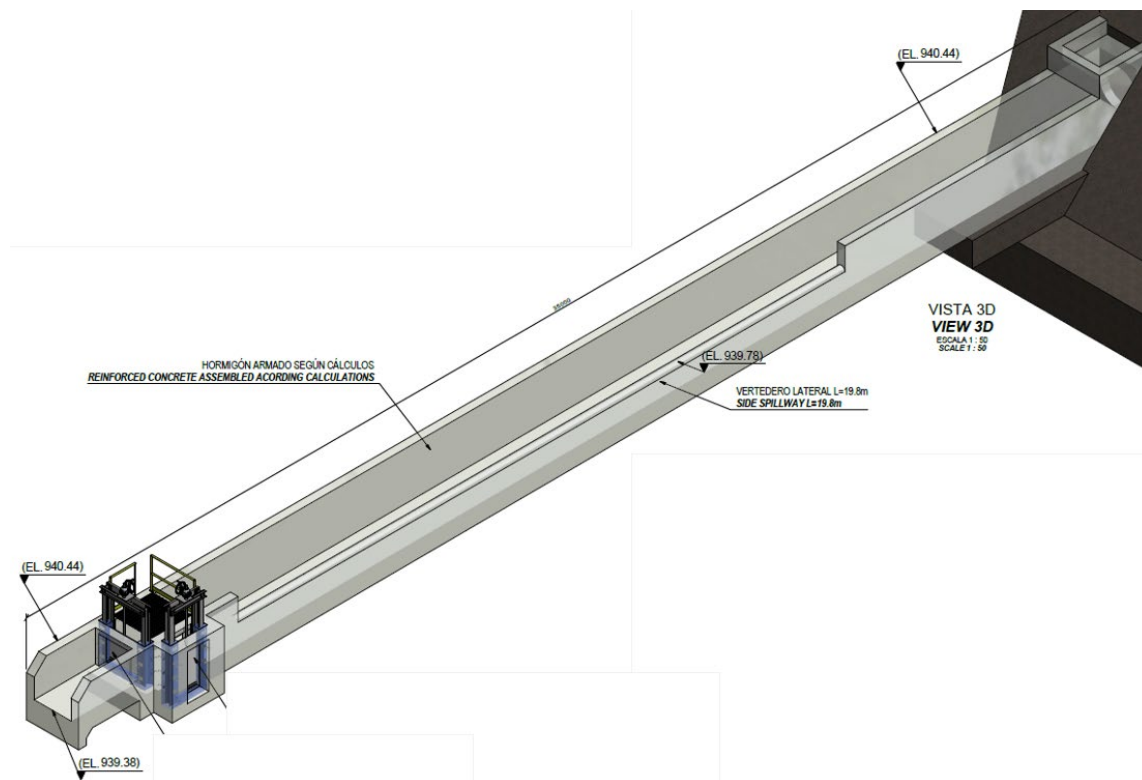


Figura 2-10 – Vista 3D del canal de conexión y vertedero lateral

Con el fin de proteger la obra ante crecidas del río se extendió el enrocado de protección consolidado por toda la extensión del canal , con una cota coronamiento aproximada de 942 m.s.n.m. tal como se aprecia en la siguiente figura:

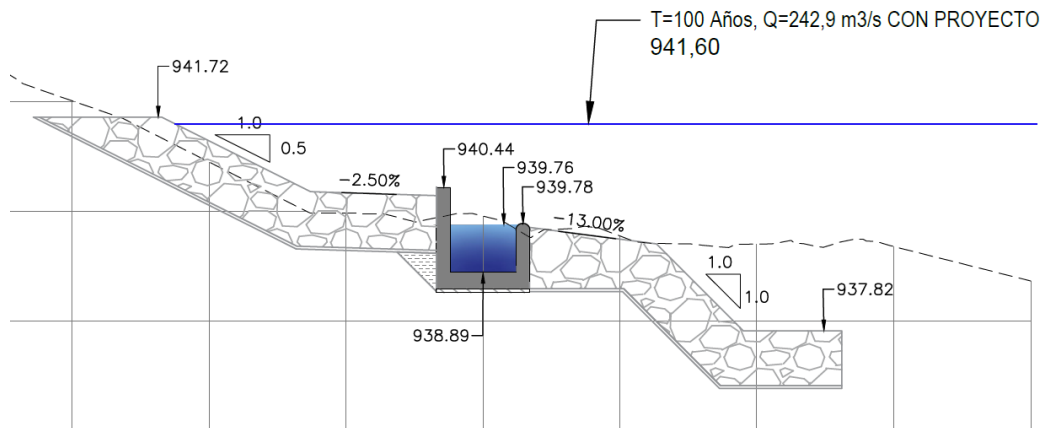


Figura 2-11 – Sección transversal canal de conexión y enrocado de protección

## 2.3.4. COMPUERTAS

Al final del canal se dispone de una compuerta de entrega al canal existente el Manzano, mediante una compuerta de ancho 1 m y alto 0,9 m con una abertura máxima de 0,34 m, la cual permite regular el caudal de entrega al canal. Además, se dispuso de una compuerta de 0,7 x 1,47 m hacia el río Colorado diseñada para permitir la limpieza de la tubería y el canal de conexión, a continuación se muestra la disposición general de las compuertas y su mecanismo de operación:

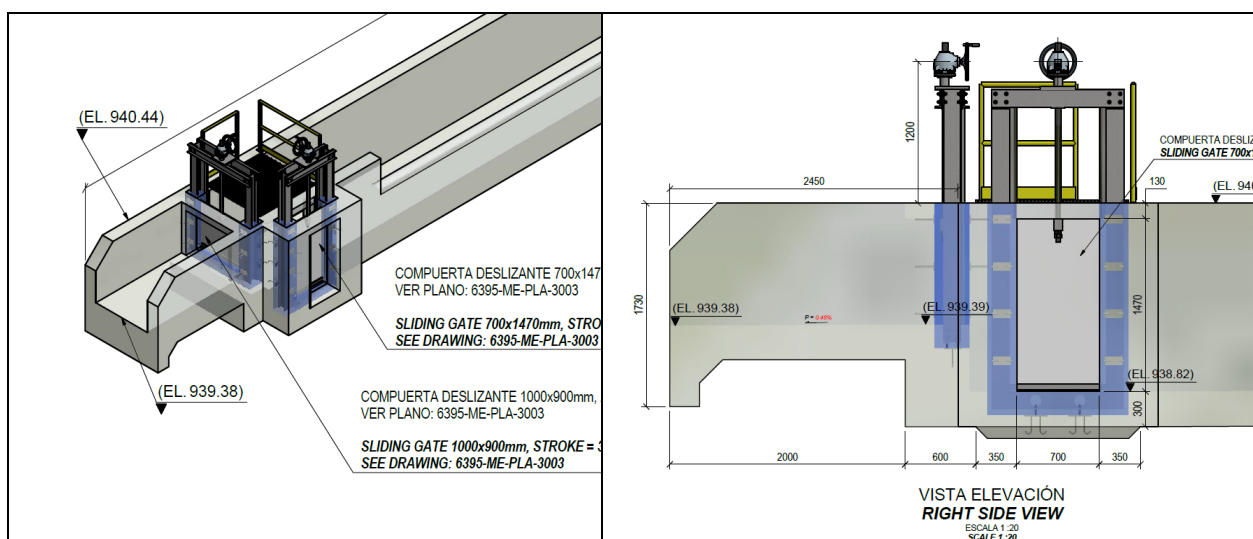


Figura 2-12 – Disposición general de compuertas



La descripción detallada de las obras proyectadas, así como su operación se presentan en el **Anexo A**

