



# Proyecto Hidroeléctrico **COCORNÁ III**

*Río Cocorná, Antioquia*

## **Capítulo 3**

### **Descripción del Proyecto**

Diciembre de 2020



## **TABLA DE CONTENIDO**

LISTADO DE FIGURAS .....	iv
LISTADO DE TABLAS .....	vi
LISTADO DE FOTOS.....	vii
LISTADO DE ANEXOS .....	viii
3 Descripción del proyecto .....	9
3.1 Localización .....	9
3.2 Criterios ambientales .....	15
3.3 Características generales del proyecto .....	17
3.3.1 Infraestructura.....	20
3.3.1.1 Vías existentes .....	20
3.3.1.2 Infraestructura social y/o productiva asociada o no al proyecto .....	27
3.3.1.3 Interés turístico .....	29
3.3.1.4 Equipamientos.....	32
3.3.2 Fases y actividades del proyecto .....	33
3.3.2.1 Estudios de detalle .....	33
3.3.2.2 Actividades de adecuación, construcción y montaje .....	34
3.3.2.3 Actividades de operación.....	39
3.3.2.4 Desmantelamiento y abandono .....	39
3.4 Características técnicas del proyecto .....	39
3.4.1 Adecuación, construcción y montaje .....	39
3.4.1.1 Remoción de vegetación y descapote .....	39
3.4.1.2 Vías de acceso.....	42
3.4.1.3 Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavaciones, de construcción y demolición (Zodmes) .....	65
3.4.1.4 Volúmenes de movimiento de tierra.....	83
3.4.1.5 Adecuación de zona industrial .....	84
3.4.1.6 Planta trituración y planta de mezcla de concretos .....	85
3.4.1.7 Infraestructura para el suministro de agua.....	86
3.4.1.8 Infraestructura para el suministro de energía.....	88
3.4.1.9 Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto .....	88
3.4.1.10 Sistema de desvío del río Cocorná .....	88
3.4.1.11 Obras de captación .....	90



3.4.1.12	Desarenador.....	95
3.4.1.13	Tanque de carga .....	100
3.4.1.14	Conducción a presión .....	102
3.4.1.15	Casa de máquinas.....	109
3.4.1.16	Sistema de descarga .....	114
3.4.1.17	Subestación.....	120
3.4.1.18	Línea de transmisión .....	120
3.4.1.19	Equipos electromecánicos .....	121
3.4.1.20	Equipos hidromecánicos.....	122
3.4.1.21	Retiro de las instalaciones temporales y restauración de las áreas utilizadas	123
3.4.1.22	Información general asociada a los diseños .....	124
3.4.1.23	Maquinaria y equipos para la construcción .....	126
3.4.1.24	Identificación de fuentes para suministro de material .....	130
3.4.2	Actividades de operación .....	133
3.4.2.1	Proceso de Generación de energía .....	133
3.4.2.2	Zodmes .....	139
3.4.2.3	Instalaciones temporales .....	139
3.4.2.4	Vía de acceso.....	139
3.4.2.5	Sistema de desvío .....	139
3.4.2.6	Obras de captación .....	139
3.4.2.7	Tanque desarenador .....	140
3.4.2.8	Tanque de carga .....	140
3.4.2.9	Casa de máquinas.....	141
3.4.2.10	Subestación eléctrica.....	141
3.4.2.11	Sistema de descarga .....	141
3.4.2.12	Equipos de generación .....	142
3.4.2.13	Equipos hidromecánicos.....	142
3.4.3	Afectaciones de la maquinaria al ambiente .....	142
3.4.3.1	Emisiones de gases .....	142
3.4.3.2	Ruido Durante la construcción.....	143
3.4.3.3	Ruido durante operación .....	146
3.5	Personal requerido y organigrama del Proyecto.....	147
3.5.1	Personal requerido.....	148



3.5.1.1	Fase de estudios de detalle .....	148
3.5.1.2	Fase de construcción.....	148
3.5.1.3	Fase de operación.....	149
3.5.2	Organigrama del proyecto.....	149
3.5.2.1	El organigrama a efectos de la gestión ambiental.....	149
3.6	Cronograma y costos del proyecto.....	152
3.6.1	Duración de las actividades .....	152
3.6.2	Costos del proyecto .....	152



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 3-1 Agrupaciones hidrológicas de Colombia.....	10
Figura 3-2 Potencial hidroenergético de Colombia por subzona hidrográfica .....	11
Figura 3-3. Localización general del proyecto .....	12
Figura 3-4. Obras del proyecto .....	14
Figura 3-5. Calle 20, vía cabecera a Cocorná .....	22
Figura 3-6. Zona de acceso a Casa de Máquinas .....	24
Figura 3-7. Veredas en área de influencia del proyecto.....	28
Figura 3-8. Localización de áreas fluviales para la recreación.....	31
Figura 3-9 Localización de predios a intervenir (servidumbre o compra) .....	37
Figura 3-10 Distribución de coberturas a remover .....	41
Figura 3-11. Acceso a las obras del proyecto.....	43
Figura 3-12. Vista en planta de vía a captación.....	45
Figura 3-13. Sección típica de vía a captación .....	46
Figura 3-14. Perfil vía captación K0+000 a K0+500.....	47
Figura 3-15. Perfil vía captación K0+500 a K0+975.33.....	48
Figura 3-16. Vista en planta de vía a casa de máquina .....	51
Figura 3-17. Sección típica de vía a casa de máquinas.....	52
Figura 3-18. Perfil vía a casa de máquinas K0+000 a K0+360 .....	53
Figura 3-19. Perfil vía a casa de máquinas K0+360 a K0+680 .....	54
Figura 3-20. Sección típica vía sector escuela .....	56
Figura 3-21. Perfil vía sector CER La Placeta .....	57
Figura 3-22. Sección de cuneta vial .....	63
Figura 3-23. Capacidad hidráulica de cunetas viales.....	63
Figura 3-24. Capacidad hidráulica de rondas de coronación .....	64
Figura 3-25. Sección A-A depósito 1. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente .....	67
Figura 3-26. Sección B-B depósito 1. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	68
Figura 3-27. Sección A-A depósito 2. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente .....	69
Figura 3-28. Sección B-B depósito 2. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	70
Figura 3-29. Sección A-A depósito 3. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 1, filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-38, Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente .....	71
Figura 3-30. Sección B-B depósito 3. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	72
Figura 3-31. Sección A-A depósito 4. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 1 y cuneta perimetral ver Figura 3-38 y Figura 3-37 respectivamente .....	73
Figura 3-32. Sección B-B depósito 4. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	74
Figura 3-33. Sección A-A depósito 5. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 ver Figura 3-38.....	75



Figura 3-34. Sección B-B depósito 5. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	76
Figura 3-35. Sección A-A depósito 6. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente .....	77
Figura 3-36. Sección B-B depósito 6. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37 .....	78
Figura 3-37. Sección de cuneta perimetral .....	80
Figura 3-38. Sección filtro tipo 1 .....	80
Figura 3-39. Sección filtro tipo 2 .....	81
Figura 3-40 Localización Zedmes y sus accesos .....	82
Figura 3-41. Primera etapa constructiva de la ataguía .....	89
Figura 3-42. Segunda etapa constructiva de la ataguía .....	90
Figura 3-43. Perfil longitudinal reja de captación .....	93
Figura 3-44. Perfil del canal de caudal ambiental .....	94
Figura 3-45. Perfil transversal canal de aducción .....	95
Figura 3-46. Esquema de los componentes principales de un desarenador convencional .....	98
Figura 3-47 Zona de transición de entrada al desarenador .....	99
Figura 3-48. Perfil transversal desarenadores .....	100
Figura 3-49. Perfil longitudinal de desarenadores y tanque de carga .....	101
Figura 3-50. Perfil transversal tanque de carga .....	101
Figura 3-51. Trazado de la conducción a presión abscisas K0+000 a K0+750 .....	102
Figura 3-52. Trazado de la conducción a presión abscisas K0+750 a K2+000 .....	103
Figura 3-53. Trazado de la conducción a presión abscisas K2+000 a K3+000 .....	103
Figura 3-54. Trazado de la conducción a presión abscisas K3+000 a K3+561 .....	104
Figura 3-55. Sección típica de la tubería .....	105
Figura 3-56. Tubería apoyada en silletas y con anclaje .....	106
Figura 3-57. Tubería en silletas con anclajes .....	106
Figura 3-58. Perfil de conducción a presión (ver Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos. Plano COC3-PL-COND_01) .....	108
Figura 3-59. Perfil casa de máquinas .....	112
Figura 3-60. Vista en planta de casa de máquinas .....	113
Figura 3-61. Perfil del canal de descarga .....	114
Figura 3-62. Isométrico del canal de descarga .....	115
Figura 3-63. (a) escalones para $\theta=19^\circ$ a $55^\circ$ , (b) escalones tomados para $\theta = 5.7^\circ$ a $11.3^\circ$ .....	117
Figura 3-64. Tipos de turbina .....	121
Figura 3-65. Caseta de la válvula mariposa .....	123
Figura 3-66. Localización canteras seleccionadas .....	132
Figura 3-67. Recomendación de ruido según la OMS .....	144
Figura 3-68 Atenuación del ruido según la distancia .....	145
Figura 3-69. Estructura organizacional para la ejecución del proyecto en cada una de sus fases .....	151



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 3-1. Criterios ambientales para el planeamiento de la PCH Cocorná 1.....	15
Tabla 3-2. Características generales del proyecto.....	18
Tabla 3-3. Infraestructura de Transporte Municipio de Cocorná (2008).....	20
Tabla 3-4. Detalle de puentes .....	25
Tabla 3-5. Ubicación de las principales áreas fluviales usadas para la recreación y el esparcimiento.....	29
Tabla 3-6. Detalle de infraestructura social asociada al proyecto .....	32
Tabla 3-7. Predios para negociación .....	35
Tabla 3-8. Áreas para remoción de vegetación y descapote .....	40
Tabla 3-9. Coberturas y uso actual del suelo.....	40
Tabla 3-10. Volúmenes de corte y lleno para vías .....	58
Tabla 3-11. Criterios de diseño para vías de acceso .....	58
Tabla 3-12. Vehículo de diseño .....	60
Tabla 3-13. Detalle ZODMES.....	65
Tabla 3-14. Volúmenes de movimiento de tierra .....	83
Tabla 3-15. Volúmenes de concreto requeridos .....	85
Tabla 3-16. Concesiones para uso industrial en etapa constructiva .....	86
Tabla 3-17. Concesión para generación de energía .....	87
Tabla 3-18. Concesiones para uso doméstico.....	87
Tabla 3-19. Concesión para red contra incendio y aire acondicionado.....	87
Tabla 3-20. Definición de la partícula de diseño en función del Tipo de Turbina ....	96
Tabla 3-21. Definición de la partícula de diseño en función del salto bruto.....	97
Tabla 3-22. Características de turbinas a emplear .....	122
Tabla 3-23. Coordenadas de obras principales .....	124
Tabla 3-24. Características generales.....	124
Tabla 3-25. Información general de diseño .....	125
Tabla 3-26. Títulos seleccionados para suministro de material .....	131
Tabla 3-27. Caudales ambientales mensuales.....	133
Tabla 3-28. Caudal medio mensual multianual del río Cocorná en el sitio de captación del proyecto.....	137
Tabla 3-29. Acciones de mantenimiento en zona de captación .....	140
Tabla 3-30. Acciones e mantenimiento en desarenador.....	140
Tabla 3-31. Nivel de ruido de maquinaria durante la construcción.....	143
Tabla 3-32. Infraestructura susceptible a ruido mayor de 55 dBA.....	145
Tabla 3-33. Aislamiento acústico según tipo de cerramiento .....	147
Tabla 3-34. Personal durante la etapa de construcción .....	148
Tabla 3-35. Personal durante operación.....	149
Tabla 3-36. Duración etapas del Proyecto después de la Licencia Ambiental .....	152
Tabla 3-37. Presupuesto del proyecto .....	152



