



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: ALMEIDA SARZOSA, EDUARDO PATRICIO

**TEMA: MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS
DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES CON FLUJO
SUPERCRÍTICO**

DIRECTOR: ING. SANDOVAL, WASHINGTON

CODIRECTOR: ING. CARVAJAL, EDGAR

SANGOLQUÍ, 2015

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA

DECLARO QUE:

El Proyecto de grado denominado **“MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES CON FLUJO SUPERCRÍTICO”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente éste trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 2015

EDUARDO P. ALMEIDA SARZOSA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA, como requerimiento parcial
para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, 2015

ING. WASHINGTON SANDOVAL ,Ph.D
DIRECTOR

ING. ÉDGAR CARVAJAL, MSc
CODIRECTOR

REVISADO POR

ING. PABLO CAIZA, Ph.D
DECANO

AUTORIZACIÓN

Yo, EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA autorizó la publicación de la tesis: **“MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES CON FLUJO SUPERCRÍTICO”**, la cual es de nuestra propia autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 2015

EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA

DEDICATORIA

A Dios, que me ha bendecido y acompañado durante todos estos años, y a todos quienes pacientemente esperaron la culminación de este proyecto y hoy celebran conmigo el hecho de haber alcanzado esta meta tan importante en mi formación personal.

A mis padres, con la total reiteración de mi cariño, expresarles el gran orgullo que representa para mí ser su hijo, ustedes han sido, queridos padres, quienes a través de mucho esfuerzo, perseverancia y amor han hecho posible que yo vaya alcanzando cada uno de las metas que me he trazado.

A toda mi familia, a mis hermanos, a los abuelitos que en paz descansen, a mi novia, a mis mejores amigos y a los compañeros de clase, pues, ustedes conocen la verdadera magnitud del empeño que ha significado para mí comprometer todo el esfuerzo que ha sido necesario para culminar estos años de estudio.

Al Director y Codirector del Proyecto de Grado y a tantos otros excelentes profesores que he tenido a lo largo de mi carrera, les agradezco infinitamente por haber fomentado en mí ese ávido deseo de acumular conocimientos para superarme y triunfar en la vida.

Espero contar siempre con su valioso, sincero e incondicional apoyo, a lo largo del camino que, a partir de hoy, he de recorrer. Me es difícil encontrar las palabras precisas para agradecerles por vuestra ayuda tan generosa y por los atinados y oportunos consejos que de ustedes he recibido.

EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado la fuerza, la salud y la sabiduría necesarias durante estos años de carrera; a nuestros padres por ser la guía tanto espiritual como moral en cada momento de nuestras vidas, además un especial agradecimiento a nuestro Director y Codirector por brindarnos su confianza e impartirnos sus conocimientos y experiencias para la realización de esta tesis.

Finalmente un reconocimiento y gratitud a todas y cada una de las personas que han contribuido, de alguna manera, en nuestra formación como seres humanos y profesionales competentes.

EDUARDO PATRICIO ALMEIDA SARZOSA

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
2. ÁREA DE INFLUENCIA.....	3
3. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	4
4. METAS DEL PROYECTO	4
5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2.0 CARACTERIZACIÓN DE LOS RIOS DE MONTAÑA.....	6
2.1 MORFOLOGÍA DE RÍOS DE MONTAÑA.....	6
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	6
2.3 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	10
2.3.1 CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO BLANCO GRANDE.....	10
2.3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CRISTAL	12
2.4 HIDROLOGÍA.....	15
2.5 CAUDALES DISPONIBLES	18
2.6 CAUDALES MEDIOS DIARIOS	18
2.7 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	18
2.8 DESCRIPCIÓN POR TRAMOS SEGÚN LOJTIN Y KROCHIN:.....	19
2.9 TIPOS DE CAPTACIÓN EN RÍOS DE MONTAÑA:	20
CAPÍTULO 3.....	26

3.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO	26
3.1.2 CAUDALES DISPONIBLES	26
3.1.3 CAUDALES MÁXIMOS	28
3.1.4 AFOROS Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	28
3.2 CRITERIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE CAPTACIONES Y SU DISEÑO.....	30
3.3 PERÍODO DE PLANIFICACIÓN Y VIDA ÚTIL	33
3.4 CAUDALES DE DISEÑO	33
3.5 CALIDAD DE LAS AGUAS.....	34
3.6 CRITERIO DE SELECCIÓN.....	37
3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS	37
3.7.1 REJILLAS	37
3.7.2 DESARENADORES	37
CAPÍTULO 4.....	39
4.0 DISEÑO.....	39
4.1 RÍO CRISTAL.....	40
4.2 RÍO BLANCO GRANDE	59
4.3 PLANOS.....	91
CAPÍTULO 5.....	92
5.1 CALCULOS HIDRAULICOS Y OPERACIÓN	92
CAPÍTULO 6.....	102
6.1 CONCLUSIONES.....	102
6.2 RECOMENDACIONES	104

CAPÍTULO 7 – ANEXO	106
7. ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN LOS RÍOS.	106
CAPÍTULO 8.....	109
8. BIBLIOGRAFIA.....	109

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. PROCESOS GLACIALES.....	7
CUADRO 2. SECCIONES DE AFORO EN LAS CUENCAS.....	16
CUADRO 3. RESUMEN GENERAL DE DATOS PRECIPITACIONES.....	16
CUADRO 4. CUADRO DE CURVAS IDF PARA LA ZONA DE PAPALLACTA	17
CUADRO 5. CAUDALES MENSUALES Y ANUALES DE LAS ESTACIONES.....	18
CUADRO 6. CAUDALES SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	18
CUADRO 7. DESCRIPCIÓN POR TRAMOS DE RÍOS DE MONTAÑA.....	20
CUADRO 8. TIPOS DE CAPTACIÓN SEGÚN EL ESTADO ACTUAL DEL TRAMO DEL RÍO.....	22
CUADRO 9. TIPO DE CAPTACIÓN SEGÚN LA PENDIENTE LONGITUDINAL DEL RÍO.....	23

CUADRO 10. TIPO DE CAPTACIÓN SEGÚN LA FORMA DE LA PLANTA DEL TRAMO DEL RÍO.....	24
CUADRO 11. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPTACIONES TOMA (CONVENCIONAL) Y TOMA CON REJILLA DE FONDO.	25
CUADRO 12. CAUDALES DISPONIBLES	27
CUADRO 13. CAUDALES MÁXIMOS.	28
CUADRO 14. RESUMEN DE AFOROS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS EN LOS SITIOS DE CAPTACIÓN.	28
CUADRO 15. CAUDALES CALCULADOS.....	34
CUADRO 16. CAUDALES DE CRECIDAS.	34
CUADRO 17. CALIDAD DE LAS AGUA.....	36
CUADRO 18. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN W CALCULADO POR ARKHANGELSKI.....	50
CUADRO 19. COEFICIENTE PARA EL CÁLCULO DE DESARENADORES DE ALTA.....	50
CUADRO 20. CAUDALES CAPTADOS A TRAVÉS DE LA REJILLA PARA VARIOS TR - RÍO BLANCO GRANDE.....	65
CUADRO 21. CAUDALES DE INGRESO AL CANAL DE LIMPIEZA DEL AZUD - RÍO BLANCO GRANDE.....	73
CUADRO 22. COEFICIENTE PARA EL CÁLCULO DE DESARENADORES DE BAJA VELOCIDAD.	85
CUADRO 23. COEFICIENTES DE FRICCIÓN.....	97

	X
CUADRO 24. COEFICIENTES DE POROSIDAD	97
CUADRO 25. COEFICIENTES DE FRICCIÓN.....	99
CUADRO 26. ASPECTOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA “N”.....	107
CUADRO 27. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL RÍO CRISTAL.....	107
CUADRO 28. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL RÍO BLANCO GRANDE.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VISTA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.	3
FIGURA 2. SECCIÓN TRANSVERSAL CAPTACIÓN RÍO BLANCO GRANDE	10
FIGURA 3. PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE PONDERADA DEL CAUCE DEL RÍO BLANCO GRANDE.....	11
FIGURA 4. GEOLOGÍA TRAMO DE LA CAPTACIÓN RÍO BLANCO GRANDE	12
FIGURA 5. SECCIÓN TRANSVERSAL CAPTACIÓN RÍO CRISTAL	12
FIGURA 6. PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE PONDERADA DEL CAUCE RÍO CRISTAL.....	14
FIGURA 7. GEOLOGÍA TRAMO DE LA CAPTACIÓN RÍO CRISTAL.....	15
FIGURA 8. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON LA ALTITUD	17

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. ESQUEMA SOBRE LOS TIPOS DE CAPTACIONES DE AGUA DESDE CURSOS NATURALES.....	21
GRÁFICO 2. IMPLANTACIÓN DE LA CAPTACIÓN DEL RÍO CRISTAL	40
GRÁFICO 3. DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO SOBRE LA REJILLA.....	43
GRÁFICO 4. ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES DE LAS REJILLAS.....	44
GRÁFICO 5. CORTE TRANSVERSAL DE LA GALERÍA DE CAPTACIÓN	46
GRÁFICO 6. PROFUNDIDAD DEL CANAL DE GASTO VARIABLE Y PERFIL DE FLUJO EN SU INTERIOR –RÍO CRISTAL	47
GRÁFICO 7. CORTE TRANSVERSAL EN EL EJE DE LA CAPTACIÓN – RÍO CRISTAL	48
GRÁFICO 8. CORTE LONGITUDINAL DE LA CÁMARA DE DERIVACIÓN – RÍO CRISTAL	49
GRÁFICO 9. CURVA DE SHIELDS PARA MOVIMIENTO INCIPIENTE DE SEDIMENTOS – RÍO CRISTAL.....	53
GRÁFICO 10. VERTEDERO RECTANGULAR EN CANAL CON FLUJO LIBRE	54
GRÁFICO 11. ALTURAS MÍNIMAS EN EL TANQUE DE CARGA.....	54
GRÁFICO 12. CURVA DE VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL PESO Y DEL DIÁMETRO DEL MATERIAL POR COLOCARSE COMO PROTECCIÓN – RÍO CRISTAL	59

GRÁFICO 13. IMPLANTACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y DESARENADOR DEL RÍO BLANCO GRANDE.....	60
GRÁFICO 14. ESQUEMA DEL CORTE TRANSVERSAL DEL ORIFICIO DE CAPTACIÓN.....	63
GRÁFICO 15. COEFICIENTES DE PÉRDIDAS SEGÚN EL TIPO DE BARROTES (SOTELO, 1997)	63
GRÁFICO 16. ESQUEMA DE UN ORIFICIO.....	64
GRÁFICO 17. ESQUEMA DEL AZUD CON PERFIL TIPO CREAGER	66
GRÁFICO 18. COEFICIENTE DE DESCARGA DE UN VERTEDERO CON PARED VERTICAL AGUAS ARRIBA	66
GRÁFICO 19. ESQUEMA DEL RESALTO HIDRÁULICO.....	68
GRÁFICO 20. COEFICIENTE DE DESCARGA DE UN VERTEDERO CON PARED VERTICAL AGUAS ARRIBA	69
GRÁFICO 21. COEFICIENTE PARA RADIO MÍNIMO DE ENLACE ENTRE AZUD Y ZAMPEADO.....	70
GRÁFICO 22. CORTE LONGITUDINAL DEL CANAL DE LIMPIEZA DEL AZUD - RÍO BLANCO GRANDE.....	72
GRÁFICO 23. CURVA DE SHIELDS PARA MOVIMIENTO INCIPIENTE DE SEDIMENTOS - RÍO BLANCO GRANDE.....	74
GRÁFICO 24. CURVA DE VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL PESO Y DEL DIÁMETRO DEL MATERIAL QUE SE COLOCARÁ COMO PROTECCIÓN - RÍO BLANCO GRANDE	76

GRÁFICO 25. SECCIÓN DE LA ESCALERA DE PECES DEL RÍO BLANCO GRANDE	77
GRÁFICO 26. ESQUEMA DE VERTEDERO DE PARED DELGADA EN CANAL RECTANGULAR.....	80
GRÁFICO 27. CORTE TRANSVERSAL DEL DESARENADOR DEL RÍO BLANCO GRANDE.....	81
GRÁFICO 28. DIMENSIONES DE LA CÁMARA RETENEDORA DE SEDIMENTOS	84
GRÁFICO 29. ALTURAS MÍNIMAS EN EL TANQUE DE CARGA.....	89
GRÁFICO 30. ALTURAS DEL AZUD	94
GRÁFICO 32. DESCRIPCIÓN DE PRESIONES.....	98

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: RÍO CRISTAL.....	8
FOTOGRAFÍA 2: RÍO BLANCO GRANDE.....	8
FOTOGRAFÍA 3: VISTA DEL SITIO DE CAPTACIÓN RÍO BLANCO GRANDE	10
FOTOGRAFÍA 4: VISTA DEL SITIO DE CAPTACIÓN DEL RÍO CRISTAL	13
FOTOGRAFÍA 5: MATERIAL DE FONDO RÍO CRISTAL.....	29
FOTOGRAFÍA 6: MATERIAL DE FONDO RÍO BLANCO GRANDE	30
FOTOGRAFÍA 7: RÍO CRISTAL.....	107
FOTOGRAFÍA 8: RÍO BLANCO GRANDE.....	108

EXTRACTO

El presente proyecto abarca la evolución histórica de los diseños de captaciones en ríos de alta montaña, con cauces profundos, encañonados y regímenes de flujo supercrítico. El trabajo realiza un énfasis al comportamiento de la descarga y del régimen de un río donde se pretende diseñar las tomas de fondo de tipo tirolesa o caucasiana. Del análisis de varios casos, como son los ríos: Blanco Grande y Cristal y basándose principalmente en la descripción de literatura sobre este tema, como es el manual del USBR y el libro de Diseño Hidráulico de Krochin, donde mencionan de manera muy general las condiciones de diseño del cauce se trata de ampliar las características morfológicas donde se deben diseñar este tipo de toma. Se considera también a Lojtin, el cual caracteriza a los ríos por su número de Froude y pendiente. Con las recomendaciones tipologías realizados por Carvajal y Castro, es posible caracterizar a los cauces de acuerdo a las condiciones del sitio seleccionado, el estado actual del tramo, pendiente longitudinal y la forma en planta del río. La conjugación de todos estos conocimientos permiten reemplazar los conceptos un tanto obsoletos y que han sido utilizados por mucho tiempo en el Diseño Hidráulico. El presente trabajo toma en cuenta las condiciones morfológicas reales en las que funcionan las tomas de fondo y los parámetros básicos que se deben considerar para su diseño.

Palabras Claves
MEJORAMIENTO
DISEÑO
RÍOS DE ALTA MONTAÑA
TIROLESA
AZUD

ABSTRACT

This project covers the historical evolution of the designs of deposits in high mountain rivers with deep channels , gunpoint and supercritical flow regimes. The paper makes an emphasis to the behavior of the discharge and the regime of a river where it is intended design background shots zip or Caucasian type . From the analysis of several cases , such as rivers and Glass White Large primarily based on the description of literature on this subject , as is the USBR manual and the Hydraulic Design Krochin where mentioned in very general terms the conditions design of the channel is about expanding the morphological characteristics which must be designed such decision . It is also considered to Lojtin , which characterizes the rivers Froude number and slope. With typologies recommendations made by Carvajal and Castro , it is possible to characterize the channels according to the conditions of the selected site , the current state of the route , longitudinal slope and river planform . The combination of all this knowledge can replace the somewhat obsolete concepts that have been used for long in the Hydraulic Design . This paper considers the actual morphological conditions in which shots background and basic parameters to consider for your design work.

Keywords

**IMPROVEMENT
HIGH MOUNTAIN RIVERS
DESIGN
ZIPLINE
WEIR**

CAPÍTULO 1

1.ANTECEDENTES

El diseño de captaciones para el aprovechamiento hídrico en el país, han adoptado en su mayoría los condicionamientos planteados por literatura técnica existente desde algunos años y, en particular por las directrices que se presentan en los libros “Diseño Hidráulico” de Sviatoslav Krochin y “Diseño de Presas Pequeñas y, Estructuras Hidráulicas” del USBR; si bien es cierto, los conceptos vertidos en la literatura mencionada, en parte son aplicables para ríos de alta montaña , en el país, el aprovechamiento de las aguas localizadas en la cordillera andina, se caracterizan por presentar geomorfologías de cauces profundos , encañonados y con gran transporte de material aluvial, lo que motiva el considerar variantes a los diseños de las estructuras hidráulicas de la manera que tradicionalmente se los ha venido realizando con el fin de que permitan un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, a lo largo de la vida útil para la cual son dimensionadas.

Hasta la fecha, los diseños en su mayoría, no han considerado las condiciones topográficas, geomorfológicas y geotécnicas aguas arriba de las captaciones limitándose sus estructuras a estar conformadas por un azud que permite el aumento de nivel de las aguas y de esta manera captar los caudales de diseño mediante tomas laterales o rejillas y, los excesos verterlos por el azud. Este tipo de tomas directas, no se pueden generalizar para todos nuestros ríos y particularmente para los ríos localizados en nuestras cordilleras que normalmente se localizan en áreas con pendientes abruptas a moderadas producto de la erosión fluvial y procesos de

movimiento en masa por efectos de la gravedad y en muchos casos por deslizamientos fluviales transporte y depósito de rocas y sedimentos debido a la acción directa de corrientes de agua (conos de deyección); generalmente conformadas por bloques de rocas metamórficas en su gran mayoría seguido de cantos y gravas no consolidadas.

Por lo anotado, previo al dimensionamiento de captaciones en este tipo de cauces de montaña , que se ubican sobre los 3000 msnm, se hace necesario realizar un estudio completo de las condiciones geomorfológicas y topográficas reales del cauce; que inciden en el tipo de régimen y tipo de flujo, siendo esta , una de las razones para que, las captaciones se les haya dimensionado de manera general como ríos con flujo subcríticos, sin disponer de los elementos técnicos suficientes en los que fundamentar los correspondientes diseños.

De lo expuesto en los párrafos anteriores, este trabajo pretende dar directrices y recomendaciones para adoptar parámetros de diseño apropiados para tomas en nuestros ríos de montaña. De esta manera, se espera introducir directrices y conceptos más adecuados desde el punto de vista técnico (hidráulico, geo estructural) y de funcionamiento de las tomas ,que constituyan el punto de partida para definir mejores condiciones para el diseño de las obras hidráulicas.

El desarrollo del presente trabajo considera la información geológica, geotécnica, hidrología, restituciones escala 1:25000 de las cuencas de los ríos Blanco Grande, Quijos Norte y Quijos Sur que se ubican en la cordillera Real sobre 3000 msnm, cota que permitiría captar las aguas y conducirles a

gravedad ya sea para agua potable, riego u otros consultivos. La información ha sido recopilada de diversos proyectos que se han desarrollado en la zona del Quijos como son :

Proyecto Agua Potable Chalpí, Ríos Orientales, Papallacta

Proyectos Hidroeléctricos La Victoria, Quijos

2. ÁREA DE INFLUENCIA

Las cuencas hidrográficas, consideradas en el presente trabajo, y tomadas como representativos de nuestros ríos de alta montaña se localizan en la Cordillera Real. Estas se caracterizan por constituir zonas con pendientes altas, geomorfología irregular y, por estar expuestos a la ocurrencia de fenómenos naturales como: flujos de lodo, deslizamientos en masa y actividad volcánica y sísmica. (Véase la figura 1.)

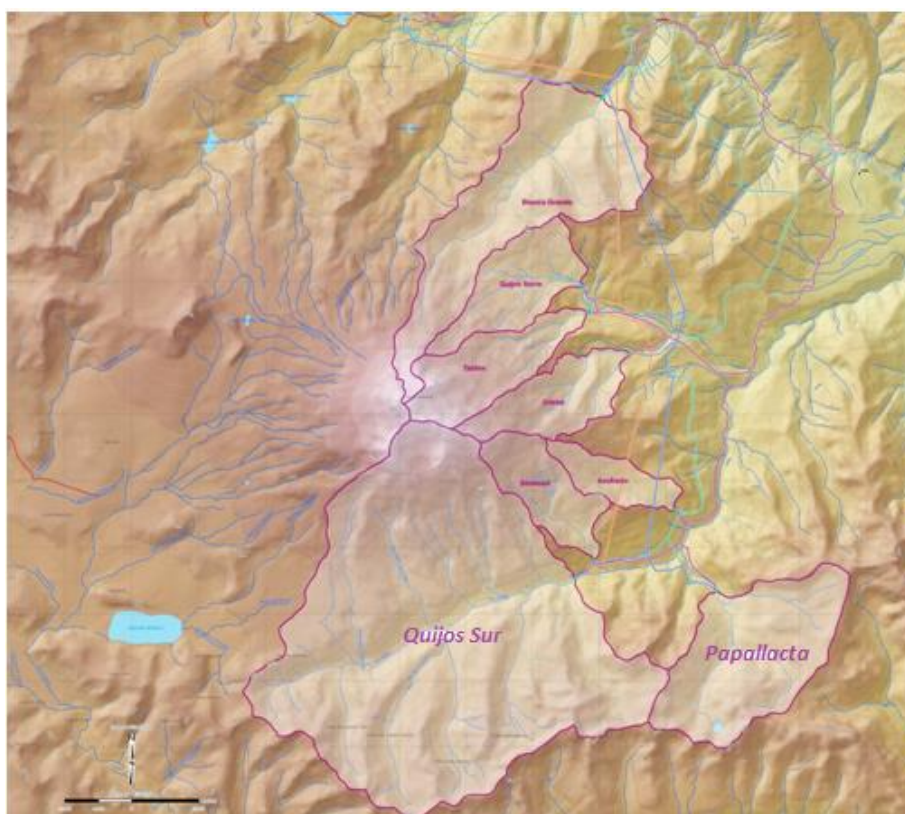


Figura 1. Vista General del Área de Estudio.

Fuente: EPMAPS

Los ríos a considerarse para el estudio son Blanco Grande y Cristal debido a la particularidades hidráulicas y geomorfológicas un tanto diferentes. El río Blanco Grande presenta una terraza aluvial y depósitos de abanico aluvial; río Cristal presenta pendientes abruptas, los flujos que se presentan son supercríticos, condición que deben analizarse como paso previo a la elaboración del diseño de las captaciones.

3. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Establecer recomendaciones y directrices de diseño para captaciones sumergidas, ubicadas en cauces con regímenes supercríticos, que permitan el mejoramiento de su funcionalidad y el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos del Ecuador.

4. METAS DEL PROYECTO

- Determinar el tipo de estructura que mejor se ajuste a las condiciones existentes de la cuenca aguas arriba de la captación.
- Establecer las variables a considerarse en los flujos en régimen supercrítico: Velocidad (V), Caudal (Q), Calado (h) y Número de Froude (Fr)
- Proponer una metodología de diseño para este tipo de captaciones
- Desarrollar un ejemplo de aplicación en un proyecto de captación en cauce con régimen supercrítico; Ríos Blanco Grande y Cristal.

5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo del conocimiento propicia el uso de nuevos criterios de dimensionamiento hidráulico y geo estructural los ríos de alta montaña (régimen de flujo supercrítico) muy frecuentes en nuestro país por lo que se

requiere contar con diseños que, como se ha mencionado, sean los más adecuados desde el punto de vista técnico (hidráulico, estructural, geotécnico) para la implantación y mejor funcionamiento hidráulico y operativo de estas captaciones. El presente trabajo esto permitirá contar con nuevos criterios de diseño hidráulico de captaciones los cuales, podrán ser contrastados con los criterios de diseño que han sido utilizados y fundamentados en el libro “Diseño Hidráulico – Sviatoslav Krochin” (1968), el cual no discrimina las condiciones de flujo, y que no siempre se ajustan a la realidad de los ríos de todos los proyectos y en especialmente los analizados en el presente proyecto.

Se debe anotar que las captaciones actuales, una mayoría se encuentran funcionando, pero requieren de mayor operación y mantenimiento, debido especialmente al azolvamiento que se produce de material sólido; otras han fallado debido a problemas de socavación y también debido al empuje de las aguas sobre estas estructuras.

CAPÍTULO 2

2.0 CARACTERIZACIÓN DE LOS RÍOS DE MONTAÑA

2.1 MORFOLOGÍA DE RÍOS DE MONTAÑA

La morfología de los ríos, estudia la estructura y forma de los mismo e incluyendo la configuración del cauce (planta y perfil), geometría de las secciones transversales, forma del fondo, características geomorfológicas de las cuencas y, que se encuentran sujetas a cambios por fenómenos naturales (volcánicos, flujo de lodos, actividad tectónicas y entre otras).

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Para el presente trabajo se consideró como representativos a los ríos de las cuencas pertenecientes Blanco Grande y Cristal; estas cuencas, son alimentadas por los deshielos del Volcán Antisana y su aprovechamiento tales con como abastecimiento de agua potables y mini centrales hidroeléctricas y riego, se los puede realizar por encima de los 3000 msnm. Las fuentes del Blanco Grande y Cristal, nacen en la vertiente oriental de la Cordillera Real, sobre los 3200 msnm y se encuentran dentro de la provincia de Napo.

Debido a la geomorfología y relieves, las posibilidades de aprovechamiento de la mismas mediante embalses es muy limitada, por lo que, se ha considerado realizarlas mediante toma directas como son las caucasianas y tirolesas.

El sistema de captaciones propuestos, se ubican en zonas con una geomorfología constituidas por fuertes pendientes, drenajes, estructuras

(lineamientos y fallas), escarpes, propensas a procesos de movimientos en masa por efectos de la gravedad y en muchos casos por la saturación de agua en los materiales (deslizamiento, coluviales), transporte de rocas y sedimentos por la acción directa de las reacciones de agua (eyección).

La presencia de procesos glaciares cuaternarios, Cuadro 1, que han modelado el relieve actual; el clima que se tiene corresponde a extremos de Páramo frío a templado húmedo

Cuadro 1. Procesos Glaciales.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	M.AÑOS
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	0,011
		Pleistoceno	2.,98
	Neógeno	Plioceno	5,332
		Mioceno	23,02
	Paleógeno	Oligoceno	33,9 +/- 0,1
		Eoceno	55,8 +/- 0,2
Paleoceno		65,5 +/- 0,3	

FUENTE: CODIGEN, 2004

Las captaciones, se implantará sobre materiales cuaternarios-recientes compuestos por estratos de suelo, depósitos coluviales, aluviales, materiales de deslizamiento por gravedad (escombros). Estos materiales descansan sobre rocas del basamento metamórfico (esquistos pelíticos, esquistos cuarzo sericíticos y gneis), Mapa 2.1

Las micro-cuencas en estudio se encuentran entre dos grandes unidades de relieve con topografías contrastantes como son:

- a) Un sector montañoso que abarca la mayor parte del área, con alturas superiores a 3 000msnm y pendientes superiores a 45% y;
- b) Una unidad de abanico coluvio-aluvial emplazada en la parte baja o terminal de las micro-cuencas.

En las fotos 1 y foto 2, se muestran los sitios de los ríos con pendientes menores al 30% río Cristal y Blanco Grande, donde se aprecia el tipo y conservación de la vegetación circundante (bosque) y las características del lecho (material grueso, rocas y secciones estrechas).

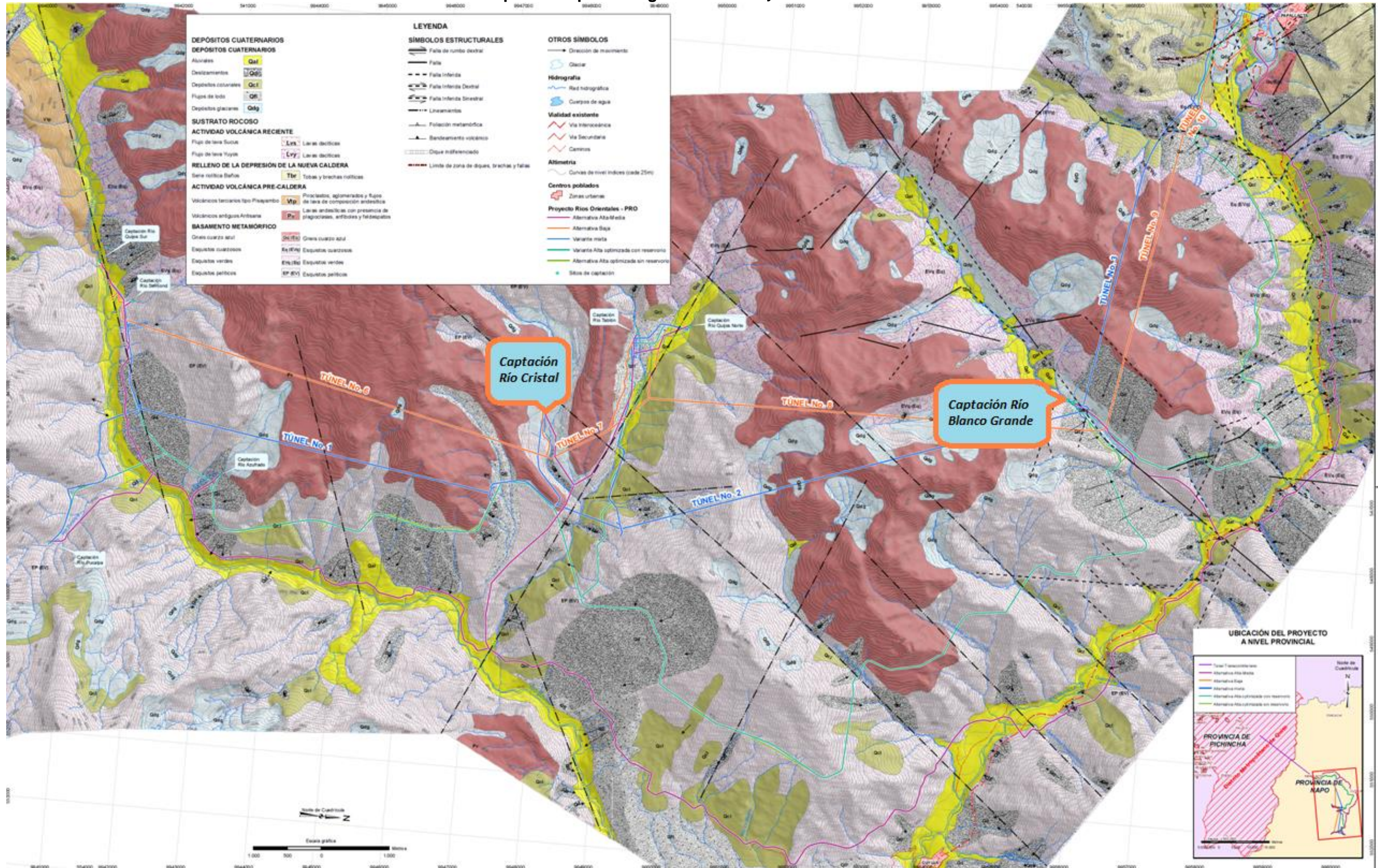


Fotografía1: Río Cristal



Fotografía 2: Río Blanco Grande

Mapa 2.1 Mapa Geológico. Fuente: Proyecto Ríos Orientales



2.3 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

2.3.1 CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO BLANCO GRANDE

La captación del río Blanco Grande prevé ubicarse sobre los 3 195msnm, la figura 2 y la fotografía 3, muestran la configuración o sección transversal de cauce en el sitio de captación.

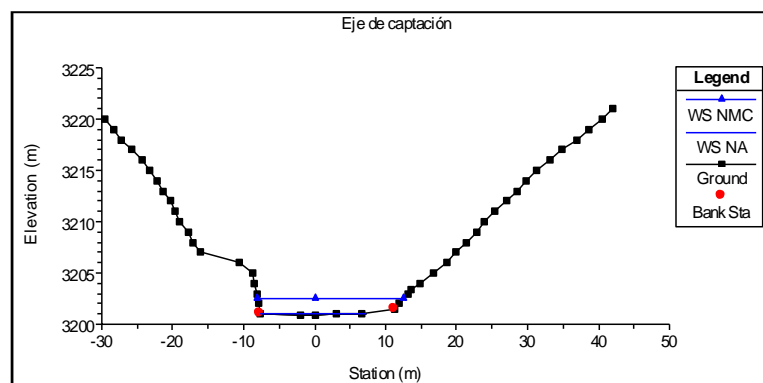


Figura 2. Sección transversal captación Río Blanco Grande



Fotografía3: Vista del sitio de captación Río Blanco Grande

La pendiente ponderada del cauce del Río Blanco Grande a lo largo de la cuenca tiene un valor de 10%, en el tramo de la captación la pendiente es más suave. La Figura 3, presenta el perfil longitudinal y la pendiente ponderada del cauce.

Desde el punto de vista geológico se puede destacar que el tramo de la captación presenta pendientes suaves, correspondientes a depósitos aluviales con bloques métricos 30%, cantos rodados 40% y matriz de arena gruesa con grava 30%, no consolidada, terraza antigua de material fluvio glacial compuesto por cantos y bloques de rocas volcánicas y metamórficas, en matriz limo arenosa de compacidad media. La Figura 4 muestra las principales características geológicas del cauce del río Blanco Grande en el tramo de interés.