### 2.3.5. CONTROL Y MONITOREO

Para el control y monitoreo del caudal captado por la obra de captación y que ingresará finalmente al canal El Manzano, se monitoreará a través de una estación limnimétrica autónoma con telemetría, que se ubicará inmediatamente aguas arriba de la compuerta existente de admisión al referido canal (aguas abajo de la entrega proyectada al canal existente), tal como se muestra en las siguientes figuras. La estación estará dotada principalmente de: limnómetro autónomo GPRS; datalogger; sensor de nivel tipo radar; regleta limnimétrica de fierro fundido; pasarela sobre el canal; y cerco de protección para los equipos.

Esta estación de medición, en conjunto con la compuerta existente serán replanteadas en terreno, ajustándose a las nuevas condiciones de las obras proyectadas sin modificar su ubicación, de forma de asegurar el flujo libre de la entrega del canal proyectado al canal existente El Manzano. De esta forma, se deberá mantener, en este tramo, la pendiente proyectada de 0,4% desde la salida de la obra de entrega hasta la compuerta existente.



Figura 2-13 – Esquema ubicación estación limnimétrica



Figura 2-14 – Detalle de ubicación de estación limnimétrica

Los detalles, planos y dispositivos a implementar se presentan en el **Anexo K**

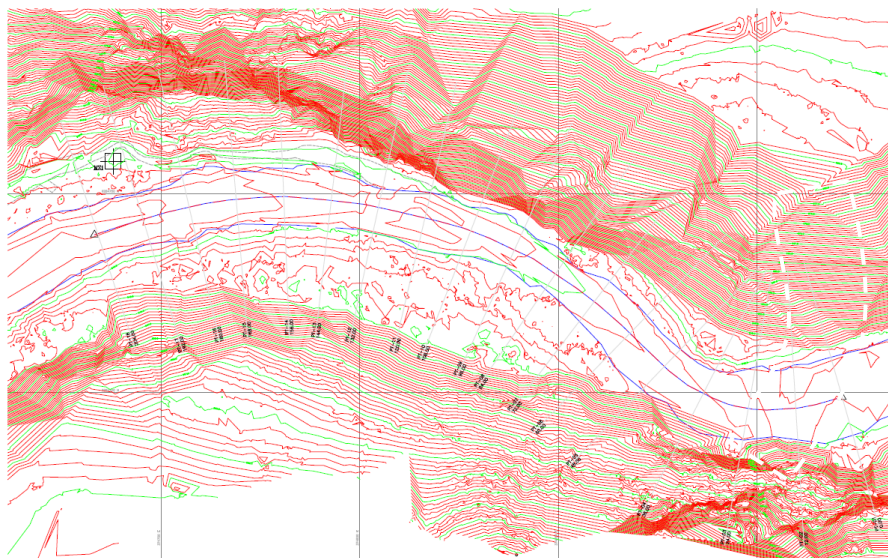
### 3. ESTUDIOS BÁSICOS

A continuación, se presentan los estudios básicos que fueron necesarios para el desarrollo del proyecto.

#### 3.1. TOPOGRAFÍA

Se realizó un levantamiento topobatimétrico en el sector de la Bocatoma Manzano, con fecha diciembre de 2018, para caracterizar el lecho del cauce y sus riberas. Para esto se realizó con GPS RTK, Spectra Precision Modelo EPOCH 50 y modelo R8. Prácticamente la totalidad del levantamiento se efectuó desde un bote zodiac, en un sector de 200 m de longitud en río Colorado, y se utilizó información de un vuelo dron de forma complementaria. A continuación, se muestra un esquema de la topografía:





**Figura 3-1 – Esquema de Topografía El Manzano**

Además, se realizó una topografía de mayor longitud en el área del proyecto de aproximadamente 1.250 m en el cauce del río Colorado, con GPS RTK y complementada con vuelo dron para abarcar la parte terrestre y acuática. La parte terrestre fue levantada principalmente con el dron y enlazada a las coordenadas del proyecto por medio de puntos de referencia (PRs) medidos con GPS. Adicionalmente se tomaron puntos de control con GPS para verificar la precisión del levantamiento con dron. La parte acuática fue levantada con GPS directamente.

Finalmente, utilizando ambas topografías complementadas, se utilizó una longitud de 550 m, considerando 280 m aguas arriba de la obra proyectada y 150 m aguas debajo de esta.

Toda la información correspondiente a la Topografía realizada y sus puntos de referencia se encuentra adjunta en el **ANEXO D**

### 3.2. HIDROLOGÍA

Para la hidrología se utilizó la base de datos que brinda el ministerio de obras públicas a través de la Dirección General de Aguas, y la estadística hidrológica en línea con la que cuenta la red de estaciones Hidrométrica. Más en particular a través de la estación cercana al lugar de estudio, es decir, la estación Río Colorado Antes Junta Río Maipo (Código BNA 05707002-1), la cual cuenta con datos de caudales instantáneos desde julio de 1940, suficiente para una estimación representativa del comportamiento del río en crecidas para 100 años de período de retorno.

El análisis estadístico se formuló a través del software TERESA, que permite realizar un ajuste a diferentes distribuciones de probabilidad estadística.

Para los caudales mininos se ha utilizado la información disponible en la Evaluación de impacto ambiental, en particular la información de la Adenda 1, Anexo 13, Estudios Hidrológicos donde se presenta la información en el punto 6 (P6) Río Colorado en

Descarga Maitenes. Además, se considera el caudal ecológico de la bocatoma Maitenes de 2,51 m<sup>3</sup>/s, asociado a la operación del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, para efectos de definir el caudal mínimo en el río Colorado a tener en cuenta para el proyecto de bocatoma El Manzano en cuestión.

Finalmente, los caudales considerados son los siguientes:

- Q 100 años período de retorno = 242,9 m<sup>3</sup>/s
- Q 150 años período de retorno = 257,0 m<sup>3</sup>/s
- Q min = 2,51 m<sup>3</sup>/s

Toda la información de cálculo Hidrológico se encuentra en el **ANEXO A** Memoria de Cálculo Hidráulico – 6395-CI-MCA-7001.

### 3.3. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Para estimar los parámetros Geotécnicos se utilizaron los siguientes informes de Mecánica de Suelos:

- “Informe de Laboratorio” elaborado por EUROCALIDAD en la cual se adjunta la granulometría, esta se toma como referencia ya que debe ser validada por el ingeniero especialista al momento de ejecutar las obras.  
Se adjuntan las coordenadas donde se han tomado las muestras de terreno para la elaboración de la granulometría: Coordenadas: WGS 84: -33.5525249, -70.3005432 Fecha: 16 agosto 2019.
- Informe N° 87. Mecánica de Suelos. Bocatoma El Manzano en el río Colorado. Rodríguez y Goldsack. De fecha 15 de diciembre de 2020.