## LISTADO DE FOTOS

Tabla 3-1. Criterios ambientales para el planeamiento de la PCH Cocorná 1.....	15
Tabla 3-2. Características generales del proyecto.....	18
Tabla 3-3. Infraestructura de Transporte Municipio de Cocorná (2008).....	20
Tabla 3-4. Detalle de puentes .....	25
Tabla 3-5. Ubicación de las principales áreas fluviales usadas para la recreación y el esparcimiento.....	29
Tabla 3-6. Detalle de infraestructura social asociada al proyecto .....	32
Tabla 3-7. Predios para negociación .....	35
Tabla 3-8. Áreas para remoción de vegetación y descapote .....	40
Tabla 3-9. Coberturas y uso actual del suelo.....	40
Tabla 3-10. Volúmenes de corte y lleno para vías .....	58
Tabla 3-11. Criterios de diseño para vías de acceso .....	58
Tabla 3-12. Vehículo de diseño .....	60
Tabla 3-13. Detalle ZODMES.....	65
Tabla 3-14. Volúmenes de movimiento de tierra .....	83
Tabla 3-15. Volúmenes de concreto requeridos .....	85
Tabla 3-16. Concesiones para uso industrial en etapa constructiva .....	86
Tabla 3-17. Concesión para generación de energía .....	87
Tabla 3-18. Concesiones para uso doméstico.....	87
Tabla 3-19. Concesión para red contra incendio y aire acondicionado.....	87
Tabla 3-20. Definición de la partícula de diseño en función del Tipo de Turbina ....	96
Tabla 3-21. Definición de la partícula de diseño en función del salto bruto.....	97
Tabla 3-22. Características de turbinas a emplear .....	122
Tabla 3-23. Coordenadas de obras principales .....	124
Tabla 3-24. Características generales.....	124
Tabla 3-25. Información general de diseño .....	125
Tabla 3-26. Títulos seleccionados para suministro de material .....	131
Tabla 3-27. Caudales ambientales mensuales.....	133
Tabla 3-28. Caudal medio mensual multianual del río Cocorná en el sitio de captación del proyecto.....	137
Tabla 3-29. Acciones de mantenimiento en zona de captación .....	140
Tabla 3-30. Acciones e mantenimiento en desarenador.....	140
Tabla 3-31. Nivel de ruido de maquinaria durante la construcción.....	143
Tabla 3-32. Infraestructura susceptible a ruido mayor de 55 dBA.....	145
Tabla 3-33. Aislamiento acústico según tipo de cerramiento .....	147
Tabla 3-34. Personal durante la etapa de construcción .....	148
Tabla 3-35. Personal durante operación.....	149
Tabla 3-36. Duración etapas del Proyecto después de la Licencia Ambiental .....	152
Tabla 3-37. Presupuesto del proyecto .....	152



## **LISTADO DE ANEXOS**

Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos

Anexo 3.1 Localización General del Proyecto



### **3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

#### **3.1 Localización**

El proyecto hidroeléctrico en estudio, PCH COCORNÁ III, se localiza en la subregión del oriente antioqueño en la jurisdicción de Cocorná, municipio que cuenta con una extensión de 210 km<sup>2</sup>. Está ubicado dentro de la agrupación hidrológica Magdalena – Cauca (identificada con el color verde en la Figura 3-1).

El potencial energético del país fue evaluado por parte de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) teniendo en cuenta la pluviosidad y la pendiente longitudinal de las corrientes hídricas. Dichas variables presentan altos valores en la zona en estudio y con base en ello, es posible afirmar que el proyecto se encuentra en una zona con alto potencial para la generación hidroeléctrica que, además, cuenta con un terreno que tiene capacidad para soportar estructuras y recibir medidas correctivas o mitigantes que pueden llegar a necesitarse en el desarrollo de las obras de la PCH.

Es así como puede establecerse una buena premisa para el inicio del proyecto, ya que cuenta con las condiciones adecuadas en los principales elementos para su definición:

- Disponibilidad de agua suficiente y permanente
- Diferencia de alturas aprovechable en el terreno
- Geología estable

Este argumento se hace evidente en la Figura 3-2, donde según la evaluación del potencial hidroenergético de Colombia presentada en el Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia por la UPME en el 2015, la zona de estudio presenta un alto potencial de generación.





Figura 3-1 Agrupaciones hidrológicas de Colombia

Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015, UPME







A continuación, en la Figura 3-3 se muestra la localización general del proyecto a nivel municipal y departamental, para mayor detalle ver el Anexo 3.1 Localización General del Proyecto:

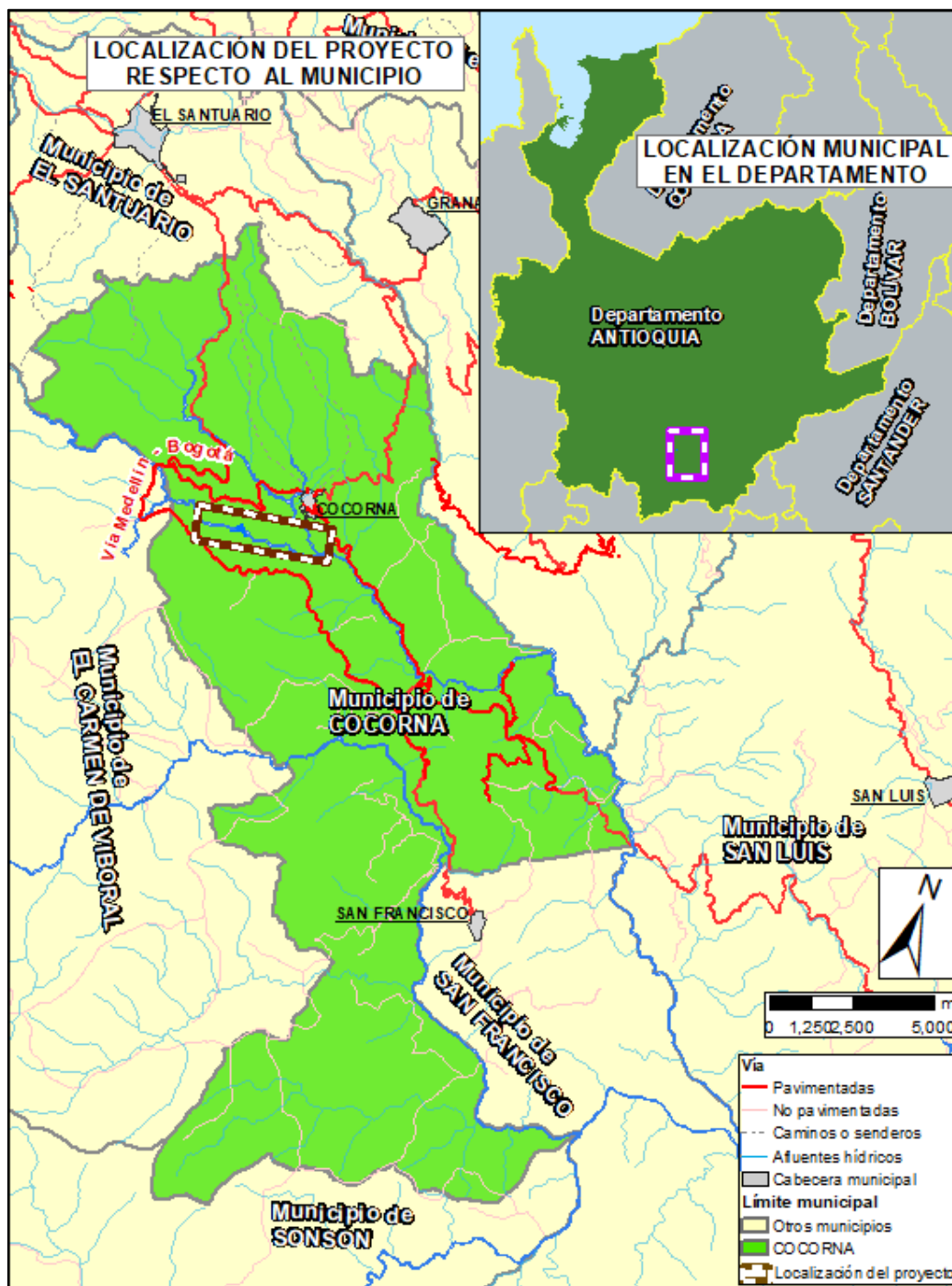


Figura 3-3. Localización general del proyecto



La pequeña central hidroeléctrica se desarrolla a través de las veredas La Placeta, San Vicente, El Tesoro, Mazotes, Los Cedros y Montañita, entre las cotas 1.345 msnm y 1.122 msnm, donde se ubica la captación y la casa de máquinas respectivamente.

El tramo del río Cocorná interceptado por el proyecto recibe sobre su margen derecha las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona y, aguas abajo de la casa de máquinas desemboca La Quebrada La Chorrera sobre el costado izquierdo del río. El resto de los afluentes que confluyen en dicho tramo son de carácter intermitente y tienen áreas tributarias de extensión menor a 0,5 km<sup>2</sup>.

El centro urbano de mayor importancia y proximidad al proyecto es la cabecera del municipio de Cocorná y el acceso a la zona del proyecto se realiza por la vía que conduce de Medellín a este municipio, la Autopista Medellín – Bogotá, con un recorrido aproximado de 83 km (medidos desde el centro de Medellín al centro del casco urbano de Cocorná), lo que equivale a un tiempo de viaje de aproximadamente 2 horas desde Medellín, en un vehículo liviano.

Con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos que el proyecto puede generar, las obras de infraestructura se ubicaron, donde era posible, cerca de la infraestructura vial existente, minimizando así las longitudes de las vías a construir para el acceso a la zona del proyecto.

En la Figura 3-4 se observa con mayor detalle la localización de las obras del proyecto y de las vías que dan acceso a éste. Las vías en color amarillo son aquellas existentes que el proyecto empleará y adecuará para acercarse a la zona de captación y de casa de máquinas. Más adelante, en el numeral 3.3.1.1 se profundizará en este aspecto.



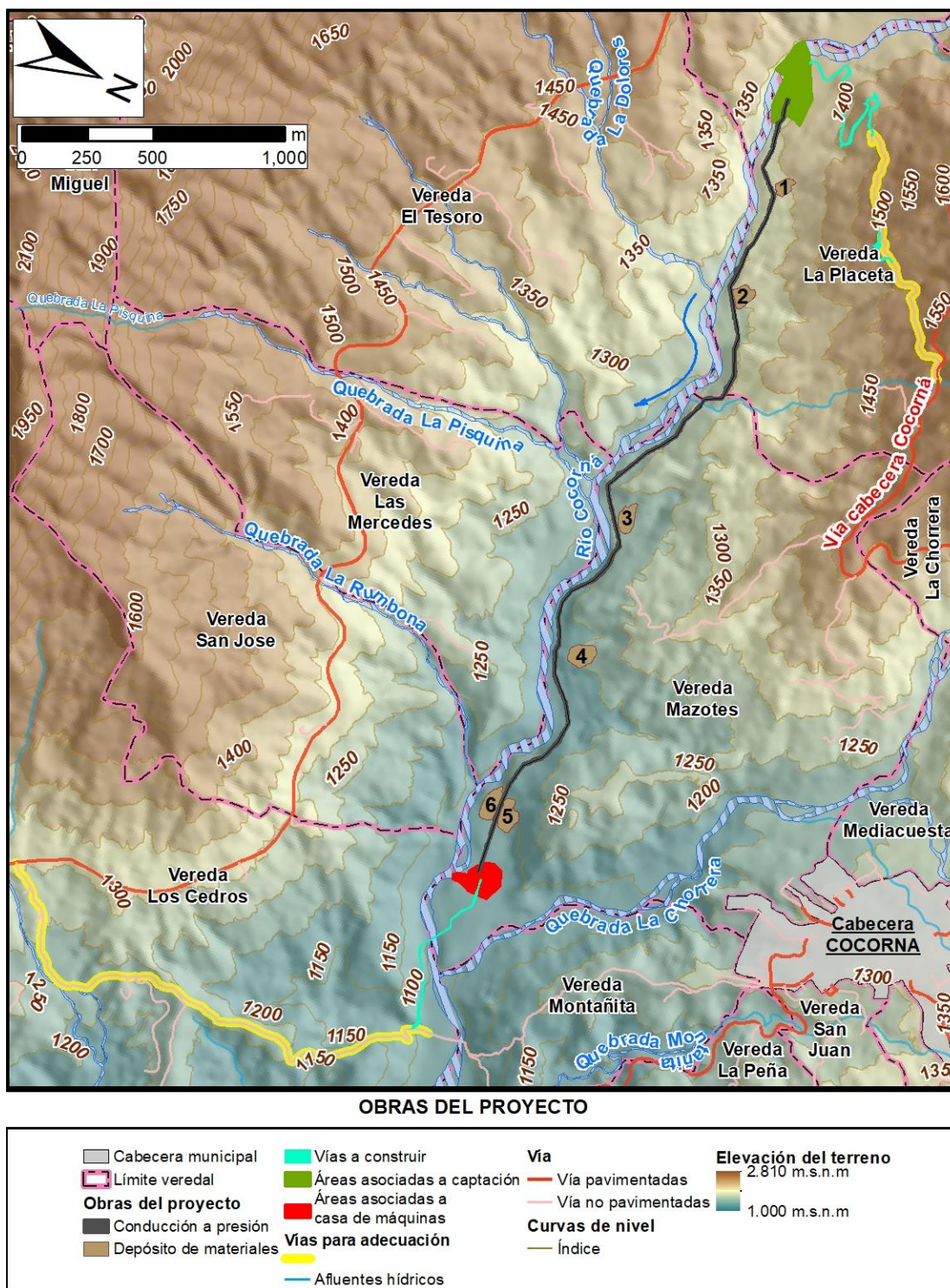


Figura 3-4. Obras del proyecto



Por otro lado, se consideran criterios hidrológicos que permitan desarrollar el proyecto de una manera idónea, que optimice los recursos y que aproveche el potencial disponible. En el proceso de desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, es de vital importancia considerar la cantidad disponible del recurso hídrico con el fin de garantizar la producción de energía en cualquier período del año, considerando no sólo los períodos húmedos, sino también las épocas de caudal mínimo (temporadas secas). Es necesario minimizar la afectación de la generación de energía del proyecto por la disminución del recurso hídrico en las temporadas secas, por lo cual es importante seleccionar sitios con altos rendimientos hídricos y cuencas con tamaños suficientes que garanticen la oferta hídrica adecuada, con el fin de disminuir los sobrecostos de instalación y las altas variaciones en los ingresos.