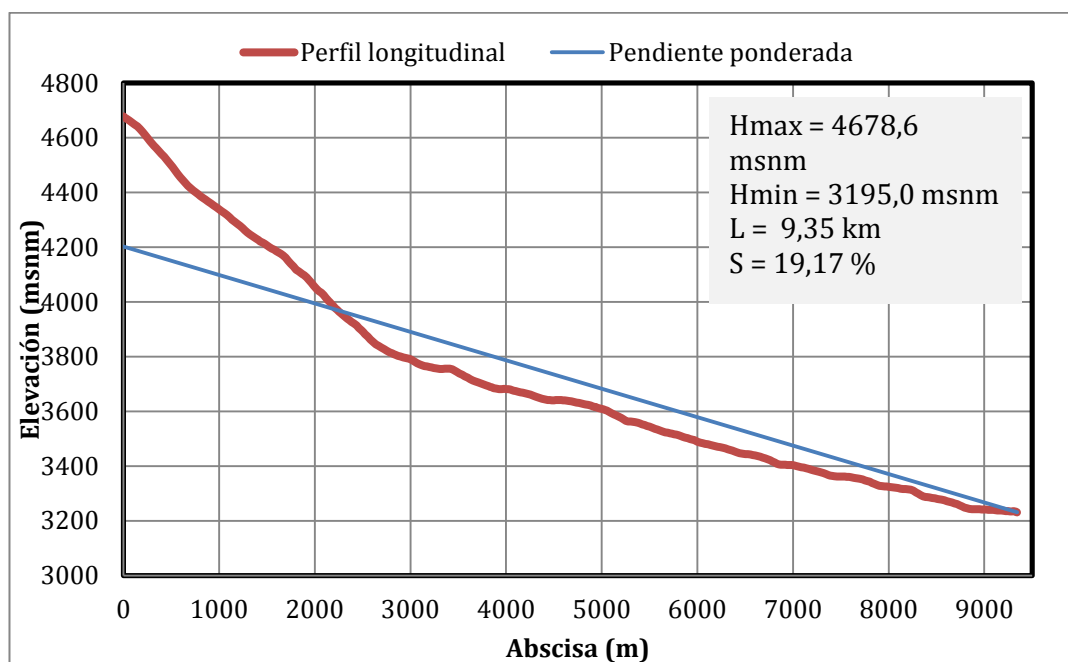


Figura 3. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del Río Blanco Grande

La cobertura nieve o aporte glaciar en la cuenca del río Blanco Grande es mínima 0,1%, mientras que el área de bosque se extiende en el 58% del área de drenaje, y el páramo cubre alrededor del 37% de la cuenca en la zona media alta.

Los suelos de los páramos de origen volcánico junto con la vegetación propia de estas áreas, permiten una alta retención de agua, que da como

resultado una regulación natural de los caudales que se originan en cuencas de páramo, permitiendo el aporte permanente de caudal base al cauce y una menor variabilidad en el recurso hídrico .

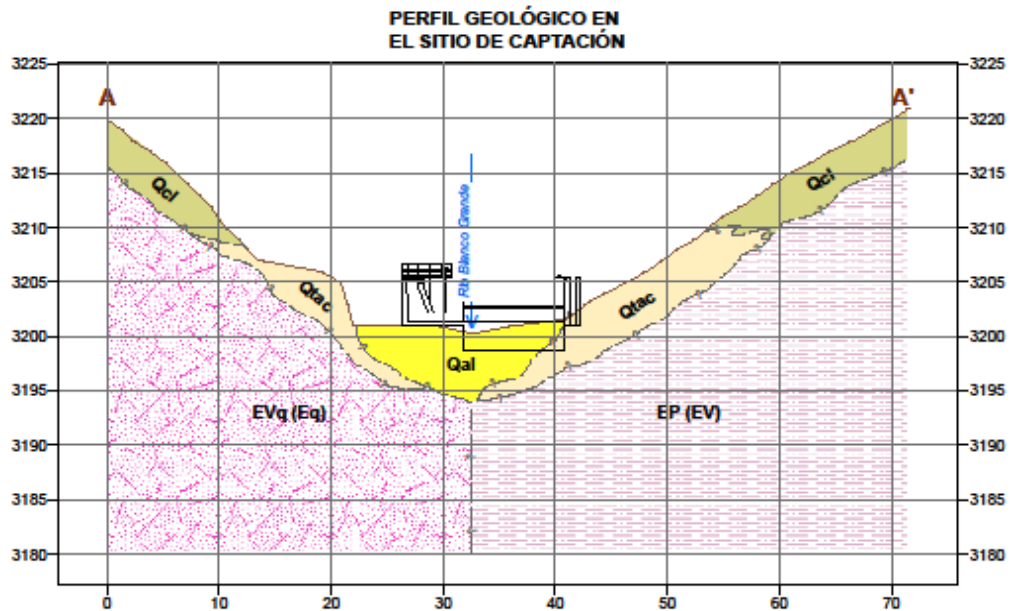


Figura 4. Geología tramo de la captación Río Blanco Grande

De acuerdo a la clasificación taxonómica el tipo de suelo que cubre el 86% de la cuenca corresponde al D3 (franco limosos).

2.3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CRISTAL

La figura 5 y la fotografía 4; muestran la forma del cauce en el sitio de captación del río Cristal.

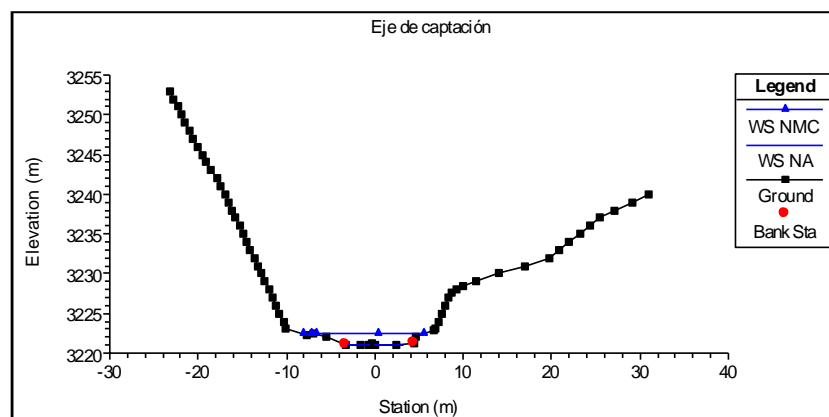


Figura 5. Sección transversal captación Río Cristal



Fotografía4: Vista del sitio de captación del Río Cristal

La pendiente ponderada del cauce del Río Cristal determina un valor de 20%. La Figura 6 muestra el perfil longitudinal y la pendiente ponderada del cauce.

La cuenca del río Cristal presenta una cobertura glaciar que comprende un 12% del área de drenaje, además en la parte alta de la cuenca se observan afloramientos rocosos o eriales que cubren aproximadamente un 16% de la superficie, el páramo alcanza una cobertura considerable del 39% dentro de la cuenca, la cobertura de bosque de la parte baja de la cuenca es igualmente importante con un 32% de área.

Los tipos de suelos identificados en la cuenca corresponden al CD5 y D3, se identifican adicionalmente afloramientos rocosos o eriales.

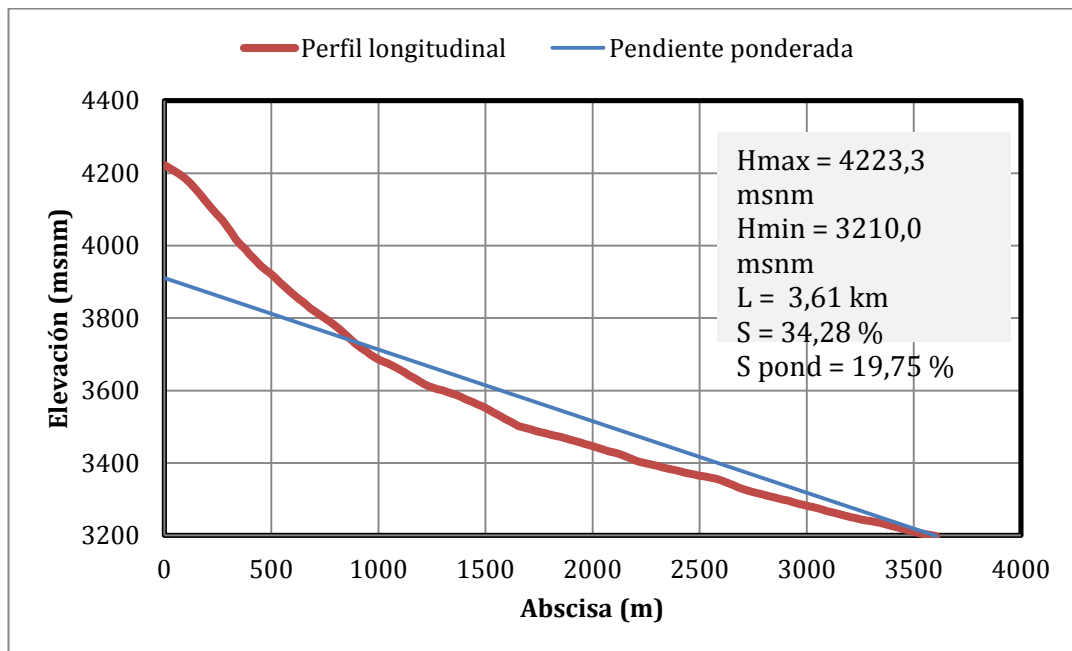


Figura 6. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce Río Cristal

En la zona de la captación del río Cristal se aprecia una morfología del terreno suave debido a que está ubicada en una terraza, compuesta de bloques métricos y cantos, en una matriz arenosa, se presenta muy consolidada, difícilmente erosionable. En el cauce se encuentran bloques métricos producto del arrastre de material por fuertes crecidas. En las márgenes se observan dos depósitos asociados con un sistema fluvio-glaciar en forma de terrazas, en los que se evidencia, hacia una de las márgenes, un subsistema fluvial y otro glaciar.

- Aluvial: depósito no consolidado clasto soportado, cuyo armazón lo componen gránulos y guijos de lavas negras y grises ligeramente porfíricos y esquistos micáceos sub-redondeados de esfericidad media moderadamente seleccionada; y,

- Fluvio – glaciar: depósito no consolidado con clastos entre 4cm y 1,5m de lavas grises y esquistos de cuarzo-moscovita.

La figura 7, muestra las principales características geológicas del cauce del río Cristal en el tramo de interés.

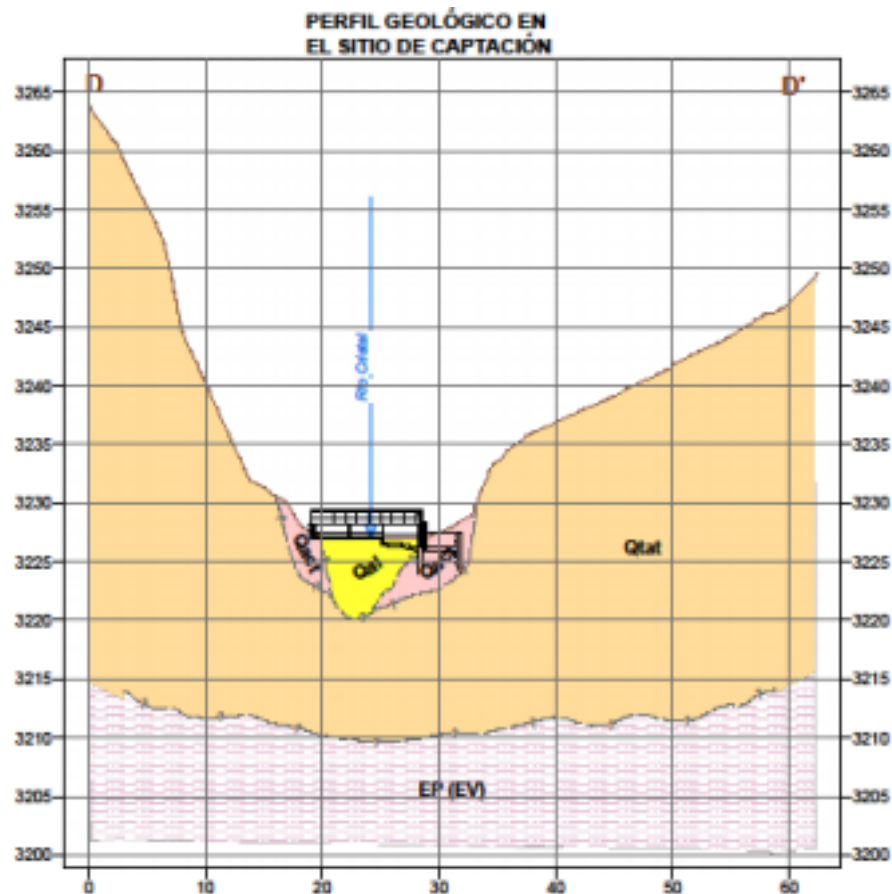


Figura7. Geología tramo de la captación Río Cristal

2.4 HIDROLOGÍA

Los análisis hidrológicos y calidad de las aguas de los ríos Blanco Grande y Cristal han determinado que estas pueden ser aprovechadas para el uso de agua potables previo su tratamiento, generación de energía hidroeléctrica y riego.

Los datos hidrológicos de las cuencas del Blanco Grande y Cristal se presentan en el Cuadro 2 y, corresponden a las estaciones hidrométricas instaladas por la EPMAPS, cuentan con un periodo de registro limitado 1996– 2012. Adicionalmente se dispone de los registros de aforos en varias secciones, próximas a los sitios de captación del proyecto.

Cuadro 2. Secciones de aforo en las cuencas.

Estación	Código	Ubicación WGS84 17S		Altitud (msnm)	Período de información
		Este	Norte		
Río Quijos Norte AJ Quijos Sur	RO10	827 961	9 947 860	2 680	1996 - 2012
Río Cristal en Captación	RO33	825 470	9.948 255	2 812	2006 - 2011

Fuente: Ingeconsult

En el cuadro 3, se presentan las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de estudio y, muestran los principales valores determinados para precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. De estas estaciones, la más importante tanto por su localización como por su disponibilidad de datos es la de Papallacta. Es necesario anotar que se generaron series de datos para 30 años desde 1966 – 1996, dada la disponibilidad de información.

Cuadro 3. Resumen general de datos precipitaciones.

ESTACIÓ N	PRECIP. (mm) media	TEMPERATURA (°C)			HUMEDAD RELATIVA (%)			VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO (km/h)		
		Máx	media	mínima	H máx.	H media	H mínima	Máx.	media	mínima
La Mica	763.5	9.6	4.1	-0.8	78.5	64.2	37.2	6.4	4.6	2.3
Papallacta	1528.3	11.9	9.7	7.9	98.0	91.3	71.0	7.2	2.7	0.0
Baeza	2347.9	17.9	16.5	13.7	93.0	87.7	81.0	10.5	3.0	0.1

Fuente: EPMAPS.

La figura 8, muestra la relación entre la precipitación y la altitud, se observa la disminución de la precipitación con la altitud:

$$P = 608\,383 H^{-0,734}$$

En donde:

P: Precipitación anual media (mm)

H: Altitud (msnm)

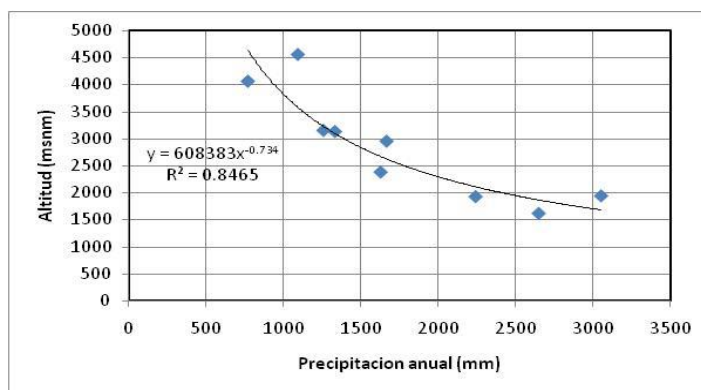


Figura 8. Variación de la Precipitación con la Altitud

El INAMHI, desarrolló un estudio de ecuaciones IDF a nivel nacional y que es comparado con la regionalización obtenida EPMAPS, dando como resultado que no hay mayor variación en las intensidades obtenidas por los dos métodos. En todo caso las curvas del INAMHI son más generalizadas en cuanto a su aplicación.

Cuadro 4. Cuadro de curvas IDF para la zona de Papallacta

Datos para Curvas IDF- Zona Homogénea 1 y 2 (Papallacta)		Intensidades para varios periodos de Retorno (mm/h)													
Duración (min)	Duración (h)	Periodo de retorno T_r (años)													
		2	5	10	15	20	25	30	50	100	200	500	1000	10000	
5	0.083	71.3	89.9	102.	110.	115.	119.	122.	130.	141.	151.	163.	172.	198.9	
10	0.167	51.5	64.9	74.3	79.6	83.2	86.0	88.2	94.2	102.	109.	118.	124.	143.6	
15	0.250	42.6	53.6	61.4	65.8	68.8	71.1	72.9	77.9	84.3	90.4	97.9	103.	118.7	
20	0.333	37.2	46.9	53.7	57.5	60.1	62.1	63.7	68.0	73.6	78.9	85.5	90.1	103.7	
25	0.417	33.5	42.2	48.3	51.8	54.1	55.9	57.3	61.3	66.3	71.1	77.0	81.2	93.4	
30	0.500	30.8	38.7	44.4	47.5	49.7	51.3	52.6	56.2	60.9	65.3	70.7	74.5	85.7	
35	0.583	28.6	36.0	41.3	44.2	46.2	47.7	49.0	52.3	56.6	60.7	65.7	69.3	79.7	
40	0.667	26.9	33.8	38.8	41.5	43.4	44.8	46.0	49.1	53.2	57.0	61.7	65.1	74.9	
45	0.750	25.4	32.0	36.7	39.3	41.1	42.4	43.5	46.5	50.3	53.9	58.4	61.6	70.9	
50	0.833	24.2	30.5	34.9	37.4	39.1	40.4	41.4	44.2	47.9	51.3	55.6	58.6	67.4	
55	0.917	23.1	29.1	33.4	35.7	37.4	38.6	39.6	42.3	45.8	49.1	53.2	56.0	64.5	
60	1	22.2	28.0	32.0	34.3	35.9	37.1	38.0	40.6	44.0	47.1	51.0	53.8	61.9	
120	2	16.0	20.2	23.1	24.8	25.9	26.8	27.5	29.3	31.7	34.0	36.9	38.8	44.7	
260	3	7.0	8.8	10.1	10.8	11.3	11.7	12.0	12.8	13.8	14.8	16.1	16.9	19.5	
360	6	5.5	6.9	7.9	8.5	8.9	9.2	9.4	10.1	10.9	11.7	12.7	13.3	15.4	
540	9	4.1	5.2	5.9	6.3	6.6	6.8	7.0	7.5	8.1	8.7	9.4	9.9	11.4	
720	12	3.3	4.2	4.8	5.1	5.4	5.5	5.7	6.1	6.6	7.0	7.6	8.0	9.2	
1080	18	2.5	3.1	3.6	3.8	4.0	4.1	4.2	4.5	4.9	5.2	5.7	6.0	6.9	
1440	24	2.0	2.5	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.7	4.0	4.2	4.6	4.8	5.6	

Fuente: INHAMI

2.5 CAUDALES DISPONIBLES

La determinación de los caudales disponibles se basa en sustraer del caudal 95% el caudal ecológico que, para este caso particular, se determinó en el 10% del caudal medio calculado. Por lo tanto, se considera el caudal 95% disponible.

2.6 CAUDALES MEDIOS DIARIOS

Para la determinación de los caudales medios se tomaron series de caudales para el período de 1966 hasta 1996 de tal manera de contar con 30 años de datos. Los caudales resultantes se presentan en el Cuadro 5, a continuación:

Cuadro 5. Caudales mensuales y anuales de las estaciones.

ESTACIÓN	CAUDAL MEDIO (m3/s)												Q med (m3/s)
Quijos DJ Oyacachi	150.70	151.70	173.00	199.40	231.10	283.10	303.80	241.00	207.80	156.10	147.20	131.20	198.00
Quijos en Baeza	42.00	39.90	46.60	49.40	57.40	72.50	83.00	58.90	52.50	39.00	35.80	33.60	50.90
Quijos AJ Borja	67.80	68.00	84.40	102.80	109.70	141.80	147.50	115.10	93.60	75.40	74.30	54.90	94.50
Cosanga	32.90	31.00	40.20	82.80	60.40	86.10	83.10	722.00	52.60	42.00	34.30	31.00	53.80
Yanahurco DJ Valle	1.30	1.42	1.75	1.99	2.08	3.31	4.78	2.88	2.16	2.04	1.66	1.46	2.24
Papallacta HCJB	1.63	1.61	1.80	2.29	2.62	3.46	4.02	3.26	2.52	1.97	1.80	1.79	2.40

Fuente: INHAMI

2.7 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En este estudio se determina dos niveles de cálculo del caudal sólido, tanto la carga en suspensión como el arrastre de fondo. Para determinar la carga en suspensión se determinó la relación de caudal líquido/caudal sólido. Para el cálculo del arrastre de fondo se puede utilizar la ecuación de Engelund Hansen, la granulometría del material de fondo y los caudales medios mensuales, cuadro 6.

Cuadro 6. Caudales Sólidos en suspensión.

Sitio	Área (Km2)	Cota (msnm)	Q med (m3/s)	Sed. susp (Ton/año)	Qs unitario (m3/Km2/año)	Lamina (mm)
Toma Río Cristal	5,8	3320	0,179	0,4	0,04	0,0000
Toma Río Blanco Grande	22	3195	0,862	17,6	0 44	0,0004

Fuente: Estudio PRO.

La determinación del transporte de fondo lleva una carga alta de incertidumbre en su determinación en función de la ecuación o aproximación utilizada. Es conocido que la mayoría de las ecuaciones utilizadas como la Engelund Hansen o Meyer Peter Muller fueron desarrolladas bajo condiciones de laboratorio, con pendientes bajas y material de fondo más bien fino.

En este sentido, la verificación del mejor comportamiento de cualquier aproximación es complicada, toda vez que es muy difícil estimar el peso del material arrastrado entre crecidas en un lugar determinado.

El estudio también calculó la erosión potencial utilizando la ecuación MUSLE, lo que determina un potencial de sedimentos que pueden llegar al cauce. Se hace conveniente en la zona del Antisana y en especial en las zonas altas definir una especie de inventario de acumulación de material que puede ser potencialmente arrastrado durante una crecida. Con esta información se puede determinar la lámina que podría ser arrastrada y que eventualmente puede generar un flujo de lodos.

2.8 DESCRIPCIÓN POR TRAMOS SEGÚN LOJTIN Y KROCHIN:

En el cuadro siguiente se presenta una representación de la caracterización que toma en cuenta los condicionamientos realizados por Krochin y Lojtin, en la cual describe por tipo de cauce para la determinación del tipo de flujo para en análisis del diseño de captación.

Cuadro 7. Descripción por tramos de ríos de montaña.

<i>Tipo de cauce (TIPOS TRAMOS)</i>	<i>D/ So (LOJTIN) D: Diámetro de partículas de fondo, en metros. So: Pendiente del tramo, en m/m</i>	<i>Fr (LOJTIN) Fr: Número de Froude</i>	<i>CARACTERIZACIÓN (KROCHIN)</i>	<i>CONSECUENCIAS (KROCHIN)</i>
<i>Alta Montaña (TRAMO ALTO)</i>	>10	>1	Tiene pequeños caudales, con crecidas altas, gradientes fuertes y altas velocidades	Erosión activa, el cauce se profundiza. El río corre por un valle estrecho y profundo. Transporta sedimentos.
<i>Montaña (TRAMO MEDIO)</i>	>7	0.7 a 1.0	Caudales mayores y gradientes menores.	Presenta equilibrio en el caudal sólido, los sedimentos de depositan en la orillas. Conviene ubicar mayoría de obras de toma.
<i>Falda de montaña (TRAMO BAJO)</i>	>6	0.45 a 0.7	Grandes Caudales . Pequeñas velocidades y gradientes.	Se produce el depósito de sedimentos y a veces elevación de cauce.

Fuente: Krochin, 1896 – Lojtin, 1998

Según el cuadro 7, el tramo alto es el que contemplaría para este análisis del estudio.

A continuación detallamos las captaciones de ríos de montaña para considerarse en mejoramiento propuesto.

2.9 TIPOS DE CAPTACIÓN EN RÍOS DE MONTAÑA:

Las captaciones existentes para cumplir con este tipo de objetivos se esquematizan en el gráfico 1, y son:

Bocatomas laterales o convencionales, la captación tiene el cierre en el cauce del río con un dique vertedero (que puede ser fijo o móvil) y el ingreso del agua se lo realiza a través de un orificio o vertedero lateral;

Bocatomas frontales, la derivación tiene el orificio de captación de caudales perpendicular al sentido de la corriente principal, ubicada en la parte frontal de un muro o de una pila; y, Bocatomas verticales (toma de fondo), la captación posee el orificio de derivación en la parte alta de un dique o azud de cierre. Sin embargo, también puede estar ubicada en el fondo del río, es decir, sin obra de cierre como es el caso de la denominada de tirolés.

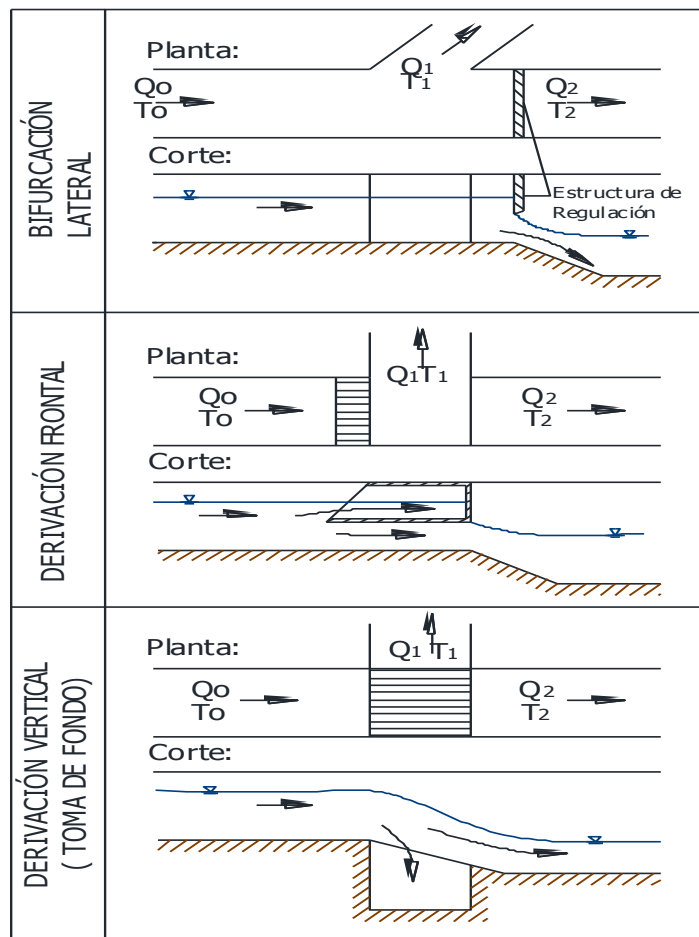


Gráfico 1. Esquema sobre los tipos de captaciones de agua desde cursos naturales. Fuente: Castro, 1986

El siguiente cuadro se presentan varios elementos de análisis fluviomorfológico a considerarse, para la ubicación de la estructura que componen una captación:

Cuadro 8. Tipos de captación según el estado actual del tramo del río.

<i>Estado del tramo del río</i>	<i>Derivación lateral</i>		<i>Captación de fondo (rejilla)</i>
	<i>Con exclusión de sedimentos</i>	<i>Sin exclusión de sedimentos</i>	
En equilibrio	Recomendable, sobre todo si no se requiere de cierre del cauce	Aplicable, se debe analizar el efecto del depósito del material aguas arriba de la estructura como resultado del embalsamiento	Favorable, se recomienda no colocar el cierre del cauce
En sedimentación	No es recomendable para estos dos tipos de captaciones, se provoca un azolve inmediato de la zona aguas arriba de la estructura		Aplicable pero no recomendable, la derivación puede funcionar con una cobertura parcial de la rejilla
En erosión	Recomendable para todos los tipos de captación, sobre todo cuando se requiere del cierre en el cauce. Se esperan zonas pequeñas de depósitos o de azolve. Se debe proteger la estructura frente al ataque de la erosión regresiva desde aguas abajo		
En erosión latente	Muy recomendable para todos los tipos de captación, sobre todo cuando se requiere del cierre en el cauce. Se esperan zonas muy pequeñas de depósito o de azolve		

Fuente: Carvajal, 2012 - Castro,1986

Con base en el cuadro anterior, para los diferentes ríos, se tienen tramos en estado de equilibrio donde son bastante aplicables las captaciones laterales y las de rejilla de fondo, que son las que se consideran en el proyecto.

Por otra parte, se realiza un breve análisis de las ubicaciones de las estructuras de tomas, para lo cual, es necesario conocer el estado fluviomorfológico del río y con según el estudio, verificar la mejor alternativa de captación. Así, se evaluará el perfil longitudinal a través del Cuadro 8 y la forma en planta del río con el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tipo de captación según la pendiente longitudinal del río.

<i>Pendiente longitudinal del río</i>	<i>Derivación lateral</i>		<i>Captación frontal</i>	<i>Captación de fondo (rejilla)</i>
	<i>Con exclusión de sedimentos</i>	<i>Sin exclusión de sedimentos</i>		
$I_0 > 10\%$ Pendiente muy fuerte (Tramo torrencial)	Favorable. Siempre y cuando se garantice mantenimiento poco frecuente.	No recomendable. Se requiere mantenimiento permanente.	No recomendable. Flujo de aproximación con mucha turbulencia. Se requiere mantenimiento permanente.	Muy favorable. Típico caso de aplicación del tipo tirolés. No requiere mantenimiento.
$10\% > I_0 > 1\%$ Pendiente fuerte (Tramo de pie de montaña)	Recomendable para cualquier tipo de captación. Sin restricción sobre el tipo fijo o móvil de cierre del río.			No es recomendable. Existe el ingreso del 100% del material sólido de tamaño medio y fino. Se requiere mantenimiento permanente.
$1\% > I_0 > 0,01\%$ Pendiente baja (Tramo medio)	Recomendable para estos dos tipos de captación. Sin restricción sobre el tipo de cierre del río.			
$0,01\% > I_0 > 0,001$ Pendiente baja (Tramo inferior)	Favorable. Es practicable aún sin cierre del río o embalsamiento	No recomendable. No existe diferencia de nivel para la limpieza del material sólido. El cierre del río por medio de diques altos hace la solución muy costosa.		
$I_0 < 0,001\%$ Pendiente muy baja (Tramo de delta)	No recomendable cualquier tipo de captación. Se presentan como alternativas la captaciones por medio de estaciones de bombeo, tanto para la derivación del caudal líquido como para las operaciones de exclusión, expulsión y limpieza del sedimento.			

Fuente: Carvajal, 2012-Castro, 1986.

Cuadro 10. Tipo de captación según la forma de la planta del tramo del río.

<i>Forma del río en planta</i>	<i>Derivación lateral</i>		<i>Captación frontal</i>	<i>Captación de fondo (rejilla)</i>
	<i>Con exclusión de sedimentos</i>	<i>Sin exclusión de sedimentos</i>		
Tramo recto	Favorable, sobre todo con obras complementarias para producir flujo helicoidal en el río (espigones) y en sección de ingreso (estructura en cantiléver)		Muy favorable. Flujo de aproximación con distribución uniforme y de poca intensidad de turbulencia.	Muy favorable. Flujo de aproximación y de vertido con distribución uniforme.
Tramo curvo		Muy favorable, sobre todo en la parte cóncava de la curvatura del río	Posible. Se requieren obras complementarias para la distribución uniforme del flujo de aproximación	No es recomendable.
Tramo trenzado (varios cauces)	No es recomendable. En el caso de que sea imprescindible, se debe generar un embalsamiento o control del cauce principal y regularlo hacia aguas arriba.			No es recomendable el tipo tirolés. Se puede implementar el tipo caucasiano.

Fuente: Carvajal, 2012 - Castro, 1986.

Una vez revisados los datos del cuadro anterior, se observa que para las pendientes de los tramos de los ríos, las derivaciones seleccionadas son favorables. Sin embargo, según la forma de la planta se podría decir que para algunos de ellos no es la más adecuada, pero se debe considerar también que las rejillas de fondo son prácticamente independientes de la forma del río y pueden ser ubicadas en un tramo curvo si se favorece, a través de estructuras, el direccionamiento del flujo principal.

Una vez definidos los sitios y los tipos de captaciones, se presenta a continuación un cuadro donde se pueden observar las ventajas y desventajas de los dos tipos de bocatomas del proyecto.

Cuadro 11. Características de las captaciones toma (convencional) y toma con rejilla de fondo.

<i>Tipo de captación</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Lateral (general)	<ul style="list-style-type: none"> –Aplicable en todos los sitios, muy flexible –Si se seleccionan bien la ubicación y la configuración geométrica, los problemas con los sedimentos son pequeños –Derivación libre de sedimentos hasta un 50% de derivación del caudal líquido –Es posible la corrección y la rehabilitación de la estructura sin mayor costo y dificultad 	<ul style="list-style-type: none"> –Se requiere de una excelente selección del sitio de implantación de las estructuras –Se requiere de obras complementarias para el manejo de los sedimentos –Se recomienda el uso de la modelación física para el diseño apropiado
Lateral (con estructura de cierre)	<ul style="list-style-type: none"> –Se ejerce un excelente control sobre la dosificación o regulación del caudal de ingreso –Es posible mantener un caudal derivado constante –Es posible mantener un nivel constante en la superficie libre del agua del río 	<ul style="list-style-type: none"> – La estructura de cierre elimina o disminuye los efectos del flujo secundario –Los costos de construcción son elevados –Se requiere de obras de desvío para la construcción –Existe tendencia al azolve en el embalse –Se requiere de la disipación de energía al pie de la estructura de cierre –Se requiere de un control y de un mantenimiento permanente
Rejilla de fondo Tipo tirolés, o caucasiano	<ul style="list-style-type: none"> –No es sensible al sitio de implantación –Construcción simple y barata –No requiere de mantenimiento permanente –Opera en forma automática por períodos largos de tiempo –No produce restricciones al flujo en crecidas –No está sujeta a daños durante las crecidas –No puede bloquearse totalmente (existe auto limpieza) –Capta los caudales pequeños o los mínimos –No requiere de obras o equipamiento complementario caro –Muy favorable cuando se tiene sedimento grueso –Muy favorable en cuencas jóvenes, con aporte abundante de material sólido –Muy favorable en crecidas rápidas y con valores muy importantes –Funciona aún con flujo supercrítico –No requiere de embalsamiento del agua –Típica en ríos torrenciales o de montaña –Existe una clasificación del material sólido, dependiendo de la apertura entre barrotes de la rejilla y del número de rejillas –Aplicable en ríos intermitentes o en ríos estacionales (tipo caucasiano) 	<ul style="list-style-type: none"> –No es posible la regulación en las variaciones del caudal natural –Existe una limitación en el caudal derivable –Se requiere de barrotes estables –Se requiere de un orificio relativamente grande por el riesgo de taponamientos –Difícil acceso para la limpieza de la rejilla y del canal de recolección –Difícil operación para el secado de la rejilla y del canal de recolección durante las operaciones emergentes –Taponamientos con material vegetal y con hielo –Todo el material sólido fino ingresa al canal de recolección –En el tipo caucasiano, puede fallar la operación del filtrado –No es recomendable cuando el río tiene mucho material fino

Fuente:Castro,1986.