Toda la información y estimación de los parámetros geotécnicos se encuentran en el **ANEXO C**

## 4. MODELACIONES HIDRÁULICAS

El modelamiento del río Colorado es realizado mediante el software HEC-RAS 5.0.5 de modelación hidráulica unidimensional, importando el alineamiento del eje del río y sus secciones transversales, tanto para la condición original (Sin proyecto), como la condición con la obra proyectada (Con Proyecto).

El modelo generado es una representación del eje hidráulico en el caso de una crecida según los caudales descritos anteriormente. Donde es posible extraer los valores de altura, velocidad media, nivel de energía y otros parámetros que alcanza el río en las secciones ingresadas.

Para el proyecto, se consideró 280 metros aguas arriba del inicio del proyecto y 150 m aguas abajo del fin del proyecto.

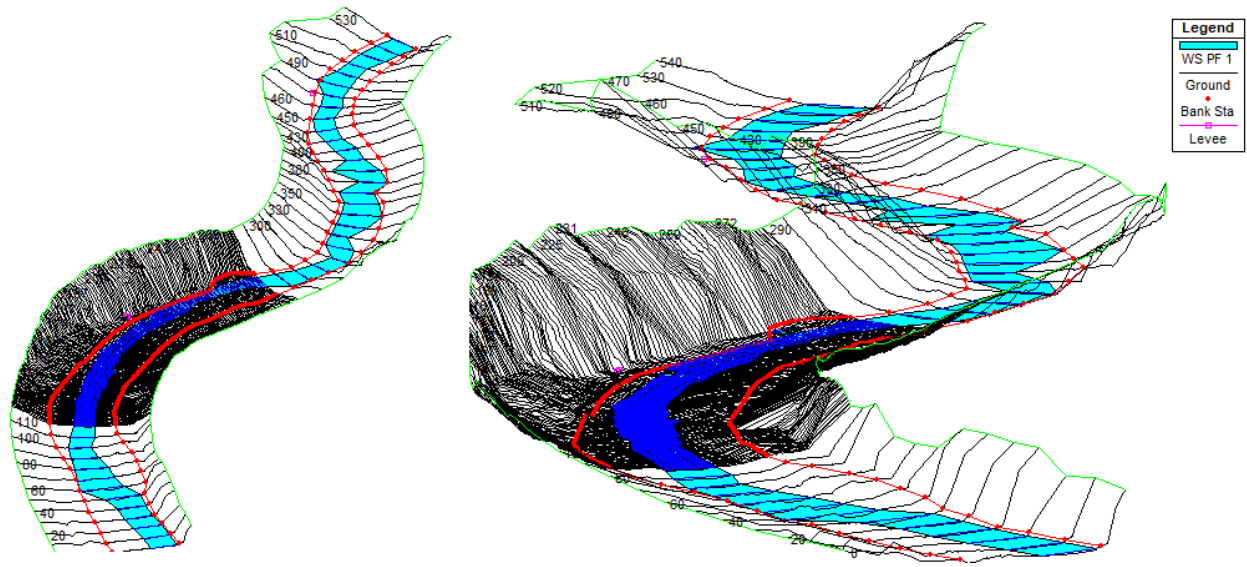


Figura 4-1 – Isométrico caudal mínimo (2,5 m³/s)

Todos los parámetros de la modelación, tales como: metodología empleada, caudales de modelación, coeficiente de rugosidad y las condiciones hidráulicas de borde que permiten simular la escorrentía, así como los resultados y análisis se presentan en el **ANEXO A: Memoria de Cálculo Hidráulico - 6395-CI-MCA-7001**. En esta memoria se presentan los resultados de salida de la modelación en HEC-RAS, como las tablas de resultados y las respectivas secciones transversales con el eje hidráulico con y sin proyecto.

Además, se incorpora el modelo efectuado en el software HEC-RAS en el **ANEXO E**.

## 5. MECÁNICA FLUVIAL

El análisis de Mecánica Fluvial del proyecto corresponde principalmente al cálculo del enrocado de protección y a las socavaciones generalizadas producto del emplazamiento de las obras proyectadas, mediante el estudio de caracterización del lecho del río Colorado.

Toda la metodología empleada para el cálculo de socavación y diseño de enrocado, así como los resultados y análisis se presentan en el **ANEXO A: Memoria de Cálculo Hidráulico - 6395-CI-MCA-7001**.

## 6. CRITERIOS DE DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL

### 6.1. BASES DE DISEÑO HIDRÁULICO

#### 6.1.1. Rugosidad de Manning

El coeficiente de Manning se calcula de la siguiente manera:

- Propuesta por Cowan (Guide For Selecting Manning's Roughness Coefficients For Natural Channels and Flood Plains, 1956)

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot n_5 \quad (1)$$

Donde:

- $n_0$  = Valor base de  $n$  para un cauce recto, uniforme y liso en función del material del fondo.
- $n_1$  = Factor de corrección para implementar el efecto de las irregularidades superficiales.
- $n_2$  = Valor que añade las variaciones de forma y tamaño de la sección del cauce
- $n_3$  = Valor que implementa el efecto de obstrucciones.
- $n_4$  = Valor que incorpora el efecto de presencia de vegetación.
- $n_5$  = Factor corrector que implementa la sinuosidad del cauce

### 6.1.2. Hidrología

Para la determinación de los caudales máximos y mínimos se utilizaron los siguientes criterios:

- Caudales mínimos:
  - Se define un caudal mínimo en el río Colorado para el proyecto de bocatoma El Manzano, considerando el caudal ecológico de la bocatoma Maitenes 2.51 m<sup>3</sup>/s asociado a la operación del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo.
  - Se realiza una transposición de caudales para obtener el caudal correspondiente a la bocatoma El Manzano; se utiliza la curva de variación estacional río Colorado indicado en "Evaluación de Impacto Ambiental Adenda 1- Anexo 3".
- Caudales máximos:
  - Para el modelamiento se ha utilizado un periodo de retorno de 100 años, con información obtenida de la red de estaciones hidrométricas (estación Río Colorado (BNA 05707002-1))
  - El análisis estadístico se realiza mediante el software TERESA, donde los caudales máximo anuales se les ajusta 6 distribuciones de probabilidad (Normal, LogNormal, GEV, Gumbel, PearsonIII y LogPearsonIII).
  - Finalmente se utiliza el mayor caudal entregado por Log Pearson III, el cual tiene un mejor ajuste según Kolmogorov – smirnov)

### 6.1.3. Simulación Hidráulica

Para el modelo hidráulico se realiza la extracción de secciones de Civil 3D, las cuales fueron exportadas a Hecras.

Se define el eje principal del cauce y los bank a cada lado de la rivera, se agrega el coeficiente de maning para cada sección y se realiza una interpolación de esta.



Se definen condiciones de borde y se realiza el análisis para caudales mínimos y máximos según lo indicado en 5. "Simulación Hidráulica" 6395-CI-MCA-7001-M02.