Tomando en cuenta lo anterior, se siguen criterios de elección de los puntos de captación correspondientes a cuencas que tengan pluviosidad y rendimiento hidrográfico aceptables, es decir, con productividades mayores a 20 l/s/km<sup>2</sup>. Además, se deben escoger, de ser posible, cuencas con áreas mayores a 50 km<sup>2</sup> para garantizar la permanencia de la corriente, aún durante temporadas de severa escasez de lluvia. La cuenca hasta el sitio de captación presenta un área de 119,3 km<sup>2</sup> y hasta la casa de máquinas de 131,4 km<sup>2</sup>, ambas por encima del mínimo requerido.

### 3.2 Criterios ambientales

Dentro del estudio se tienen en cuenta diferentes parámetros ambientales con el fin de causar las menores afectaciones al entorno natural, en especial las asociadas a la disponibilidad del recurso hídrico en el tramo en estudio, pero también las demás afectaciones producidas a los diferentes elementos ambientales que integran los medios físico, biótico y socioeconómico. En la Tabla 3-1 se presentan las restricciones ambientales a cada uno de los factores bióticos y sociales analizados, considerando la normatividad aplicable a cada criterio.

Tabla 3-1. Criterios ambientales para el planeamiento de la PCH Cocorná 1

Información Socioambiental		Restricción	Normatividad aplicable
Ecosistemas	Presencia de Parque Nacional Natural (PNN)	Altas restricciones	Decreto 622 de 1977. Art 12. "La sustracción total o parcial de un área integrante del Sistema de Parques Nacionales Naturales, cuando ello se justifique por consideraciones de orden ecológico, requerirá la expedición de un acuerdo por parte de la Junta directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, siguiendo el mismo procedimiento establecido en el artículo 6 de este decreto".  Decreto 2820 de 2010. Competencias del Min. Ambiente. Art 12 "Los proyectos que afecten las Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales".
	Presencia de Ecosistema estratégico	Se puede desarrollar, pero con ciertas	Los ecosistemas estratégicos de mayor importancia para el país son los siguientes:



Información Socioambiental		Restricción	Normatividad aplicable
	(declarado o sin declarar)	restricciones ambientales, además se debe analizar en detalle cada caso.	<p><b>Humedales:</b> Resolución n° 157 de 2004. Art 16. “Por motivos urgentes de interés nacional el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial podrá retirar los humedales incluidos en la lista de humedales de importancia internacional o reducir o modificar sus límites”.</p> <p><b>Páramos:</b> Resolución n° 769 de 2002. Art. 5. “En consideración de las especiales características de los páramos y sus ecosistemas adyacentes, todo proyecto, obra o actividad que se pretenda realizar en los páramos, deberá desarrollarse atendiendo los criterios de zonificación y ordenación ambiental que se definan en el Plan de Manejo y las estrategias, modelos y alternativas de manejo sostenible que se prevean en el mismo, o según los permitidos por la categoría de manejo bajo la cual se haya declarado.”</p> <p><b>Manglares:</b> Resolución 1602 de 1995. Art 2 y 3. Modificado por Resolución 20 de 1996. Parágrafo segundo: “Las prohibiciones a las cuales hace referencia el numeral segundo del artículo Segundo de la Resolución No. 1602 del 21 de diciembre de 1995, sólo operarán cuando conlleven el deterioro del ecosistema del manglar a juicio de la autoridad ambiental competente”.</p> <p><b>Zonas secas:</b> Apoyado en la Ley 99 de 1993 y en la política Nacional de la Biodiversidad.</p>
	Presencia de Área protegida que no sea PNN	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones ambientales, además se debe analizar en detalle cada caso.	<p>Decreto 2372 de 2010. Art 30: Artículo 30. “Sustracción de Áreas Protegidas. La conservación y mejoramiento del ambiente es de utilidad pública e interés social. Cuando por otras razones de utilidad pública e interés social se proyecten desarrollar usos y actividades no permitidas al interior de un área protegida, atendiendo al régimen legal de la categoría de manejo, el interesado en el proyecto deberá solicitar previamente la sustracción del área de interés ante la autoridad que la declaró. En el evento que conforme a las normas que regulan cada área protegida, no sea factible realizar la sustracción del área protegida, se procederá a manifestarlo mediante acto administrativo motivado rechazando la solicitud y procediendo a su archivo.”</p> <p>Art 35: “Definición de los usos y actividades permitidas. De acuerdo a la destinación prevista para cada categoría de manejo, los usos y las consecuentes actividades permitidas, deben regularse para cada área protegida en el Plan de Manejo y ceñirse a las siguientes definiciones....”</p>
Fauna - Flora	Existencia de áreas para cría, anidación, protección, migración de	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones ambientales,	Apoyado en la Ley 99 de 1993 y en la política Nacional de la Biodiversidad.



Información Socioambiental		Restricción	Normatividad aplicable
	especies de fauna. Hay especies sensibles o importantes.	además se debe analizar en detalle cada caso.	
Presencia de población	Hay presencia de viviendas o infraestructura en las zonas donde se pretende llevar a cabo el proyecto. Lo cual conlleva al reasentamiento de población.	Se puede desarrollar, pero requiere la caracterización socioeconómica de la población a reasentar y los posibles sitios de ubicación.	Constitución Política de Colombia Artículos 63 y 72, Art 79 (Participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar el medio ambiente).
Cultura	Existencia de áreas de protección cultural o histórica dentro de la legislación local, nacional o internacional.	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones culturales	Ley 163 de 1959: por la cual se dictan medidas sobre defensa y conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la Nación. Decreto 264 de 1963: por el cual se reglamenta la Ley 163 de 1959 sobre defensa y conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la Nación. Decreto 763 del 2009: por el cual se reglamentan parcialmente las leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material
Comunidades indígenas o afrodescendientes	Presencia de Comunidades indígenas o afrodescendientes.	Se puede desarrollar, pero se requiere Consulta previa.	El Decreto 1320 de 1998 reglamenta el procedimiento de la Consulta Previa a comunidades indígenas y negras, para la explotación de recursos naturales dentro de su territorio.
Arqueología	Áreas donde exista Patrimonio Arqueológico	Con restricciones	Decreto 833 de 2002: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de Patrimonio Arqueológico Nacional y se dictan otras disposiciones

Fuente: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1097&conID=5551>

### 3.3 Características generales del proyecto

El proyecto hidroeléctrico denominado Cocorná III, diseñado a filo de agua, tiene una potencia instalada de aproximadamente 19,56 MW y una generación anual de 112,76 GWh. Aprovecha un caudal de 10,6 m<sup>3</sup>/s, el cual es conducido por una tubería a presión de 3.725 m de longitud y 2,10 m de diámetro desde la captación ubicada en



la cota 1.345 msnm hasta la casa de máquinas con elevación del terreno de 1.122,55 msnm. Las obras de captación, derivación y de generación se encuentran ubicadas sobre la margen izquierda del río Cocorná, el acceso a la zona de captación y derivación se hará por esta misma margen mientras que las vías de acceso a la casa de máquinas estarán en el costado derecho, haciéndose necesario un cruce sobre el río para poder acercarse a la zona (como se mostró en la Figura 3-4).

Las obras de captación del proyecto consisten en un azud localizado en las coordenadas 1.160.046 norte y 874.409 este, un canal para evacuación de sedimentos (dotado de compuerta), un sistema de rejillas para la captación del agua, un canal para la evacuación del caudal ambiental por medio de una compuerta, un canal de aducción al sistema, un desarenador con dos celdas, canal para evacuación de lodos, tanque de carga y canal de evacuación de excesos.

En el sitio de generación de energía, denominado Casa de Máquinas (coordenadas 1.160.275 norte y 877.722 este), se ubican dos turbinas tipo Pelton, generadores, transformadores y la subestación. A la salida de la Casa de Máquinas se construye el canal de descarga al río del agua utilizada para la generación de energía.

En la Tabla 3-2 se presenta el resumen de las características generales del proyecto.

Tabla 3-2. Características generales del proyecto

Parámetro	Valor
Caudal de diseño para generación (m <sup>3</sup> /s)	10,6
Caudal ambiental máximo (m <sup>3</sup> /s)	4,5 - Mayo
Caudal ambiental mínimo (m <sup>3</sup> /s)	2,2 - Agosto
Tipo de captación	Lateral
Número de celdas del desarenador	2
Cota captación en la cresta del vertedero de crecientes (msnm)	1.349
Cota casa de máquinas en el eje de las turbinas (msnm)	1.122,6
Tipo de turbinas	Pelton
Número de turbinas	2
Salto bruto (m)	225,45
Salto neto (m)	213,29
Potencia estimada (MW)	19,56
Energía generada (GWh/año)	112,76
Factor de planta	65,7%



El esquema de trazado a filo de agua que tiene el proyecto no requiere embalse ni trasvase. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico o topográfico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. Este tipo de esquemas tienen grandes ventajas ambientales, ya que poseen un área de influencia relativamente pequeña (si se compara con los grandes embalses), al no tener un mecanismo de regulación de caudal, como es el caso de los grandes cuerpos de agua embalsados; el flujo del río tiene una afectación menor y por tanto se preservan las condiciones naturales para el ecosistema acuático y se evitan las afectaciones a la comunidad que haga uso del recurso aguas abajo del proyecto. Adicionalmente, bajo este esquema no se genera reasentamiento de poblaciones por inundación de predios.

De acuerdo con las estaciones del año, las centrales hidroeléctricas diseñadas a filo de agua alcanzan su máxima potencia en las temporadas de precipitaciones abundantes, captando el 100% del caudal de diseño y dejando pasar el agua excedente por encima del vertedero de crecientes del azud. Por otra parte, en las temporadas secas, la potencia disminuye con el fin de garantizar el caudal ambiental.

Para definir la ubicación de la captación y la casa de máquinas se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Que correspondan a sitios de topografía plana y con la extensión adecuada (1,0 ha para captación y 1,0 ha para casa de máquinas), para minimizar los movimientos de tierra por cortes y llenos y disminuir los riesgos por movimientos en masa, cercanos al río, pero por fuera de las llanuras de inundación para evitar protecciones excesivas contra los niveles de las avenidas del río.
- Que cuente con facilidades de acceso: existencia de vías o carreteables cercanos a los sitios de las obras que se proyecta construir.
- En lo posible, que los sitios no tengan coberturas vegetales de interés ambiental y que tengan algún grado de intervención para que no se transformen desfavorablemente los usos del suelo y sean mínimas las afectaciones a los ecosistemas del área. Con preferencia se buscan zonas intervenidas con uso del suelo correspondiente a pastos.

Este capítulo, se orienta a aspectos tales como las fases y actividades a desarrollar, adecuación, construcción, operación, infraestructura y servicios interceptados, insumos, manejo y disposición de materiales sobrantes, organización del proyecto, cronograma de ejecución, costos y evaluación económica.