CAPÍTULO 3

3.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios a ser adoptados para el dimensionamiento de los diversos componentes de una captación, consideran, entre otros, los siguientes:

- “Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones mayores a 1 000 habitantes”, del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias;
- Normas de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC);
- Normas de la EPMAPS;
- Normas del Instituto Nacional de Riego (INAR);
- Normas, parámetros y criterios internacionales comúnmente aceptados por la buena práctica de la ingeniería, tales como normas AWWA, guías de la OMS, etc.; y,
- Experiencia del director y codirector de tesis en proyectos similares.

La definición de los parámetros hidrológicos consideran caudales medios, mínimos y máximos para los sitios de captaciones y, el aporte de sedimentos de la cuenca hacia estos además, contempla el aporte de sedimentos hacia las mismas; los parámetros hidrológicos consideran el análisis y extensión de las series de caudales para las captaciones, estudios de crecidas y transporte de sedimentos descritos en el capítulo 2.

3.1.2 CAUDALES DISPONIBLES

La determinación de los caudales disponibles se basa en sustraer de un caudal aprovechable el cual difiere a los usos consultivos que se te va a dar, en

el caso específico se considera que el aprovechamiento del recurso agua es para abastecimientos de agua potable y, por tal motivo el caudal aprovechable se considera un caudal mínimo que es el que estadísticamente proporcionara a los sistemas una continuidad en el servicio por lo que, las normas de diseño toman el caudal 95% como el aprovechable; a este caudal disponible se le debe restar el caudal ecológico que en el presente caso se le considera el 10%; en el caso de aprovechamientos de centrales hidroeléctricas se considera hasta un caudal 40% y, como el caudal ecológico aplica el método de Tennant, es decir que el caudal ecológico será al menos el 10% del caudal medio anual.

El Registro Oficial No.41, del 14 de marzo de 2007, donde el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), mediante Acuerdo Ministerial N°155, emitió las “Normas para la determinación del caudal ecológico y el régimen de los caudales ecológicos en los sectores hidrográficos respectivos”. En su Libro VI, Anexo, Anexo 1B. El Cuadro 12 presenta los caudales disponibles de los ríos seleccionados.

Cuadro 12.Caudales disponibles.

Probabilidad %	Río Cristal	Río Blanco Grande
Cota (msnm)	3 320	3 195
Área Km ²	5,47	23,22
Q. 95%	0,111	0,536
Q. medio	0,236	1,124
Q. eco	0,012	0,054
Q. 95% disponible	0,103	0,482

Fuente: Hidrología Ríos Orientales.

3.1.3 CAUDALES MÁXIMOS

Estos caudales de crecida se determinan para las obras de exceso. En el cuadro 13, muestran los valores obtenidos para los caudales de crecida.

Cuadro 13. Caudales Máximos.

Sitio	Área (km ²)	Cota (msnm)	QTr10 (m ³ /s)	Q Tr25 (m ³ /s)	QTr50 (m ³ /s)	QTr100 (m ³ /s)
Río Cristal	7,83	3320	3,78	6,76	9,33	12,24
Río Blanco Grande	25,16	3195	29,10	44,88	56,76	70,95

Fuente: INHAMI.

3.1.4 AFOROS Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para contra restar y convalidar si los datos hidrológicos obtenidos campañas de aforos sólidos y líquidos también se aprovechó para tomar muestras de calidad de las aguas. El cuadro 14, presenta el resumen de los datos obtenidos en campo y en el laboratorio, de las muestras para caudales sólidos.

Cuadro 14. Resumen de aforos líquidos y sólidos en los sitios de captación.

Sitio	Área (km ²)	Cota (msnm)	Qsusp. (T/año)	Q fond. (T/año)	Qsol. (T/año)
Río Blanco Grande	25,16	3 195	221,10	165,83	386,93
Río Cristal	7,83	3 210	28,02	21,01	49,03

Fuente: INGECONSULT.

Como se puede observar, el caudal de sólidos Q_s es alrededor del 1% del caudal líquido Q_l , lo que demuestra que en condiciones normales el aporte de sólidos es mínimo sin embargo, la zona de estudio es propensa a la ocurrencia de flujos de lodo y escombros de carácter primario y secundario. Los así denominados lahares, en la zona del Antisana, pueden tener un origen directo debido a la probable erupción del volcán, lo que ocasionaría el derretimiento del casquete glacial y el arrastre del material del cauce y de los taludes, por la enorme cantidad de agua que podría circular.

Además, se pueden producir lahares secundarios, originados por la acumulación de material suelto en los cauces y la ocurrencia de lluvias intensas. Los lahares que se están produciendo constantemente en Baños – Tungurahua son un ejemplo de la ocurrencia de lahares secundarios y que podrían presentarse también en la zona del proyecto por la acumulación de material suelto y ceniza de otros volcanes (Reventador o Cotopaxi). En la siguiente etapa, y una vez que se tengan más datos sobre el tipo y origen del material suelto en la zona, se determinará el volumen potencial que puede ser arrastrado durante la ocurrencia de estos lahares secundarios.

Las fotografía 5 y fotografía 6, son representativas del material de fondo encontrado durante las visitas de campo en la zona de las captaciones (cada cuadro de la malla es de 10x10cm).



Fotografía 5. Material de fondo Río Cristal



Fotografía 6. Material de fondo Río Blanco Grande

Las fotos muestran durante las crecidas el arrastre de material granular (gravas a cantos). Lo que implica que cualquier estructura de captación necesariamente se deben incluir desarenadores.

3.2 CRITERIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE CAPTACIONES Y SU DISEÑO

Las consideraciones mínimas a ser tomadas en cuenta para los dimensionamientos de las obras de captación de aguas superficiales son de usos consultivos:

- Área de la cuenca hidrográfica;
- Calidad del Agua, Arrastre de sedimentos;
- Condiciones geomorfológicas del área de captación;
- El tipo de construcción debe ser económico, de fácil ejecución y operación;
- En construcción debe ser económico, de fácil ejecución y operación;

- Asegurar el tránsito del caudal ecológico; y de caudales de crecidas sin que estas afecten las estructuras;
- Las obras deberán estar diseñadas de tal modo que resistan el impacto de los flujos provenientes de aluviones o de lodos;
- Durante los fenómenos de crecidas, los excesos deberán ser evacuados por adecuadas estructuras de control (azudes, vertederos, etc.);
- Su emplazamiento debe asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico, además de brindar facilidades para su construcción; y, las estructuras de captación.

Las estructuras de captación según las condiciones de flujo y transporte de sólidos, que se considerarán son las tomas, convencional, lateral y de fondo. Con base en los criterios mencionados y la condiciones físicas de la cuencas del estudio, que optan por captaciones directas convencionales cuyas características son:

- Zona de adecuaciones de sedimentos de agua cruda;
- Pantalla o azudes con colectores
- Obras de fondo (rejillas)
- Desarenadores
- Tanque de Carga

Toma Fondo (tirolés):

Se adoptará este tipo de toma, donde se espera tener un fuerte flujo de material grueso como arrastre de fondo, dicha toma consta de las siguientes partes:

- Cierre de poca altura;
- Una rejilla;
- La cavidad, denominada galería;
- Un zampeado; y,
- Una protección aguas abajo.

El cierre de la sección del río se complementa con la colocación de pilas y, de ser necesario, colocar stop lock entre ellas.

De igual manera, para la protección de la obra de toma se colocará, varios metros aguas arriba, una protección que está compuesta por una pantalla retenedora de sólidos gruesos, formada por tubos metálicos de 400mm rellenos de hormigón, colocados verticalmente y trabados de forma alternativa con una separación de 0,5m.

Las obras de disipación de energía y las dimensiones de los muros laterales se han diseñado para un caudal con período de retorno $TR = 100$ años.

Toma lateral (convencional)

Se implanta para captar las aguas del río Blanco Grande, se ubicarán en sus márgenes, de forma tal, que el agua ingresará directamente a una reja que conducirá las aguas hacia el desarenador.

Las partes principales que componen las captaciones laterales son:

- Rejilla de captación
- Dique de cierre o Azud de derivación
- Zampeado
- Canal de limpieza del azud

- Enrocado
- Escalera de peces
- Vertedero de excesos de la captación
- Vertedero de derivación de la captación

Para controlar el material de transporte de crecidas, se coloca la protección descrita en la captación de rejilla de fondo.

3.3 PERÍODO DE PLANIFICACIÓN Y VIDA ÚTIL

La vida útil de los principales componentes, se los ha determinado de acuerdo con sus características, de la siguiente manera:

- Obras civiles (hormigones) 40 años
- Equipos electromecánicos (compuertas, actuadores) 20 años

3.4 CAUDALES DE DISEÑO

Para el diseño se considera:

- Q captación: $Q_{95\%}$: Para Agua Potable
- $Q_{50\%}$: Para Riego
- $Q_{40\%} - Q_{60\%}$: Para Generación Eléctrica
- $Q_{\text{Derivación}}$ (azud, vertederos de excesos): Q_{50} a Q_{100} años

En el caso particular del propuesto en este diseño:

$Q_{\text{ECOLOGICO}}$: 10% del $Q_{95\%}$.

Los cuadros 15 y 16, del presente documento muestran los caudales de diseño y los de crecidas, que fueron la base del dimensionamiento hidráulico.

Cuadro 15. Caudales Calculados.

Sitio	Cota [msnm]	Área (km²)	Q_{95%} (m³/s)	Q_{med} (m³/s)	Q_{eco 95%} (m³/s)	Q_{95% disponible} (m³/s)	Q_{concesionad o} (m³/s)
Blanco Grande	3 200,74	23,23	0,535	1,123	0,053	0,481	1,190
Cristal	3 221,00	7,83	0,165	0,346	0,016	0,148	0,408
TOTALES		31,06	0,700	1,469	0,069	0,629	1.598

Fuente: Hidrología Ríos Orientales.

Cuadro 16. Caudales de Crecidas.

Sitio	QTr5 (m³/s)	QTr10 (m³/s)	Q Tr25 (m³/s)	QTr50 (m³/s)	QTr100 (m³/s)
Blanco Grande	41,11	52,43	67,36	77,68	87,84
Cristal	15,55	20,01	25,91	29,98	34,02

Fuente: Hidrología Ríos Orientales.

3.5 CALIDAD DE LAS AGUAS

La calidad de las aguas se determinó para determinar si son aptas para consumo humano y como para el diseño de las obras civiles.

Las características físicas, químicas y bacteriológicas, demuestran ser aguas agresivas y corrosivas por presentar índices de agresividad mayores a 9,51 e índices de Langelier con valores negativos; principalmente de los ríos Cristal y Blanco Grande.

Estos índices son determinados por Kevin Rafferty (Scaling in geothermal heat pump system, US Department of Energy, 1999), nos permiten corregir que son aguas altamente corrosivas.

ISL	Indicación
-2,0<ISL<-0,5	Corrosión severa
-0,5<ISL<0	Corrosión leve pero sin formación de incrustaciones
ISL= 0,0	Equilibrada pero con posible corrosión leve

0,0<LSI<0,5 Formación leve de incrustaciones pero corrosiva 0,5<LSI<2

Particularmente, estos índices hacen que los diseños contemplen el uso de inhibidores para el diseño de hormigones .

En los cuadros 17 y 18 , nos indica el reporte de análisis físico químico realizado entre los principales tenemos PH, Alcalinidad Total, Solidos Disueltos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O) , Arsénico y Coliformes Totales . Que se muestran a continuación:

Cuadro 17. Calidad de las agua.

PARÁMETROS	UNIDADES	BLANCO GRANDE	BLANCO GRANDE	RÍO CRISTAL	RÍO CRISTAL
		22/11/2011	22/11/2011	30/11/2011	30/11/2011
PH		5,89	6,	3,03	3,06
CONDUCTIVIDAD	Ns/cm	525,00	528,00	1372,00	1263,00
COLOR	U. DE COLOR	12,00	10,00	3,00	< 1
CALCIO	mg/L	26,30	32,40	103,2	95,1
TURBIEDAD	FTU	16,00	17,00	2,00	9,00
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L-CaCO ₃	20,60	16,50	0,5	0,5
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	341,30	343,20	891,80	821,00
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	mg/L	15,00	16,00	1,00	10,00
DUREZA TOTAL	mg/L-CaCO ₃	176,80	176,80	429,30	414,10
FOSFATOS	mg/L	< 0,003	0,029	4	2
SULFATOS	mg/L	202,00	218,00	577,00	568,00
DQO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	3,	3,	< 3,2	< 3,2
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O.)	mg/L	0,4	< 0,2	<0,2	< 0,2
HIERRO	mg/L	< 0,014	< 0,014	3,335	2,363
MAGNESIO	mg/L	27,00	23,30	41,70	43,00
ARSÉNICO TOTAL	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
SODIO	mg/L	39,	39,	19,16	17,75
POTASIO	mg/L	8,	8,	8,38	7,40
ALUMINIO	mg/L	< 0,1	< 0,1	15,00	11,60
OXIGENO DISUELTO	mg/L	6,	6,	7,14	7,09
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	4	<2	< 2	< 2
ESCHERICHIA COLI	NMP/100ml	2	<2	< 2	< 2
Índice de Agresividad		8,62	8,73	4,74	4,74
pHs		9,1	9,1	10	10
Índice de Langelier		-3,21	-3,1	-6,97	-6,94

Fuente: EPMAPS

3.6 CRITERIO DE SELECCIÓN

El cuadro con los criterios de selección para obras de captación lateral o de fondo la encontramos en la página 25. La decisión de la selección del tipo de captación se debe realizar tomando en cuenta las condiciones locales que son particularmente influenciadas por la morfología y la topografía del río.

3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS

Dentro de las obras de complementarias de una estructura de toma se tienen:

3.7.1 REJILLAS

En cada captación se desarrollara el análisis de la rejillas.

3.7.2 DESARENADORES

Estas estructuras tienen por finalidad la de remover partículas de un tamaño determinado (superior a 200 micras), que pueden pasar a través de la rejilla de captación, con el propósito de evitar que arenas, gravas y cenizas ingresen al tanque de carga y líneas de conducción evitando de esta manera posibles malfuncionamiento por afectaciones a las estructuras como son la de disminuir la capacidad hidráulica de tanques de carga y conducciones, abrasión o colmatación de partículas que afecten las paredes de las estructuras.

Dentro de las características principales en el diseño de un desarenador a considerarse se tienen:

- Temperatura y viscosidad del agua;

- Propiedades de la partícula por sedimentarse como son: tamaño (se considera partículas de tamaño uniforme), velocidad (se asume flujo laminar).

Los desarenadores generalmente para los ríos de montaña son de flujo horizontal cuya longitud está en función del tamaño de grano por sedimentarse.

CAPÍTULO 4

4.1 DISEÑO

Las obras de toma a dimensionarse consideran para su implantación, las características geomorfológicas e hidráulicas de las cuencas hidrográficas, y deben ser capaces de trabajar para las diversas condiciones debiendo garantizar su estabilidad, permanencia, operación y mantenimiento para el periodo de diseño considerado para estas obras.

Fundamentados en el análisis realizado en los capítulos anteriores, y habiéndose tomado como cuencas hidrográficas representativas a la de los ríos Blanco Grande y Cristal, se formulan dos tipos de tomas superficiales como son:

- Toma lateral con azud
- Toma de rejilla de fondo (Tirolesa).

Se han considerado adecuadas para las obras de toma de rejillas de fondo las siguientes características:

- Fluyen pequeñas cantidades de agua, o cuando la lámina de agua se reduce considerablemente en el estiaje;
- Fuertes pendientes longitudinales;
- Crecientes súbitas con intenso arrastre de fondo; y,
- Bajo contenido de sedimentos finos y agua relativamente clara en estiaje.
- Condiciones geomorfológicas en U

La toma sobre el río Cristal cumple con las características antes mencionadas para la implantación de una captación del tipo tirolesa.

Para las captaciones laterales o también denominadas convencionales se han considerado las siguientes características:

- Ríos caudalosos y de gran pendiente.
- Ancho del río en el lugar de la captación no es muy cerrado. Es decir, la variación del nivel de calado no es demasiado grande a través un cierto período.

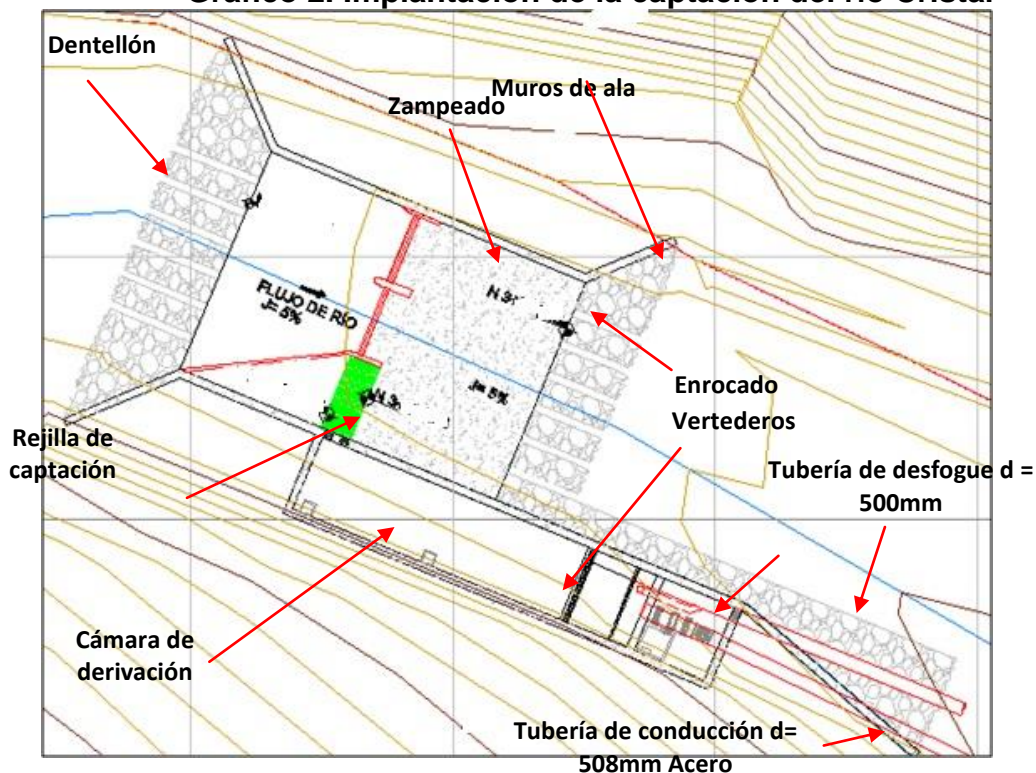
Para este tipo de condiciones, se considera que el río Blanco Grande es adecuado para la implantación de este tipo de toma.

4.2 RÍO CRISTAL

UBICACIÓN

El desarrollo de la estructura principal y de las obras complementarias de la bocatoma u obra de derivación de caudales, se ubica a partir de la siguiente sección transversal, en el curso natural del río:

Gráfico 2. Implantación de la captación del río Cristal



DESCRIPCIÓN DE CÁLCULO

La estructura de captación es la denominada de tipo tirolesa. Sin embargo, no es la tradicional, debido a que la diseñada en el Proyecto no dispone de un azud, entonces, se colocará la rejilla prácticamente en el fondo del río con el propósito de alterar lo menos posible, las condiciones naturales del río.

La rejilla se colocará sobre una galería que se conecta a un canal. El canal es a su vez un primer desripador. También sirve para realizar el control del caudal que ingresa a la tubería que va al desarenador.

La protección de la estructura se hace a través de la disposición de una pantalla retenedora de sólidos gruesos. Esta pantalla está conformada por tubos metálicos de 400mm rellenos de hormigón colocados verticalmente, trabados de forma alternada, con una separación de 0,5m. Esta protección se colocará aproximadamente 40,0m aguas arriba del dentellón de entrada de la captación.

El cierre de la sección del río se complementa con la colocación de pilas cada 3,0m, para, de ser necesario, colocar *stop lock* entre ellas.

Las obras de disipación de energía y las dimensiones de los muros laterales se han diseñado para un caudal con período de retorno $T_R = 100$ años, $Q_{100} = 34,02\text{m}^3/\text{s}$.

La estructura principal consta de los siguientes elementos:

- (a) Reja de entrada;
- (b) Galería de Captación;
- (c) Cámara de derivación;

- (d) Vertedero en la cámara de derivación;
- (e) Tanque de carga;
- (f) Zampeado;
- (g) Enrocado; y,
- (h) Cámara de válvulas.

Los planos de la captación se presentan en el Anexo I. Planos.

a) Rejilla de Captación

La rejilla tiene como objetivo principal evitar que los materiales tanto de arrastre como de suspensión, ingresen al canal o a la tubería que transportará el agua hacia el desarenador.

La rejilla de fondo se ubica en un tramo de longitud adecuada para garantizar el ingreso del caudal de captación. La rejilla mide 3,0m x 1,2m. Las dimensiones de la rejilla han sido determinadas para el caudal de captación con un 10% adicional. Sin embargo, el diseño se revisó para el caudal de un período de retorno de 10 años.

La separación adoptada entre los barrotes de la rejilla de toma es de 2,5cm, ello determina el tamaño máximo del material sólido que podría entrar en la galería. Sin embargo, este material podrá ser recolectado inicialmente en la cámara ubicada antes del ingreso de la tubería. La limpieza del material sedimentado se realizará a través de una tubería de acero de 500mm de diámetro con una pendiente del 5%. La salida de ésta tubería hacia el río estará protegida mediante muros de ala.

La pendiente longitudinal de la rejilla de captación es del 25%, con lo que se garantiza que el material sólido pueda transitar sobre ella. El caudal ingresará a la galería de captación para su conducción.

A continuación se describen los diferentes parámetros empleados:

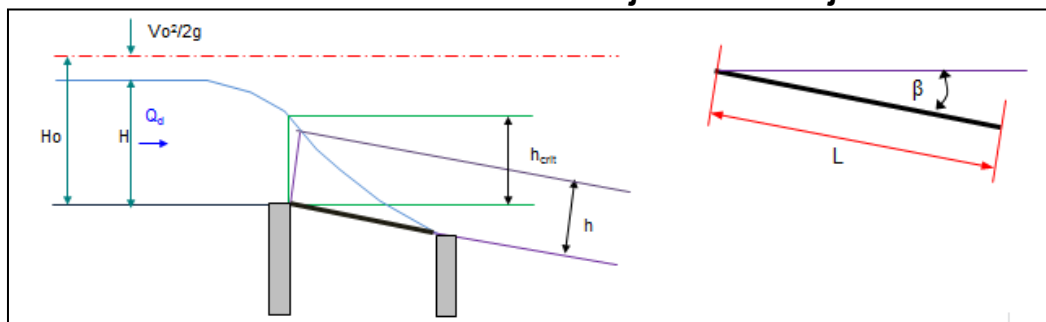
$B_r = 9,0\text{m}$ → ancho del río en el lugar de la captación (se ha considerado el espejo de agua para el caudal del período de retorno de 100 años, obtenido en la corrida del Hec-Ras).

$I = 0,14\text{m/m}$ → pendiente del río en el sitio de la toma

$n = 0,043$ → Coeficiente de Manning para la sección del río; dato obtenido del análisis mediante la metodología propuesta por Cowan¹, realizado con base en fotografías y salidas de campo .

$Q_{DIS} = 0,45\text{m}^3/\text{s}$ → caudal concesionado más el 10%

Gráfico 3. Distribución del flujo sobre la rejilla



Las características hidráulicas del cauce, aguas arriba de la toma, se han determinado con la ecuación de Manning:

¹"Hidráulica de los Canales Abiertos", V.T. Chow, McGraw Hill, página No. 104.

$$Qd = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} * Br * H \rightarrow \text{Caudal según Manning}$$

$$Qd = \frac{1}{n} * \left(\frac{Br * H}{Br + 2 * H} \right)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} * Br * H$$

Los elementos calculados:

$H = 0,19\text{m}$ → Calado aguas arriba de la toma, obtenida con la ecuación mencionada

$V = 0,28\text{m/s}$ → Velocidad media del río en el sitio de la captación

$H_o = 0,20\text{m}$ → Nivel mínimo de aguas en época de estiaje + carga de velocidad

A continuación se mencionan los datos de la rejilla:

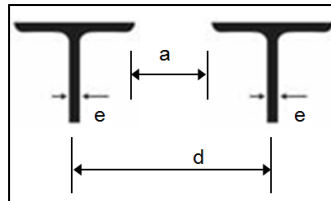
$\mu = 0,62$ → Coeficiente de contracción de la rejilla, depende del tipo

$a = 0,025\text{m}$ → Espaciamiento de las barras de la rejilla

$d = 0,055\text{m}$ → Distancia entre ejes de las barras

$e = 6\text{mm}$ → Espesor del perfil de las barras

Gráfico 4. Esquema de las dimensiones de las rejillas



$\beta = 25^\circ$ → Ángulo de inclinación de las rejillas

$x = 0,805$ → Coeficiente en función del ángulo

$h = 0,11\text{m}$ → Altura del agua al inicio de la rejilla. $h = 2/3 * x * H_o$

$C = 1,04$ → Coeficiente en función de a , d y β según Frank $C = 0.6 * a/d * \cos^{2/3} \beta$

Para determinar el caudal en función de las dimensiones de b y L de la rejilla

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \cdot C \cdot \mu \cdot b \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad b \cdot L = \frac{Q_{dis}}{\frac{2}{3} \cdot C \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

$$\Rightarrow b \cdot L = 3,12m^2$$

$$\text{Si } b = 3m \rightarrow L = 1,04m$$

Entonces, se asume la longitud de la rejilla en 3,0m y el ancho en 1,2m, como dimensiones constructivas. Éstas dependen del ancho de la galería.

Finalmente, se determina el caudal real que será captado:

$$Q_{CAP} = 0,52m^3/s$$

De igual manera, se realizó la verificación del caudal por captarse cuando se presente la crecida de 10 años. Entonces, el caudal de ingreso por la rejilla será de 1,14m³/s. El vertedero de excesos que se encuentra en la denominada cámara de derivación será el que regule el caudal extra y lo envíe de retorno al río a través de la tubería de limpieza.

b) **Galería de captación**

La galería de captación es una cámara que se encuentra ubicada directamente bajo la rejilla, tiene un canal con flujo de caudal variable, como se puede ver en el gráfico 4.

Los cálculos que se realizaron para la galería se presentan a continuación:

$$Q_{DIS} = 0,45m \rightarrow \text{Caudal de diseño (caudal concesionado + 10\%)}$$

$$n = 0,040 \rightarrow \text{Coeficiente de Manning para la galería}$$

Para el coeficiente n , se toma un valor igual a 0,040 que toma en cuenta las pérdidas adicionales que se producen por el flujo espiral y altamente turbulento en la galería.

$b = 3,0\text{m}$ → Largo de la rejilla.

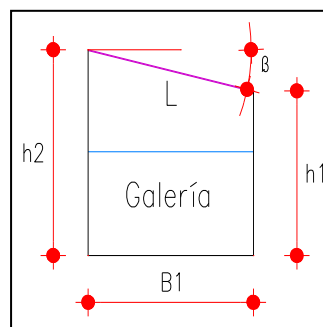
$L = 1,0\text{m}$ → Ancho de la rejilla.

$\beta = 25^\circ$ → Ángulo de inclinación de la rejilla.

$B_1 = 1,09\text{m}$ → Base de la galería, donde $B = L \cdot \cos \beta$.

Entonces, el B_1 constructivo será 1,0m

Gráfico 5. Corte transversal de la galería de captación



El dimensionamiento de la galería se realiza considerando el flujo de agua en la cámara bajo la rejilla como un caudal variable. Se utiliza el método de Zamarín para la obtención del calado o profundidad de agua y del fondo de la galería (Sviatoslav Krochin, “Diseño Hidráulico”, 1986).

Las cotas del fondo de la galería se obtienen con la ayuda de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2g} + d_1 + i\Delta x = \frac{V_2^2}{2g} + d_2 + j\Delta x$$

X	Qx	Vx	A=Q/V	d=A/L	P	R	R^(4/3)	J	hf	Σhf	V^2/2g
0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,080	0,000	0,000	-		0,000	0,051
0,500	0,075	1,167	0,064	0,064	1,209	0,053	0,020	0,109	0,054	0,054	0,069
1,000	0,150	1,333	0,113	0,113	1,306	0,086	0,038	0,075	0,037	0,092	0,091
1,500	0,226	1,500	0,150	0,150	1,381	0,109	0,052	0,069	0,035	0,126	0,115
2,000	0,301	1,667	0,180	0,180	1,441	0,125	0,063	0,071	0,035	0,162	0,142
2,500	0,376	1,833	0,205	0,205	1,490	0,138	0,071	0,076	0,038	0,199	0,171
3,000	0,451	2,000	0,226	0,226	1,531	0,147	0,078	0,082	0,123	0,250	0,204

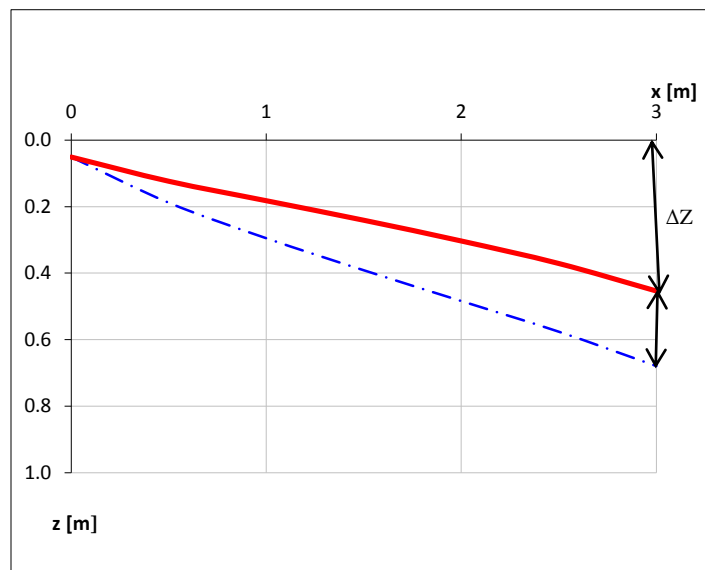


Gráfico 6. Profundidad del canal de gasto variable y perfil de flujo en su interior – Río Cristal

La altura de la galería es la suma de la profundidad de agua y un franco libre adecuado (Δz), para que el funcionamiento sea sin rebose. La altura de la primera pared se obtiene de:

$$d + \Sigma hf + \frac{V^2}{2g}$$

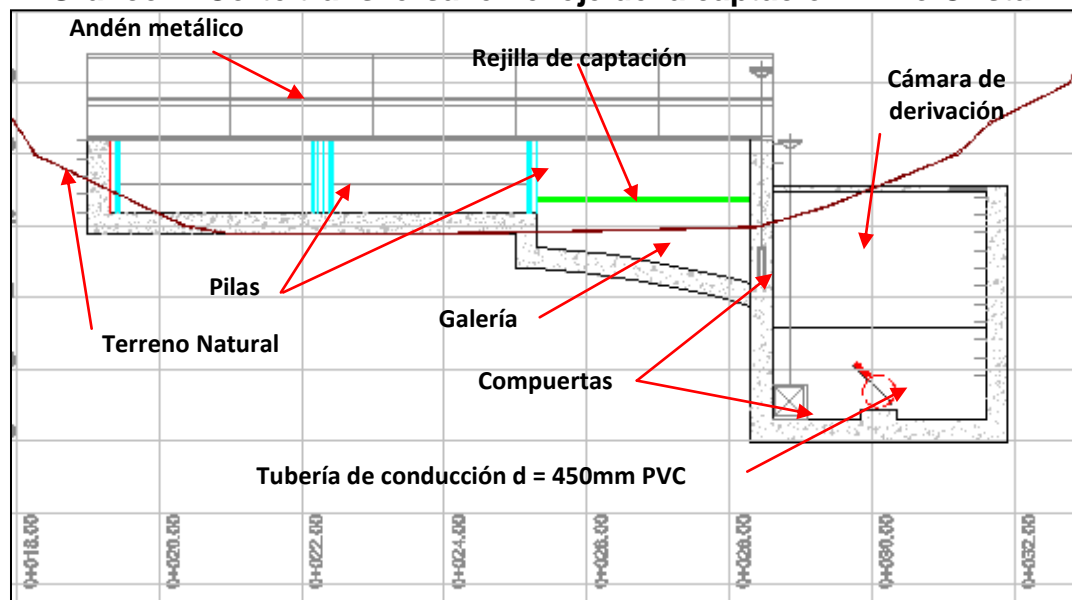
y, como valor de la segunda pared, el que se evalúa considerando la inclinación de la rejilla adoptada, igual a 25° .