#### 6.1.4. Análisis de Flujo Detrítico

El caudal detrítico se puede calcular como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_{detr} = \frac{Q_{liq}}{1 - C}$$

Donde:

Q<sub>liq</sub> = Caudal líquido.  
C = Concentración en volumen de sólidos.  
Q<sub>detr</sub> = Caudal solido más caudal líquido.

DGA (2016). Guías Metodológicas para Presentación y Revisión Técnica de Proyectos de Modificación de Cauces Naturales y Artificiales.

#### 6.1.5. Diseño Hidráulico Bocatoma Manzano

##### 6.1.5.1. Nivel Máximo de Funcionamiento por gravedad

Se propone un funcionamiento de la tubería por gravedad, evitando la conducción a presión.

$$h_{max} = 0.75 \cdot D$$

$$h_n = 32 \text{ cm} < 75 \cdot 120 \text{ cm} = 90 \text{ cm} = h_{max}$$

##### 6.1.5.2. Perdida de carga en la entrada de la captación

Para el calculo de la perdida producto de la reja hidráulica, se tiene lo basado en la Hidraulica Aplicada al Diseño de Obras de Horacio Mery (2013):

$$P_{Reja} = K_d \times K_f \times p^{1.6} \times f\left(\frac{L}{b}\right) \times \sin \theta \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

K<sub>d</sub> = Coeficiente que depende del estado de limpieza de la reja, su valor varía entre 1,1 y 1,2 con limpia reja automático; 1,5 con limpia reja antiguo. Para reja con limpieza manual, varía de 2 a 4.

K<sub>f</sub> = Coeficiente que depende de la forma de la barra. Se pueden adoptar los siguientes valores: 0,51 para barras rectangulares alargadas; 0,35 para la sección circular, y 0,32 para la sección rectangular con puntas semicirculares.

P = el parámetro p, corresponde a la relación entre la superficie ocupada por las barras y las vigas de apoyo (superficie de llenos), y la superficie total (bruta) de la reja. Este valor varía normalmente entre el 22 y el 38%.

$f\left(\frac{L}{b}\right)$  = se evalúa con la siguiente expresión:

$$f\left(\frac{L}{b}\right) = 8 + 2,3 \frac{L}{b} + 2,4 \frac{b}{L}$$

$\theta$  = ángulo de inclinación de la reja

$v$  = Velocidad del cauce

Finalmente, es necesario estimar la pérdida de carga en la válvula mariposa, para esto, se tiene lo siguiente basado en el libro Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras de Horacio Mery (2013):

$$P_{v\acute{a}lvula} = K_v \cdot (v^2/2 \cdot g)$$

Donde:

$K_v$  = coeficiente de pérdida que depende de la relación  $(t/D)$ , donde  $t$  es el espesor de la válvula y  $D$  es el diámetro de la tubería

### 6.1.5.3. Flotabilidad

Para el calculo de la flotabilidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$U = \frac{\pi}{4} D^2 \delta_w$$

Dónde:

$D$ : Diámetro de la tubería, m.

$\delta_w$ : Densidad del agua, 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Para verificar la flotación causada por fuerzas hidrostáticas se debe calcular la sobrecarga de tierra que debe equilibrar las fuerzas de empuje que evite que la tubería flote. La ecuación que representa la situación planteada es:

$$W_{Tierra} = \delta_{seco} H_{seco} D + (\delta_{sat} - \delta_w)(H_{sub} + 0.1073D)D$$

Dónde:

$W_{Tierra}$ , peso de todo el relleno de tierra por sobre la tubería.

$\delta_{seco}$ , peso específico seco del relleno sobre la tubería.

$H_{seco}$ , profundidad de la capa de tierra en estado seco por sobre la tubería.

$D$ , diámetro de la tubería.

$\delta_{sat}$ , peso específico saturado del suelo sobre la tubería.

$\delta_w$ , peso específico del agua ubicado al interior de los intersticios de suelo.

$H_{sub}$ , profundidad de suelo saturado hasta la clave de la tubería.

$0.1073D^2$ , área de suelo entre la clave y los extremos laterales de la tubería.

Consideramos una densidad de tierra en estado saturado de  $\delta_{sat} = 2200$  [kg/m<sup>3</sup>], y  $\delta_{dry} = 1900$  [kg/m<sup>3</sup>] en estado seco.

### 6.1.5.4. Aplastamiento en Tubería

El aplastamiento se calcula mediante todas las cargas externas que actúan en la tubería comparada con su resistencia admisible indicada por proveedor.

#### 6.1.5.5. Vertedero Lateral de excedencia

Para el dimensionamiento del vertedero de excedencias se ha considerado la siguiente ecuación, obtenida de Hidráulica de Horacio Mery:

$$Q = mLh\sqrt{2gh}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s)

L : Longitud del umbral (m)

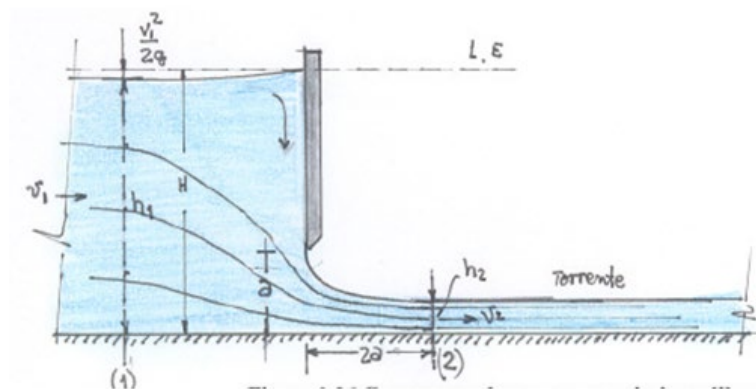
h : Carga sobre el umbral del vertedero (m)

m : Coeficiente de gasto.

#### 6.1.5.6. Compuerta

Para el dimensionamiento de las compuertas se ha considerado la ecuación siguiente obtenida de Hidráulica de Horacio Mery:

$$v_2 = \sqrt{2g \times (H - C_c \times a)} \quad q = C_c \times a \times \sqrt{2g \times (H - C_c \times a)}$$



Donde:

V2	=	velocidad de salida de la compuerta (m/s)
g	=	aceleración de gravedad 9,8 (m/s²)
H	=	altura de agua en el canal (m)
Cc	=	coeficiente de contracción
a	=	abertura compuerta (m)
q	=	caudal por unidad de ancho (m²/s)

#### 6.1.5.7. Enrocado de protección

Para la obtención del tamaño o peso de las rocas que componen el enrocado se utiliza la fórmula de la California Highway Division (CHD) de los Estados Unidos, según la expresión contenida en la ecuación 3.708.302(5).1 del Volumen 3 del Manual de Carreteras del año 2018:

$$W = \frac{0,0113 \cdot s \cdot V^6}{[(s-1)\sin(\phi - \theta)]^3}$$

En donde:

- $W$  = Peso del enrocado (kg): aproximadamente el 70% de las unidades debe tener un peso igual o superior que  $W$ .
- $s$  = Peso específico o densidad relativa al agua del enrocado (2,65 máximo). En el caso que el agua contenga sedimento en suspensión o sea salina, el peso específico del agua  $\gamma_a > 1 \text{ ton/m}^3$ . Se considera un peso específico del agua de  $1,05 \text{ ton/m}^3$ .
- $V$  = Velocidad media de escurrimiento (m/s).
- $\phi$  = Ángulo de reposo del enrocado ( $^\circ$ ).
- $\theta$  = Ángulo de inclinación del talud ( $^\circ$ ), medido con respecto a la horizontal ( $<90^\circ$ ).