La ubicación de las obras del proyecto se realiza procurando evitar zonas potencialmente vulnerables, como terrenos inestables, de pendientes transversales pronunciadas, sujetos a erosión o socavación en su base o sujetos a inundación, así como teniendo en consideración la posible interferencia del proyecto con



infraestructura y actividades que se desarrollen en el área para evitar que afecte negativamente su desarrollo.

A continuación, se pretende desglosar los criterios técnicos y ambientales bajo los cuales se ha procedido a evaluar la viabilidad del aprovechamiento hidroeléctrico de la corriente analizada en el río Cocorná.

### 3.3.1 Infraestructura

Para la construcción y operación de este tipo de proyectos es necesario el uso de infraestructura básica. Por ello, se considera la formulación de un esquema que permita el mayor aprovechamiento de infraestructura disponible, para lograr minimizar impactos ambientales negativos, los efectos antrópicos y la componente de inversión inicial por construcción de obras nuevas.

Entre otros aspectos a considerar de la infraestructura existente, se destaca la cercanía a sistemas viales, líneas de transmisión eléctrica y poblaciones que pueden proporcionar servicios de alojamiento, alimentación, telecomunicaciones, talleres y mano de obra. Además, siguiendo la base de que todo proyecto de ingeniería debe proveer un desarrollo socioeconómico de las zonas de influencia, estas infraestructuras aprovechadas se pueden ver beneficiadas por las diferentes adecuaciones que el proyecto llegue a realizar.

#### 3.3.1.1 Vías existentes

El proyecto se desarrolla en el municipio de Cocorná, el cual cuenta con una malla vial que, según información del Esquema de Ordenamiento Territorial para el año 2008, referenciada en el Plan de Desarrollo “Cocorná para todos, primero la educación 2012-2015”, presenta las siguientes vías (Tabla 3-3):

Tabla 3-3. Infraestructura de Transporte Municipio de Cocorná (2008)

Trayecto	Longitud	Categoría
Autopista Medellín-Bogotá	40 km	Vía primaria
Cocorná-Granada	8 km	Vía secundaria de acceso departamental
Chocó, Molino, Campo Alegre, Los Mangos	6 km	Ramal de la vía a Granada
Autopista Medellín-Bogotá-Cabecera	7 km	Vía secundaria de acceso departamental
Cabecera-La Piñuela	11 km	Vía secundaria de acceso
La Piñuela-Pailania	9 km	Vía secundaria (Acceso a San Francisco)
El Molino-Las Playas	2,5 km	Terciaria Municipal
Cabecera-Vereda Los Potreros	2 km	Terciaria Municipal
La Piñuela-La Vega	8 km	Terciaria Municipal
Pailania-El Retiro	9 km	Terciaria Municipal
Autopista-Palmita	6 km	Vía de penetración



Trayecto	Longitud	Categoría
Pailania-La Cima	5 km	Vía de penetración
Cabecera-Vereda La Chonta	1,5 km	Terciaria Municipal
Autopista-El Coco	3 km	Terciaria Municipal
Autopista-El Sueldo	4 km	Terciaria Municipal
Autopista-Media Cuesta	6 km	Terciaria
Autopista-San Francisco-La Mañosa	6 km	Vía secundaria
Autopista-La Veta-El Tagual	4,5 km	Terciaria
Vía Cocorná-La Piñuela-Vereda San Antonio	2 km	Terciaria
Vía Cocorná-La Piñuela-Santa Barbará	2 km	Terciaria
Vía Cocorná-La Piñuela-Santa Barbará	1,5 km	Terciaria
Vía Cocorná-Autopista-Vereda Mazotes	1,2 km	Terciaria
Autopista Vereda Cruces y Trinidad	6 km	Terciaria
<b>Total</b>	<b>154,2 km</b>	

Fuente: Plan de desarrollo 2012-2015 "Cocorná para todos, primero la educación"

En total, el municipio comprende una malla vial de 154,2 kilómetros, entre vías primarias, secundarias y terciarias. Su principal vía, es la autopista Medellín-Bogotá, vía primaria a cargo actualmente del Instituto Nacional de Vías –INVIAS-, la cual atraviesa el municipio en 40 kilómetros, siendo la única vía primaria de éste. Cocorná, cuenta con un total de 6 vías de carácter secundario, mientras que las restantes, son vías terciarias.

En general se puede afirmar que a través de la red vial existente se provee buen acceso para acercarse a las obras principales del proyecto; sin embargo, deberán implementarse dos vías para llegar a la zona de captación y a la zona de casa de máquinas desde las vías ya existentes. Cabe aclarar que no existen vías férreas cercanas ni que den acceso al área del proyecto.

Para acceder a las obras de captación se utilizará la autopista Medellín-Bogotá y en el kilómetro 66 de ésta (teniendo como punto cero el puente sobre el río Medellín, donde inicia dicha vía) se tomará la vía que dirige al casco urbano de Cocorná, la calle 20 (ver Figura 3-5) y una vez recorridos aproximadamente 3,3 kilómetros sobre ella, se toma hacia la derecha una vía que ingresa a la vereda La Placeta. Dicha vía es pública, de orden terciario, con estructura de pavimento en placa huella que se encuentra en un estado regular (ver Foto 3-1). Posteriormente se llega a un camino privado dentro de la misma vereda (ver Foto 3-2) y a partir de éste se construirá la vía proyectada para llegar al área de captación.





Figura 3-5. Calle 20, vía cabecera a Cocorná  
Fuente: Google Maps





Foto 3-1. Vía en estructura placa huella, vereda La Placeta



Foto 3-2. Acceso a camino privado, vereda La Placeta



Por otra parte, como acceso a la zona de casa de máquinas, se toma una vía que se desprende en el kilómetro 75 de la autopista Medellín-Bogotá (teniendo como kilómetro cero el puente sobre el río Medellín, donde inicia dicha vía) hacia la vereda Los Cedros. Esta vía es de tipo terciaria, cuenta con una longitud aproximada de 2,8 km, se encuentra en mal estado de conservación y conecta con el puente Las Arenosas (ver Figura 3-6 y Foto 3-3). Será necesario realizar intervenciones y adecuarla para empalmar con una vía proyectada que permitirá el acercamiento desde la vereda Los Cedros a la zona de la casa de máquinas.



Figura 3-6. Zona de acceso a Casa de Máquinas  
Fuente: Google Maps





Foto 3-3. Vía existente hacia el puente Las Arenosas  
Fuente: Google Earth

Adicionalmente, como parte de la infraestructura existente, se han identificado dos puentes dentro del área de influencia. Uno de ellos se localiza dentro del tramo de río interceptado por el proyecto, el Puente Mazotes, el cual cuenta con un ancho de 2,4 m y una longitud de 36 m (ver Foto 3-4). Por otra parte, aguas abajo de la casa de máquinas se localiza el Puente Las Arenosas (ver Foto 3-5 y Foto 3-6), el cual presenta restricciones en cuanto a su capacidad, pues soporta máximo 3 toneladas, tiene un ancho limitado lo que impide que haya una circulación en doble sentido simultáneamente y, asimismo, limita la altura del vehículo a 2 m. En la Tabla 3-4 se da el detalle de esta infraestructura:

Tabla 3-4. Detalle de puentes

Puente	Veredas	Descripción
Mazotes	Mazotes – Las Mercedes	Peatonal, rústico de poca capacidad. De tipo colgante con dos pórticos-estribos extremos en concreto reforzado y cables de tensión. De una sola luz y el tablero construido con madera plástica reciclada.
Las Arenosas	La Peña – Los Cedros	Vehicular, de poca capacidad (máx. 3 ton). Puente metálico en cerchas tipo militar, con piso de relleno en afirmado sobre losa



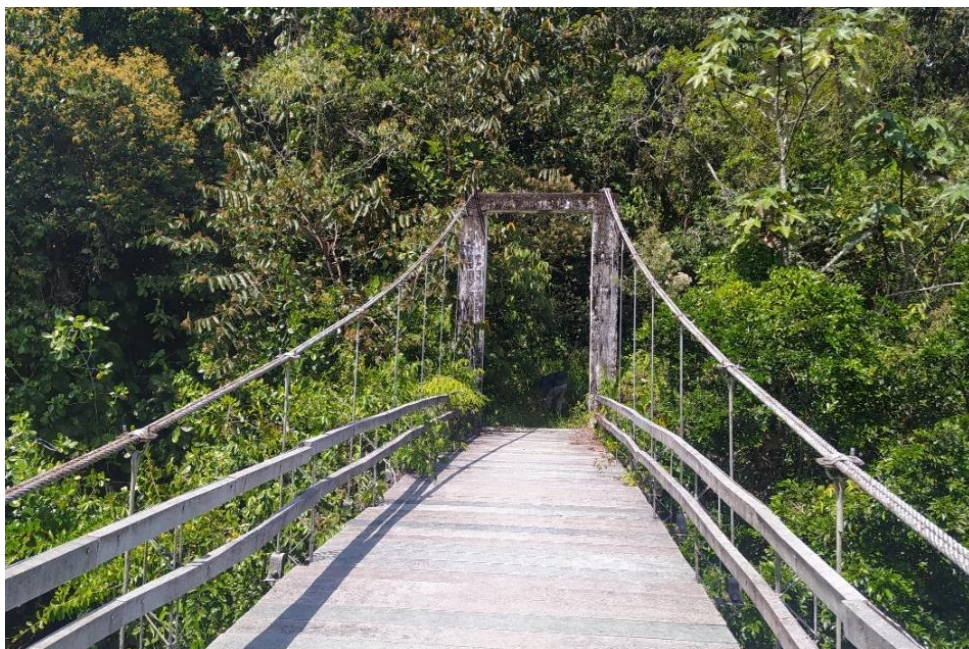


Foto 3-4. Puente Mazotes



Foto 3-5. Puente Las Arenosas





Foto 3-6. Vista en planta de puente Las Arenosas

### 3.3.1.2 Infraestructura social y/o productiva asociada o no al proyecto

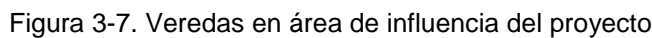
#### 3.3.1.2.1 Veredas en el área de influencia Socioeconómica

El área de influencia Socioeconómica del proyecto comprende un total de 8 veredas, siendo ellas las siguientes:

- San Vicente
- El Tesoro
- La Placeta
- Las Mercedes
- Mazotes
- San José
- Montañita
- Los Cedros

A continuación, se evidencia el área de influencia que abarca las 8 veredas mencionadas (ver Figura 3-7):





28



ganadería y pequeños cultivos, además de haber presencia de zonas forestales que se detallarán más adelante.

Para causar el menor impacto posible en el ámbito socioeconómico se buscó que la construcción de las obras asociadas al aprovechamiento hidroeléctrico no genere el desplazamiento de la población asentada en la zona correspondiente.

### 3.3.1.3 Interés turístico

En el área de influencia del proyecto se han identificado 15 áreas fluviales de posible interés turístico. Dentro de ellas, 7 fueron reconocidas con la comunidad como áreas de uso minoritario debido a que no tienen las condiciones adecuadas para acceder a ellas. Sin embargo, dichas áreas son consideradas dentro del estudio ya que la dinámica fluvial puede presentar variaciones y propiciar que estas zonas adquieran relevancia dentro del lapso transcurrido hasta la construcción del proyecto, pues el río representa un lugar para el desarrollo de actividades recreativas de las familias durante los fines de semana.

Las 8 áreas restantes presentan mayor relevancia y apropiación social, son usadas para la recreación y esparcimiento tanto por la comunidad como por los turistas que llegan a la zona.