X		ΔZ
0	0,05	0,05
0,5	0,19	0,12
1,0	0,29	0,18
1,5	0,39	0,24
2,0	0,48	0,30
2,5	0,58	0,37
3,0	0,68	0,45
	h_1	

$h_1 = 0,70\text{m}$ → Altura de la primera pared adoptada constructivamente

$h_2 = 1,20\text{m}$ → Altura de la segunda pared adoptada constructivamente.

Gráfico 7. Corte transversal en el eje de la captación – Río Cristal



c) Cámara de derivación

La cámara de derivación tiene como propósitos: realizar la retención de material sólido y la distribución del caudal que va hacia el desarenador a través de un vertedero de regulación.

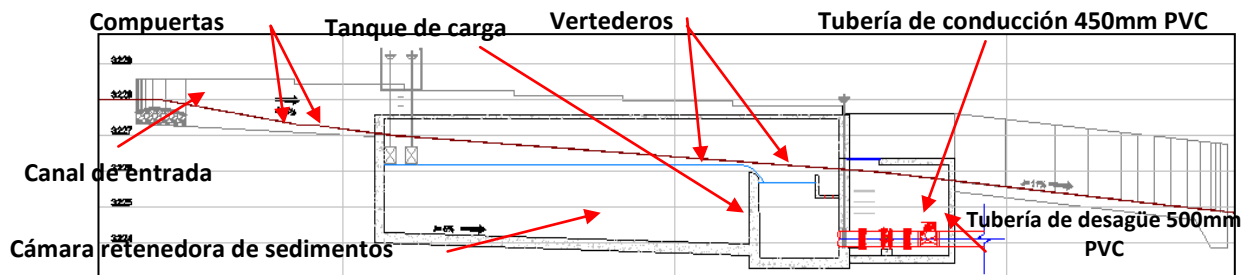
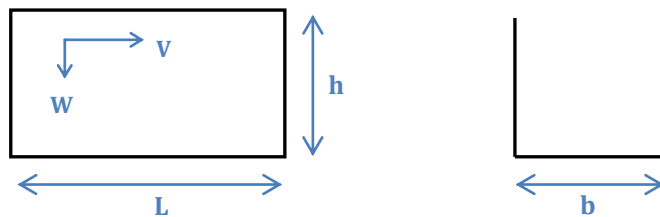


Gráfico 8. Corte longitudinal de la cámara de derivación – Río Cristal

La cámara retenedora será diseñada para una determinada partícula, lo que significa que se sedimentarán todas las partículas mayores.

Gráfico 9. Dimensiones de la cámara retenedora de sedimentos



Considerando que la turbulencia no afecta a la sedimentación, se puede considerar que:

- El tiempo de caída es $t = h/w$
- El tiempo de sedimentación es $t = L/v$

Entonces, $L = h \cdot v / w$

Siendo:

h → carga de agua en la cámara

w → velocidad de sedimentación de la partícula

L → longitud mínima del desarenador para una partícula determinada por w

$V \rightarrow$ velocidad del flujo en la cámara

Cuadro 18. Velocidad de sedimentación w calculado por Arkhangelski(1935) en función del diámetro de partículas (SPARROW, 2008).

Diámetro de la partícula D (mm)	Velocidad de sedimentación W (cm/s)
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,560
0,20	2,160
0,25	2,700
0,30	3,240
0,35	3,780
0,40	4,320
0,45	4,860
0,50	5,400
0,55	5,940
0,60	6,480
0,70	7,320
0,80	8,070
1,00	9,440
2,00	15,290
3,00	19,250
5,00	24,900

Sin embargo, considerando la turbulencia es necesario realizar una corrección, debido a que la velocidad de sedimentación es menor. Esta rectificación se la realiza a través de un coeficiente K , él mismo que está en función de la velocidad del flujo en la cámara. Así:

$$L = K \frac{h * v}{w}$$

El coeficiente K del cálculo de los desarenadores de alta velocidad se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 19. Coeficiente para el cálculo de desarenadores de altavelocidad.

Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)	K
1,00	1,00
0,50	1,30
0,25-0,30	2,00

Fuente: (SPARROW, 2008)

Con base en la información anterior se determina la longitud de la cámara desarenadora con:

$Q_{cap} = 0,52m^3/s \rightarrow$ Caudal real que es captado

$B = 3,0m \rightarrow$ Ancho de la cámara

$I_l = 0,05m/m \rightarrow$ Pendiente de la cámara

$n = 0,015 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidad de Manning para el hormigón

$H_o = 0,15m \rightarrow$ Carga sobre el vertedero (ver vertedero en cámara de derivación)

$H_v = 2,0m \rightarrow$ Altura del vertedero

$h = 0,07m \rightarrow$ Calado en la cámara

$V = 2,48m/s \rightarrow$ Velocidad del caudal en la cámara

$d = 0,30mm \rightarrow$ Diámetro de la partícula a ser sedimentado

$W = 3,24cm/s \rightarrow$ Velocidad de sedimentación (cuadro No. 1.3)

$L = 10,70m \rightarrow$ Longitud mínima del desarenador

$L_a = 11,00m \rightarrow$ Longitud asumida del desarenador

La regulación del caudal se efectúa a través de un vertedero que, además, evita que el material sedimentado ingrese por la tubería de conducción. El vertedero se encuentra a continuación de los 11,00m de la longitud del desarenador La limpieza del fondo de la cámara se garantiza mediante el cálculo siguiente:

$Q_{DIS} = 0,45m^3/s \rightarrow$ Caudal de diseño

$I_1 = 0,05\text{m/m} \rightarrow$ Pendiente de la cámara

$n = 0,015 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidad de Manning para el hormigón

$\Phi = 25\text{mm} \rightarrow$ Diámetro del material que pasa por la rejilla

$B_1 = 3,0\text{m} \rightarrow$ Ancho de la cámara de limpieza

$$Q_{\text{dis}} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B_1 \cdot d_1}{B_1 + 2 \cdot d_1} \right)^{2/3} \cdot I_1^{1/2} \cdot B_1 \cdot d_1$$

$d_1 = 0,07\text{m} \rightarrow$ Caudal presente en la cámara

$V = 2,35\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad en el canal

$R_h = 0,06\text{m} \rightarrow$ Radio hidráulico

$$R_h = \left(\frac{B \cdot d_1}{B + 2 \cdot d_1} \right)$$

$C = 42,0 \rightarrow$ Coeficiente de Chezy, $C = R_h^{1/6}/n$

$V^* = 0,18\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2} / C$

$\Phi^* = 30\text{mm} \rightarrow$ Diámetro de las partículas removidas

Entonces en el gráfico 9, se puede observar que existen las condiciones suficientes para que se produzca el arrastre del material sedimentado.

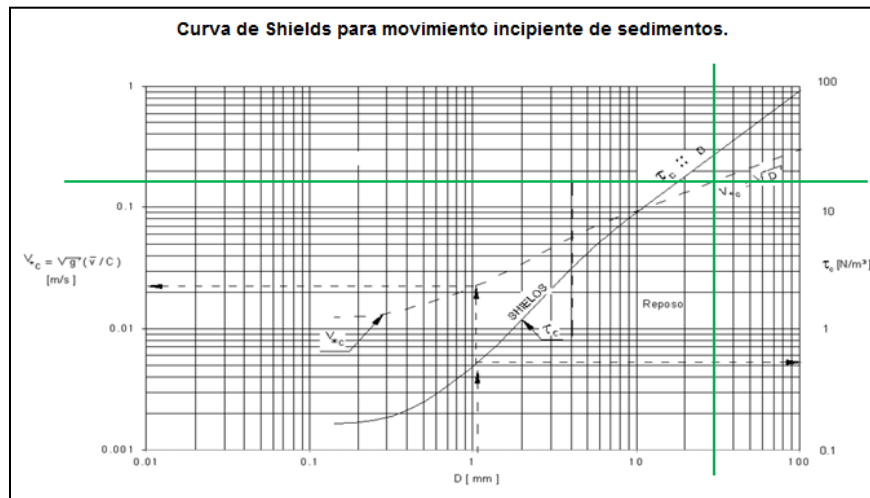


Gráfico 9. Curva de Shields para movimiento incipiente de sedimentos – río Cristal

d) Vertedero en la cámara de derivación

El vertedero tiene el propósito de evitar el ingreso del material sólido, a continuación se muestran los datos:

$Q_{CAP} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal diseño

$B = 3,00 \text{ m} \rightarrow$ Ancho de la cámara

$h_1 = 2,00 \text{ m} \rightarrow$ Elevación de la cresta sobre el fondo aguas arriba

$h_2 = 2,30 \text{ m} \rightarrow$ Elevación de la cresta sobre el fondo aguas abajo

En donde:

$$Q = M * B * H^{1.5} \quad M = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H} \right) * \left(1 + 0.55 * \left(\frac{H}{H + hl} \right)^2 \right)$$

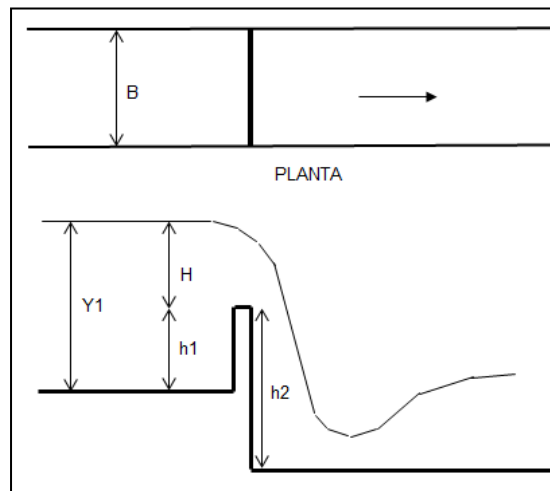


Gráfico 10. Vertedero rectangular en canal con flujo libre

$H = 0,19\text{m}$ → Altura de agua sobre el vertedero

$M = 1,88$ → Coeficiente de descarga libre

$Y_1 = 2,20\text{m}$ → Calado real aguas arriba del vertedero

e) Tanque de carga

El tanque de carga tiene como principal propósito evitar el ingreso de aire a la tubería, lo que podría ocasionar daños, de presentarse cambios importantes en la demanda. También, sirve para impedir la entrada de material sólido de arrastre y flotante a la tubería de presión. Entonces, lo más importante es determinar la altura mínima que debe tener el tanque para prevenir complicaciones en la tubería.

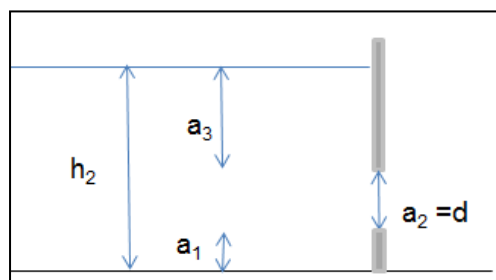


Gráfico 11. Alturas mínimas en el tanque de carga

Entrada de aire*Knauss*

$$a_3 = D * (2 * Fr + 0.5)$$

$$2 \text{ m/s} < V < 6 \text{ m/s}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}}$$

Krochin

$$2 < k < 3 \quad a_3 \geq 1 \text{ m}$$

$$a_3 = k * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right)$$

Polikovski y Perelman

$$a_3 > 0.5 * D * \left(\frac{V}{\sqrt{2 * D}} \right)^{0.55}$$

Altura mínima

$$h_2 = a_1 + a_2 + a_3$$

El cálculo de la altura mínima del tanque de carga está también en función de la tubería de presión (el cálculo de la tubería de presión se presenta en las conducciones). A continuación se indica el cálculo de la altura mínima que se tendrá aguas abajo del vertedero en la cámara de derivación:

$Q = 0,408 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de conducción

$D = 508,0 \text{ mm} \rightarrow$ Diámetro de inicio de la tubería de acero, (Determinado en las conducciones)

$V = 2,02 \text{ m/s} \rightarrow$ Velocidad dentro de la tubería de presión, (Determinado en las conducciones)

$a_3 = 1,11 \text{ m} \rightarrow$ Altura mínima según Krochin

$Fr = 1,30 \rightarrow$ Número de Froude

$a_1 = 0,3 \text{ m} \rightarrow$ Altura mínima desde el fondo de la tubería

$a_2 = 0,44 \text{ m} \rightarrow$ Altura del orificio que para el caso es igual al diámetro de la tubería

Entonces, $h_2 = 2,10\text{m}$ → Altura mínima de calado para evitar el ingreso de aire

f) Zampeado

El zampeado aguas abajo, tiene como propósito el evitar los procesos erosivos. El zampeado se ha calculado para el período de retorno de 100 años. La longitud del zampeado de protección que se desarrolla aguas abajo del azud de toma tiene 6m de longitud, para garantizar la protección frente a la potencial socavación del lecho aluvial. Para disminuir el efecto de la subpresión sobre el zampeado, se colocan mechinales o drenajes.

$B_r = 9,00\text{m}$ → Espejo de agua para el período de retorno de 100 años

$I = 0,05\text{m/m}$ → Pendiente del río en el sitio de la toma

$n = 0,043$ → Coeficiente de Manning para la sección del río.

$Q_{\text{cap}} = 0,41\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal de captación

$Q_{\text{dis}} = 0,45\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal de diseño (es el 10% más del caudal de captación)

$Q_{\text{máx}} = 34,02\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal para un período de retorno de 100 años

$q_{\text{máx}} = 3,78\text{m}^3/\text{s/m}$ → Caudal unitario con $Tr = 100$ años

La altura total de la carga de energía está dada por:

$$H_o = Y_c + v^2/2g$$

Siendo:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{máx}}^2}{g \cdot B_r^2}} \quad \frac{v^2}{2g} = 0.5 * y_c$$

$M = 1 \rightarrow$ Coeficiente de descarga

$h_o = 0,14\text{m} \rightarrow$ Calado, se determina con la ecuación de Manning, en función del caudal de cálculo de la profundidad contraída después del eje de la toma

$E_o = 1,17\text{m} \rightarrow$ Energía disponible

$d_1 = 1,17\text{m} \rightarrow$ Profundidad contraída después del eje de la toma. Está en función de:

$$E = d_1 + 1,1 * \frac{Q_{\text{máx}}^2}{2 \cdot g \cdot d_1^2 \cdot Br^2}$$

$V_{\text{contr}} = 2,22\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad de la lámina contraída. $V = Q_{\text{máx}}/Br/d_1$

Sobre la base de estos datos, se determina:

$d_2 = 0,71\text{ m} \rightarrow$ Profundidad del flujo con calado conjugado

$V_2 = 0,07\text{m} \rightarrow$ Velocidad del flujo con calado conjugado

$d_n = 0,89\text{m} \rightarrow$ Calado normal del río aguas abajo, en función del $Q_{\text{máx}}$

$V_n = 3,08\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad aguas abajo

$Fr_n = 1,44 \rightarrow$ Número de Froude \rightarrow Flujo supercrítico

$L_r = 2,42\text{m} \rightarrow$ Longitud de resalto

$L_p = 3,28\text{m} \rightarrow$ Longitud desde el eje de la toma hasta el inicio del resalto

$L_t = 5,70\text{m} \rightarrow$ Longitud total del resalto

$L_z = 6,00\text{m} \rightarrow$ Longitud constructiva del zampeado

$B_2 = 9,00\text{m} \rightarrow$ Ancho promedio del zampeado

$$Lr = 4.5 \frac{d^2}{FV^{0.76}} \quad Lr = \frac{Q_{\text{máx}}}{h_0 * Br} * \left(\frac{h_0}{g}\right)^{3/2} \quad Lz = Lr + Lp$$

g) Enrocado

A continuación del dissipador (zampeado), es necesario colocar una escollera o enrocado (rip-rap) para prevenir el efecto erosivo y, además, neutralizar el arrastre de material fino por acción de la filtración.

En la sección de entrega, aguas abajo del zampeado, se coloca el enrocado o los gaviones de protección, de 1m, en capas de espesor variable en una longitud de 2,0m. El enrocado protegerá el cauce natural del efecto erosivo de la corriente, garantizando así la estabilidad de la bocatoma.

$Q_{\text{máx}} = 34,02\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal para el periodo de retorno de 100 años

$Br = 9,0\text{m} \rightarrow$ Espejo de agua para el periodo de retorno de 100 años

$Ve = 4,26\text{m/s}$ (10,12 pies/s) \rightarrow Velocidad del agua abajo del zampeado.

(Dato determinado en el zampeado V_n)

Se obtienen los datos del gráfico 12

$\Phi_e = 40,51\text{m}$ (20,0 pulgadas) \rightarrow Diámetro del enrocado

$\Phi_e = 0,51\text{m} \rightarrow$ Diámetro del enrocado

Peso = 420lb \rightarrow Peso de la roca en unidades inglesas

Peso = 0,19t \rightarrow Peso de la roca

$he = 1,02\text{m} \rightarrow$ Altura del enrocado o del gavión

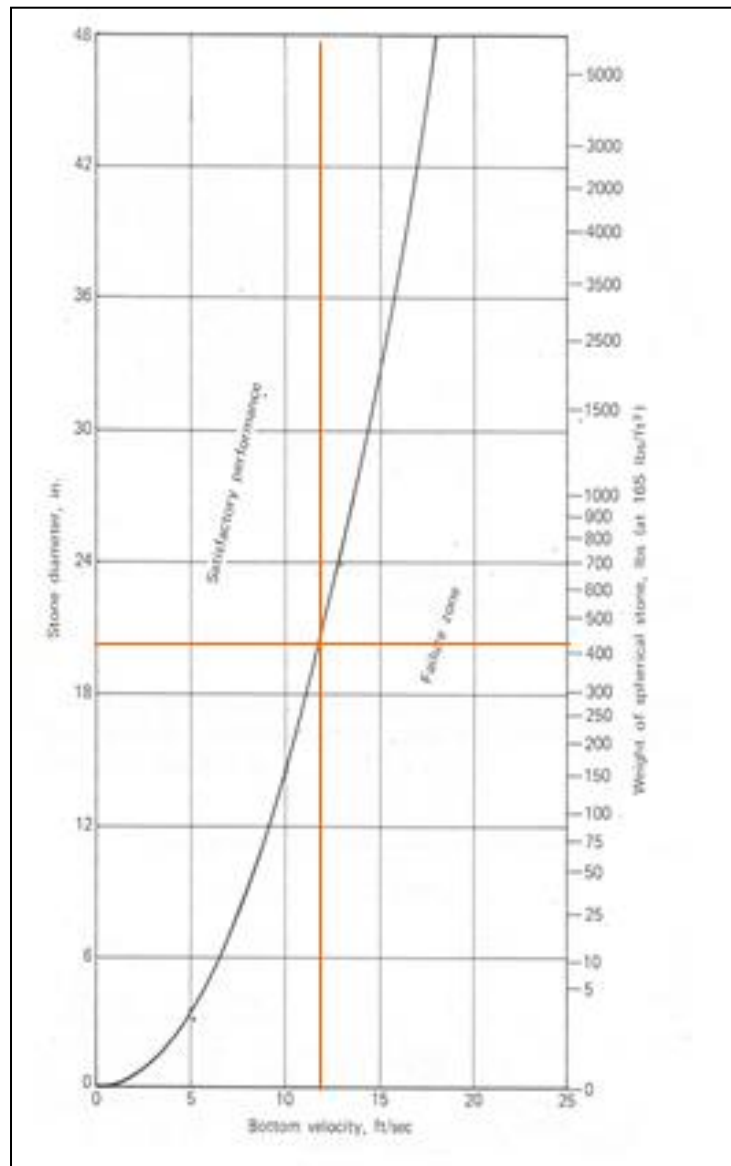


Gráfico 12. Curva de velocidad en función del peso y del diámetro del material por colocarse como protección – Río Cristal

4.3 RÍO BLANCO GRANDE

UBICACIÓN

El desarrollo de la estructura principal, las obras complementarias de la bocatoma y la obra de derivación de caudales, se ubican a partir de la siguiente sección transversal, en el curso natural del río:

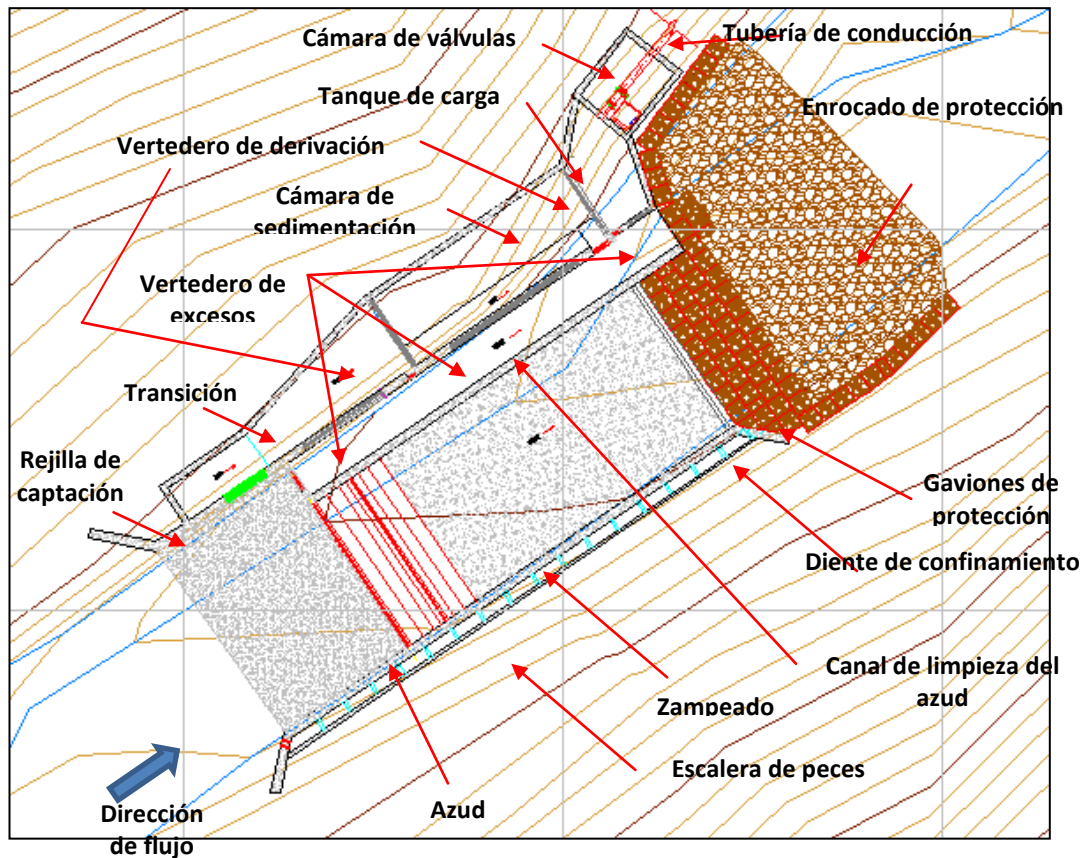


Gráfico 13. Implantación de la captación y desarenador del río Blanco Grande

DESCRIPCIÓN DE CÁLCULO

La estructura de derivación del Río Blanco Grande es una toma denominada convencional o toma lateral. Este tipo de desviación se puede tomar como una bifurcación.

El río Blanco Grande se caracteriza porque en el punto de la captación, las dos márgenes presentan pendientes empinadas, ello hace que no sea factible colocar el desarenador como tal y es necesario tener en la misma estructura de captación, una cámara de sedimentación y sus obras complementarias.

La construcción de este tipo de obras requiere que se desvíe del río mediante pantallas o sacos con material pétreo. De igual manera, se deben realizar los trabajos de ejecución durante el período seco del año, previniendo los riesgos que puedan afectar a los trabajadores.

La estructura principal consta de los siguientes elementos:

- (a) Rejilla de captación
- (b) Dique de cierre o Azud de derivación
- (c) Zampeado
- (d) Canal de limpieza del azud
- (e) Enrocado
- (f) Escalera de peces
- (g) Vertedero de excesos de la captación
- (h) Canal de ingreso a la estructura de sedimentación
- (i) Transición
- (j) Vertedero de derivación hacia la cámara de sedimentación
- (k) Cámara de sedimentación
- (l) Vertedero de excesos de la cámara de sedimentación
- (m) Vertedero de derivación hacia el tanque de carga
- (n) Vertedero de excesos del tanque de carga
- (o) Tanque de carga
- (p) Canal de excesos del tanque y de limpieza de la cámara de sedimentación
- (q) Cámara de válvulas

Los planos de la captación se presentan en el **Anexo I. Planos.**

a) Rejilla de captación

La rejilla es el elemento que tiene la función de regular la cantidad de agua que ingresa a la derivación, se la coloca a una altura no menor a 0,60m desde el fondo, para evitar el ingreso de material sólido. De igual manera debe estar a una distancia adecuada desde el azud, para que los sólidos retenidos por él, no causen una obstrucción en la rejilla.

Los barrotes deben tener características que resistan el impacto de troncos y material flotante grueso que generalmente es arrastrado en crecidas. Para facilitar la limpieza debe tener una cierta inclinación, conviene realizar campañas de limpieza frecuentes, sobre todo después de eventos extraordinarios.

El muro donde se coloca la rejilla es perpendicular al azud, es decir, paralelo al río. Los muros de protección son diseñados para el caudal del evento de crecida centenario.

Para determinar los calados que se presentarán en el río cuando esté colocada la estructura de cierre, se hace necesario realizar una nueva corrida en el programa HEC-RAS (**Anexo I. HEC-RAS**). Con estas nuevas condiciones se determinará el cálculo de la rejilla como un orificio, según se muestra a continuación:

$$Q_{\text{cap}} = 1,19\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal de captación}$$

$$Q_{\text{dis}} = 1,49\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal de diseño (es el 25\% mayor al caudal de captación)}$$

$$P_2 = 1,50\text{m} \rightarrow \text{Altura del paramento aguas arriba}$$

$h_r = 0,60\text{m}$ → Altura del fondo del río hasta la rejilla

$h_{rej} = 0,50\text{m}$ → Altura de la rejilla

$C = 0,60$ → Coeficiente de descarga del orificio

$E_f = 0,70$ → Coeficiente de eficiencia (la rejilla tiene el 30 % de obstrucción)

$b = 2,5\text{m}$ → Ancho de la rejilla.

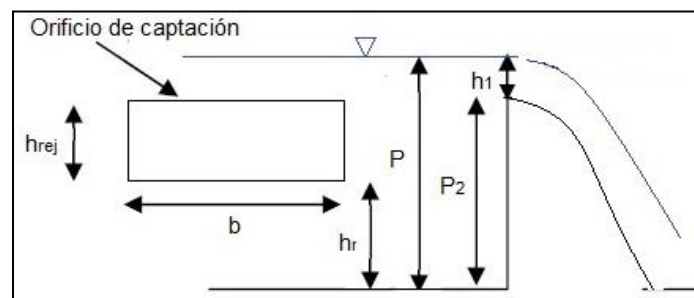


Gráfico 14. Esquema del corte transversal del orificio de captación

Por facilidades de construcción, las rejillas serán del tipo rectangular, con los datos siguientes:

$\theta = 70^\circ$ → Ángulo de inclinación

$C_f = 2,42$ → Coeficiente (depende del tipo de barrotes)

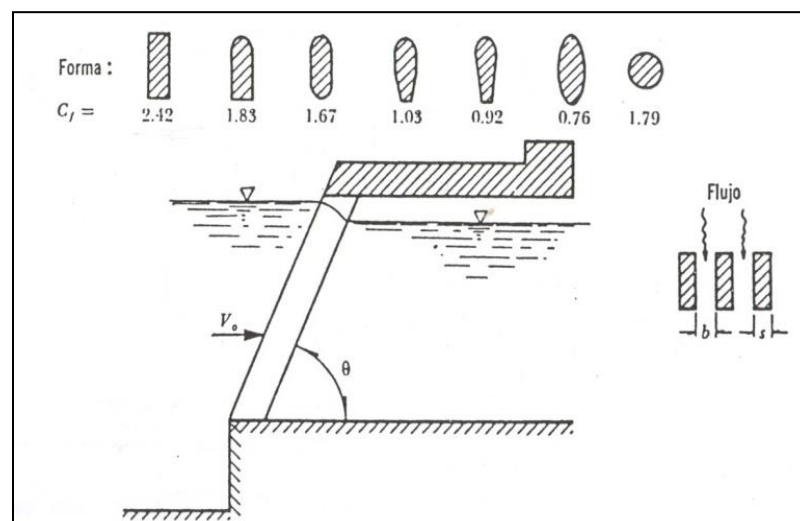


Gráfico 15. Coeficientes de pérdidas según el tipo de barrotes (Sotelo, 1997)

$t = 6\text{mm} \rightarrow$ Espesor del barrote

$s = 10\text{mm} \rightarrow$ Separación de barrotes

$V = 0,93\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad de aproximación

La fórmula de Kirshmer se aplica cuando se tiene un orificio que trabaja parcialmente sumergido:

$$\Delta H_{\text{rejilla Kirshmer}} = C_f * \left| \frac{t}{s} \right|^{\frac{3}{4}} * (V^2 / 2 * g) * \sin \theta$$

Según la expresión de Creager, para rejillas completamente sumergidas las pérdidas se presentan de esta manera:

$$m = ns / (ns + (n-1) * t)$$

$n = 154 \rightarrow$ Número de barrotes

$$\Delta H_{\text{rejilla}} = (1.45 - (0.45m - m^2)) * \frac{v^2}{2g}$$

Entonces:

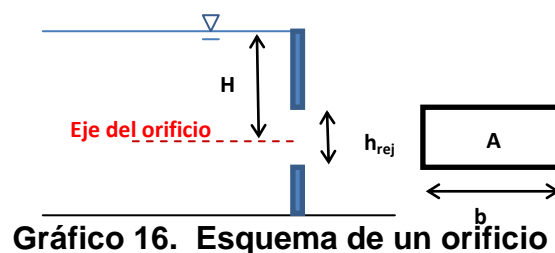
$\Delta H_{\text{rejilla}} \text{ (Kirshmer)} = 0,07\text{m} \rightarrow$ Pérdida local por la rejilla, según Kirshmer

$\Delta H_{\text{rejilla}} \text{ (Creager)} = 0,04\text{m} \rightarrow$ Pérdida local por la rejilla, según Creager

$K = 0,78 \rightarrow$ Coeficiente de pérdida local (mayor)

$A = 1,25\text{m}^2 \rightarrow$ Área del orificio

$$Q = C_d * K * A * \sqrt{2 * g * H}$$



A continuación, se presenta un cuadro 20, con los valores de caudales para varios períodos de retorno:

Cuadro 20. Caudales captados a través de la rejilla para varios Tr - Río Blanco Grande.

Período de retorno Tr (años)	Calado sobre azud h ₁ (m)	Nivel de agua en orificio H (m)	Caudal captado Q (m ³ /s)
Diseño	0,18	0,83	1,64
5	1,21	1,77	2,40
10	1,41	2,06	2,59
50	1,79	2,44	2,82
100	1,93	2,58	2,90

b) Dique de cierre o Azud de derivación

La función principal del dique de cierre es el de incrementar el nivel de agua, para posibilitar su ingreso a la toma. El azud es un dique vertedero que tiene la función de crear la superficie libre inferior del flujo (donde se presentarán presiones cercanas a la atmosférica). Entonces, se admite la geometría del perfil tipo Creager con una carga de diseño igual a 2/3 de la carga total para el período de retorno de 100 años.