- Lopardo-Estellé

Ambos investigadores, de manera independiente, -el primero en el Laboratorio de Ezeiza (Buenos Aires) y el segundo en el INH (Peñaflor)-, en forma experimental llegaron a la misma relación, que puede presentarse unificadamente:

$$F_s = 1,3 \times \left(\frac{h}{d_s}\right)^{1/6} \times \left[1 - \left(\frac{\sin\theta}{\sin\phi}\right)^2\right]^{1/4}$$

Siendo:

$$F_s = \frac{v}{\sqrt{g(s-1)d_s}}$$

En donde:

- $F_s$  = Número de Froude del enrocado.
- $h$  = Altura de escurrimiento local, durante la crecida de diseño, m.
- $d_s$  = tamaño del enrocado, m.
- $v$  = velocidad media de escurrimiento del río sobre el enrocado, m/s.
- $\phi$  = Ángulo de reposo del enrocado,  $70^\circ$ .
- $\theta$  = Ángulo de inclinación del talud,  $45^\circ$  medido con respecto a la horizontal ( $<90^\circ$ ).
- $g$  = Aceleración de gravedad,  $9,8 \text{ m/s}^2$ .
- $s$  = densidad específica de la roca a razón de la densidad del agua, en este caso se utilizó una densidad de roca de  $2,65 \text{ ton/m}^3$  y una densidad del agua de  $1,05 \text{ kg/m}^3$ .

- California Highway Division 2

La fórmula propuesta en el texto de Horacio Mery, "Hidráulica aplicada al diseño de obras".

$$F_s = 1,92 \times \sqrt{\sin(\phi - \theta)}$$

- $F_G$  = Número de Froude del enrocado.
- $S$  = Factor de seguridad, igual a 2.
- $d_s$  = tamaño del enrocado, m.
- $\phi$  = Ángulo de reposo del enrocado,  $70^\circ$ .
- $\theta$  = Ángulo de inclinación del talud,  $45^\circ$  medido con respecto a la horizontal ( $<90^\circ$ ).
- $h$  = Altura de escurrimiento local, durante la crecida de diseño, m.

#### 6.1.5.8. Socavación General

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, en este caso, la bocatoma

Existe una fórmula propuesta en el MC2015 Vol.3, en el capítulo 3.707.403(1), Fórmulas de cálculo de la socavación local en el extremo de estribos y espigones.

**Tabla 6-1 – Valores de socavación del lecho del río**

Autor	Fórmula
Einstein (1930)	$h_{ms} = 0,222 \left( \frac{q^{0.857}}{d_{50}^{0.286}} \right)$
Blench (1969)	$h_{ms} = 1,23 \left( \frac{q^{1/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$
Maza (1973)	$h_{ms} = 0,365 \left( \frac{Q^{0.784}}{B^{0.784} d_{50}^{0.157}} \right)$
Lischtván	$h_{ms} = 0,333 \left( \frac{q^{0.710}}{d_{50}^{0.199}} \right)$

En donde:

- B = Ancho del cauce (m).  
 d<sub>m</sub>, d<sub>50</sub> = Diámetros característicos de la granulometría del lecho.(Ver Anexo B)  
 h<sub>ms</sub> = Profundidad media socavada (m)  
 Q = Caudal de paso (m³/s), para 150 años de p. de retorno. Q=257 m³/s  
 q = Caudal efectivo (m³/s m). Q/B.

#### 6.1.5.9. Socavación Local

Según lo indicado en manual de carreteras se puede realizar la verificación por 3 métodos distintos los cuales corresponden a BNSh, EDE y R, a continuación, se detallan:

1. Breusers, Nicollet y Shen (BNSh).

$$\frac{Sc}{b} = 2 \tanh \left( \frac{h}{b} \right)$$

- b = ancho de la sección perpendicular al flujo.  
 Sc = Altura de socavación  
 h = Crecida para T=100 años.

2. Envoltente de datos experimentales (EDE) de diversos autores:

$$\frac{Sc}{b} = 2 \left( \frac{h}{b} \right)^{0.35} \text{ para } \frac{h}{b} \leq 2$$

$$\frac{Sc}{b} = 2.5 \text{ para } \frac{h}{b} > 2$$

- b = ancho de la sección perpendicular al flujo  
Sc = altura de socavación  
h = Crecida para T=100 años.

3. Relación de Richardson (R) para números de Froude mayores a 0,5:

$$\frac{Sc}{b} = 2 \left( \frac{h}{b} \right)^{0.35} F^{0.43}$$

$$F = V / \sqrt{gh}$$

- b = ancho de la sección perpendicular al flujo  
Sc = altura de socavación  
h = Crecida para T=100 años.  
V = Velocidad media del cauce.  
g = Aceleración de gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>  
F = Numero de Froude

### 6.1.5.10. Transporte de Solidos

La metodología para efectuar este análisis está basada en el libro Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras de Horacio Mery (2013).

Para analizar la ocurrencia de transporte de fondo se estimó el parámetro de estabilidad de Shields ( $\tau_*$ ) el cual depende de la tensión tangencial entre el escurrimiento y el lecho del río ( $\tau_0$ ) y la granulometría del río. En canales la tensión tangencial ( $\tau_0$ ) se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot J$$

Donde:

- $\rho$  : Densidad del agua [kg/m<sup>3</sup>].  
g : Aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>].  
R<sub>h</sub> : Radio hidráulico del canal [m].  
J : Pendiente de la línea de energía [m/m].



Los valores del radio hidráulico y la pendiente de la línea de energía fueron calculados para cada caso utilizando el modelo hidráulico en HEC-RAS. El parámetro de estabilidad de Shields ( $\tau_*$ ) se calculo mediante la siguiente expresión:

$$\tau_* = \frac{\tau_0}{\rho \cdot (s - 1) \cdot g \cdot d_s}$$

Donde:

- $\tau_*$  : Parámetro de estabilidad de Shields.
- $\tau_0$  : Tensión tangencial [ $\text{kg/m/s}^2$ ].
- $\rho$  : Densidad del agua [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $s$  : Densidad relativa de los sólidos del lecho con respecto al agua [-].
- $g$  : Aceleración de gravedad [ $\text{m/s}^2$ ].
- $d_s$  : Diámetro representativo de las partículas del lecho [m] ( $d_s = d_{50}$ ).

Para que exista arrastre de fondo se debe superar el parámetro de estabilidad de Shields crítico  $[(\tau_*)_c]$ , que según Julien (1995) se calcula con la siguiente ecuación:

$$(\tau_*)_c = 0.06 \cdot \text{tg} \phi_s ; d_* > 50$$

Donde:

- $(\tau_*)_c$  : Parámetro de estabilidad de Shields crítico.
- $\phi_s$  : Ángulo de reposo [°].
- $d_*$  : Diámetro adimensional.