Dentro del tramo del río Cocorná interceptado por el proyecto se localizan 13 de ellas y aguas abajo de la casa de máquinas se encuentran las otras dos. En la Tabla 3-5. Ubicación de las principales áreas fluviales usadas para la recreación y el esparcimiento se da el detalle de ubicación de los elementos mencionados:

Tabla 3-5. Ubicación de las principales áreas fluviales usadas para la recreación y el esparcimiento

Charco	Nombre	Área (m²)	Coordenadas		Dentro del tramo de caudal reducido
			Este (m)	Norte (m)	
CH1	Charco Las Arenosas	686	878.347	1.160.492	No
CH2	Sin nombre	779	874.823	1.160.072	Sí
CH3	Sin nombre	334	874.857	1.160.088	Sí
CH4	Charco El Toro	1.818	875.370	1.160.165	Sí
CH5	Sin nombre	176	875.610	1.160.289	Sí
CH6	Sin nombre	522	875.643	1.160.264	Sí
CH7	Charco Puente El Pisquinal 1	463	876.128	1.160.067	Sí
CH8	Charco Puente El Pisquinal 2	1214	876.190	1.160.061	Sí



Charco	Nombre	Área (m <sup>2</sup> )	Coordenadas		Dentro del tramo de caudal reducido
			Este (m)	Norte (m)	
CH9	Charco Puente El Pisquinal 3	691	876.242	1.160.082	Sí
CH10	Charco Puente El Pisquinal 4	254	876.251	1.160.106	Sí
CH11	Sin nombre	972	876.502	1.160.167	Sí
CH12	Sin nombre	1.000	877.098	1.160.291	Sí
CH13	Sin nombre	218	877.023	1.160.223	Sí
CH14	Charco María Parda	1.374	879.101	1.160.393	No
CH15	Charco del Diablo	1.165	874.648	1.160.068	Sí

Sistema de coordenadas Magna Sirgas origen: central

En la Figura 3-8 se muestra la localización de las principales áreas del río Cocorná usadas con fines recreativos que se encuentran ubicadas en el área de influencia del proyecto. Se identifican como “Charco SN” aquellas áreas fluviales de uso minoritario mencionadas anteriormente y que carecen de un nombre conocido.



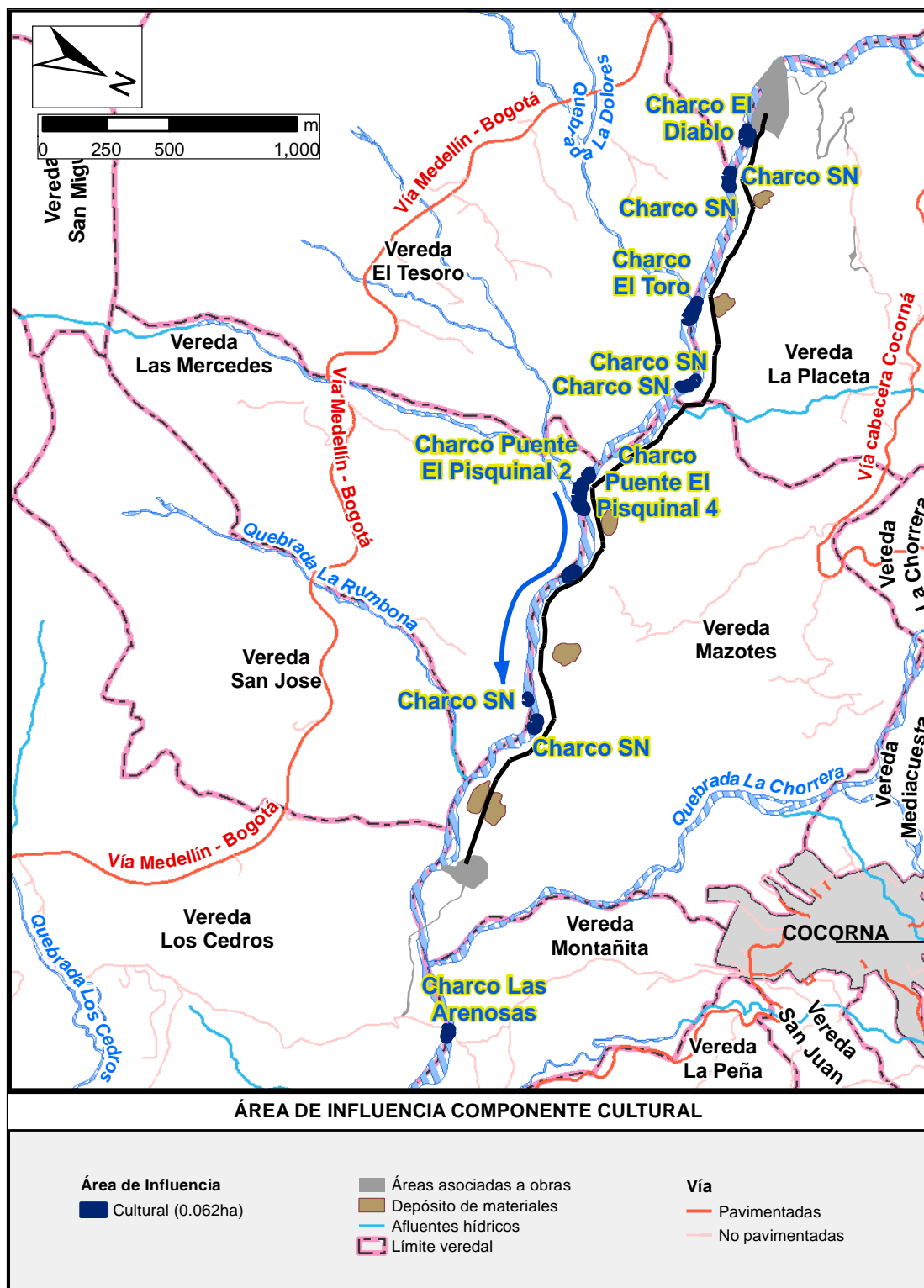


Figura 3-8. Localización de áreas fluviales para la recreación



### 3.3.1.4 Equipamientos

Respecto a la infraestructura social, en el área de influencia del proyecto se han identificado 18 equipamientos. A nivel rural se cuenta con 7 placas polideportivas, 7 centros educativos (todos en servicio) y 1 salón comunal. Y, directamente en la cabecera municipal de Cocorná se identifica una institución educativa, un hospital y una cancha de fútbol en arenilla. A continuación, en la Tabla 3-6 se detalla la ubicación de cada uno de estos equipamientos:

Tabla 3-6. Detalle de infraestructura social asociada al proyecto

Tipo de infraestructura	Vereda	Coordenada este	Coordenada norte
Placa Polideportiva	Mazotes	876229	1160763
Centro Educativo Rural Mazotes	Mazotes	876230	1160763
Placa Polideportiva	La Placeta	874834	1160752
Centro Educativo Rural La Placeta	La Placeta	874826	1160753
Placa Polideportiva	Los Cedros	878620	1159410
Centro Educativo Rural Los Cedros	Los Cedros	878617	1159399
Placa Polideportiva	San José	877413	1159117
Centro Educativo Rural San José	San José	877424	1159137
Placa Polideportiva	Las Mercedes	876335	1158932
Centro Educativo Rural Las Mercedes	Las Mercedes	876346	1158906
Placa Polideportiva	El Tesoro	875565	1159483
Centro Educativo El Tesoro	El Tesoro	875575	1159495
Placa Polideportiva	El Tesoro	873302	1159845
Salón Comunal	San Vicente	873319	1159843
Centro Educativo Rural San Vicente	San Vicente	873301	1159840
Cancha de fútbol Jesús María García	Cocorná (municipio)	877362	1162123
Institución Educativa Cocorná	Cocorná (municipio)	877311	1162039
Hospital San Juan de Dios	Cocorná (Municipio)	877185	1161862

Sistema de coordenadas Magna Sirgas origen: central



### **3.3.2 Fases y actividades del proyecto**

El Proyecto comprende distintas fases secuenciales que iniciaron con la identificación del sitio para su ejecución y terminará con las actividades contempladas en el plan de desmantelamiento y abandono (abordado en un capítulo posterior de este EIA, Capítulo 10. Planes y programas, subcapítulo “Plan de Desmantelamiento y Abandono”).

A continuación, se describen las etapas del proyecto que se desarrollarán con posterioridad a la obtención de la licencia ambiental.

#### **3.3.2.1 Estudios de detalle**

En esta fase se realizarán los estudios técnicos, el replanteo, los diseños de detalle del proyecto, el trámite para los demás permisos de índole técnico (conexión, construcción, etc.) y la estructuración financiera. Se atenderán aquellos requerimientos de tipo ambiental que hayan sido directamente solicitados como condición en la licencia ambiental y se adelantarán todos los muestreos y monitoreos pendientes o que se deriven de modificaciones en los diseños. Además, se realizará la socialización del proyecto con la población del área de influencia y del municipio. También incluye la ejecución de las medidas del Plan de Manejo Ambiental que tienen que desarrollarse en esta etapa, de acuerdo con los cronogramas de ejecución del Plan de Manejo Ambiental presentado en el capítulo 10 de este EIA. Esta fase inicial tendrá una duración aproximada de 12 meses.

##### **3.3.2.1.1 Estudios técnicos de detalle**

Se realizan los estudios técnicos requeridos para el diseño de detalle y definitivo de las obras. Incluye los estudios correspondientes a la estabilidad de taludes de corte y llenos de las vías, mecánica de suelos y rocas, análisis de susceptibilidad por procesos morfodinámicos e hidrodinámicos, análisis de la condición geológica estructural y de la estabilidad global de los sitios de obra.

Asimismo, se debe realizar el levantamiento de información geotécnica, sondeos eléctricos verticales, ensayos de resistencia, análisis de capacidad de carga, entre otros.

Se seguirán todas las normas existentes en la materia, entre ellas el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

##### **3.3.2.1.2 Replanteo e identificación de áreas intervenidas**

Como actividad previa en cada uno de los elementos para adecuar y construir dentro del proyecto es necesario realizar un replanteo. El replanteo consiste en localizar las obras del proyecto y las condiciones que le rodean mediante comisionamientos topográficos.



Adicionalmente, es necesario rectificar el área correspondiente que será intervenida por cada una de las obras pertenecientes al proyecto.

#### 3.3.2.1.3 Estudios ambientales

Consiste en la actualización de los estudios y permisos ambientales teniendo en cuenta los cambios presentados con el replanteo, los estudios técnicos y los diseños de detalle de las obras. De ser necesario se deberá actualizar el inventario forestal de las especies a aprovechar y por tanto el permiso de aprovechamiento forestal, los sitios de ubicación de los vertimientos junto con los permisos que los otorgan, entre otra información.

En algunos casos la Licencia Ambiental se otorga condicionada a la realización de estudios posteriores o requieren su realización para el momento previo a la construcción del proyecto con el fin de poseer una línea base más actualizada.

#### 3.3.2.1.4 Diseños de detalle de las obras del proyecto

Con base en los levantamientos topográficos realizados para el replanteo y los estudios técnicos de detalle, se deberán realizar los diseños de detalle de las obras, los cuales serán usados en la fase de construcción.

Incluye el diseño de detalle de las vías de acceso, obras de captación, derivación, conducción y generación de energía, así como de aquellas obras complementarias necesarias para la realización del proyecto (oficinas y talleres).

#### 3.3.2.2 Actividades de adecuación, construcción y montaje

##### 3.3.2.2.1 Pre-construcción

Comprende la negociación de las servidumbres y los predios que se requieran para la construcción e instalación de las obras. Así mismo, incluye la contratación de la mano de obra necesaria para realizar las actividades de construcción y la adecuación de vías y caminos de acceso a la zona de captación y casa de máquinas.

- Negociación de predios

Para la construcción del proyecto se requiere la intervención de un área predial de 12,42 ha para la cual se debe realizar la negociación por parte del promotor del proyecto con los respectivos propietarios de los predios antes del inicio de la construcción.

Los predios requeridos para el proyecto corresponden a las áreas de captación, conducción en tubería, casa de máquinas, zonas industriales, sitios de depósitos (Zodmes) y accesos. La afectación predial representa una ocupación del 7,22% respecto al área total de todos los predios intervenidos por el proyecto.