El cálculo del perfil tipo Creager:

Datos del río:

$B_r = 10,50\text{m}$ → Ancho del río en el sitio de la captación

$Q_{\text{máx}} = 87,84\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal para el periodo de retorno de 100 años

$Q_{\text{dis}} = 59,00\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal de diseño, igual a dos tercios del caudal máximo

$q_{\text{dis}} = 5,58\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ → Caudal unitario de diseño

Datos de la estructura:

$P_2 = 1,50\text{m}$ → Ancho del río en el sitio de la captación

$s = 1,0\text{m}/\text{s}$ → Altura de profundización del azud

$P = 2,50\text{m}/\text{s}$ → Altura total del azud $P = P_2 + s$

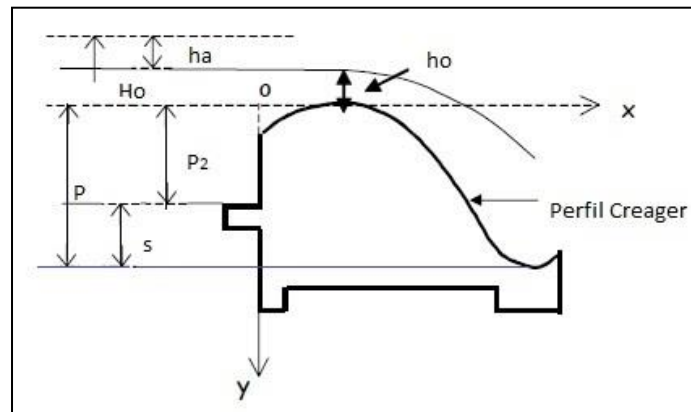


Gráfico 17. Esquema del azud con perfil tipo Creager

En donde:

$$Q = M * B * ho^{3/2}$$

$$q_d = C \cdot H_0^{3/2} \quad h_a = \frac{q_d^2}{2 \cdot g \cdot (P + h_0)^2} \quad V_0 = \frac{q_d}{P + h_0}$$

$H_0 = 1,89\text{m} \rightarrow$ Carga total

$P_2/H_0 = 0,79\text{m/s} \rightarrow$ Relación entre el paramento y el calado, aguas arriba

$C = 2,15\text{m/s} \rightarrow$ Coeficiente de descarga

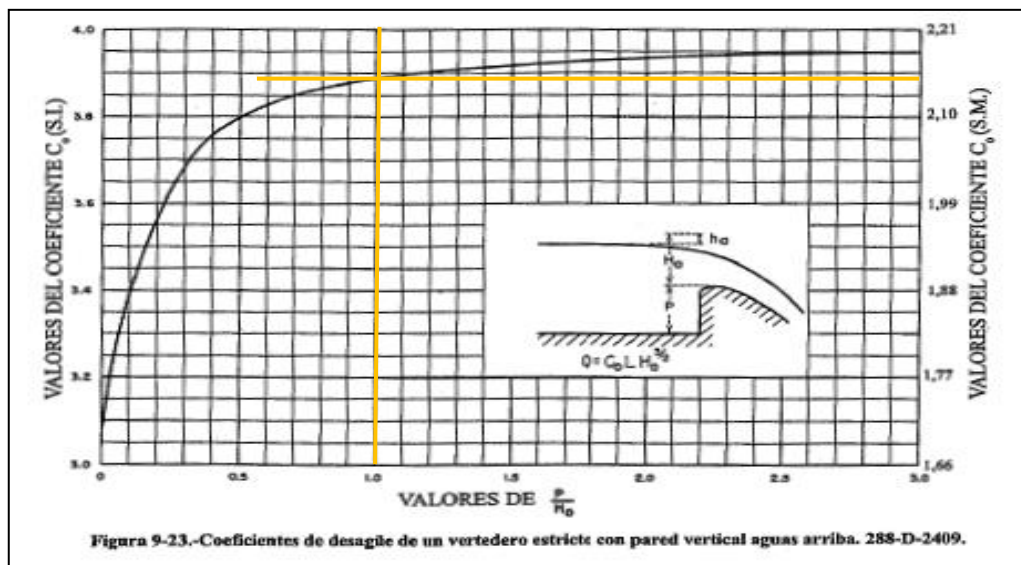


Gráfico 18. Coeficiente de descarga de un vertedero con pared vertical aguas arriba

$h_a = 0,09\text{m} \rightarrow$ Carga de velocidad

$h_o = 1,80\text{m} \rightarrow$ Calado del flujo de aproximación

$V = 1,69\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad del flujo aguas arriba

$h_a/H_o = 0,05 \rightarrow$ Relación entre carga velocidad y carga total

Factores para determinar la sección con la forma de la lámina del vertedero

(BUREAU OF RECLAMATION):

$K \rightarrow 0,53 \quad N \rightarrow 1,785 \quad X_c/H_o \rightarrow 0,215 \quad Y_c/H_o \rightarrow 0,065$

$R_1/H_o \rightarrow 0,48$

$R_2/H_o \rightarrow 0,25$

$X_c = 0,41\text{m} \rightarrow$ Abscisa crítica

$Y_c = 0,12\text{m} \rightarrow$ Calado crítico

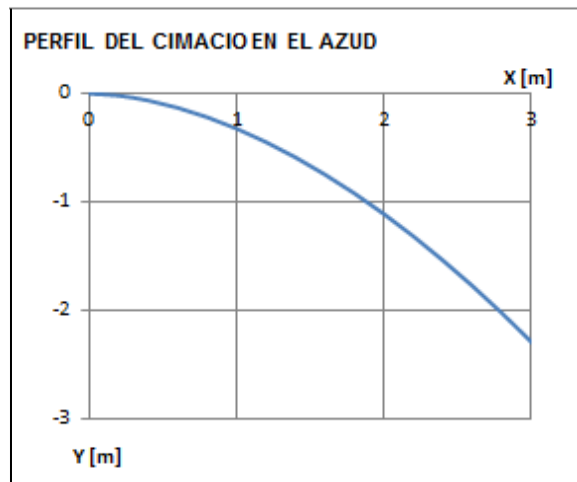
$R_1 = 0,91\text{m/s} \rightarrow$ Radio mayor de la curvatura simple, aguas arriba el origen

$R_2 = 0,47\text{m} \rightarrow$ Radio menor de la curvatura simple, aguas arriba el origen

$R = 0,60\text{m} \rightarrow$ Radio adoptado constructivamente

Para determinar las coordenadas x, y del perfil:

$$\frac{y}{H_o} = -k \left(\frac{X}{H_o} \right)^n$$



X [m]	Y [m]
0.0	0.00
0.20	-0.02
0.40	-0.06
0.60	-0.13
0.80	-0.22
1.00	-0.32
1.20	-0.45
1.40	-0.59
1.60	-0.74
1.80	-0.92
2.00	-1.11
2.20	-1.31
2.40	-1.54
2.60	-1.77
2.80	-2.02
3.00	-2.29
3.20	-2.57
3.40	-2.86
3.60	-3.17
3.80	-3.49
4.00	-3.82
4.20	-4.17

Condiciones de flujo aguas abajo del azud

$B_r = 10,50\text{m}$ → Ancho del río en la sección de la captación

$I = 0,01\text{m/m}$ → Pendiente del Zampeado

$P = 2,50\text{m/s}$ → Altura total del azud $P = P_2 + s$

$n = 0,055$ → Número de Manning para el enrocado

$Q_{\text{máx}} = 87,84\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal del período de retorno de 100 años

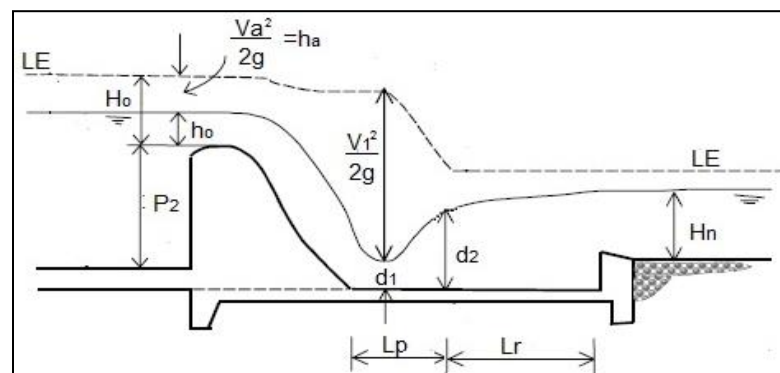


Gráfico 19. Esquema del resalto hidráulico

$$Q = M * B * h_0^{3/2}$$

$h_o = 2,60 \text{ m} \rightarrow$ Carga máxima del vertedero

$q = 8,37 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \rightarrow$ Caudal unitario

$V_a = 2,04 \text{ m/s} \rightarrow$ Velocidad a la entrada

$h_a = 0,21 \text{ m} \rightarrow$ Carga de velocidad $h_a = V_a^2/2g$

$H_o = 4,31 \text{ m} \rightarrow$ Carga total $H_o = h_o + h_a + P_2$

$P_2/H_o = 0,37 \text{ m/s} \rightarrow$ Relación entre el paramento y calado aguas arriba

$C = M = 2,00 \text{ m/s} \rightarrow$ Coeficiente de descarga

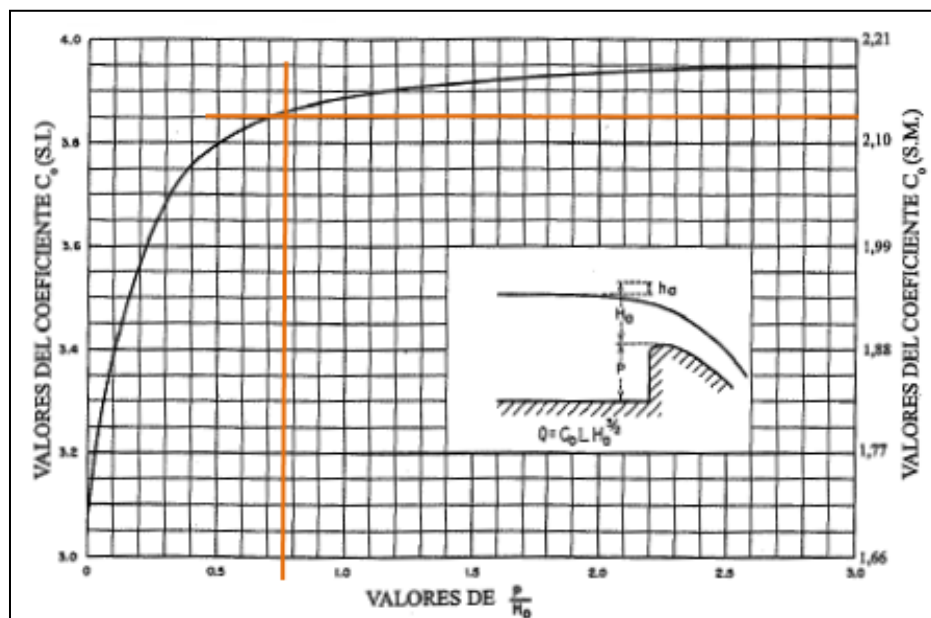


Gráfico 20. Coeficiente de descarga de un vertedero con pared vertical aguas arriba

$$E = d_1 + 1,1 * \frac{Q_{\text{máx}}^2}{2 \cdot g \cdot d_1^2 \cdot Br^2}$$

$E_1 = 4,31 \text{ m} \rightarrow$ Calado aguas abajo del azud ($E_0 = E_1$)

$d_1 = 1,11 \text{ m} \rightarrow$ Profundidad contraída al pie del azud

$V_c = 7,56 \text{ m/s} \rightarrow$ Velocidad contraída $V = Q_{\text{máx}}/Br/d_1$

$Fr_1 = 2,29 \rightarrow$ Número de Froude (Flujo supercrítico) $Fr = V_c/\sqrt{gd_1}$

$H_1 = 4,02 \text{ m} \rightarrow$ Energía al pie del azud

$$R/(d_1+v_1/2g) = 0,62 \rightarrow \text{Coeficiente obtenido con } Fr_1$$

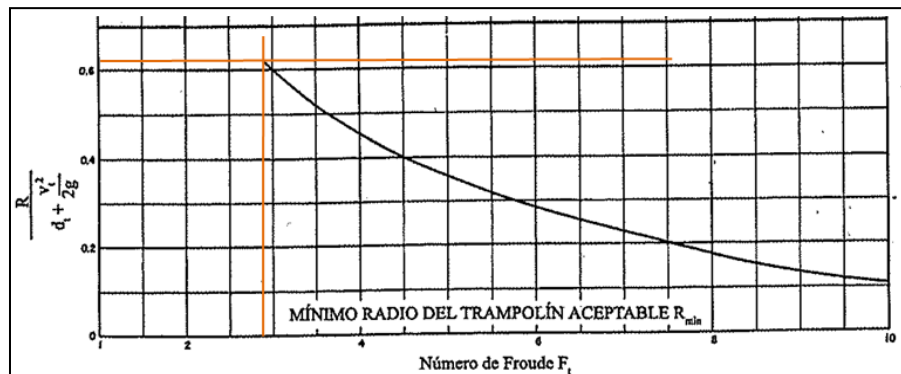


Gráfico 21. Coeficiente para radio mínimo de enlace entre azud y zampeado

$r = 2,49\text{m} \rightarrow$ Radio de curvatura mínima de enlace

$d_2 = 3,08\text{m} \rightarrow$ Calado conjugado

$V_2 = 2,72\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad del caudal conjugado, aguas abajo del azud

$Fr_2 = 0,49 \rightarrow$ Número de Froude (Flujo subcrítico)

$H_2 = 3,46\text{m} \rightarrow$ Energía al final del resalto

$H_{2\text{ min}} = 2,89\text{m} \rightarrow$ Energía mínima al final del resalto

$\Delta z_{\text{máx}} = 0,57 \rightarrow$ Altura máxima del diente de confinamiento del resalto

$\Delta z_{\text{mín}} = 0,06 \rightarrow$ Altura mínima del diente de confinamiento del resalto

$d_n = 2,99\text{m} \rightarrow$ Calado normal del río aguas abajo

c) Zampeado.

El zampeado aguas abajo, tiene como propósito el evitar los procesos erosivos. El zampeado se ha calculado para el período de retorno de 100 años. La longitud del zampeado de protección que se desarrolla aguas abajo del azud de toma tiene 16m, para garantizar la protección frente a la potencial socavación del lecho aluvial. Para disminuir el efecto de la subpresión sobre el zampeado, se colocan mechinales o drenajes.

Los datos del cálculo se presentan a continuación:

$Q = 87,84 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de diseño

$V_n = 2,80 \text{ m/s} \rightarrow$ Velocidad aguas abajo del azud

$Fr_n = 0,52 \rightarrow$ Número de Froude (Flujo subcrítico)

$H_n = 3,39 \text{ m} \rightarrow$ Energía en el enrocado

Para determinar el alcance que tiene el zampeado se utilizó la ecuación de Pavloski:

$$Lr = 2.5 * ((1.9 * d_2) - d_1)$$

$Lr = 11,86 \text{ m} \rightarrow$ Longitud del resalto

$$Lp = \left(\frac{Q}{Br * ho} \right) * \sqrt{\frac{2P + ho}{g}}$$

$Lp = 2,84 \text{ m} \rightarrow$ Longitud desde el pie del azud hasta el inicio del resalto

$$Lt = Lr + Lp$$

$Lt = 14,70 \text{ m} \rightarrow$ Longitud total del resalto

$Lz = 16,00 \text{ m} \rightarrow$ Longitud de zampeado adoptado

d) Canal de limpieza del azud

El canal de limpieza se mantiene cerrado para la operación normal, sin embargo, para la realización de la limpieza del material sedimentado aguas arriba del azud, el canal se abrirá para ser despejado aguas abajo. De esta manera, es necesario que el cálculo se haga como si fuera un orificio, ya que, el lavado se lo realizará cuando se presente una crecida, que podría ser la de 5 años o, dependiendo del comportamiento del material sólido que se

acumule. El canal debe tener una pendiente suficientemente alta para que se produzca el arrastre del material sólido.

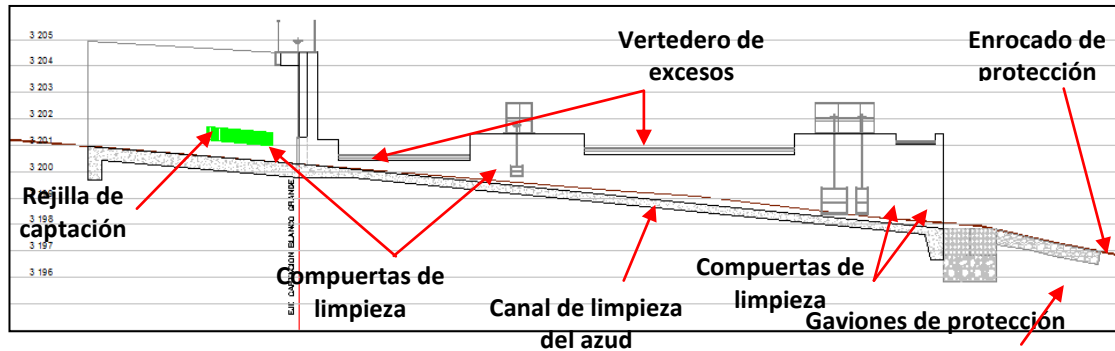


Gráfico 22. Corte longitudinal del canal de limpieza del azud - río Blanco Grande

El diseño del caudal que ingresa por la compuerta se determina como un orificio, que se abrirá completamente para la limpieza:

$b_c = 1,00\text{m}$ → Ancho de la compuerta

$h_c = 1,00\text{m}$ → Altura de la compuerta

$P_2 = 1,50\text{m}$ → Altura del paramento aguas arriba

$C_d = 0,60$ → Coeficiente de descarga

$A = 1,00\text{m}^2$ → Área de la compuerta

$d = 0,50\text{m}$ → Altura del eje del orificio

h_o → Carga sobre el vertedero

H → Carga total desde el eje del orificio

V → Velocidad $V = Q/A$

$$Q = C_d * A * \sqrt{2g * H}$$

Cuadro 21. Caudales de ingreso al canal de limpieza del azud - río Blanco Grande.

Tr	ho m	d m	H m	Q m ³ /s	V m/s
	1,68	0,5	1,18	2,89	2,89
5	2,47	0,5	1,97	3,73	3,73
10	2,75	0,5	2,25	3,99	3,99
50	3,34	0,5	2,84	4,48	4,48
100	3,56	0,5	3,06	4,65	4,65

Para determinar el alto del canal deberá considerarse el caudal correspondiente al tiempo de retorno de 100 años.

$B = 2,00\text{m}$ → Ancho del canal

$I = 0,05\text{m/m}$ → Pendiente del canal

$n = 0,015$ → Coeficiente de rugosidad de Manning

$Q = 4,65\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal que ingresa por el orificio de limpieza del azud del período de retorno de 100 años

$V = 6,25\text{m/s}$ → Velocidad del canal

$h = 0,37\text{m}$ → Calado en el canal

$h = 0,6\text{m}$ → Altura de la pared del canal

El cálculo para determinar la velocidad que se presentará en el canal de limpieza, se hace con base en:

$Q_{\text{DIS}} = 3,73\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal que ingresará por la compuerta para un período de retorno de 5 años.

$I_l = 0,08\text{m/m}$ → Pendiente de la cámara

$n = 0,015$ → Coeficiente de rugosidad de Manning para el hormigón

$\Phi = 100\text{mm}$ → Diámetro del material que pasa por la rejilla

$B_1 = 2,00\text{m} \rightarrow$ Ancho de la cámara de limpieza

$$Q_{\text{dis}} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B_1 \cdot d_1}{B_1 + 2 \cdot d_1} \right)^{2/3} \cdot I_1^{1/2} \cdot B_1 \cdot d_1$$

$d_1 = 0,28\text{m} \rightarrow$ Caudal presente en la cámara

$V = 6,78\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad en el canal

$R_h = 0,22\text{m} \rightarrow$ Radio Hidráulico

$$R_h = \left(\frac{B \cdot d_1}{B + 2 \cdot d_1} \right)$$

$C = 51,63 \rightarrow$ Coeficiente de Chezy, $C = R_h^{1/6} / n$

$V^* = 0,41\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad de corte, $V^* = V \cdot g^{1/2} / C$

$\Phi^* = 100\text{mm} \rightarrow$ Diámetro de las partículas removidas

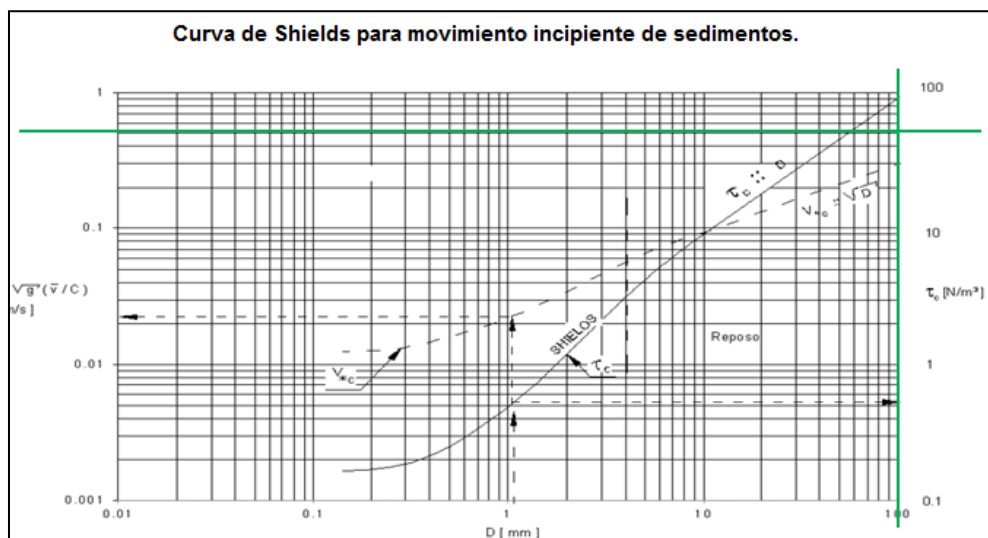


Gráfico 23. Curva de Shields para movimiento incipiente de sedimentos - río Blanco Grande

e) Enrocado

A continuación del disipador (zampeado), es necesario colocar una escollera o enrocado (rip-rap) para prevenir el efecto erosivo y, además, neutralizar el arrastre del material fino por filtración.

En la sección de entrega, aguas abajo del zampeado, se coloca el enrocado o los gaviones de protección, de 1,0m, con una geometría de gradas, lo que ocasionará la disipación de energía, en una longitud de 4,0m, mientras que aguas abajo se ubicará el enrocado. El enrocado protegerá el cauce natural del efecto erosivo de la corriente, garantizando así la estabilidad de la bocatoma, la longitud establecida es aproximadamente de 10m.

$Q_{\text{máx}} = 87,84\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal para el periodo de retorno de 100 años

$B_r = 10,50\text{m} \rightarrow$ Ancho del río en la sección de la captación

$V_e = 2,80\text{m/s}$ (9,17 pies/s) \rightarrow Velocidad del agua abajo del zampeado.

(Dato determinado en el zampeado V_n)

$\Phi_e = 0,29\text{m}$ (11,50 pulgadas) \rightarrow Diámetro del enrocado en unidades

Peso = 78 lb \rightarrow Peso de la roca en unidades inglesas

Peso = 0,04 t \rightarrow Peso de la roca

$h_e = 0,51\text{m} \rightarrow$ Altura del enrocado o de los gaviones

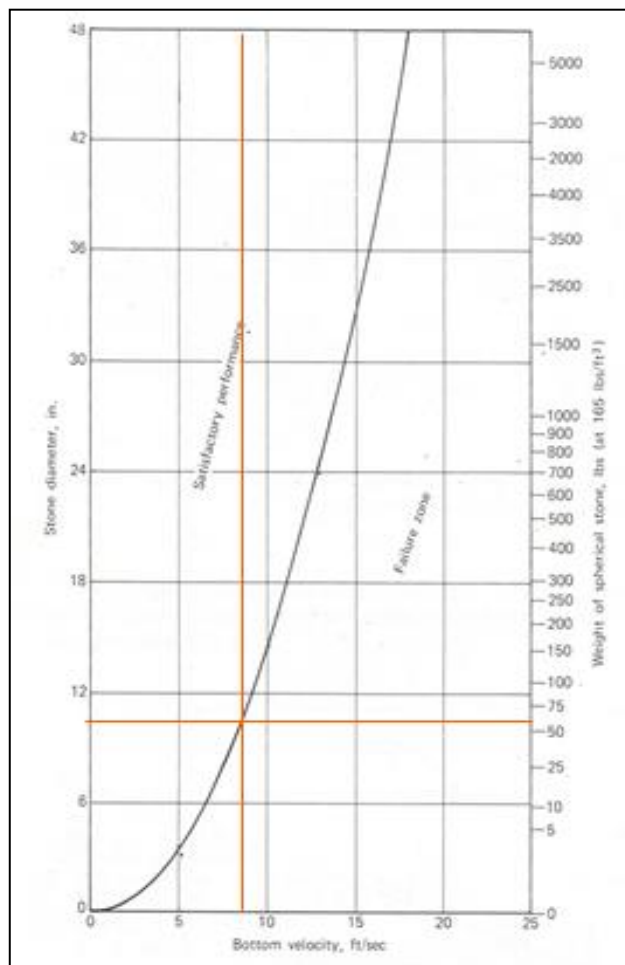


Gráfico 24. Curva de velocidad en función del peso y del diámetro del material que se colocará como protección - río Blanco Grande

f) Escalera de peces

Esta es una estructura ecológica, que tiene como función principal el mantener la vida acuática a través de la obra de cierre del río (azud). Un aspecto esencial para el diseño de la escalera de peces radica en que se disponga de un caudal eficiente que garantice condiciones similares a las previamente existentes en el río. En este estudio se diseñó un canal con escalones que permitan mantener pequeños embalses en cada uno de ellos a través de pequeños dentellones (cubetas). El ingreso del agua se realiza a

través de conductos formados con tubería de 4". Su dimensionamiento se realizó como si se tratara de un vertedero, según se presenta a continuación:

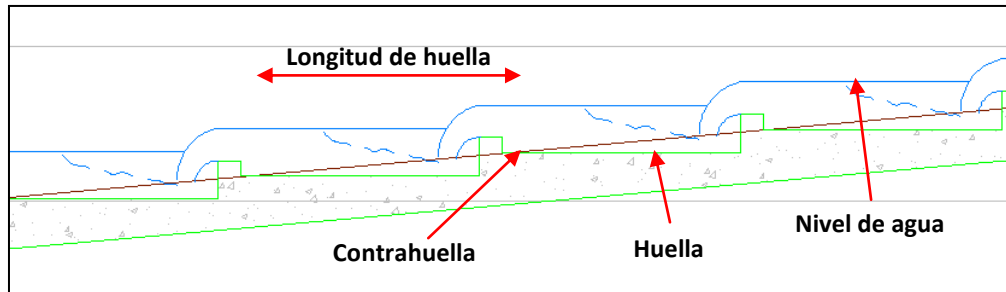


Gráfico 25. Sección de la escalera de peces del río Blanco Grande

Río:

$$Q_{95\%} = 0,535\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal 95\% , cuadro No.4.1}$$

$$Q_{\text{ECO}} = 0,054\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal ecológico = 10\% Caudal 95\%}$$

Canal:

$$b = 0,6\text{m} \rightarrow \text{Ancho del canal}$$

$$\Delta h = 2,58\text{m} \rightarrow \text{Desnivel}$$

$$L = 28,9\text{m} \rightarrow \text{Longitud}$$

$$h_g = 0,15\text{m} \rightarrow \text{Altura de la contrahuella}$$

$$L_g = 1,70\text{m} \rightarrow \text{Longitud de la huella}$$

$$N = 17 \rightarrow \text{Número de escalones}$$

Orificio de entrada:

$$D = 4'' \approx 0,10\text{m} \rightarrow \text{Diámetro de la tubería}$$

$$H = 0,5\text{m} \rightarrow \text{Carga en el río, en la sección del ingreso (Dato obtenido en el HEC-RAS)}$$

$$C = 0,6 \rightarrow \text{Coeficiente de descarga}$$

$A_o = 0,08\text{m}^2 \rightarrow$ Área del orificio

$N_o = 1 \rightarrow$ Número total de orificios

$A_T = 0,08\text{m}^2 \rightarrow$ Área total de orificios

$H = 0,35\text{m} \rightarrow$ Carga total sobre el orificio

$$Q = Cd * A * \sqrt{2g * H}$$

$Q_{\text{orif}} = 0,13\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal real por ingresar a través del orificio.

Se presenta un caudal más elevado que el ecológico, pero el tamaño del orificio es relativamente pequeño.

Con base en el diseño hidráulico, debería implantarse solamente un orificio; sin embargo, por la posibilidad de que se produzcan obstrucciones, debido al pequeño tamaño del orificio, en los planos se plantea la ubicación de dos orificios que se colocarán a 0,10m sobre el fondo del canal de ingreso.

Cálculo de la cubeta como vertedero sumergido:

Canal:

$B = 0,60\text{m} \rightarrow$ Ancho del canal

$J = 0,089\text{m}/\text{m} \rightarrow$ Pendiente del canal

$n = 0,015 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidad (Manning)

Vertedero:

$h_1 = 0,10\text{m} \rightarrow$ Elevación de la cresta del vertedero sobre el fondo, aguas arriba

$h_2 = 0,25\text{m} \rightarrow$ Elevación de la cresta del vertedero sobre el fondo, aguas abajo

$Q = 0,13\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de diseño, se considera el caudal que ingresa a través del orificio

$y_c = 0,17\text{m} \rightarrow$ Calado crítico

$y_n = 0,072\text{m} \rightarrow$ Calado normal

Tipo de flujo = Supercrítico

Vertedero flujo libre:

$H = 0,29\text{m} \rightarrow$ Carga sobre el vertedero

$M = 2,66 \rightarrow$ Coeficiente de gasto para vertedero (Bazin)

$Y_1 = 0,288\text{m} \rightarrow$ Calado aguas arriba del vertedero

Vertedero con flujo sumergido:

$Y_2 = 0,29\text{m} \rightarrow$ Calado definido por una sección de control, $Y_2 = H+h_1$

$h_s = 0,04\text{m} \rightarrow$ Altura de sumergencia

$H = 0,22\text{m} \rightarrow$ Altura de agua sobre el vertedero

$S = 1,00 \rightarrow$ Coeficiente de sumergencia (Bazin)

Resalto debajo del vertedero:

$V_1 = 0,68\text{m/s} \rightarrow$ Velocidad de aproximación al vertedero

$E_1 = 0,49\text{m} \rightarrow$ Energía total aguas arriba del vertedero

$y_1 = 0,08\text{m} \rightarrow$ Altura conjugada menor (contraída) del resalto

$V_2 = 2,85\text{m} \rightarrow$ Velocidad en la sección contraída del resalto

$y_2 = 0,18\text{m} \rightarrow$ Altura conjugada mayor del resalto

$L_r = 0,66\text{m} \rightarrow$ Longitud del resalto

$L_p = 0,27\text{m} \rightarrow$ Longitud previa al resalto

$Y_2 - y_2 = 0,11\text{m} \rightarrow$ Altura de sumergencia del resalto

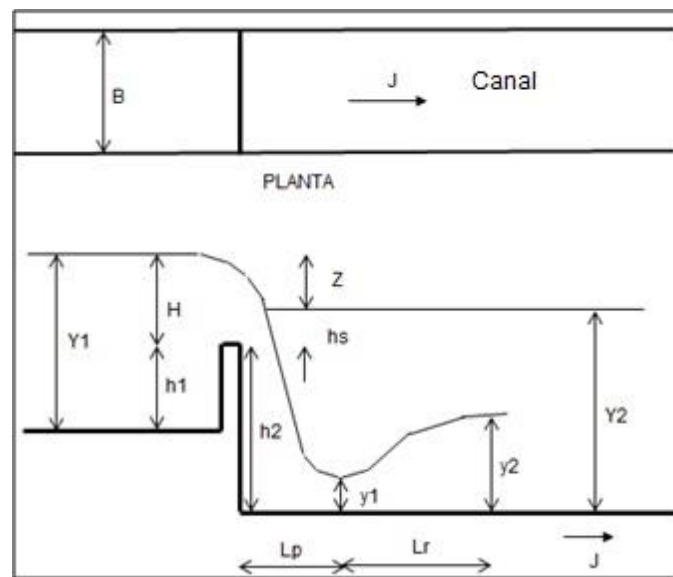


Gráfico 26. Esquema de vertedero de pared delgada en canal rectangular

$$Q = M * B * H^{1.5} \quad \text{Caudal en descarga libre}$$

$$Q = S * M * B * (H - Z)^{1.5} \quad \text{Caudal en descarga sumergida}$$

$$M = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H} \right) * \left(1 + 0.55 * \left(\frac{H}{H + h1} \right)^2 \right) \quad \text{Coeficiente de descarga libre}$$

$$S = 1.05 * \left(1 + 0.2 * \frac{hs}{h2} \right) * \left(\frac{Z}{H} \right)^{1/3} \quad \text{Coeficiente de sumergencia}$$

$$y2 = \frac{y1}{2} * \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{8 * Q^2}{g * B^2 * y1^3}} \right) \quad \text{Ecuación de Bernoulli al inicio y final del resalto}$$

$$Lr = 2.5 * (1.9 * y2 - y1) \quad \text{Ecuación de Pavloski}$$

$$Lp = \frac{Q}{B * H} * \sqrt{\frac{2 * h2 + H}{g}} \quad \text{Movimiento parabólico}$$

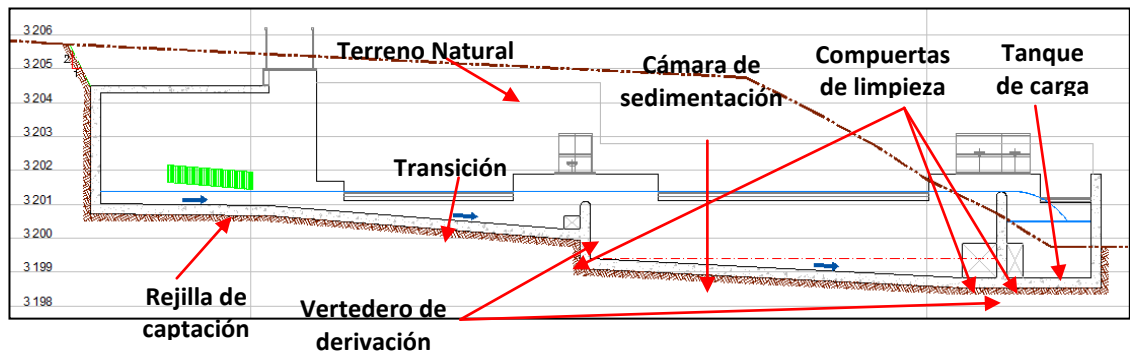


Gráfico 27. Corte transversal del desarenador del río Blanco Grande

g) Vertedero de excesos de la captación

El vertedero tiene el propósito de evitar que en ciertos eventos extraordinarios, el caudal extra ingrese a la transición. Este flujo se entregará al canal de limpieza del azud, para descargar nuevamente al río, aguas abajo de la estructura de captación.

El coeficiente de descarga de un vertedero de cresta redondeada, aumenta considerablemente respecto al de una pared gruesa, esto sucede a causa de la disminución en la contracción del chorro sobre el vertedero, ya que la partícula sufre una aceleración centrífuga, debido a la curvatura en el sentido de la corriente.

$$Q_{\text{máx}} = 2,9\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal captado Tr} = 100 \text{ años}$$

$$Q_{\text{ex}} = 1,71\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{Caudal de exceso, } Q_{\text{ex}} = Q_{\text{máx}} - Q_{\text{dis}}$$

$$B = 5,00\text{m} \rightarrow \text{Longitud del vertedero}$$

$$h = 0,33\text{m} \rightarrow \text{Carga sobre el vertedero}$$

$$w = 1,55\text{m} \rightarrow \text{Altura del vertedero}$$

$$r = 0,15\text{m} \rightarrow \text{Radio de curvatura de la cresta}$$

$$\mu = 0,62 \rightarrow \text{Coeficiente de corrección para crestas circulares (Determinado por Kramer experimentalmente)}$$

$$r/h = 0,45 \rightarrow r/h \leq 4.2 \rightarrow \text{OK}$$

$$Q_{\text{dis}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot \mu \cdot h^{3/2}$$

$$\mu = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[0,04 \cdot \left(\frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \cdot \frac{r}{w}$$

h) Canal de ingreso a la estructura de sedimentación

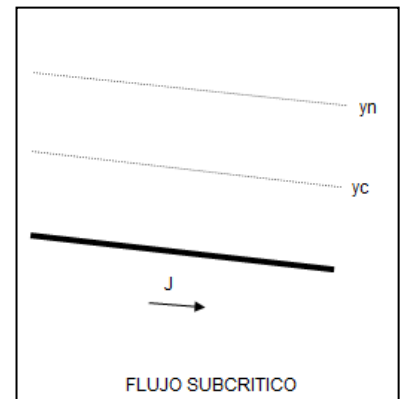
El canal de ingreso es el que lleva el agua que pasa a través de la rejilla de captación hacia la transición.