El diámetro adimensional se calcula con la siguiente expresión

$$d_* = d_s \cdot \sqrt[3]{\frac{(s - 1) \cdot g}{v^2}}$$

Donde:

- $d_*$  : Diámetro adimensional.
- $g$  : Aceleración de gravedad [ $\text{m/s}^2$ ].
- $d_s$  : Diámetro representativo de las partículas del lecho [m] ( $d_s = d_{50}$ ).
- $s$  : Densidad relativa de los sólidos del lecho con respecto al agua [-].
- $v$  : Viscosidad cinemática del agua [ $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ]

Para estimar el transporte de sólidos de fondo se utilizó la expresión empírica de Meyer-Peter (1951), la cual fue deducida de una serie de experimentos en laboratorio con mezclas de arena. La formula se muestra a continuación:

$$q_s = \left( \frac{4\tau_0}{\rho(s - 1)gd_s} - 0,188 \right)^{3/2} \cdot \sqrt{(s - 1)gd_s^3}$$

Donde:

- $q_s$  : Gasto volumétrico por unidad de ancho [ $\text{m}^3/\text{s/m}$ ].
- $\tau_0$  : Tensión tangencial [ $\text{kg/m/s}^2$ ].

- $\rho$  : Densidad del agua [m<sup>3</sup>/s].  
 $s$  : Densidad relativa de los sólidos del lecho con respecto al agua [-].  
 $d_s$  : Diámetro representativo de las partículas del lecho [m]. En esta expresión,  $d_s = d_{50}$ .

Toda la información y el detalle de los cálculos hidráulicos se presentan en la Memoria de Cálculo Hidráulico 6395-CI-MCA-7001 en el **ANEXO A**.

## 6.2. BASES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

### 6.2.1. Normativas

Los diseños deberán cumplir con los criterios de estabilidad y capacidad regidos por la normativa vigente, la cual se muestra a continuación:

- NCh 170:2016. Hormigón – Requisitos generales. Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 43 Of.2010. Cargas de nieve. Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 1537 Of.2009. Cargas Permanentes Y Sobrecargas De Uso. Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 3171 Of.2010. Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas. Instituto Nacional de Normalización.
- NCh 204 Of.2006. Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización.
- ACI 318. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
- Manual de Carreteras Vol-3. Ministerio de Obras Públicas.

### 6.2.2. Materiales

Los materiales utilizados y sus correspondientes propiedades son los siguientes:

#### 6.2.2.1. Hormigón G-30

El hormigón utilizado debe tener una resistencia cúbica de 350 kgf/cm<sup>2</sup> a 28 días de acuerdo con NCh 170 of 2016 y una resistencia cilíndrica mínima de 300 kgf/cm<sup>2</sup>.

$$f'_c = 300 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$E = 15100 \sqrt{f'_c} = 261.540 \frac{Kgf}{cm^2}$$

#### 6.2.2.2. Emplantillado

Se considera hormigón de calidad G-10 según lo especificado en la NCh 170 of 2016. El espesor de emplantillado será de 5 cm.

### 6.2.2.3. Acero de refuerzo

Se consideran barras corrugadas de acero de calidad A630-420H, con las siguientes propiedades:

$$f_y = 4200 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$f_u = 6300 \frac{Kgf}{cm^2}$$

### 6.2.3. Cargas de diseño

#### 6.2.3.1. Peso propio (D)

Se consideras como cargas de peso propio al peso de la estructura. Para el hormigón se considera un peso específico de 2.5 ton/m3.

#### 6.2.3.2. Cargas de nieve (S)

De acuerdo con lo expuesto en la Norma Chilena NCh 431 se tiene para una altitud de 800 y 1000 msnm y una latitud entre 32° y 34°S, se utilizará una carga de nieve igual a:  
 $q_{nieve} = 0,12 \text{ [ton/m}^2\text{]}$

#### 6.2.3.3. Empuje Estático del suelo (H)

El empuje estático del suelo adyacente a los muros es calculado a partir de la teoría de Rankine la cual se calcula como:

Empuje pasivo (Pp):

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma H^2 Kp$$

$$Kp = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}}$$

Donde:

$\alpha$ : Ángulo de inclinación del suelo (°)

$\phi'$ : Ángulo de fricción del suelo (°)

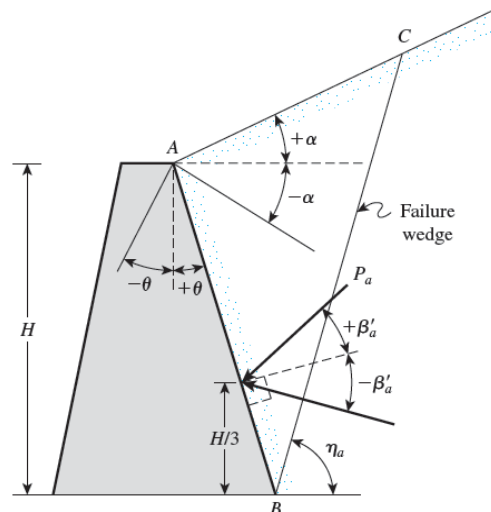
H: altura del muro(m)

$\gamma$ : Peso específico del suelo (ton/m3)

Kp: coeficiente de empuje pasivo.

Empuje activo (Pa):

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma H^2 Ka$$



$$K_a(R) = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \phi' \cos \psi_a}}{\cos^2 \theta (\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \phi' - \sin^2 \alpha})}$$

$$\psi_a = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \alpha}{\sin \phi'} \right) - \alpha + 2\theta$$

$$\beta_a' = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \phi' \sin \psi_a}{1 - \sin \phi' \cos \psi_a} \right)$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo de inclinación interior del muro (°)

$\beta_a'$ : Ángulo de inclinación empuje

$K_a$ : coeficiente de empuje activo

#### 6.2.3.4. Empuje sísmico del suelo (HE)

El empuje dinámico del suelo adyacente a los muros es calculado a partir del método de Mononobe y Okabe, el cual se calcula como:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - K_v) K_{ae}$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\phi' + \beta - \theta')}{\cos \theta' \sin^2 \beta \sin(\beta - \theta' - \delta') \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \theta' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta' - \theta') \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2}$$

$$\theta' = \tan^{-1} \left( \frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

Donde:

$\delta$ : Ángulo de fricción con muro ( $\frac{1}{2} \phi'$ )

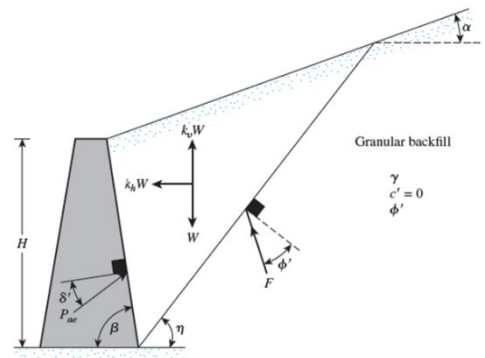
$k_h$ : Coeficiente sísmico de aceleración horizontal (0.18)

$k_v$ : Coeficiente sísmico de aceleración vertical ( $2/3 \cdot k_h$ )