En total se han identificado 22 predios que se intervienen por las obras a ejecutar en el proyecto; su localización se muestra en la Figura 3-9 identificando cada predio con su respectivo código presentado en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7. Predios para negociación

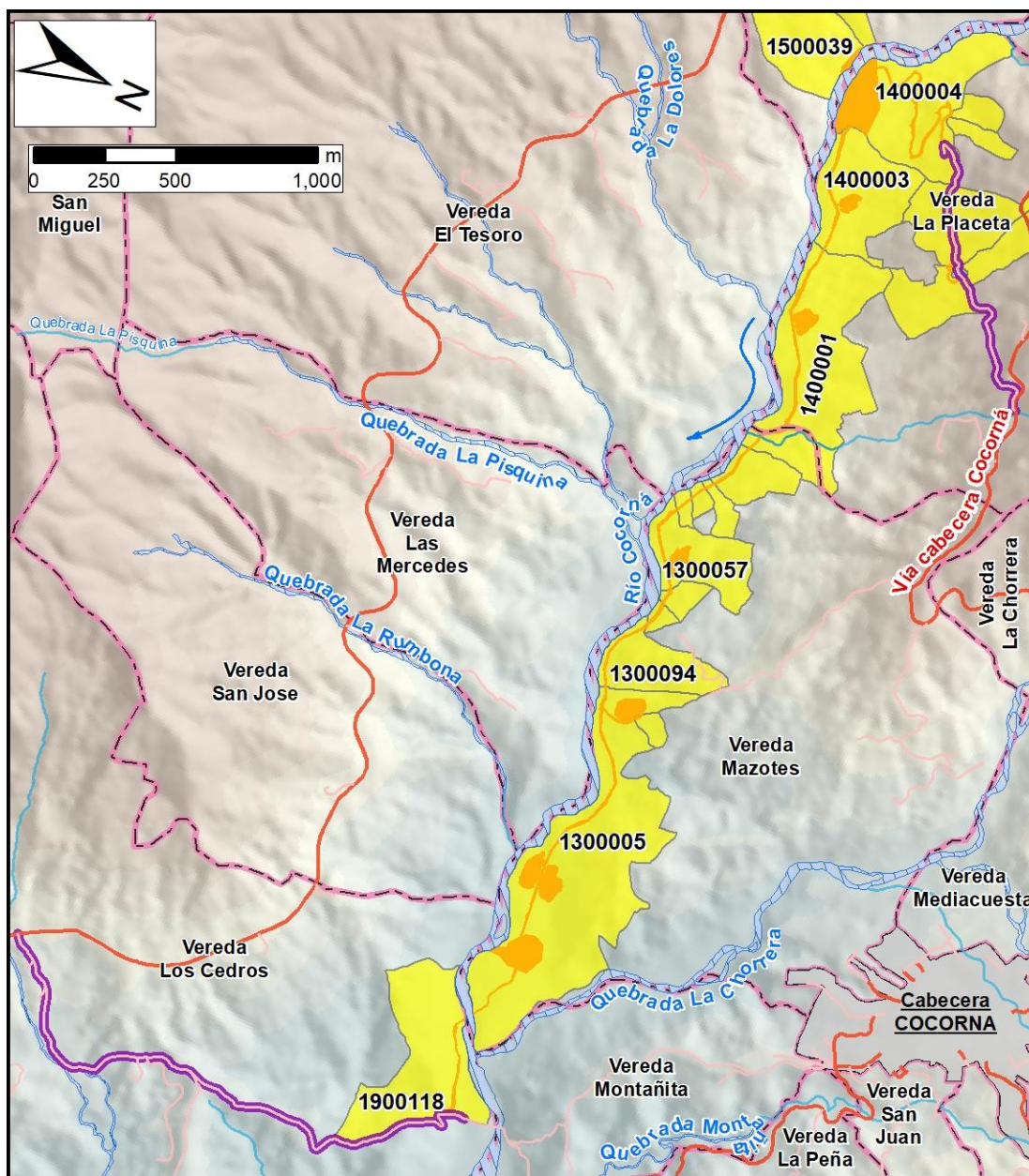
Código predio	Vereda	Actividad económica principal	Área total (ha)	Área de intervención proyectada (ha)	% Intervención por predio
1300005	Mazotes	Ganadería	40,02	4,689	11,7%
1300036	Mazotes	Ganadería	0,92	0,027	2,9%
1300040	Mazotes	Ninguna	0,75	0,114	15,3%
1300041	Mazotes	Agrícola	1,44	0,061	4,3%
1300057	Mazotes	Ganadería	7,82	0,851	10,9%
1300058	Mazotes	Ganadería	0,69	0,053	7,6%
1300060	Mazotes	Ninguna	0,73	0,049	6,7%
1300061	Mazotes	Ganadería	1,34	0,026	2,0%
1300062	Mazotes	Agrícola	4,04	0,173	4,3%
1300065	Mazotes	Agrícola	3,31	0,045	1,3%
1300094	Mazotes	Agropecuaria	7,01	0,228	3,2%
1400001	La Placeta	Ganadería	19,59	1,248	6,4%
1400003	La Placeta	Ganadería	11,19	0,772	6,9%
1400004	La Placeta	Ganadería	16,39	3,378	20,6%
1400007	La Placeta	Ninguna	1,58	0,013	0,8%
1400008	La Placeta	Ganadería	4,75	0,00006	0,0%
1400009	La Placeta	Ganadería	3,7	0,097	2,6%
1400027	La Placeta	Agropecuaria	9,52	0,096	1,0%
1400065	La Placeta	Ninguna	1,49	0,002	0,1%
1500039	San Vicente	Pecuaria-Conservación	11,13	0,206	1,9%
1500054	San Vicente	Pecuaria-Conservación	2,14	0,004	0,2%
1900118	Los Cedros	Agrícola	17,01	0,284	1,7%
<b>Total</b>			<b>166,53</b>	<b>12,42</b>	<b>7,5%</b>



Es importante hacer hincapié en que el área total de ocupación del proyecto corresponde a 12,84 ha. Dentro de dicha área hay presencia de vías, tejido urbano y otro tipo de coberturas (mencionadas posteriormente en el numeral 3.4.1.1) que no conforman ningún predio. Es por esta razón que el área predial es inferior al área total de ocupación del proyecto.

En la Figura 3-9 se presentan gráficamente los predios afectados con su respectiva intervención (en color naranja).





**PREDIOS AFECTADOS POR OBRAS**

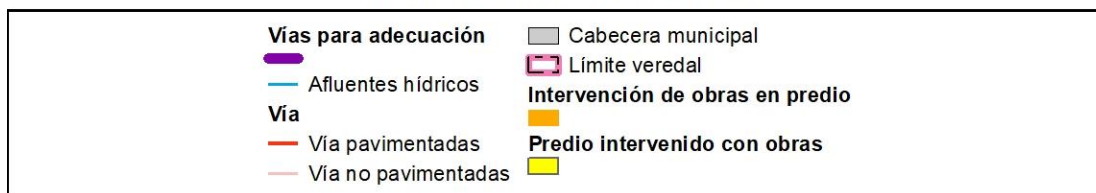


Figura 3-9 Localización de predios a intervenir (servidumbre o compra)



Como se identifica en la figura anterior, la gran mayoría de los predios a intervenir se ubican sobre la margen izquierda del río, pues es sobre este costado donde se hará la ocupación del proyecto por parte de las obras de derivación, conducción, la casa de máquinas, las zonas de manejo de material de excavación (Zodmes), entre otros.

En los predios identificados con los códigos 1400003, 1400001, 1300057, 1300094 y 1300005 se identificaron las 6 zonas con potencial para servir como Zodmes mencionadas previamente (ver numeral 3.4.1.3).

El predio con mayor afectación porcentual es el identificado con el código 1400004, con una afectación de 3,378 ha, es intervenido por la captación del proyecto y la vía de acceso a esta. Por otro lado, el predio con mayor intervención en área corresponde al identificado con el código 1300005, con un área mayor a 40,00 ha, el cual se ve intervenido en 4,32 ha con los Zodmes 4, 5 y 6, con la casa de máquinas y con el tramo final de la conducción.

- Demanda y contratación de mano de obra

Para la construcción de las obras se requiere personal distribuido en los tres frentes de trabajo principales (obras de captación, obras de casa de máquinas y obras de instalación de la tubería de conducción).

Por parte de mano de obra calificada (ingenieros, tecnólogos y técnicos, maestros de obra, operadores de maquinaria, etc.): se estima que en el pico de construcción se requiere una cifra aproximada a 50 personas.

En lo que se refiere a la mano de obra no calificada, se estima que en el pico máximo de la construcción del proyecto se requieren aproximadamente 120 personas, de los cuales se espera que el 60% sean trabajadores contratados de la zona y el resto personal foráneo que puede alojarse parcialmente en casas arrendadas en las veredas del área de influencia o en el casco urbano del municipio de Cocorná.

#### 3.3.2.2.2 Actividades previas

Incluye la adecuación del área para las instalaciones temporales (desmonte y limpieza de vegetación, descapote y nivelación del terreno) como talleres, almacén, oficinas y planta de concreto, así como su instalación y montaje.

#### 3.3.2.2.3 Construcción de las obras principales

Las actividades de construcción y montaje tienen una duración estimada de 24 meses incluyendo las sub-actividades de pre-construcción, actividades previas y construcción.

La fase de construcción de las obras principales consiste en la preparación de los terrenos para la construcción de las obras definitivas, el desarrollo de las actividades de construcción de las obras civiles tales como el azud, la captación, el desarenador,



el tanque de carga, la conducción a presión, la casa de máquinas y el canal de descarga, entre otras obras. También comprende la construcción de los tramos de vías necesarios para acceder a los frentes de obra y la adecuación de los depósitos de materiales de excavación (Zodme). Además, las obras anexas al proyecto (talleres y oficina) y el montaje de los equipos electromecánicos e hidromecánicos necesarios para la entrada del proyecto en su siguiente fase: operación.

### 3.3.2.3 Actividades de operación

Antes de entrar en operación el proyecto, se deben realizar pruebas en cada uno de los equipos y componentes de la central para garantizar óptimas condiciones de operación y la seguridad del personal en el momento de generar energía. La operación de la Central se proyecta para una vida útil continua de aproximadamente 50 años, excepto por los períodos de mantenimiento programados, condiciones climáticas desfavorables para el proyecto o por acciones de contingencia que se presenten.

Durante el periodo de operación se realizará mantenimiento a las obras y elementos que así lo requieran con las especificaciones y frecuencia que se estipulen en los diseños, en los estudios ambientales y con base en las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

### 3.3.2.4 Desmantelamiento y abandono

Una vez termine la vida útil del proyecto, se realizarán las labores de desmantelamiento de la infraestructura utilizada en la fase anterior y de restauración y rehabilitación de los suelos.

## 3.4 Características técnicas del proyecto

Para cada una de las fases mencionadas en el numeral anterior (ver 3.3.2) se detallan a continuación las características técnicas propias del proyecto en estudio.

### 3.4.1 Adecuación, construcción y montaje

#### 3.4.1.1 Remoción de vegetación y descapote

Esta actividad consiste en el retiro de la vegetación existente en las áreas donde se realizarán las obras y en los sitios destinados a la colocación de los materiales sobrantes de las excavaciones (Zodme). Esta remoción se ejecuta tanto de forma manual, auxiliada con herramientas, como con la utilización de maquinaria, dependiendo en cada caso de las circunstancias que caracterizan la obra y la vegetación.

Para la construcción del proyecto es necesario remover un área de vegetación de aproximadamente 12,84 ha, con una profundidad máxima de descapote de unos 0,5 m. La capa orgánica del suelo puede ser removida con buldócer y debidamente



transportada y colocada en sitios adecuados para su preservación y posterior restitución. El resto del material es removido con retroexcavadora y cargado en volquetas para ser trasladado a los sitios de depósito (Zodme) o para llenos estructurales en los espacios residuales de algunas obras o para paisajismo en el acabado de muros, canales y tubería.