Datos:

$B = 2,00\text{m}$ → Ancho del canal

$J = 0,01\text{m/m}$ → Pendiente del canal

$n = 0,025\text{m}$ → coeficiente de rugosidad (Manning)



$$Q = \left(\frac{A^{5/3} * \sqrt{j}}{n * P^{2/3}} \right)^2$$

$Q = 1\ 190\ \text{l/s}$ → Caudal de diseño

$y_n = 0,33\text{m}$ → Calado normal

$y_c = 0,36\text{m}$ → Calado crítico

$V = 1,65\text{m/s}$ → Velocidad en el canal

$Fr = 0,88$ → Número de Froude (Flujo subcrítico)

i) Transición

La transición sirve para realizar cambios en las secciones transversales de un canal. La geometría que se diseña debe tener la capacidad de producir las alteraciones en el régimen del canal, que sean aceptables hidráulicamente. Para evitar las pérdidas y los efectos de ondas superficiales, es recomendable que los cambios sean lo más graduales posibles. Las transiciones se pueden clasificar en contracciones y expansiones, pero, su análisis hidráulico es semejante.

Debido a que la transición se produce solamente en un lado del canal, se considera adecuarla mediante una pared recta, con una longitud de aproximadamente 10,0m y con el ángulo recomendado de 12,5°. El calado de la transición será controlado con el vertedero de ingreso a la cámara de sedimentación. La pendiente del fondo es del 5% para que se produzca el arrastre del material sólido acumulado. La limpieza de este elemento se efectúa a través de una compuerta rectangular de 0,5 x 0,4m; la descarga ingresa al canal de limpieza del azud (ver gráficos 26 y 28).

j) Vertedero de derivación hacia la cámara de sedimentación

El vertedero cumple con el propósito de ingresar el caudal a la cámara de sedimentación.

$Q_{dis} = 1,19\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal captado

$b = 4,20\text{m}$ → Longitud del vertedero

$h = 0,28\text{m}$ → Carga sobre el vertedero

$w = 1,00\text{m}$ → Altura del vertedero

$r = 0,15\text{m}$ → Radio de curvatura de la cresta

$\mu = 0,64 \rightarrow$ Coeficiente de corrección para crestas circulares (Determinado por Kramer experimentalmente)

$r/h = 0,53 \rightarrow r/h \leq 4,2 \rightarrow$ OK

k) Cámara de sedimentación

El número de cámaras sugerido es de, al menos, 2. Sin embargo, considerando las dificultades presentes debido a la topografía del sitio, se hace necesario diseñar solamente una cámara. El exceso de agua que se puede presentar es evacuado inmediatamente a través de un vertedero hacia el canal de limpieza del azud.

La cámara de sedimentación será diseñada para una determinada partícula, lo que representa que se sedimentarán todas las partículas mayores.

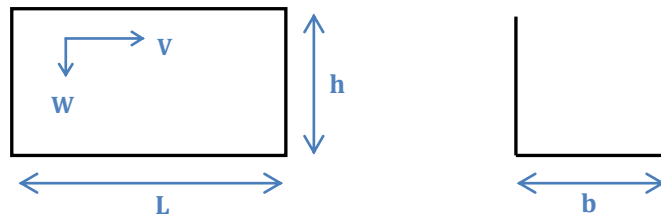


Gráfico 28. Dimensiones de la cámara retenedora de sedimentos

Considerando que la turbulencia no afecta a la sedimentación se puede considerar que:

- El tiempo de caída es $t = h/w$
- El tiempo de sedimentación es $t = L/v$

Entonces, $L = h \cdot v / w$

Siendo:

$h \rightarrow$ carga de agua en la cámara

$w \rightarrow$ velocidad de sedimentación de la partícula (Ver cuadro No. 1.3)

$L \rightarrow$ longitud mínima del desarenador para una partícula predeterminada por w

$V \rightarrow$ velocidad del flujo en la cámara

Ante la posibilidad de turbulencias es necesario realizar una corrección, debido a que la velocidad de sedimentación es menor. Esta rectificación se la realiza a través de un coeficiente K , que está en función de la velocidad del flujo en la cámara. Así:

$$L = K \frac{h * v}{w}$$

El coeficiente K del cálculo de los desarenadores de baja velocidad se presenta en el siguiente cuadro 23 :

Cuadro 22. Coeficiente para el cálculo de desarenadores de baja velocidad.

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0,2	1,25
0,3	1,50
0,5	2,00

Fuente:(SPARROW, 2008)

A continuación se muestra el cálculo de la cámara de sedimentación:

Datos:

$Q_{dis} = 1,19 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de diseño

$V = 0,20 \text{ m} \rightarrow$ Velocidad horizontal de la partícula

$r = 1,50 \text{ m} \rightarrow$ Relación ancho/profundidad del desarenador

$d = 0,50 \text{ m} \rightarrow$ Diámetro máximo de la partícula a sedimentarse

$w = 5,4 \text{ cm/s} \rightarrow$ Velocidad de caída de la partícula

$N = 1 \rightarrow$ Número de cámaras

$h = 0,28\text{m} \rightarrow$ Carga de agua sobre el vertedero

$b_{cl} = 1,20\text{m} \rightarrow$ Ancho del canal de limpieza

$b_p = 0,30\text{m} \rightarrow$ Ancho de las paredes

$S_o = 0,05 \rightarrow$ Pendiente del fondo del desarenador

Cálculos:

$$A = \frac{Q_d}{V}$$

$$B_c = \sqrt{\frac{A}{r}}$$

$$h_c = \frac{A}{B}$$

$$u = 0.152 \cdot W$$

$$L_c = 1.5 \frac{h_c V}{W}$$

$$B_T = N \cdot B + (N + 1)b_p + b_{cl}$$

$A = 5,95\text{m}^2 \rightarrow$ Área de la cámara desarenadora

$B_{cal} = 2,99\text{m} \rightarrow$ Ancho de la cámara desarenadora

$B = 3,00\text{m} \rightarrow$ Ancho constructivo de la cámara desarenadora

$B_T = 4,20\text{m} \rightarrow$ Ancho total del desarenador

$h_c = 1,98\text{m} \rightarrow$ Calado en la cámara desarenadora

$u = 0,82\text{cm/s} \rightarrow$ Componente normal a la turbulencia

$L_c = 11,02\text{m} \rightarrow$ Longitud de la cámara

$L = 11,00\text{m} \rightarrow$ Longitud constructiva de la cámara desarenadora

Al fondo, en el lado derecho de la cámara, existe un canal para la acumulación de los sedimentos. El canal tiene una pendiente del 5% lo que permite el arrastre del material. La limpieza del canal se realiza a través de una compuerta de paso hacia el canal de limpieza del azud.

$$V_s = \frac{1}{3}BLh_f \qquad V = BLh_c \qquad V_T = V_s + V$$

$V_s = 6,05\text{m}^3 \rightarrow$ Volumen de depósito de sólidos (muertos)

$V = 65,45\text{m}^3 \rightarrow$ Volumen de la cámara

$V_T = 71,50\text{m}^3 \rightarrow$ Volumen total de la cámara

Orificio de limpieza.

$$A_p = \frac{V_T}{h_T} \qquad A_o = b_o a \qquad t = \frac{2A_p \left(h_c - \frac{b_o}{2} \right)}{Cd_o A_o \sqrt{2g \left(h_c - \frac{b_o}{2} \right)}}$$

$$Q_L = \frac{V_T}{t} \qquad Q_c = C_{do} \cdot A_o \cdot \sqrt{2gh_T}$$

$b_o = 1,00\text{m} \rightarrow$ Longitud del lado del orificio de limpieza

$A_p = 31,00\text{m}^2 \rightarrow$ Área promedio de la sección transversal de la cámara

$a_o = 1,00\text{m} \rightarrow$ Altura del orificio de limpieza

$A_o = 1,00\text{m}^2 \rightarrow$ Área del orificio de limpieza

$Q_L = 2,23\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de lavado

$Q_c = 2,23\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal de la compuerta

Cuando la compuerta está completamente abierta se descargan a través de ella $2,23\text{m}^3/\text{s}$; el volumen de la cámara es de $71,50\text{m}^3$, por lo tanto, el tiempo de vaciado de la cámara es de 32 segundos.

I) Vertedero de excesos de la cámara de sedimentación

El vertedero tiene como fin el derivar caudal en demasía de la cámara de sedimentación.

$Q_{dis} = 1,19\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal de diseño

$b = 8,00\text{m}$ → Longitud del vertedero

$h = 0,18\text{m}$ → Carga sobre el vertedero

$w = 2,50\text{m}$ → Altura del vertedero

$r = 0,15\text{m}$ → Radio de curvatura de la cresta

$\mu = 0,68$ → Coeficiente de corrección para crestas circulares (Determinado por Kramer experimentalmente)

$r/h = 0,85$ → $r/h \leq 4,2$ → OK

m) Vertedero de derivación hacia el tanque de carga

El vertedero tiene como propósito el ingreso del caudal al tanque de carga

$Q_{dis} = 1,19\text{m}^3/\text{s}$ → Caudal captado

$b = 4,20\text{m}$ → Longitud del vertedero

$h = 0,28\text{m}$ → Carga sobre el vertedero

$w = 2,53\text{m}$ → Altura del vertedero

$r = 0,15\text{m}$ → Radio de curvatura de la cresta

$\mu = 0,64$ → Coeficiente de corrección para crestas circulares (Determinado por Kramer experimentalmente)

$r/h = 0,53$ → $r/h \leq 4,2$ → OK

n) Vertedero de excesos del tanque de carga

El propósito del vertedero es el de eliminar el exceso de caudal que ingresa al tanque de carga.

$Q_{dis} = 1,19\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$ Caudal captado

$b = 1,50\text{m} \rightarrow$ Longitud del vertedero

$h = 0,59\text{m} \rightarrow$ Carga sobre el vertedero

$w = 2,20\text{m} \rightarrow$ Altura del vertedero

$r = 0,15\text{m} \rightarrow$ Radio de curvatura de la cresta

$\mu = 0,64 \rightarrow$ Coeficiente de corrección para crestas circulares (Determinado por Kramer experimentalmente)

$r/h = 0,53 \rightarrow r/h \leq 4,2 \rightarrow$ OK

o) Tanque de carga

El tanque de carga tiene como principal propósito el de evitar el ingreso de aire a la tubería, lo que podría ocasionar daños, de presentarse cambios importantes en la demanda. También, sirve para impedir la entrada de material sólido de arrastre y flotante a la tubería de presión. Entonces, lo más importante es determinar la altura mínima que debe tener el tanque para prevenir complicaciones en la tubería.

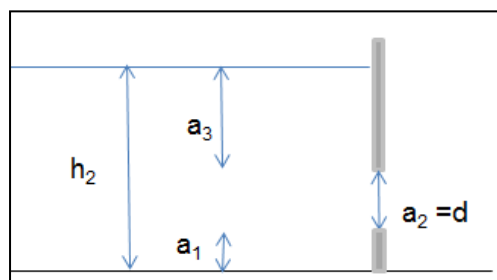


Gráfico 29. Alturas mínimas en el tanque de carga

Entrada de aire*Knauss*

$$a_3 = D * (2 * Fr + 0.5)$$

$$2 \text{ m/s} < V < 6 \text{ m/s}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}}$$

Krochin

$$2 < k < 3 \quad a_3 \geq 1 \text{ m}$$

$$a_3 = k * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right)$$

Polikovski y Perelman

$$a_3 > 0.5 * D * \left(\frac{V}{\sqrt{2 * D}} \right)^{0.55}$$

Altura mínima

$$h_2 = a_1 + a_2 + a_3$$

El cálculo de la altura mínima del tanque de carga está también en función de la tubería de presión (el cálculo de la tubería de presión se presenta en las conducciones). A continuación se indica el cálculo de la altura mínima que se tendrá aguas abajo del vertedero, en la cámara de derivación:

Q = 1,19m³/s → Caudal de conducción

D = 406,40mm → Diámetro interno de la tubería de acero de 16",
(Determinado en las conducciones)

V = 1,81m/s → Velocidad dentro de la tubería de presión, (Determinado en las conducciones)

a₃ = 1,0m → Altura mínima según Krochin

Fr = 0,91 → Número de Froude

a₁ = 0,3m → Altura mínima desde el fondo de la tubería

a₂ = 0,41m → Altura del orificio que para el caso es igual al diámetro de la tubería

Entonces, $h_2 = 1,71\text{m}$ → Altura mínima de calado para evitar el ingreso de aire.

p) Canal de excesos del tanque y de limpieza de la cámara de sedimentación

El canal de excesos del tanque y de limpieza de la cámara de sedimentación para el caso del río Blanco Grande, es el mismo que el canal de limpieza del azud.

4.3 PLANOS

Los planos se presentaran en A3, formado CAD(**ANEXO I. PLANOS**).

Detallado a continuación:

Río Blanco Grande Contiene:

- Implantación y Perfiles Transversales
- Perfiles Longitudinales – Azud
- Escalera de Peces y Detalle de rejilla
- Perfiles Desarenador Cortes D-D y E-E

Río Cristal:

- Implantación y Perfiles Longitudinales
- Cortes Transversales Captación y Cámara de Sedimentos

CAPÍTULO 5

5.1 CALCULOS HIDRÁULICOS Y OPERACIÓN

En la fase de diseño, se hace necesario considerar directrices de operación y funcionamiento de las obras de toma, las cuales permitirán que estos sean aplicables al medio.

Entre las principales estructuras a operarse se tienen:

- Vertederos de Retención (Azudes).
- Obras de descarga, aguas abajo de los azudes.
- Tomas laterales (rejillas, y compuertas).
- Tomas de fondo (compuertas).

Las obras mencionadas deben operarse para un normal funcionamiento con un mantenimiento preventivo de las obras civiles y, particularmente de las partes electromecánicas como son compuertas, valvulerías, actuadores, que, deberán operarse para el rango de caudales previstos en los estudios hidrológicos (caudales mínimos, medios, de crecidas, caudales sólidos); consideraciones geotécnicas morfoclimáticas, así como fenómenos naturales (sísmicos, volcánicos) y antrópicos (mala operación, posibles focos de contaminación aguas arriba, etc.), que puedan generar riesgos, tanto a las estructuras como a sus potenciales usuarios.

Uno de los principales problemas del mal funcionamiento de las captaciones es la falta de monitoreo para determinar caudales, calidad de las aguas, transporte de sólidos, entre otras, lo que no permite contar con alertas que prevean acciones tales como, limpieza de sedimentos y materiales debido al arrastre de sedimentos, mediante la operación de los

equipos electromecánicos (compuertas, válvulas, vertederos de excesos), control de socavaciones, de estabilidad y durabilidad de las obras civiles.

Es importante que los operadores o el personal a cargo de la operación se familiaricen con los diseños y cálculos realizados, los cuales deberán guardar sinéresis con la operación de las obras hidráulicas. Entre los parámetros hidráulicos a verificarse y/o controlarse dentro de las labores normales de operación y mantenimiento se tiene:

Alineación de las estructuras y comprobación de la estabilidad.

Medición de caudales captados y de excesos, estos pueden ser calculados mediante la siguiente relación:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot c \cdot b \cdot \mu \cdot h^{3/2}$$

Dónde:

Q: Caudal de descarga;

c: factor de corrección de flujo;

μ : coeficiente de azud (este coeficiente depende de la altura del azud) ;

b: ancho del vertedero;

g: gravedad;

h: altura de vertedero;

Factor de corrección de flujo (c) : depende de la influencia del nivel del agua sobre la descarga del vertedero.

Para flujo libre: $c=1$

Si el flujo es libre o sumergido depende de la altura del nivel del agua en relación con la posición del cresta del vertedero.

Si $h' < 0$: el flujo es libre.

Si $h' > 0$: el rebosamiento está sumergido.

Si $h' > 0$: la descarga fluye sobre la cresta del vertedero.

Para el diseño del azud, la mayoría de los casos se debe encontrar la altura de la cresta del vertedero a una longitud dada vertedero.

En los azudes, se deberán medir las cargas sobre los mismos y contrastarlas con los:

- Cotas de caudales de crecida contempladas en los diseños,
- Nivel máximo permisible de la cresta h_0
- Caudal de ingreso
- Nivel de agua en el colchón del azud

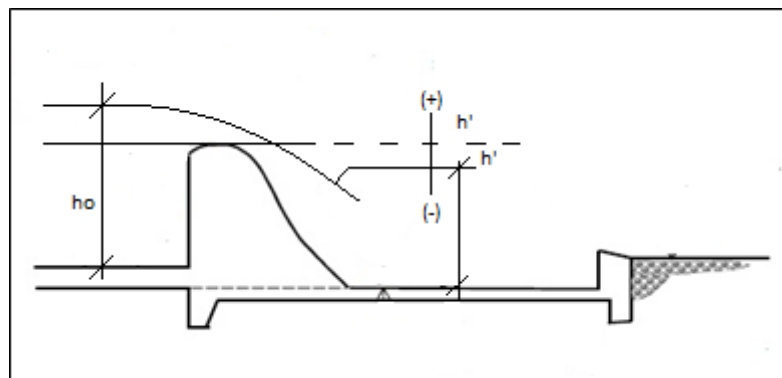


Gráfico 30. Alturas del azud

En las captaciones Tirolesas, al no contar con obras de cierre, las aguas son captadas hacia una cámara. el nivel de agua a controlarse por encima de la rejilla conforme se muestra en el gráfico 30, la determinación del caudal podrá utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot h \cdot g} \cdot c \cdot b \cdot \mu \cdot L$$

Dónde:

Q = Caudal de ingreso;

$h = 2/3 k \cdot h_E$;

$$c = 0.6 b \cos^{3/2} b;$$

a = distancia entre barrotes de rejilla ;

b = ángulo de inclinación de los barrotes con respecto a la horizontal;

μ = coeficiente de barrotes;

c = ancho de barrotes de fondo;

L = longitud de barrotes de fondo;

La disposición inclinada de la rejilla evita que le tapen con carga de fondo o de material flotante. Con el fin de garantizar el caudal de ingreso a la rejilla, se debe seleccionar $L = 1.2 L_{\text{CALCULADO}}$, gráfico 31.

β°	X	β°	X
0	1.000	14	0.879
2	0.980	16	0.865
4	0.961	18	0.851
6	0.944	20	0.837
8	0.927	22	0.825
10	0.910	24	0.812
12	0.894	26	0.800

El canal de ingreso debe estar diseñado de acuerdo a los siguientes principios:

- El ancho del canal debe ser aproximado a longitud de la rejilla.
- $B = L * \cos b$, b = ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal.
- La profundidad del canal de evacuación debe ser aproximadamente igual al ancho de la rejilla.
- Profundidad del canal debe mayorarse en un 25% más, para que se mantenga en el borde superior de la rejilla.

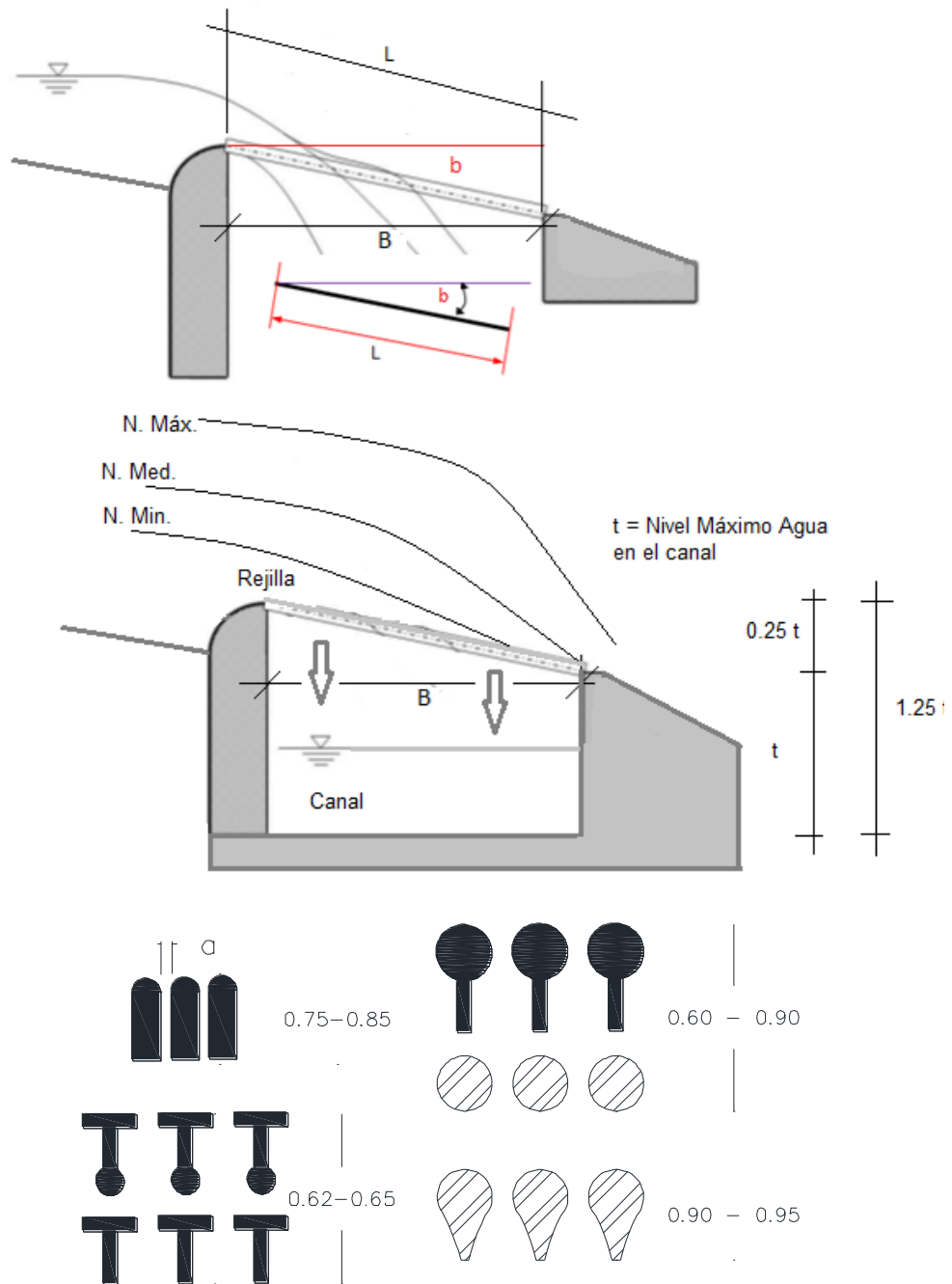


GRÁFICO 31. CARACTERÍSTICAS DE REJILLA Y COEFICIENTES DE BARROTES

- **ESTABILIDAD.**

Se debe considerar la estabilidad de las captaciones para evitar deslizamientos gravitacionales o colapso de la misma debiéndose determinar:

Los esfuerzos de corte se debe prevenir fallas en la estructuras por esfuerzos; se debe comprobar que el gradiente hidráulico critico debe ser por lo menos dos veces el gradiente de diseño. Las relaciones utilizadas se detallan a continuación:

$$I_{crit.} = (1 - n) \cdot \left(\frac{YF}{Y_w} - 1 \right)$$

$$I_{exist.} = \frac{\Delta h}{ns \cdot \Delta ns} = v = \frac{I_{crit.}}{I_{exist.}} \geq 2.0$$

Dónde:

YF = Peso específico del suelo; en caso de no existir trabajos de campo los valores empíricos pueden utilizar:

Cuadro 23. Coeficientes de fricción

Material	Valor
Arena- Grava	20kN/m ³
Limo	19kN/m ³
Arcilla	20kN/m ³
Arena arcillosa	21kN/m ³

Y_w = Peso específico del agua;

n = Volumen de poros; valores empíricos que se pueden aplicar:

Cuadro 24. Coeficientes de Porosidad

Material	Valor
Arena- Grava	35%
Limo	45%
Arcilla	60%
Arena arcillosa	45%

Δh = Diferencia de nivel del azud y la cola del mismo;

n_s = Número de líneas potenciales posibles;

Δn_s = Distancia entre las dos líneas potenciales;

- **Estabilidad al deslizamiento**

Para posibles deslizamientos de las losas de cementación de las captaciones, los esfuerzos que se den en las juntas, deben ser mayor que el esfuerzo de corte , debiéndose verificar:

$$G = \frac{V \cdot \tan \phi}{H} = \frac{(G + W_v - A)}{W_h + P_g} \geq 1.5$$

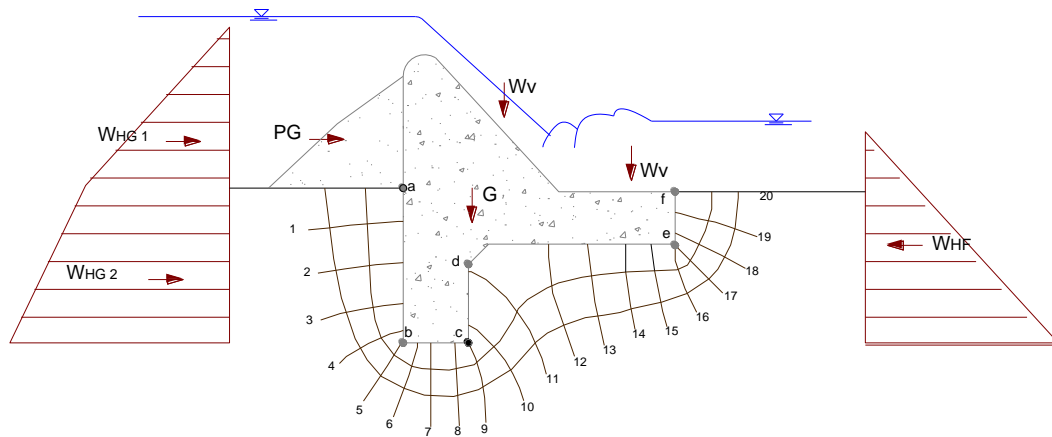


Gráfico 32. Descripción de Presiones.
Fuente: Helmut Lauterjun / Gangolf Schmidt – 1989

Dónde:

V = Fuerzas verticales;

G = Peso de la estructura (captación);

W_v = Peso del agua sobre la estructura;

A = Flotabilidad;

W_H = Presión de agua horizontal;

PG = Presión de Carga de Fondo;

Tan Φ = coeficiente de fricción del suelo/ suelo y hormigón;

Los coeficientes de fricción empíricos recomendados se muestran en el siguiente, cuadro 25:

Cuadro 25. Coeficientes de fricción

Suelos no Cohesivos	Tan ϕ
Arena	0.56
Grava	0.60
Roca	0.70
Suelos Cohesivos	
Arcilla	0.20
Arcilla Arenosa	0.30

Las fuerzas de empuje debido a la influencia de flujos de agua, pueden influenciar en la estabilidad debido a supresiones. La gráfico 32, describe las presiones.

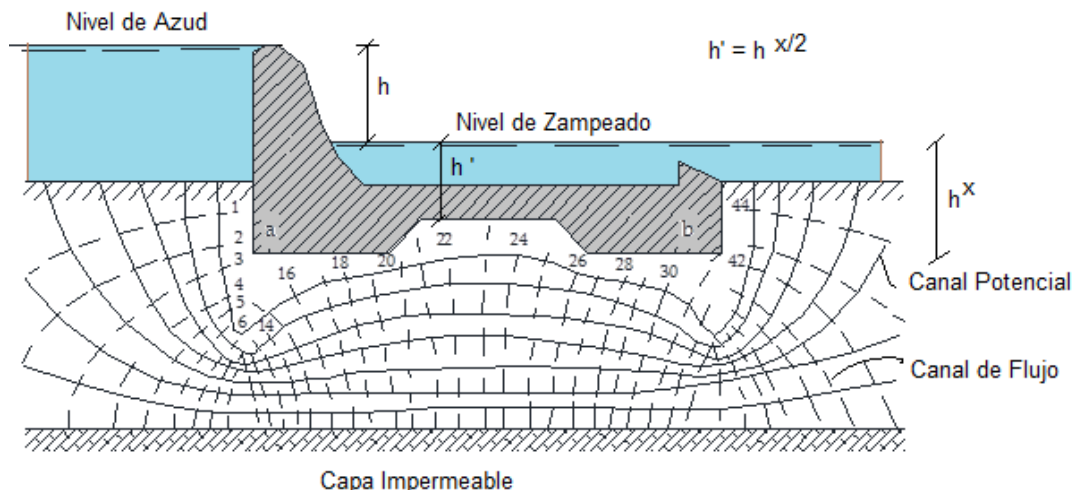


Gráfico 32. Descripción de Presiones de Aguas Subterráneas.

Fuente: Helmut Lauterjun / Gangolf Schmidt – 1989

Los empujes, son determinados una vez que se han definido los bordes de la estructura, para este fin se hace necesario construir las líneas

equipotenciales de flujo debiéndose anotar que la presión disminuye en la dirección del flujo por:

$$P_s = \frac{10}{n_s} \cdot \Delta h$$

Dónde:

n_s = Número de pasos posibles;

Δh = Diferencia de altura entre la cabecera y la cola del azud; Para la determinación de la filtración en cualquier punto i se puede aplicar:

$$P_{si} = \left(1 - \frac{n_i}{n_s}\right) \cdot 10 \cdot \Delta h$$

Dónde:

P_{si} = Presión de filtración en un punto i ;

n_i = Número de pasos posibles hasta el punto i ;

Las fuerzas horizontales se componen de la presión del agua y la presión de la tierra. La fuerza de la presión del agua horizontal por metro de anchura del vertedero está determinada por:

$$W_h = \frac{1}{2} \cdot Y_w \cdot (h_o^2 - h_u^2)$$

Dónde:

Y_w = peso específico del agua ;

h_o = nivel cabecera;

h_u = nivel de agua;

En el caso de fuertes depósitos de carga, la fuerza de presión de carga de fondo en la cara aguas abajo de la presa por metro de ancho de vertedero es:

$$P_G = \frac{1}{2} \cdot (Y_g - Y_w) \cdot W_g^2$$

Dónde:

Y_g = Peso específico de la carga de fondo;

Y_w = Peso específico del agua;

W_g = Altura de la cantidad de carga de fondo en la cara aguas abajo de la presa.

Un aumento en la estabilidad contra el deslizamiento se puede lograr mediante las siguientes medidas:

- Refuerzo de la cimentación (colocando en un nivel inferior).
- La ampliación de la presa, sobre todo el piso del cuenco amortiguador.
- Aumento en el peso de la presa y reducción de la presión del agua de infiltración por el disposición de una pared del dedo al principio y al final de la estructura (alargamiento de la ruta de acceso de la filtración y la disminución correspondiente de la presión del agua de infiltración).

CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSIONES

- La información geológica y topográfica de la zona fue completa lo que permitió una mejor ubicación de las tomas, encontrando las mejores condiciones para el funcionamiento de las estructuras.
- La información hidrológica del proyecto a pesar de ser incompleta permitió establecer caudales con un nivel de confianza adecuado para los proyectos debido a la presencia de estaciones hidrométricas.
- Los análisis de aguas de los cauces dieron como resultado que son aptas para los fines del proyecto, principalmente para el consumo humano.
- Para la caracterización del cauce de río fue necesario determinar los coeficientes de rugosidades de los ríos aplicando el Método de Cowan, en cual considera estos factores: la rugosidad superficial, la vegetación, la irregularidad del canal, alineamiento del canal, el material en suspensión y la carga del lecho, entre otros.
- Los valores a considerarse para el Río Cristal son: en los márgenes desde 0.080 a 0.133 y en cauce 0.043. Para el Río Blanco Grande son: en los márgenes desde 0.103 a 0.074 y en cauce 0.048.
- El análisis realizado por medio del HEC-RAS para los diferentes caudales, nos señaló que son dos tipos de flujo según su número de Froude. En el Blanco Grande tenemos 0.78 y en el Cristal 1.01.

- La determinación del tipo de régimen, es de vital importancia para la determinación del tipo de captación que se puede emplear y que tenga el mayor rendimiento.
- Según el régimen de flujo se estableció que para el Río Blanco Grande se considere una obra captación tradicional (Caucasiana) y para el Río Cristal, en base a las condiciones presentadas (tipo de flujo y topográficas) las recayeron en un captación tipo tirolesa.
- Las obras de tipo tirolesa son las más prácticas y sencillas para captar con una topografía de alta pendiente y con régimen supercrítico .
- Como un aporte complementario presentado para este proyecto se consideró implementar desarenadores con el material rocoso de las zona.
- Para la determinación de los caudales ecológicos, no se dispone de una metodología “oficial” con enfoque holístico y ecosistémico que determine una cantidad de agua que debe dejarse en el cauce de los ríos involucrados en los proyectos y levantar la información tanto hidrológica como biológica de los cuerpos de agua.
- Los estudios a nivel de diseños de factibilidad y definitivos deben contemplar el estudio de flujo de lodos y arrastre de sedimentos.