$K_{ae}$ : coeficiente de empuje sísmico

#### 6.2.3.5. Empuje sísmico del agua ( $\Delta F$ )

Se considera la acción del agua contenida en la dirección perpendicular al eje del canal, esta corresponde a una carga parabólica cuyo valor se puede expresar como valor constante mediante la siguiente ecuación:

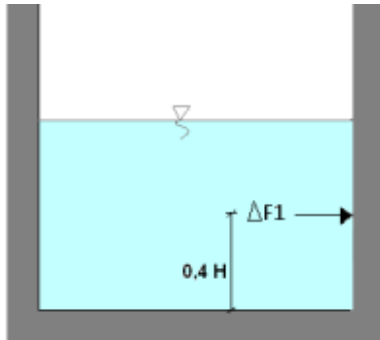


$$\Delta F = 0.055h^2 * \frac{\text{Coef. sismico}}{0.10}$$

Coef. Sísmico = 0.18.

h: altura de agua (m)

Esta carga resultante es aplicada sobre la pared de la estructura a una altura de 0.4h, desde el fondo del canal, como se aprecia en la siguiente imagen.



#### 6.2.3.6. Sismo (E)

La carga sísmica sobre la estructura se calcula como:

$$E = C * P$$

Donde:

C: coeficiente sísmico horizontal (0.18)

P: peso sísmico de la estructura.

Esta carga actúa en el centro de masa de cada uno de los elementos.

#### 6.2.3.7. Subpresiones (SP)

Se considera actuando en 100% en la base horizontal de la fundación, esta se determina a partir de la siguiente expresión:

$$SP = H * B * \gamma_w$$

Donde:

H: altura de agua (m)

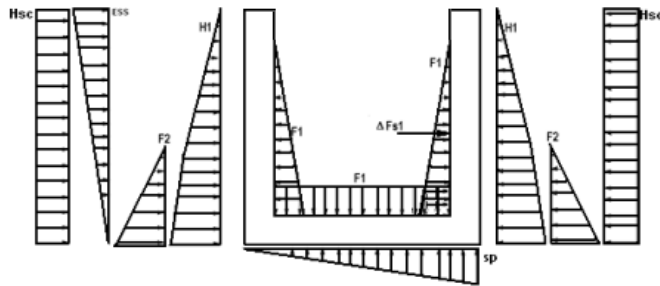
B: ancho de la base (m)

$\gamma_w$ : Peso específico del agua (ton/m<sup>3</sup>).

#### 6.2.4. Combinaciones de carga

A continuación, se indican las cargas actuando sobre un perfil tipo





Para el análisis se consideran las siguientes combinaciones de carga:

#### 6.2.4.1. Combinaciones de estabilidad:

Normal:

C1: D + F1 + SC

C2: D + F2 + H + SC

C3: D + F1 + F2 + H + SC

C4: D + F1

C5: D + F2 + H

Eventual:

C6: D + F1 + SC + EE + ΔF

C7: D + F1 + EE + ΔF

C8: D + F2 + H + ESS + EE + ΔF + SC (vacío)

C9: D + F1 + F2 + H + ESS + EE + ΔF + SC

#### 6.2.4.2. Combinaciones de diseño:

$$C10 = 1,40 \cdot D$$

$$C11 = 1,20 \cdot D + 1,60 \cdot L + 1,60 \cdot H$$

$$C12 = 1,20 \cdot D + 1,60 \cdot H + 0,80 \cdot W$$

$$C13 = 1,20 \cdot D + 1,00 \cdot L + 1,60 \cdot H + 1,60 \cdot W$$

$$C14 = 1,20 \cdot D + 1,60 \cdot H + 1,40 \cdot E$$

$$C15 = 0,90 \cdot D + 1,60 \cdot H + 1,60 \cdot W$$

$$C16 = 0,90 \cdot D + 1,60 \cdot H + 1,40 \cdot E$$

Para canales tipo cantiléver se debe considerar:

a) 1,2 DL + 1,6 H (estructura vacía)

b) 1,2 DL + 1,6 SC + 1,6 H (estructura vacía)

c) 1,2 DL + 1,6 H + 1,4 E (estructura vacía)

d) 1,4 DL + 1,4 F1 + 0,5 · (1,6 H)

## 6.2.5. CRITERIOS DE DISEÑO

### 6.2.5.1. Estabilidad

Para el diseño de estabilidad se debe considerar la verificación de los siguientes casos:

### 6.2.5.2. Volcamiento

Se debe verificar que el factor de estabilidad al volcamiento sea superior a lo siguiente:

F.S Normal = 1.5

F.S Eventual = 1.3

### 6.2.5.3. Volcamiento

Se debe verificar la seguridad al deslizamiento a partir de lo siguiente:

$$\frac{H_f}{1.5} + \frac{H_c}{4} + \frac{H_t}{4} + \frac{H_p}{1.5} \geq \Sigma F_w \text{ (Estado Normal)}$$

$$\frac{H_f}{1.3} + \frac{H_c}{3} + \frac{H_t}{3} + \frac{H_p}{1.3} \geq \Sigma F_{HE} \text{ (Estado Eventual)}$$

Donde:

H<sub>f</sub>: Fuerzas resistentes al deslizamiento debido a la fricción basal.

H<sub>c</sub>: Fuerzas resistentes al deslizamiento debido a la cohesión.

H<sub>t</sub>: Fuerzas resistentes al deslizamiento generadas por los empujes de suelo.

H<sub>p</sub>: Fuerzas resistentes al deslizamiento debido a pernos de anclaje.

Σ<sub>FH</sub>: Suma de la componente horizontal de las fuerzas solicitantes.

### 6.2.5.4. Flotación

Para garantizar la seguridad a la no flotación se deberá verificar que:

$$\frac{\Sigma V}{1.2} \geq \Sigma F \text{ flotantes (normal)}$$

$$\frac{\Sigma V}{1.15} \geq \Sigma F \text{ flotantes (eventual y durante la construcción)}$$

Donde:

Σ<sub>V</sub> : sumatoria de las fuerzas verticales que se oponen a la flotación.

Σ Flotantes: Resultante vertical de las fuerzas que favorecen la flotación.

### 6.2.6. Armaduras mínimas

Para el cálculo de las armaduras mínimas se tomará un espesor máximo de 60 cm. Para espesores mayores se colocará la armadura correspondiente a 60 cm.

Para la armadura mínima a flexión se usan las disposiciones del ACI318S/08, Sección 10.5.

$$A_{smin} \geq \frac{0.8 \sqrt{f'_c} * b_w * d}{F_y} \geq \frac{14}{F_y} * b_w * d$$

Expresándose  $f'_c$  y  $f_y$  en  $[kg/cm^2]$  las cuales definirán las unidades de  $A_{sMIN}$ .

Si la armadura de cálculo fuese menor que  $A_{sMin}$  calculada según las fórmulas anteriores, la armadura dispuesta será el menor valor entre la armadura de cálculo multiplicada por 1.33 y  $A_{smin}$ .

En cuanto a la armadura de retracción y temperatura, se siguen las disposiciones del ACI318/08, Sección 7.12.