A continuación, en la Tabla 3-8 se presentan las áreas donde se requiere realizar desmonte y limpieza:

Tabla 3-8. Áreas para remoción de vegetación y descapote

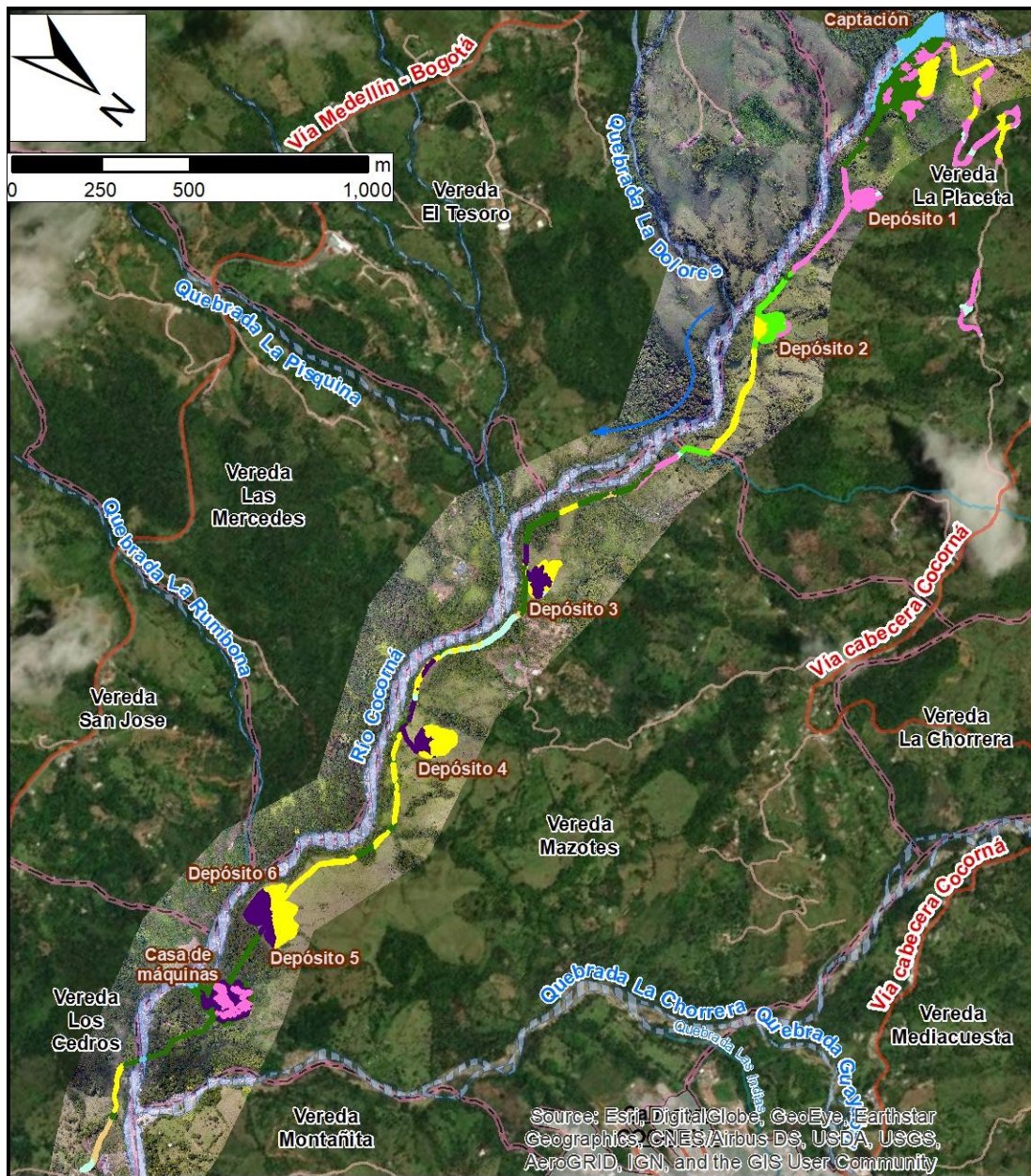
Obra	Área (Ha)
Captación	3,22
Conducción	3,04
Casa de Máquinas	1,53
Depósitos	3,54
Vías de acceso (captación, casa de máquinas y depósitos)	1,51
<b>Total</b>	<b>12,84</b>

Las coberturas de la tierra en las áreas previstas para la remoción de vegetación y descapote para la construcción de las obras de la pequeña central hidroeléctrica se presenta en la Tabla 3-9 y posteriormente se identifican en la Figura 3-10.

Tabla 3-9. Coberturas y uso actual del suelo

Cobertura	Área (ha)	%
Bosque de galería y ripiario	3,151	24,53%
Vegetación secundaria y/o en transición	0,471	3,67%
Pastos limpios	3,335	25,96%
Ríos (50m)	0,589	4,59%
Red vial	0,014	0,11%
Tejido urbano discontinuo	0,001	0,01%
Pastos arbolados	2,385	18,57%
Pastos enmalezados	0,588	4,58%
Afloramientos rocosos	2,150	16,74%
Cultivos permanentes herbáceos - Plátano	0,159	1,24%
<b>Total</b>	<b>12,84</b>	<b>100%</b>





**COBERTURAS EN INTERVENCIÓN DE OBRAS**

— Afluentes hídricos	<b>Coberturas en intervención de obras</b>	■ Pastos enmalezados
<b>Vía</b>	■ Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	■ Pastos arbolados
— Vía pavimentadas	■ Vegetación secundaria o en transición	■ Cultivos permanentes herbáceos
— Vía no pavimentadas	■ Tejido urbano discontinuo	■ Bosque de galería y/o ripario
■ Cabecera municipal	■ Ríos (50 m)	■ Afloramientos rocosos
■ Límite veredal	■ Pastos limpios	

Figura 3-10 Distribución de coberturas a remover



En la figura anterior se destacan las áreas de intervención del proyecto con las respectivas coberturas que deben ser removidas para la ejecución de cada uno de sus componentes (captación, casa de máquinas, conducción, Zedmes y accesos). Como se evidenció en la Tabla 3-9, las coberturas más representativas dentro de este proceso son los pastos limpios, pastos arbolados, bosques de galería y afloramientos rocosos.

#### 3.4.1.2 Vías de acceso

Ante la necesidad de desarrollar infraestructura nueva para la construcción y operación de este tipo de proyectos, se tiene en cuenta la ubicación y trazados que permitan minimizar impactos al medio biótico, físico y social y, en la medida de lo posible, favorecer o aportar al cubrimiento de necesidades o intereses de la comunidad del área de influencia del proyecto.

Las vías existentes serán aprovechadas para el acceso a las obras de captación, de casa de máquinas y de la conducción (como se mencionó en el numeral 3.3.1.1) En su estado actual las vías permiten el acceso y tránsito normal. Sin embargo, se propone su mejoramiento y adecuación, que consiste en construir algunas obras de drenajes, rectificar algunas curvas y mejorar la superficie de rodamiento mediante la adición y compactación de material de afirmado donde se requiera. De esta manera, el alineamiento final permitirá que tanto la maquinaria como los vehículos de transporte de material se acerquen a las obras con mayor facilidad (ver Figura 3-11).



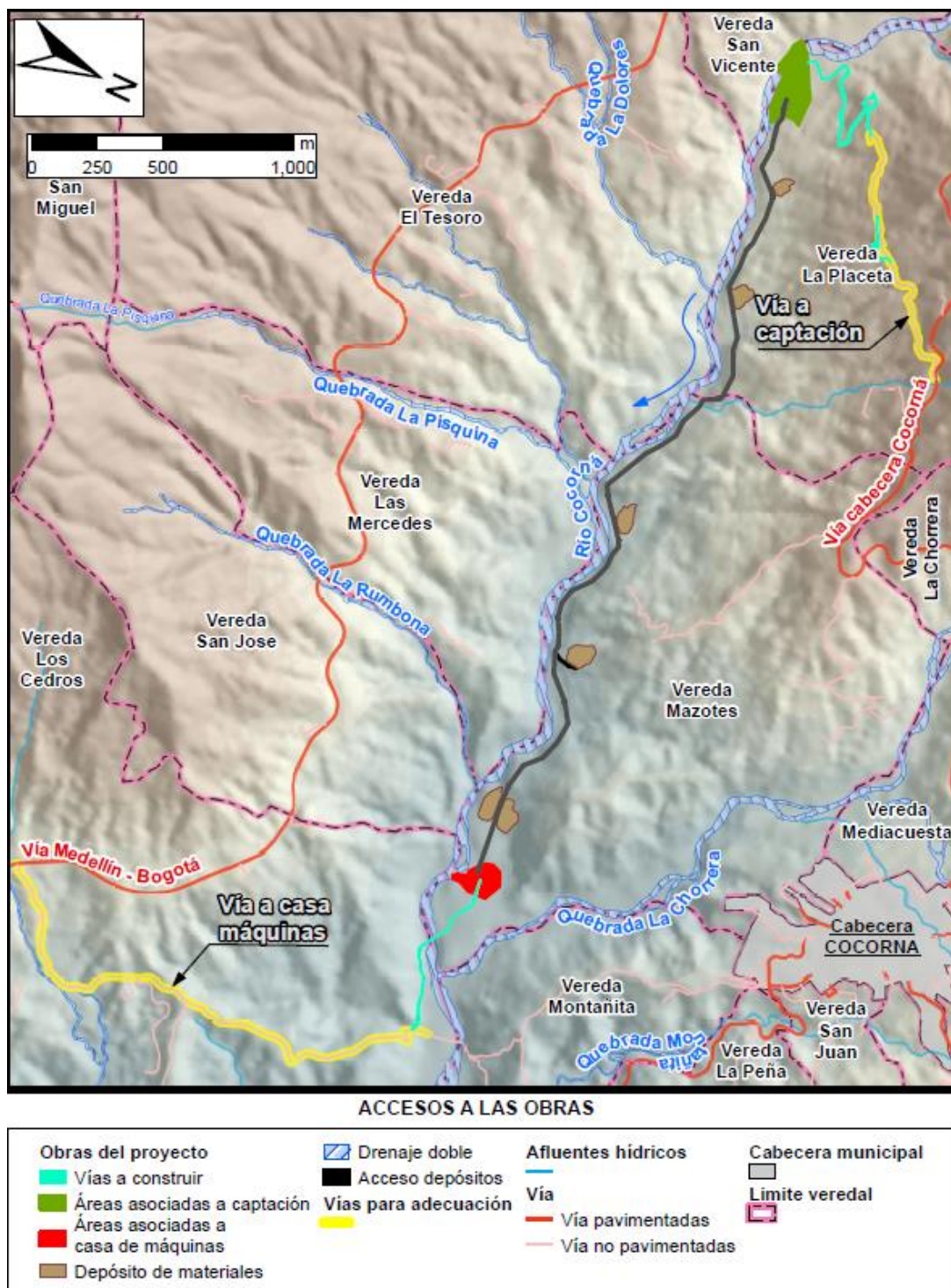


Figura 3-11. Acceso a las obras del proyecto



Para la vía de acceso a la zona de captación, se cuenta con una longitud existente de aproximadamente 1,2 km conjuntamente entre la vía en placa huella y el camino privado de La Placeta. Como corredor nuevo se propone un trazado permanente que conectará lo existente con la zona de captación (ver Foto 3-7 y Figura 3-12). Esta vía tendrá una longitud aproximada de 0,93 km y un ancho de calzada de 4,0 m, provisto de algunas bahías para permitir circulación en doble sentido.



Foto 3-7. Zona prevista para vía de acceso a captación



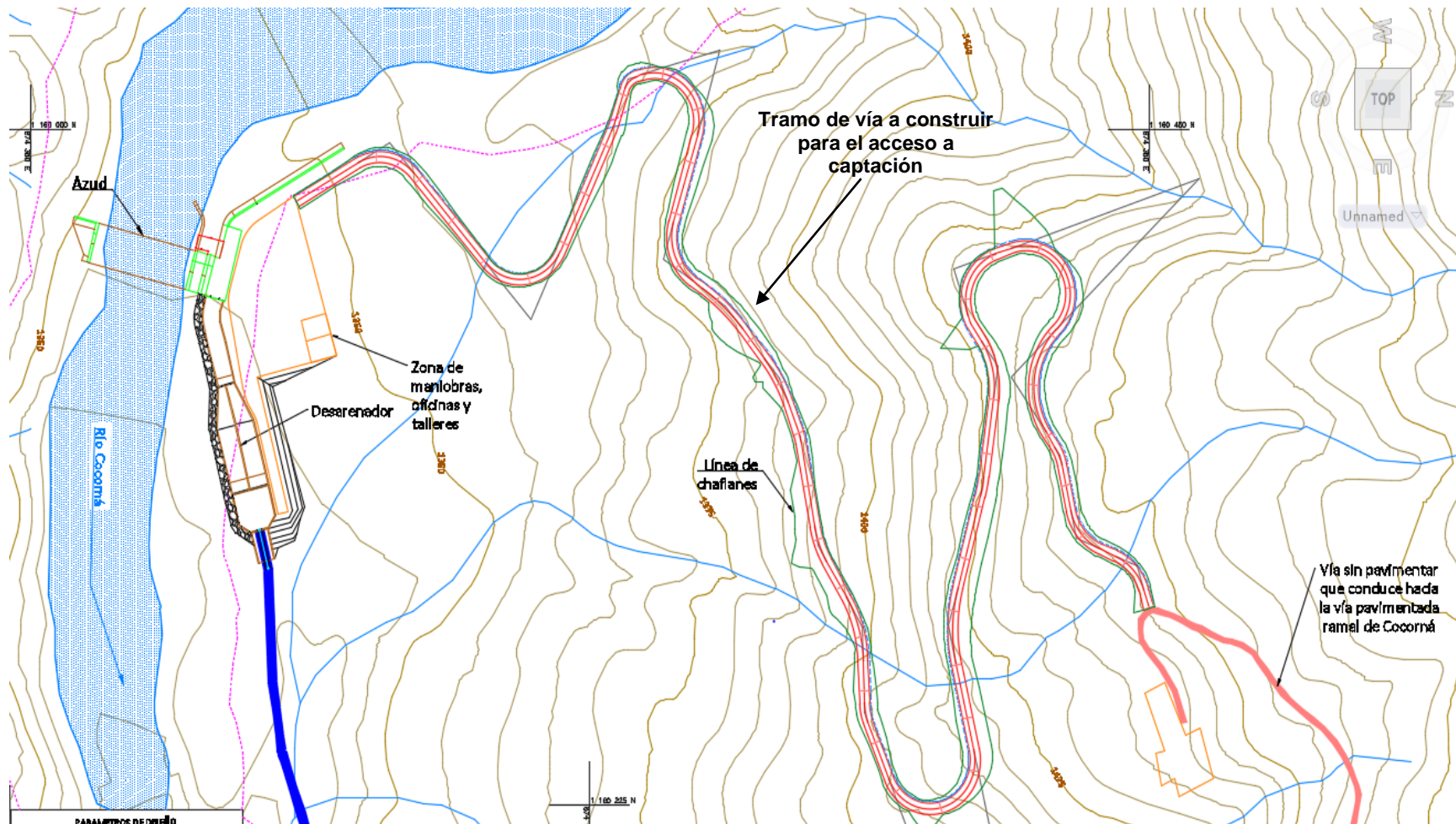


Figura 3-12. Vista en planta de vía a captación



La sección típica para el acceso a la zona de captación se muestra en la Figura 3-13, donde se evidencia la presencia de una cuneta de 0,5 m que permitirá evacuar las aguas superficiales que serán direccionadas con un bombeo del 3%. A lo largo de la vía se hace necesario conformar taludes de corte y lleno, con relaciones de 1:0,5 (v:h) y 1:1,50 (v:h) respectivamente. Las secciones de la vía con mayor detalle (cada 30 m) se presentan en el Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos en el plano COC3-PL-VCAP\_01\_02.