6.2 RECOMENDACIONES

- Una vez construidas las obras de toma, estas deben disponer de un presupuesto para la construcción de una estación hidrometeorológica, lo cual permitirá contar con datos reales de la cuenca para validar las condiciones de diseño de futuros proyectos. En el caso específico del proyecto, se recomienda colocar una estación por cuenca (Quijo Sur y Blanco Grande).
- Realizar aforos líquidos y sólidos siempre de manera simultánea en cada uno de los puntos de interés y ser distribuidos en todo el año, para ampliar el rango de utilización de la curva obtenida, en futuros proyectos.
- Debe verificarse los regímenes de flujo una vez construidas las obras hidráulicas en todo proyecto.
- Para el diseño hidráulico de las captaciones es necesario contar con el relieve del sitio que se van implementar, los cuales pueden estar en valles tipo V y tipo U; siendo los valles V muy difícil implementar tomas con cierres compuestos por azudes y obligan necesariamente las obras tirolesas al cauce del río.
- Las obras de toma tipo tirolesa deben contar con estructuras de retención de sólidos, aguas arriba debiéndose dimensionar sistemas de pilotes con espaciamientos entre 20 y 40cm, para impedir que el material grueso ingresa a punto de captación.
- Se requiere disponer de la información relacionada con la calidad de las aguas ya que estas son en gran parte responsables de la

corrosión de los hormigones, generalmente, las aguas son medianamente corrosivas (Índices de Langelier negativos), lo que obliga a que las obras civiles y electromecánicas utilicen inhibidores y/o recubrimientos que protejan a las mismas.

- Cada captación debe contar con una estación hidrométrica que permita obtener datos estadísticos sobre la variación de caudales y, se puedan realizar de ser necesarios ajustes en la operación de las captaciones.
- Las captaciones, por normativa ambiental, deben considerar los caudales ecológicos, en el caso presente proyectos hidroeléctricos consideran el 10% del caudal de diseño sin embargo esta regla no puede ser aplicada para abastecimientos de agua potable ya que el caudal de diseño corresponde al caudal mínimo con una probabilidad del Q95%,
- Los caudales aprovechables se supeditan al caudal concesionado, por lo tanto, es norma usual que el caudal de diseño sea el caudal concesionado sin embargo, las estructuras deberán ser comprobadas para la ocurrencia de caudales determinados y justificados en los estudios hidrológicos.

CAPÍTULO 7 – ANEXO

7. ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN LOS RÍOS.

La rugosidad de los cauces de los ríos es una característica básica para determinar su comportamiento hidráulico. La determinación de éste parámetro considera las singularidades físicas del material que forma los márgenes y el cauce del río. Una de las formas de obtener los datos relativos se basa en los criterios del procedimiento de Cowan².

El propósito para encontrar el valor del coeficiente de resistencia “n”, es el de obtener un valor único que abarque varios parámetros que tienen una mayor influencia en el comportamiento del flujo sobre un contorno de material suelto, que puede ser transportado., algunos de estos factores son: la rugosidad superficial, la vegetación, la irregularidad del canal, alineamiento del canal, el material en suspensión y la carga del lecho, entre otros.

Así sobre la base de la literatura técnica, según el método planteado por Cowan, es necesario considerar cada uno de los coeficientes del cuadro 26 para finalmente usar la ecuación que se presenta a continuación y determinar un valor para “n”.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Los coeficientes “n” de resistencia, definidos en cada una de las secciones transversales consideradas, se mantienen constantes a lo largo de cada tramo de río en estudio. A continuación se muestran las fotografías y los cuadros en las que se pueden caracterizar los márgenes de los cauces en cada uno de los ríos.

²“Hidráulica de los Canales Abiertos”, V.T. Chow, McGraw Hill, página No. 104.

Cuadro 26. Aspectos considerados para determinar el coeficiente de resistencia “n”.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra		0,020
	Corte en roca	n ₀	0,025
	Grava fina		0,024
	Grava gruesa		0,028
Grado de irregularidad	Suave		0,000
	Menor	n ₁	0,005
	Moderado		0,010
Variación de la sección transversal	Severo		0,020
	Gradual	n ₂	0,000
	Ocasionalmente alterante		0,005
	Frecuentemente alterante		0,010-0,015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante		0,000
	Menor	n ₃	0,010-0,015
	Apreciable		0,020-0,030
	Severo		0,040-0,060
Vegetación	Baja		0,005-0,010
	Media	n ₄	0,010-0,025
	Alta		0,025-0,050
Grado de los efectos por meandros	Muy alta		0,050-0,100
	Menor	m ₅	1,000
	Apreciable		1,150
	Severo		1,300

Fuente: “Hidráulica de los Canales Abiertos”, V.T. Chow, McGraw Hill Co.

Cuadro 27. Coeficiente de rugosidad del río Cristal.

RÍO CRISTAL				
Parámetros	Márgenes		Cauce	
Material	Grava gruesa	0.028	Grava gruesa	0.028
Irregularidad	Moderado	0.01	Moderado	0.01
Variación de la sección	Ocasionalmente alternante	0.005	Ocasionalmente alternante	0.005
Obstrucciones	Menor	0.015	Insignificante	0
Vegetación	Media	0.025	Baja	0
Meandros	Menor	1	Menor	1
Coeficiente de Rugosidad		0.083		0.043
Pendiente				0.133

Fuente: “Hidráulica de los Canales Abiertos”, V.T. Chow, McGraw Hill Co.



Fotografía 7: Río Cristal

Cuadro 28. Coeficiente de rugosidad del río Blanco Grande.
RÍO BLANCO GRANDE

Parámetros	Márgenes		Cauce	
Material	Grava gruesa	0,028	Grava gruesa	0,028
Irregularidad	Menor	0,005	Menor	0,005
Variación de la sección	Ocasionalmente alternante	0,005	Ocasionalmente alternante	0,005
Obstrucciones	Menor	0,015	Insignificante	0
Vegetación	Alta	0,05	Baja	0,01
Meandros	Menor	1	Menor	1
Coeficiente de Rugosidad Pendiente		0,103		0,048
		0,074		



Fotografía 8: Río Blanco Grande

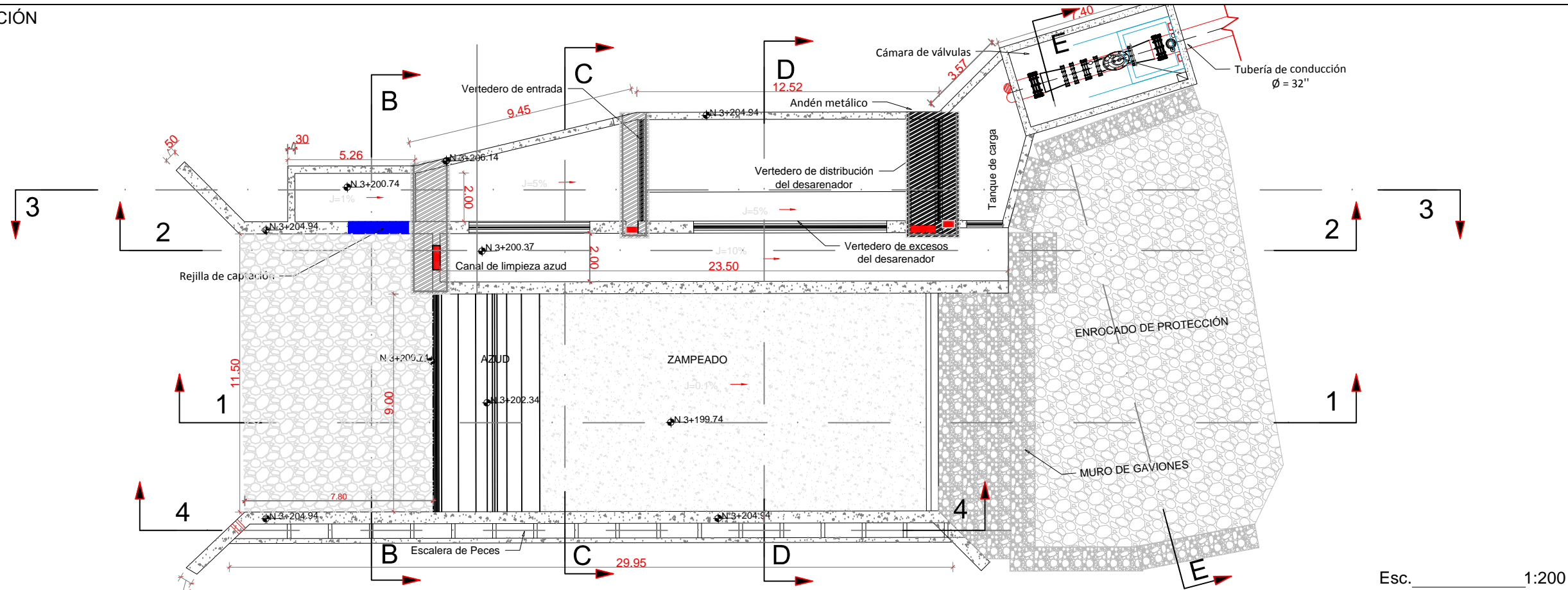
CAPÍTULO 8

8. BIBLIOGRAFIA

- Castro, M. (1986). Sobre la captación del agua desde cauces fluviales. *Politécnica Volumen XI*.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de los Canales Abiertos*. New York : McGraw Hill.
- Dávila, G. S. (2007). *Hidráulica de Canales*. Mexico: Limusa.
- Dávila, G. S. (2007). *Hidráulica General*. México: Limusa.
- Domínguez, F. (1950). *Manual de Hidráulica*. Santiago de Chile.
- Edgar, C. (2012). *Apuntes de Ingeniería Sanitaria II*. Sangolquí.
- EICE, E. Y. (2006). *ESPY YUMBO EICE*. Obtenido de ESPY YUMBO EICE: <http://www.espyumbo.com/captacion.htm>
- EMAAPQ. (2012). *Estudio Hidrológico* . Quito: EMAAPQ.
- Engineering, U. A. (Enero 2010). *HEC-RAS River Analysis Susyten* .Boston.
- EPMAPS. (2006). *Estudios de Prefactibilidad Ríos Orientales*. Quito: Ingeconsult.
- EPMAPS. (2012). *Informe Geológico*. Quito.
- EPMAPS. (2012). *Informes Geológicos*. Quito: Ingeconsult.
- INAHMI, E. M. (1996). *INAHMI*. Quito: INAHMI.
- Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico*. Quito.
- M. Olivero, J. A. (2000). *Transporte de sedimentos en Cauces de Alta Pendiente*.
- Molero, L. N. (2007). *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-RAS 3.1.1*. Granada-España: Universidad de Granada.
- Monsalve Sáenz, G. (2006). *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Morresi, G. Z. (200). *FLUJO EN CANALES ABIERTOS: CARACTERIZACION EN CURSOS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE. FLUJO EN CANALES ABIERTOS: CARACTERIZACION EN CURSOS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE, 20-50*.
- Palacin, F. U. (2000). *Mecánica de Fluidos* . Lima-Perú.
- Rojas, R. (2006). *Purificación del Agua* . Bogotá: ACODAL.
- Rojas, R. (2010). *Calidad del Agua*. Bogotá: ACODAL.
- SAGARPA. (1995). *OBRAS DE TOMA PARA APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS*. SAGARPA, 21.
- Sandoval, W. (2013). *Principios de la Hidraulica 2* . Quito: ESPE.
- Shmidt, H. L. (1989). *Planning of Water intake structures for irrigation or hydropower*. Eschborn: GTZ-Postharvest Project.
- SPARROW, E. (2008). *EL DESARENADOR*.
- Te, C. V. (1959). *HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS*. New York : McGraw Hill .
- Vargas, P. (2012). *Apuntes de Diseño Hidráulico*. Quito: EPN.
- Villon, M. (2001). *Hidrología*. Lima-Perú: Instituto Tecnológico de Costa Rica .
- Washington, S. (2013). *Principios Hidráulicos 2*. Sangolquí: Espe.

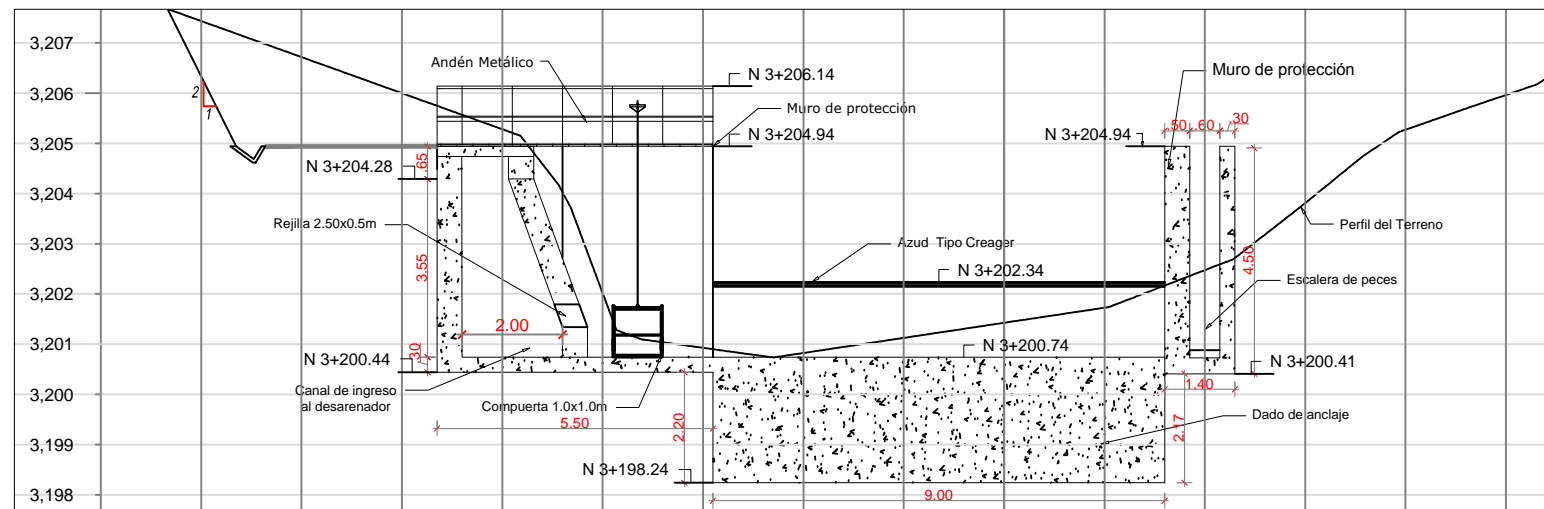
Anexo I. Planos

IMPLANTACIÓN



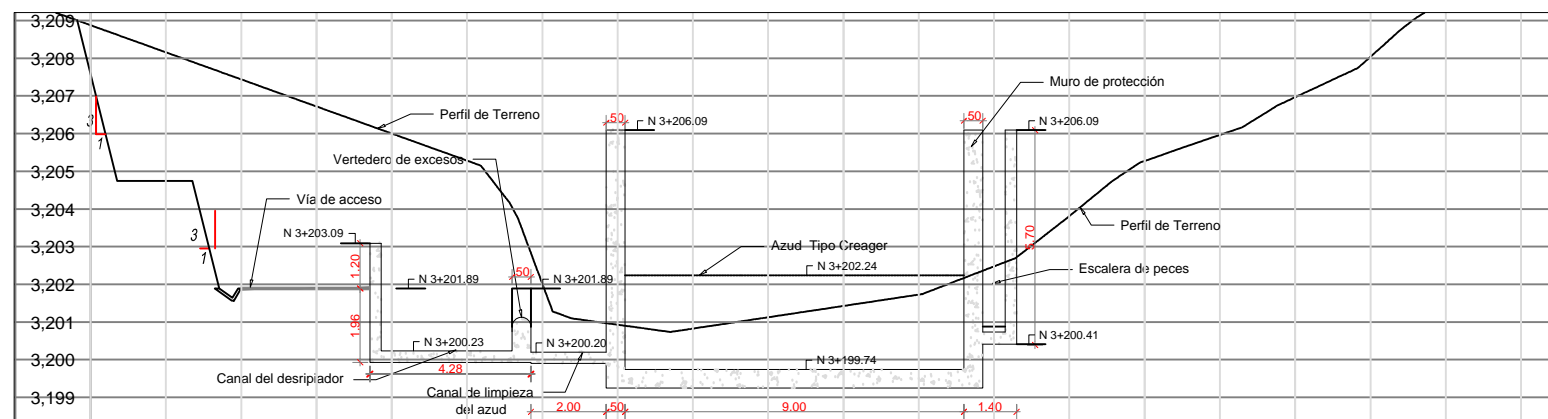
Esc. 1:200

PERFIL TRANSVERSAL B-B



Esc. 1:150

PERFIL TRANSVERSAL C-C



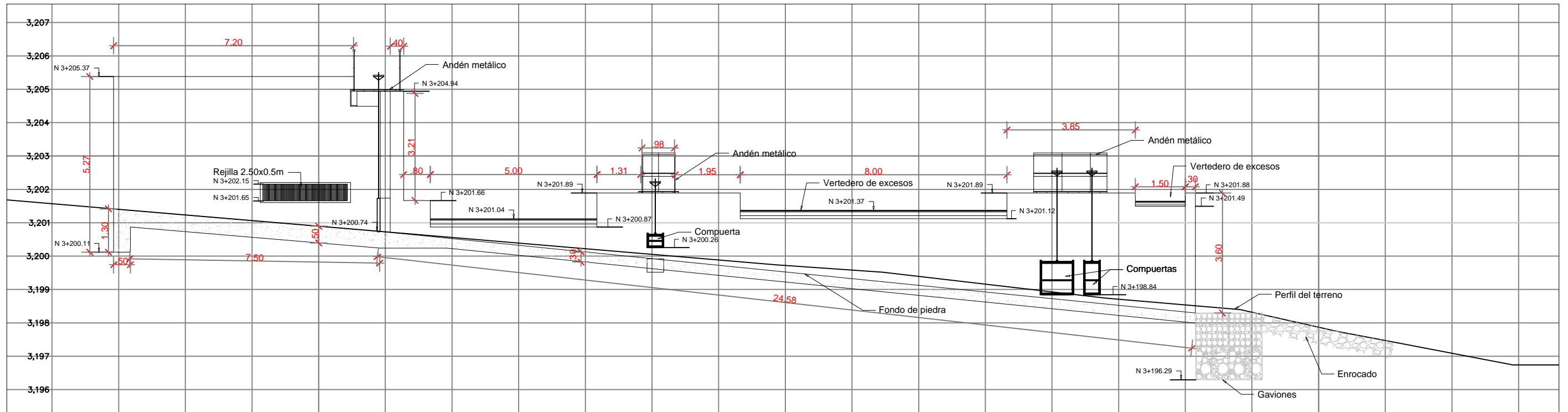
Esc. 1:200



MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES DE FLUJO SUPERCRÍTICO
CONTIENE:
RÍO BLANCO GRANDE
Perfiles Transversales

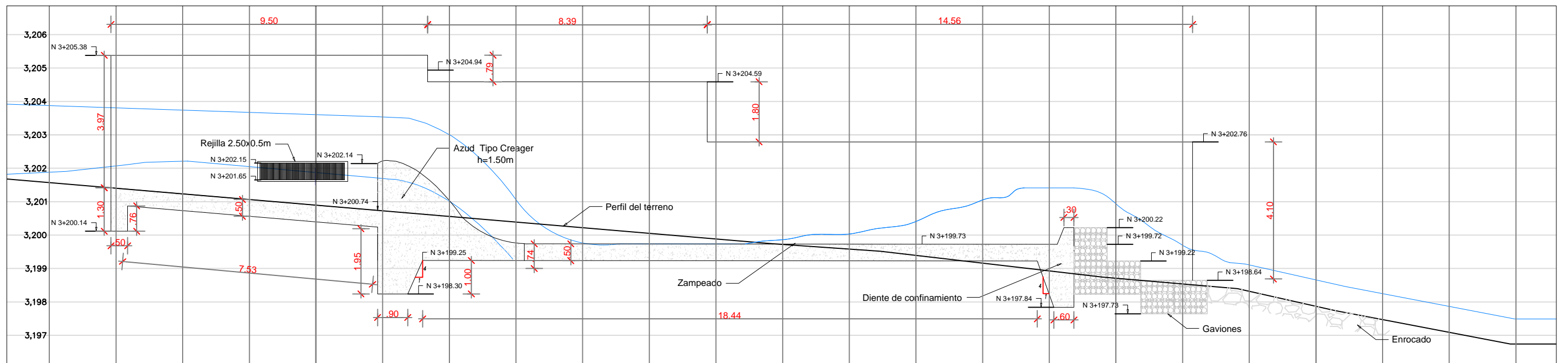
ESCALA:	INDICADAS
FECHA:	JULIO 2014
No. DE HOJA:	1 DE 1
ARCHIVO:	ESPE-TES-CPT-CIV-001
CÓDIGO:	ESPE-TES-CPT-CIV-001
DIBUJO:	Eduardo Almeida
REVISÓ:	E.C & W.S

PERFIL LONGITUDINAL 1-1



Esc. 1:125

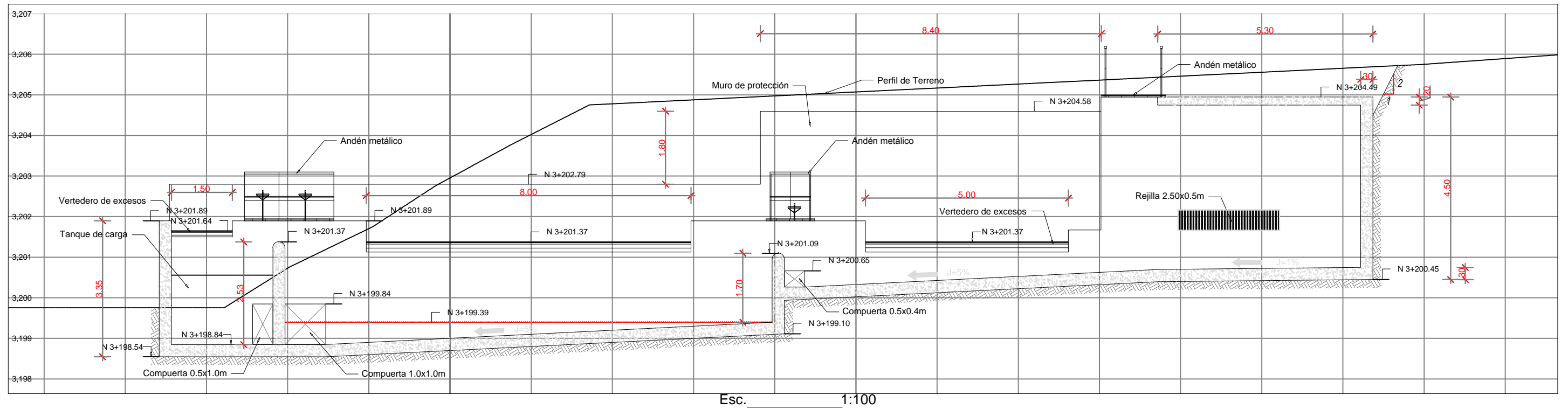
PERFIL LONGITUDINAL 2-2



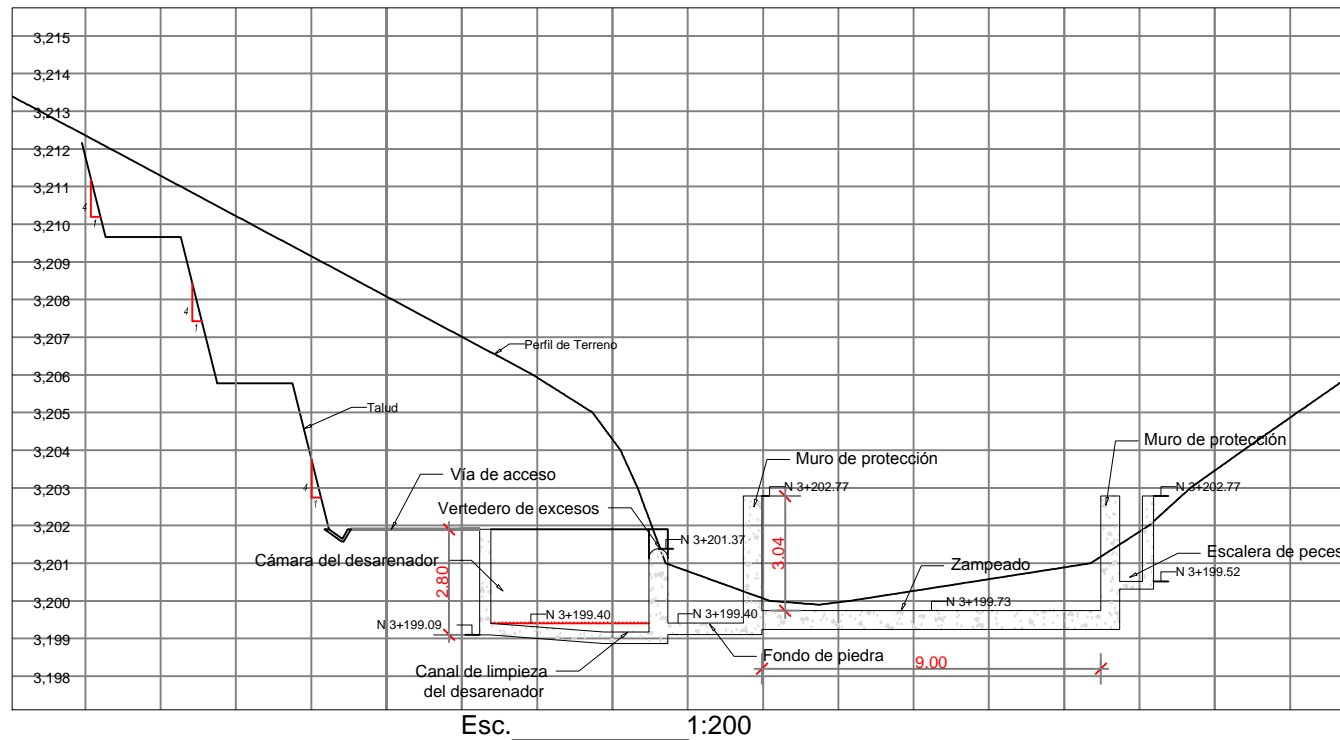
Esc. 1:125

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA	ESCALA: 1:125
	FECHA: JULIO 2014
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACION SUMERGIDAS EN CAUCES DE FLUJO SUPERCRITICO CONTIENE:	No. DE HOJA: 1 DE 1
	ARCHIVO: ESPE-TES-CPT-CIV-002
	CÓDIGO: ESPE-TES-CPT-CIV-002
	DIBUJO: Eduardo Almeida
CAPTACIONES RÍO BLANCO GRANDE Perfiles Longitudinales - Azud	REVISÓ: E.C & W.S

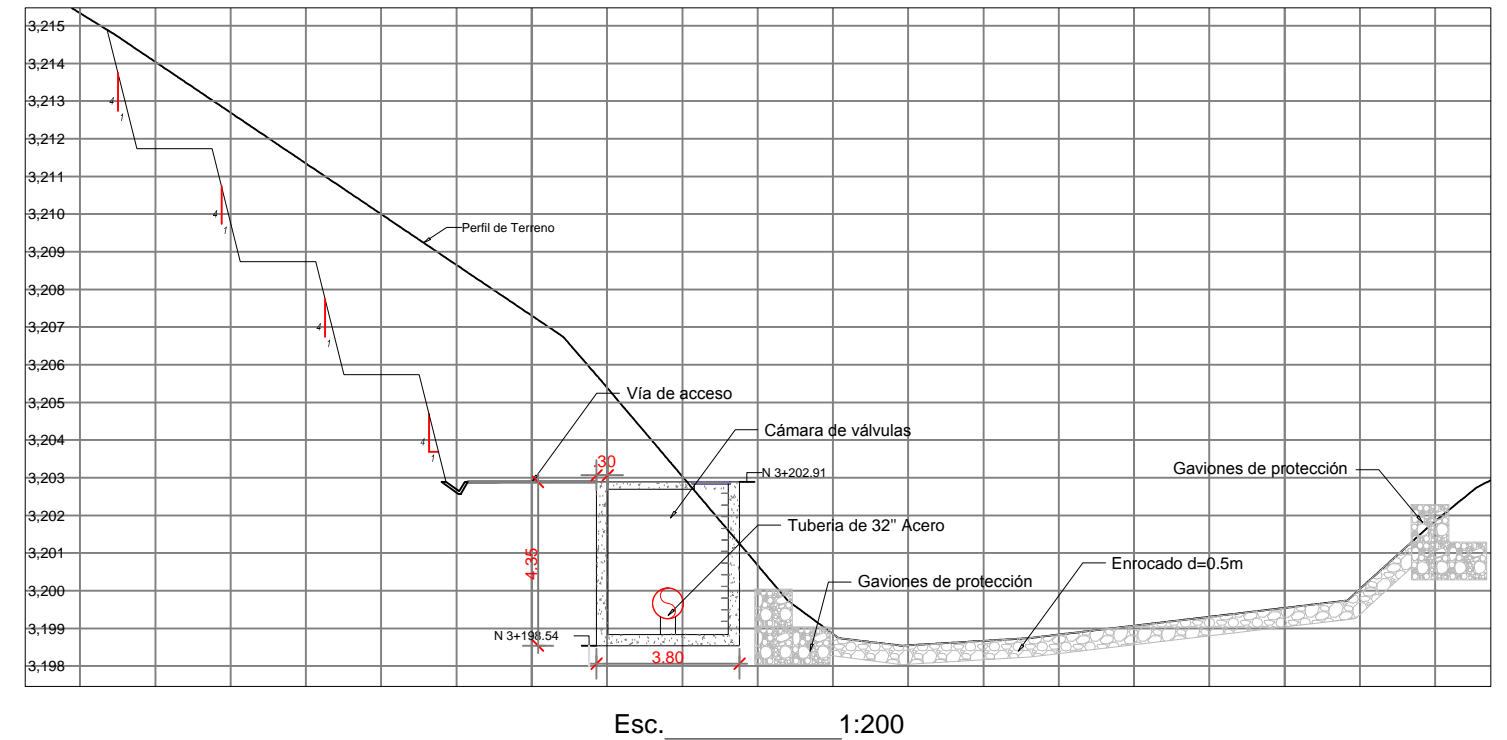
CORTE LONGITUDINAL DESARENADOR 3-3



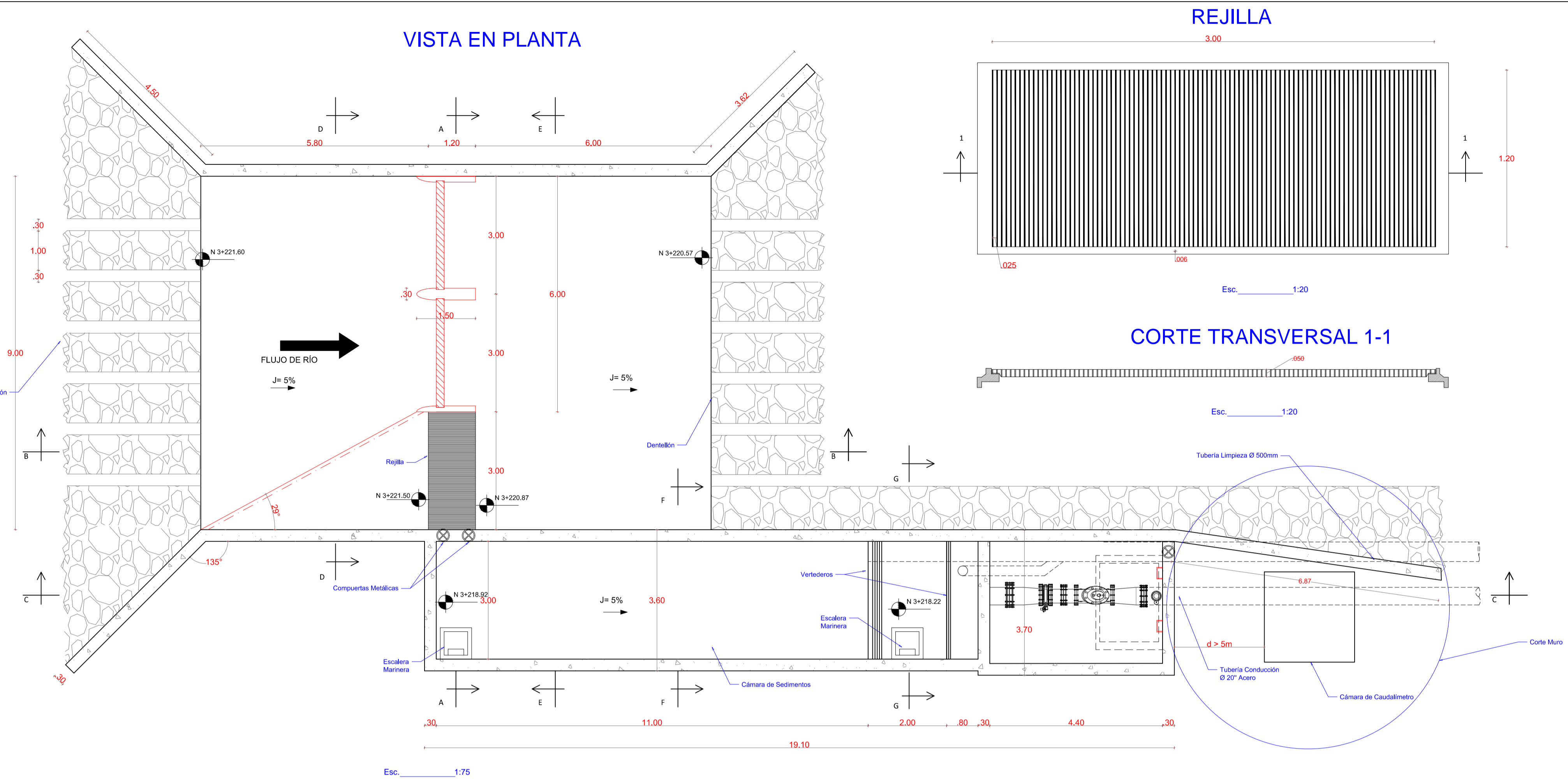
CORTE TRANSVERSAL DE CAPTACIÓN Y DESARENADOR-D



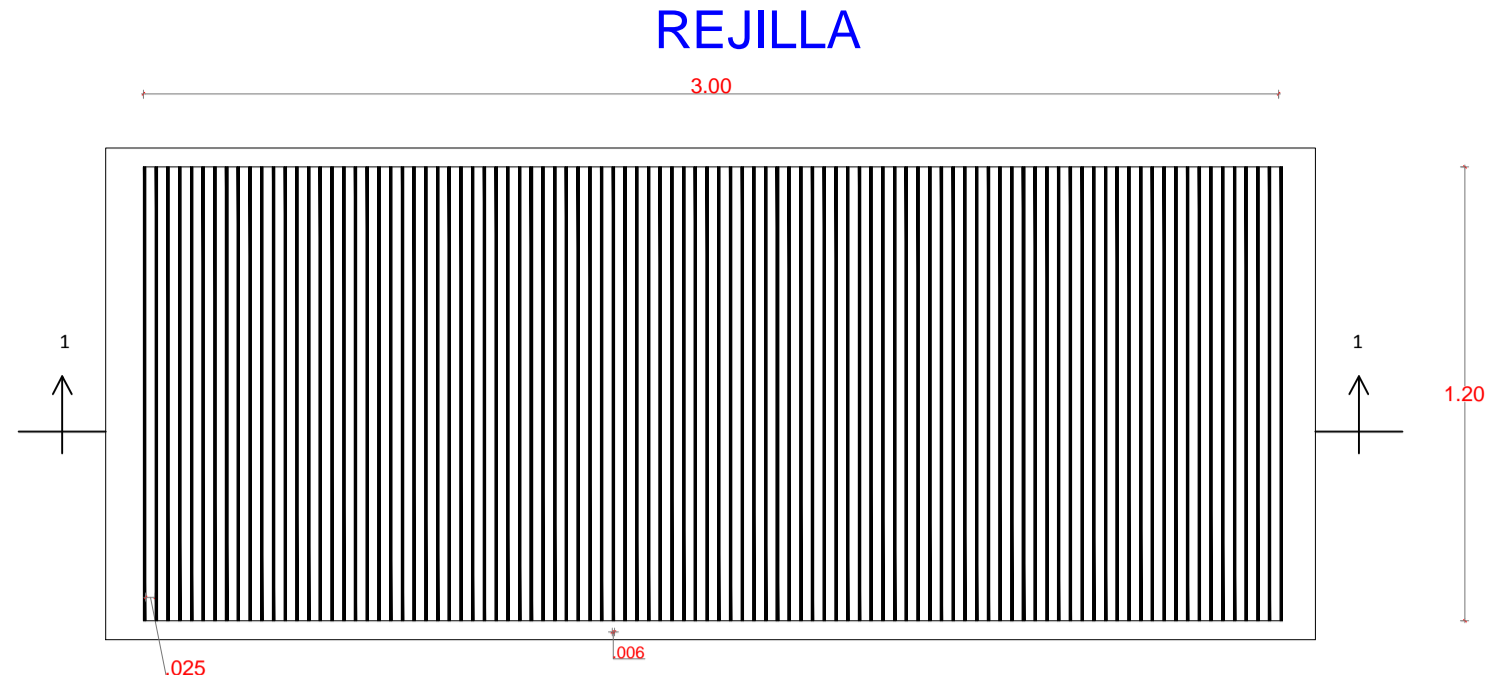
CORTE E-E



 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA	ESCALA:	1:125
	FECHA:	JULIO 2014
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES DE FLUJO SUPERCRÍTICO	No. DE HOJA:	1 DE 1
	ARCHIVO:	ESPE-TES-CPT-CIV-004
	CÓDIGO:	ESPE-TES-CPT-CIV-004
	DIBUJO:	Eduardo Almeida
CONTIENE: CAPTACIONES RÍO BLANCO GRANDE Perfiles Desarenador Cortes D-D y E-E	REVISÓ:	E.C & W.S