La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que  $0.0014 b * h$ :

Para acero A63-42H:  $A_{sretracción} = 0,0018 b * h$  (por sección)

En este caso se toma la altura total de la sección "h".

### 6.2.7. Control de fisuración

La fisuración se deberá verificar para cargas de servicio, considerando un estado de carga que represente una sollicitación permanente de la estructura.

Para el control de la fisuración se calculará Z de la siguiente manera:

$$Z = f_s * \sqrt[3]{2 * d c^2 * s} \left( \frac{Tonf}{cm} \right)$$

Donde:

$D_c$  = Distancia entre el borde traccionando y el centro de la armadura más próxima (cm).

$D_{cmax}$  = 5.00 cm.

$S$  = Separación entre barras (cm)

$F_s$  = Tensión del acero para el estado de carga respectivo (Tonf/cm<sup>2</sup>)

$$f_s = \frac{M}{A_s * d * j} \quad j = 1 - \frac{k}{3} \quad K = \sqrt{(\rho * \eta)^2 + 2 * \rho * \eta} - \rho * \eta$$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} \quad \rho = \frac{A_s}{b d}$$

$M$  = Momento con respecto a la armadura traccionada (Tonf.m)

$d$  = altura útil (cm).

b = ancho de la sección (cm).  
As = Cantidad de acero (cm<sup>2</sup>).

La abertura máxima probable de la fisura en elementos sometidos a flexión se puede calcular mediante la fórmula:

$$W_{max} = 0.013 * Z \text{ (mm)}$$

Según el ACI 318-99 los valores máximos admisibles de Z y W según el tipo de obra son los siguientes:

Tipo de Obra	Abertura adm Fisura (mm)	Zadm (Tonf/cm)	
		Flexión	Tracción
Obras Menores de Riego	0.4	31	28
Bocatoma, Vertederos, Estructuras de compuertas, Canales, etc.	0.3	23	21
Estanques, Puentes, Acueductos	0.2	15	13

Además, el espaciamiento máximo de las barras debe cumplir con:

$$S = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2.5C_c$$

Donde:

Cc = Es la distancia desde la superficie del refuerzo o acero de preesforzado a la cara de tracción (mm),

Se realizó el diseño estructural de las obras de hormigón armado que se proyectan, estas son: captación, cámaras de inspección y canal de conexión con vertedero lateral, según lo descrito en el numeral 2.3 del presente informe de presentación

Toda la metodología empelada para el diseño estructural, así como los resultados y análisis se presentan en el **ANEXO B**: Memoria de Cálculo Estructural – 6395-ES-MCA-7001 y 6395-ES-MCA-7002.

## 7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las Especificaciones Técnicas Generales de las obras de la Bocatoma Manzano descritas anteriormente en el numeral 2.3 del presente informe de presentación, se adjuntan en el **ANEXO F**.

## 8. CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

El cronograma de construcción y presupuesto de las obras que componen la Bocatoma Manzano, se incluyen en el **ANEXO H** y el **ANEXO I** respectivamente.

## 9. PLAN DE MANEJO Y CONTINGENCIA

El Plan de Manejo de cauce y de contingencia durante la construcción, se adjuntan en el **ANEXO J**

## 10. DESVÍO DE CAUCE

Los antecedentes técnicos: Memoria de Cálculo Hidráulico y Memoria de Cálculo Estructural y planos correspondientes al manejo del cauce para la construcción se encuentran en el **ANEXO L**

## 11. PLANOS DE PROYECTO

Los planos de proyecto detallan lo siguiente:

-Bocatoma Manzano: se detallan las obras de la Bocatoma Manzano mediante los siguientes planos:

- 6395-CI-PLA-3001: Aducción Manzano. Planta General y Perfil Longitudinal
- 6395-CI-PLA-3002: Aducción Manzano. Perfiles con Obra Proyectada
- 6395-CI-PLA-3004: Aducción Manzano. Secciones Transversales
- 6395-CI-PLA-3005: Ubicación General del Proyecto 1 de 2
- 6395-CI-PLA-3006: Ubicación General del Proyecto 2 de 2
- 6395-HI-PLA-3007: Bocatoma Manzano. Eje Hidráulico  $Q=0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Perfil Longitudinal y Secciones Transversales.

Estos planos de la Bocatoma Manzano se complementan con los planos de arreglos hidromecánicos que se detallan a continuación:

- Planos de Arreglos Hidromecánicos: Aquí se detallan las formas de la captación y el canal de entrega con su vertedero lateral, así como la descripción de las obras hidromecánicas como la válvula mariposa, la rejilla hidráulica y las compuertas al final del canal.

- 6395-ME-PLA-3001: Captación Bocatoma Manzano. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Válvula Mariposa. Bocatoma
- 6395-ME-PLA-3002: Empalme Canal Manzano Existente. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Compuertas de Desfogue
- 6395-ME-PLA-3003: Empalme Canal Manzano Existente. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Obra Civil y Piezas Embebidas
- 6395-ME-PLA-3004: Captación Bocatoma Manzano. Arreglo General Obras Hidromecánicas. Detalle Rejilla Gruesa Bocatoma

- Planos Río Colorado: En estos planos se muestra la Modelación Hidráulica realizada en el río Colorado en el sector del proyecto para los caudales de período de retorno 100 años ( $242,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y el mínimo ( $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Para la situación con Proyecto y Sin Proyecto.



- 6395-HI-PLA-3001: Río Colorado. Planta General y Perfil Longitudinal. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3002: Río Colorado. Secciones Transversales 1 de 4. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3003: Río Colorado. Secciones Transversales 2 de 4. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3004: Río Colorado. Secciones Transversales 3 de 4. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3005: Río Colorado. Secciones Transversales 4 de 4. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3006: Río Colorado. Planta General T=100 años. Con y Sin Proyecto
- 6395-HI-PLA-3008: Aducción Manzano. Diseño Básico. Ubicación Puntos de Control Hidrología.
  
- Planos Estructurales: Estos planos muestran el detalle de las obras de hormigón armado con su respectivo detalle de enfierradura y cubicación.
  - 6395-ES-PLA-3001: Diseño Estructural Canal de Empalme. Planta y Elevaciones 1 de 2
  - 6395-ES-PLA-3002: Diseño Estructural Canal de Empalme. Planta y Elevaciones 2 de 2
  - 6395-ES-PLA-3003: Diseño Estructural Canal de Empalme. Detalle y Cubicación 1 de 2
  - 6395-ES-PLA-3004: Diseño Estructural Canal de Empalme. Detalle y Cubicación 2 de 2
  - 6395-ES-PLA-3005: Diseño Estructural Cámara de Mantenición. Detalle y Cubicación
  - 6395-ES-PLA-3006: Diseño Estructural Captación. Detalle y Cubicación 1 de 2
  - 6395-ES-PLA-3007: Diseño Estructural Captación. Detalle y Cubicación 2 de 2
  
- Desvío de Cauce: Estos planos muestran el manejo del cauce para la construcción de la obra.
  - 6395-HI-PLA-3009: Bocatoma Manzano. Desvío de Cauce. Río Colorado

Los planos de proyecto se adjuntan en el **ANEXO G**