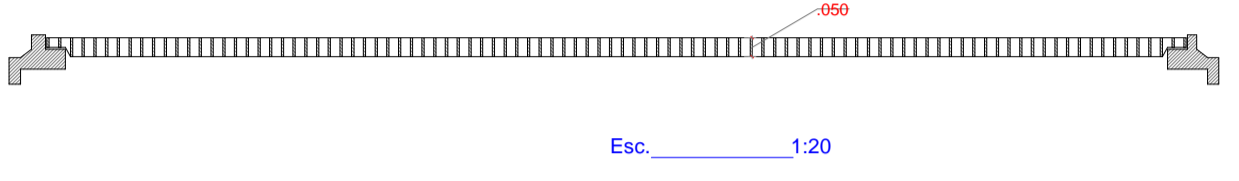


REJILLA



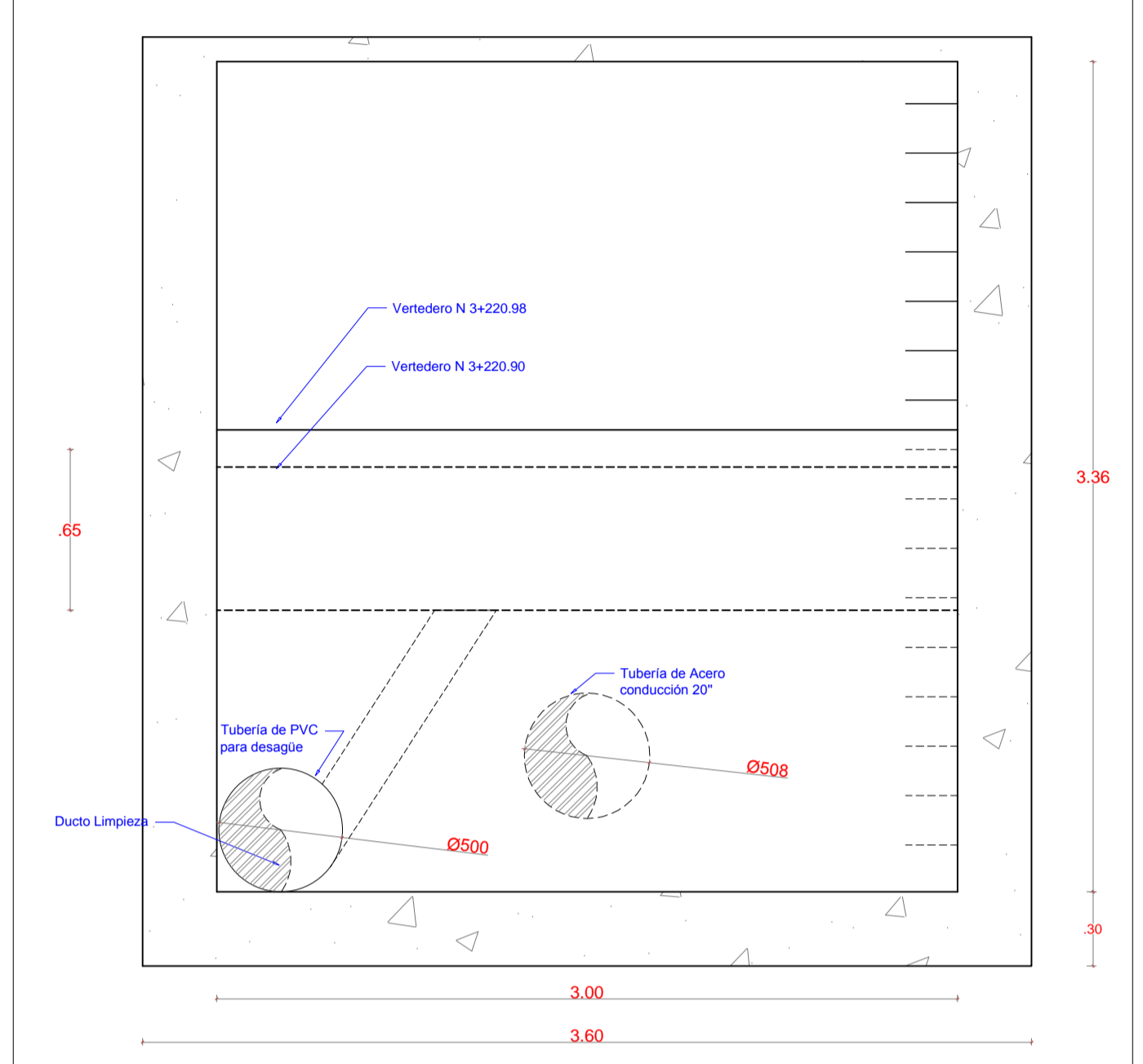
Esc. 1:20

CORTE TRANSVERSAL 1-1



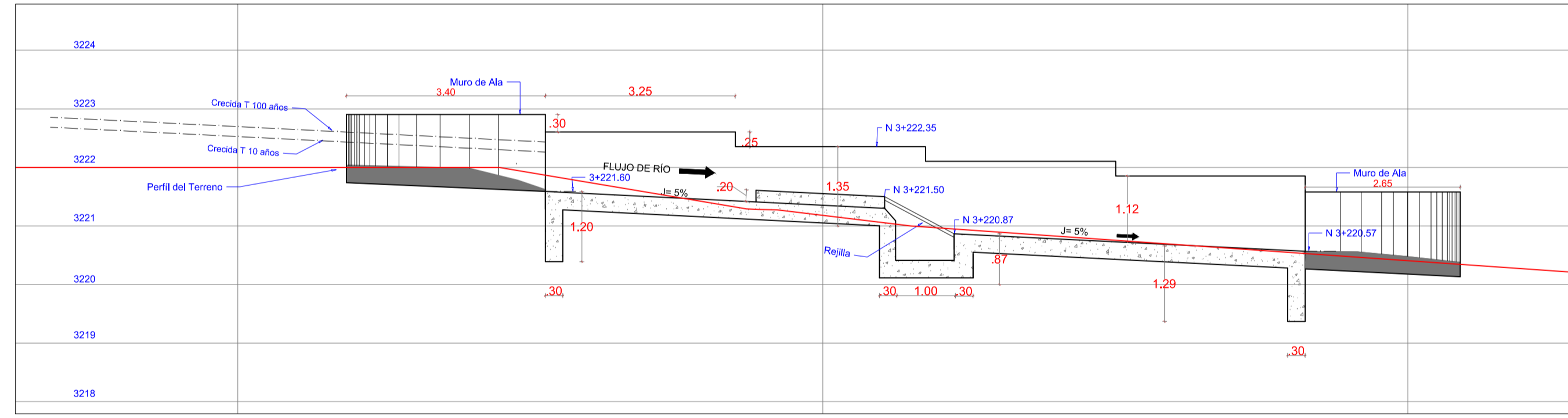
Esc. 1:20

CORTE TRANSVERSAL G-G



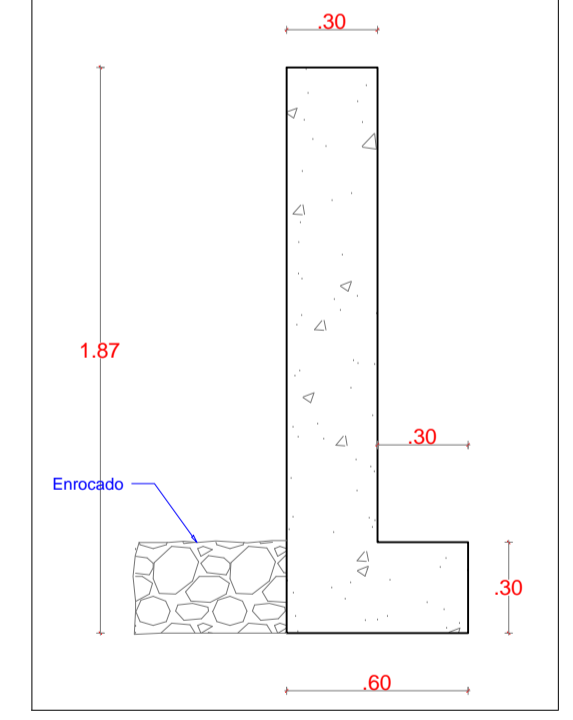
Esc. 1:25

CORTE LONGITUDINAL B-B



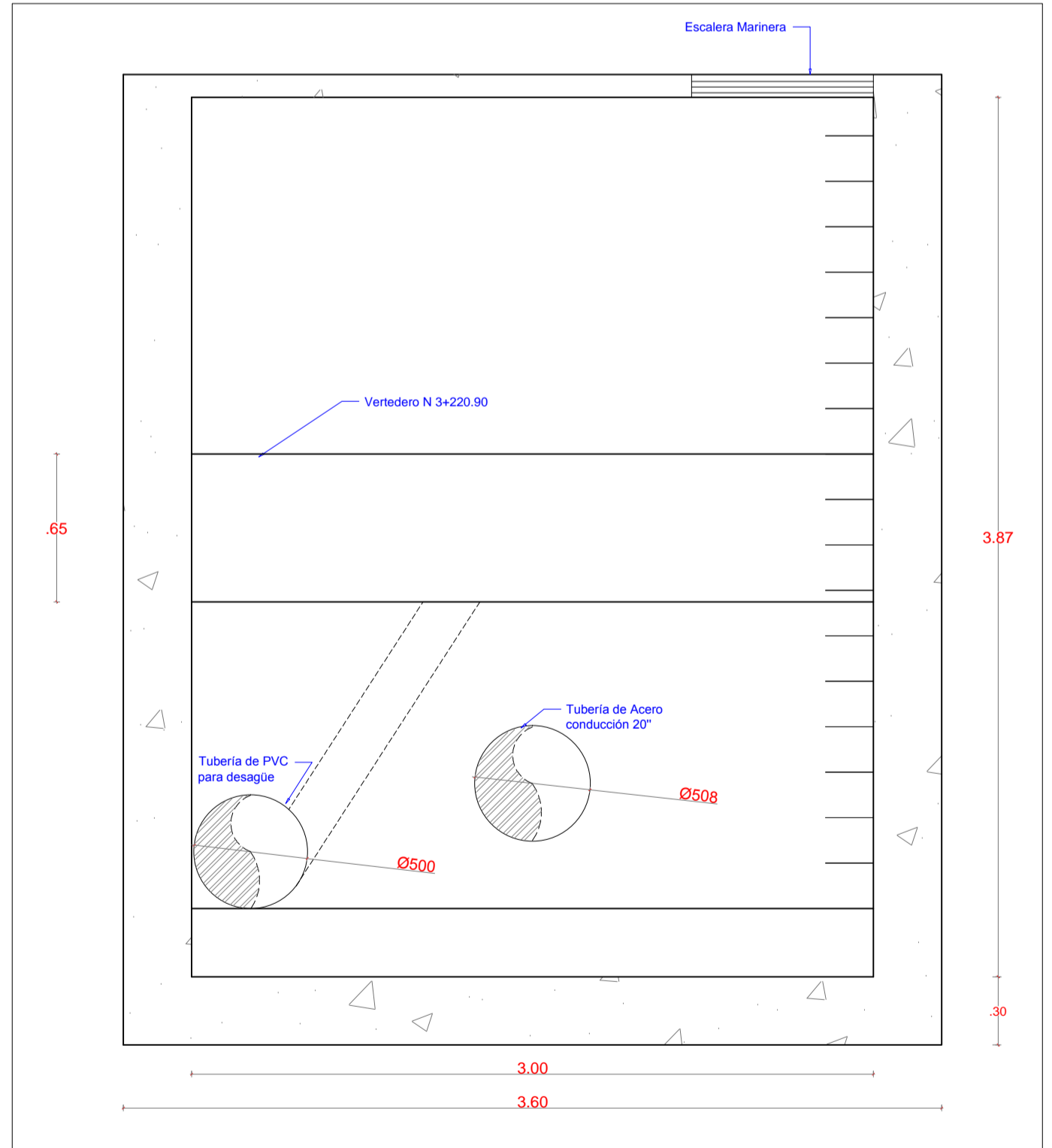
Esc. 1:75

CORTE MURO



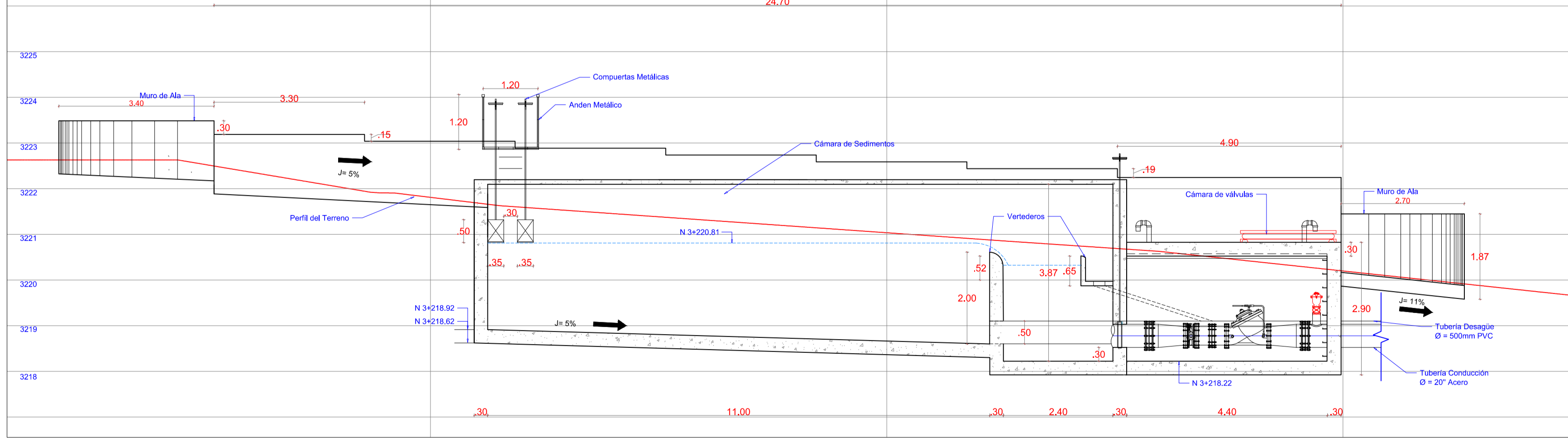
Esc. 1:25

CORTE TRANSVERSAL F-F



Esc. 1:25

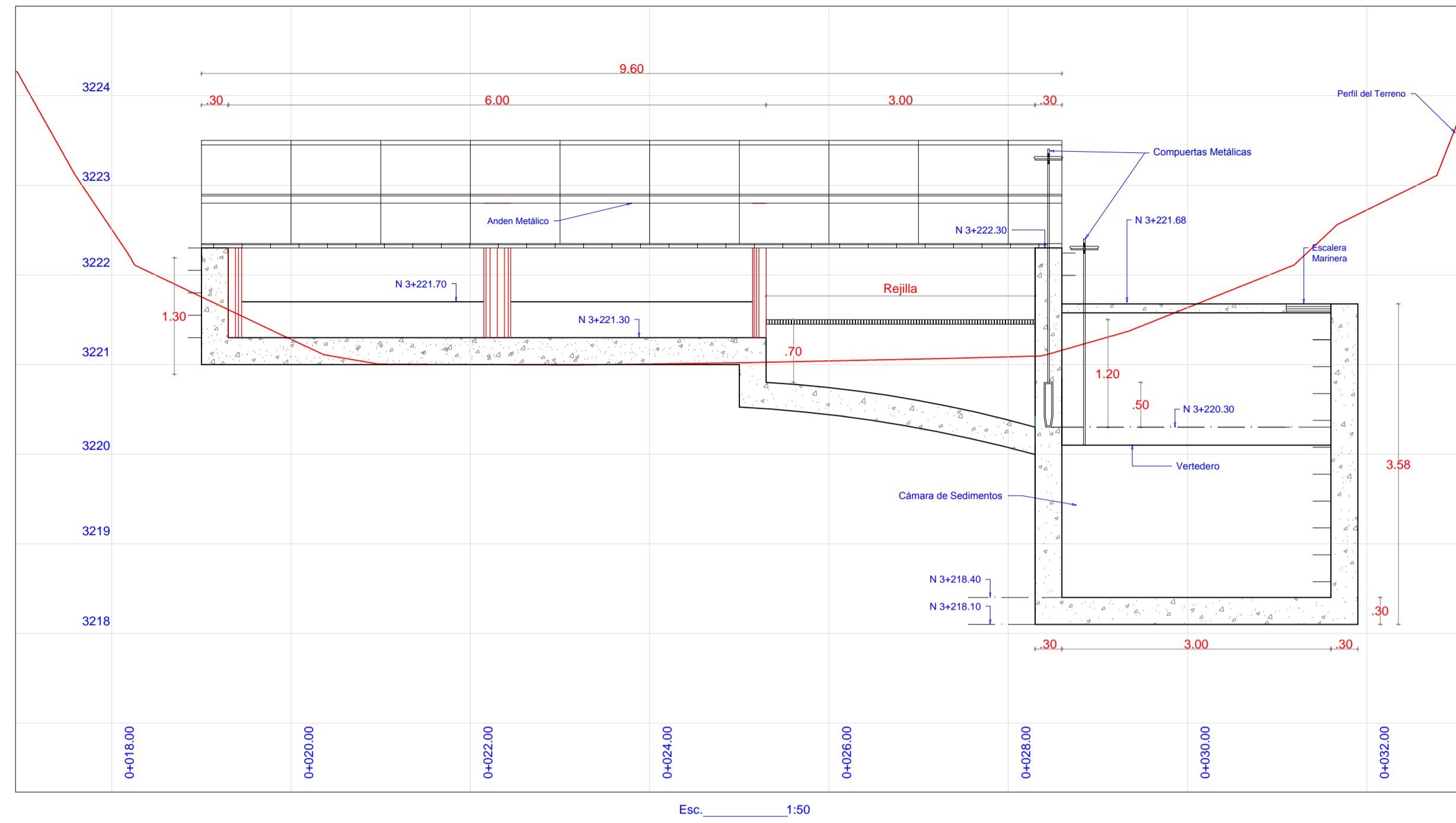
CORTE LONGITUDINAL C-C



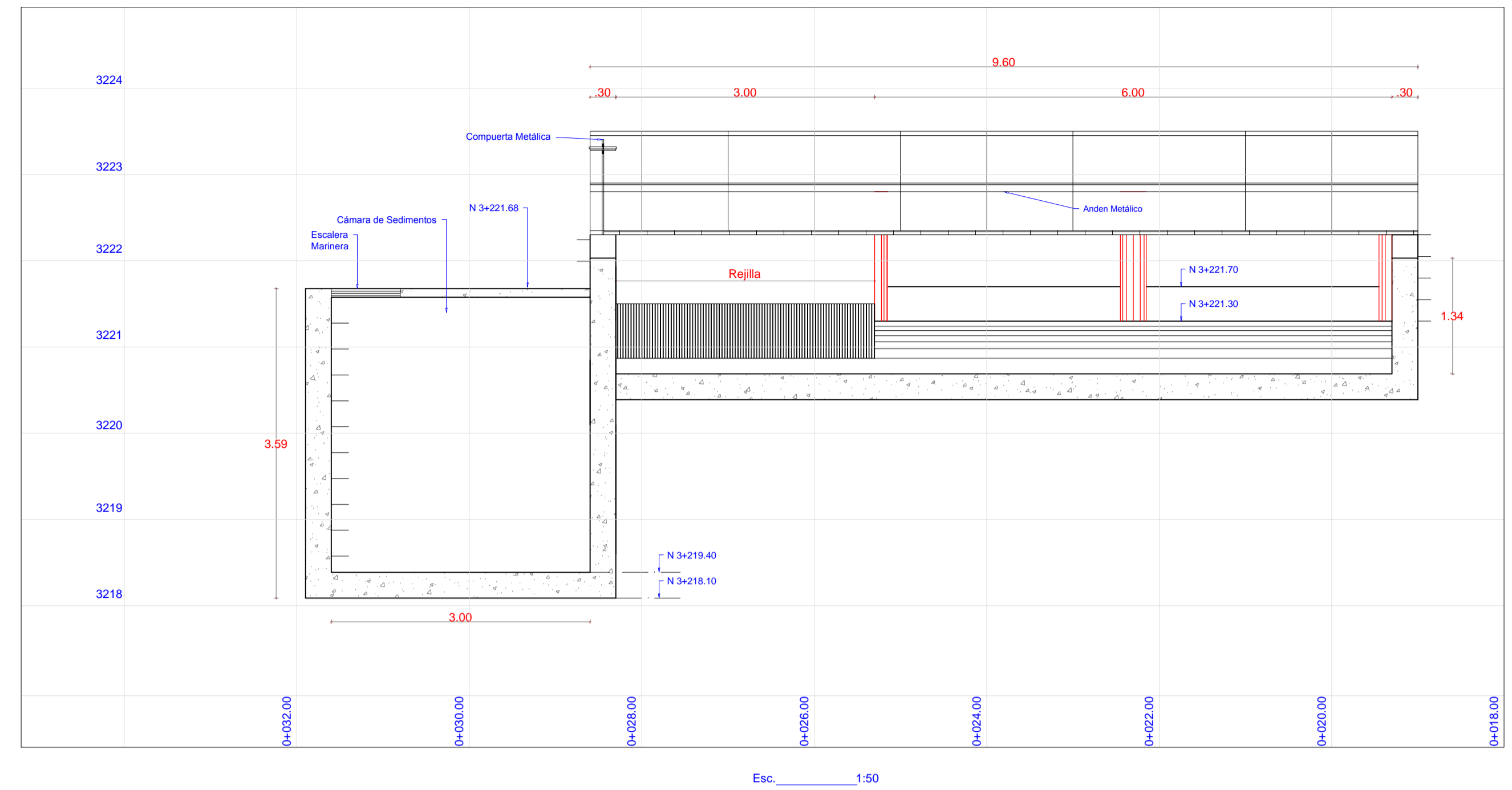
Esc. 1:75

	ESCALA:	Indicadas
	FECHA:	JULIO 2014
	No. DE HOJA:	1 DE 1
	ARCHIVO:	ESPE-TES-CPT-CIV-005
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES DE FLUJO SUPERCRÍTICO	CÓDIGO:	ESPE-TES-CPT-CIV-005
CONTIENE: OBRA DE CAPTACIÓN RÍO CRISTAL Implantación, cortes estructuras de protección	DIBUJÓ:	Eduardo Almeida
	REVISÓ:	E.C & W.S

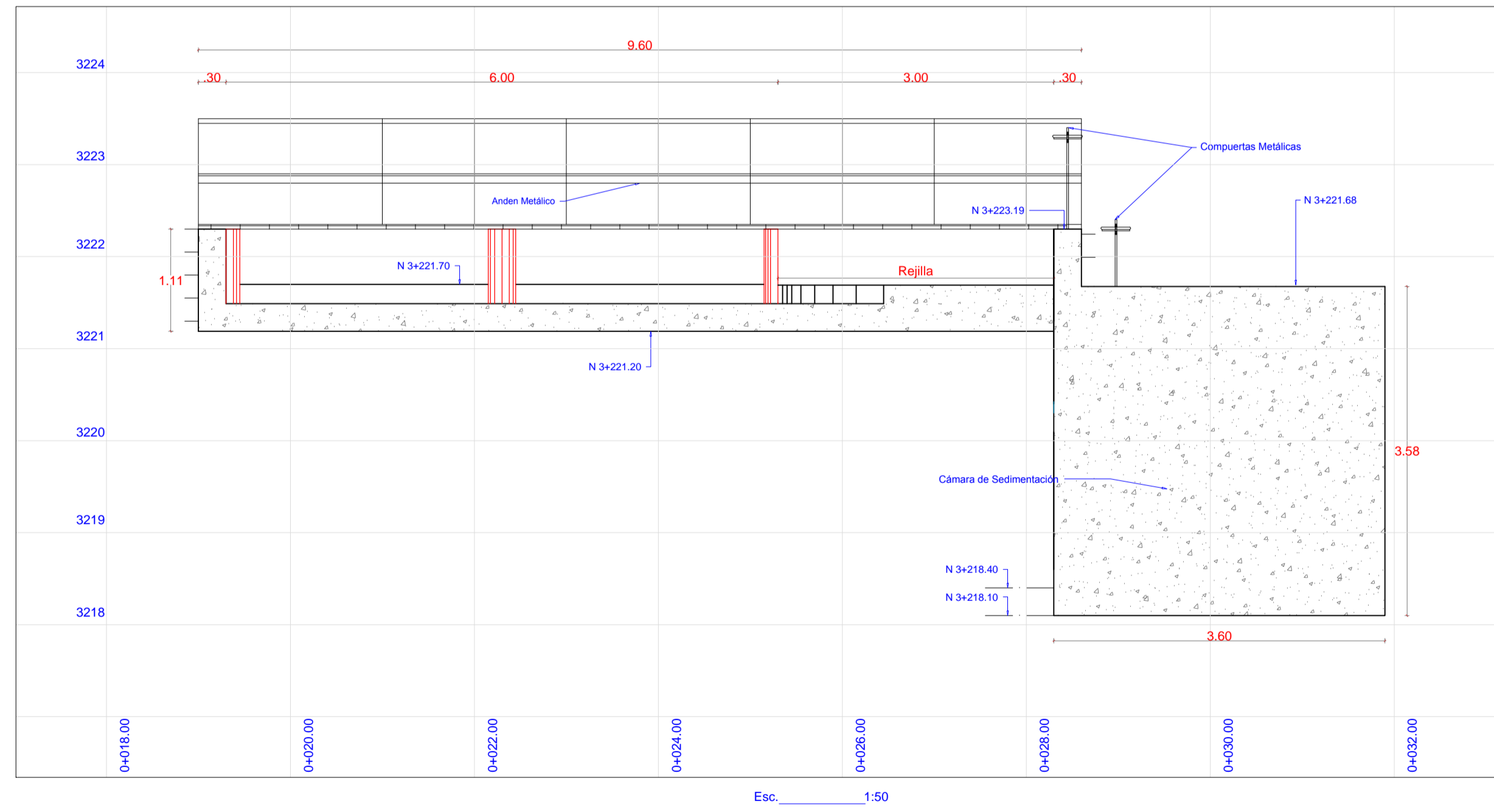
CORTE TRANSVERSAL A-A



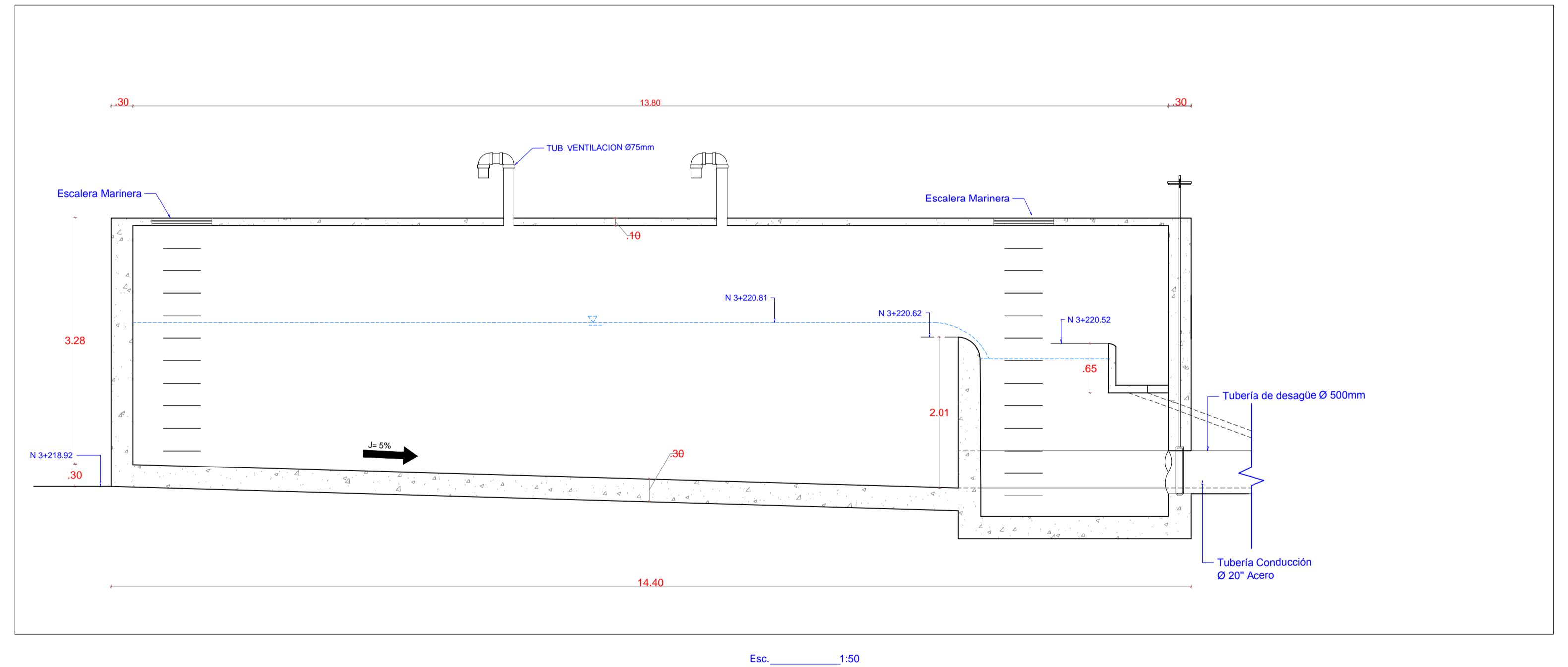
CORTE TRANSVERSAL E-E



CORTE TRANSVERSAL D-D



CÁMARA DE SEDIMENTOS



 <p>ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA</p>	ESCALA:	Indicadas
	FECHA:	JULIO 2014
<p>TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUMERGIDAS EN CAUCES DE FLUJO SUPERCRÍTICO</p> <p>CONTIENE: OBRAS DE CAPTACIÓN RÍO CRISTAL Cortes transversales captación y cortes transversales cámara de sedimentos</p>	No. DE HOJA:	1 DE 1
	ARCHIVO:	ESPE-TES-CPT-CIV-006
	CÓDIGO:	ESPE-TES-CPT-CIV-006
	DIBUJÓ:	Eduardo Almeida
	REVISÓ:	E.C & W.S