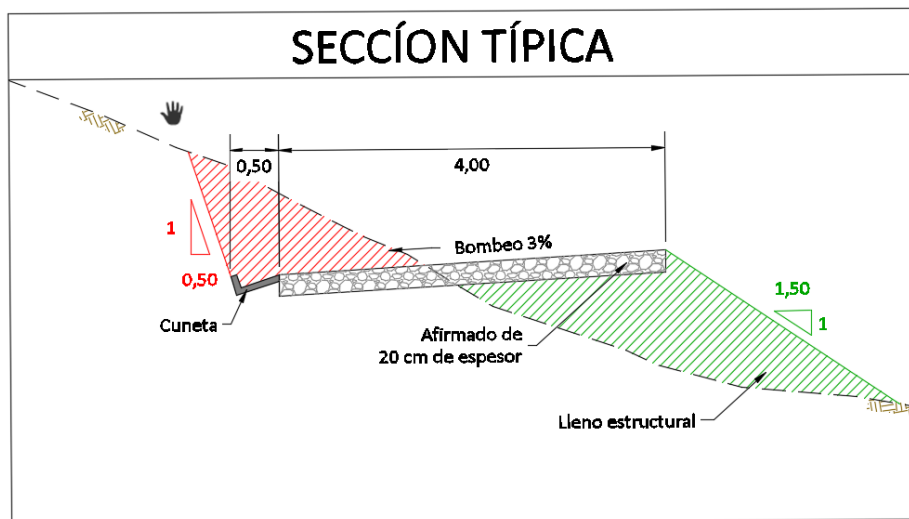


Figura 3-13. Sección típica de vía a captación

A continuación, en la Figura 3-14 y Figura 3-15 se muestra el estado natural del terreno y el perfil de la vía junto a las pendientes definitivas con las que será construido este acceso. Se muestra también la ubicación de las cuatro curvas verticales que tendrá el alineamiento.



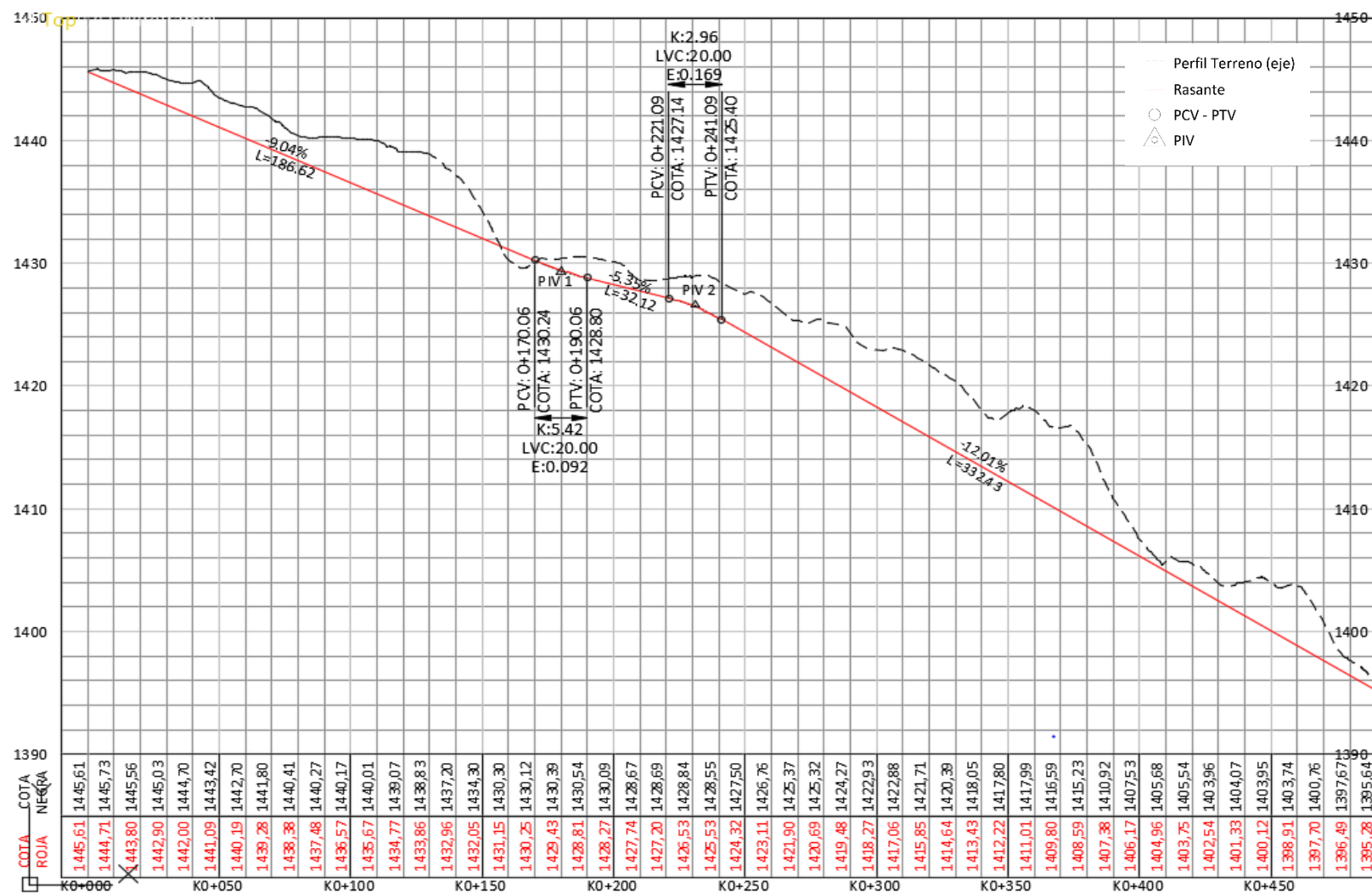


Figura 3-14. Perfil vía captación K0+000 a K0+500



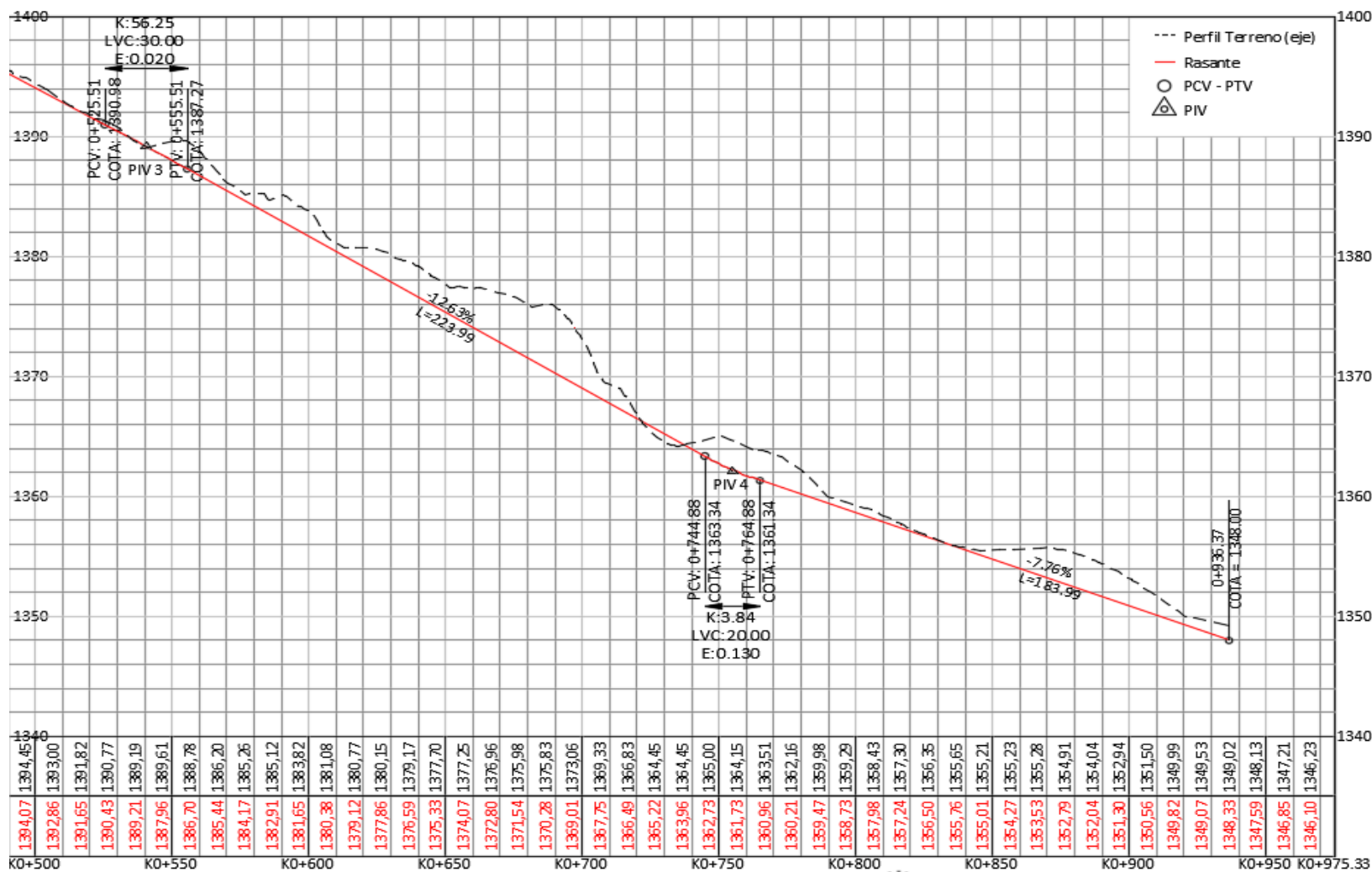


Figura 3-15. Perfil vía captación K0+500 a K0+975.33



En cuanto al acceso a la zona de casa de máquinas, la vía existente tiene una longitud de 2,8 km y a partir de esta se proyecta una vía permanente con longitud de 0,67 km y 4,0 m de ancho para llegar a la zona mencionada. Esta vía prevista se intercepta con el río Cocorná aguas arriba de la quebrada La Chorrera, (como se muestra en la

Figura 3-16); por lo tanto, será necesario implementar las obras correspondientes que permitan hacer el cruce y conectar la margen derecha del río con la izquierda, dando acceso a la casa de máquinas a través de la vereda Los Cedros desde la Autopista Medellín-Bogotá.

En las Foto 3-8, Foto 3-9 y Foto 3-10 se muestra la zona a intervenir con la vía de acceso a casa de máquinas:



Foto 3-8. Vía existente desde la cual se desprende la vía nueva hacia Casa de Máquinas





Foto 3-9. Acceso a zona de casa de máquinas.



Foto 3-10. Ubicación casa de máquinas y su acceso



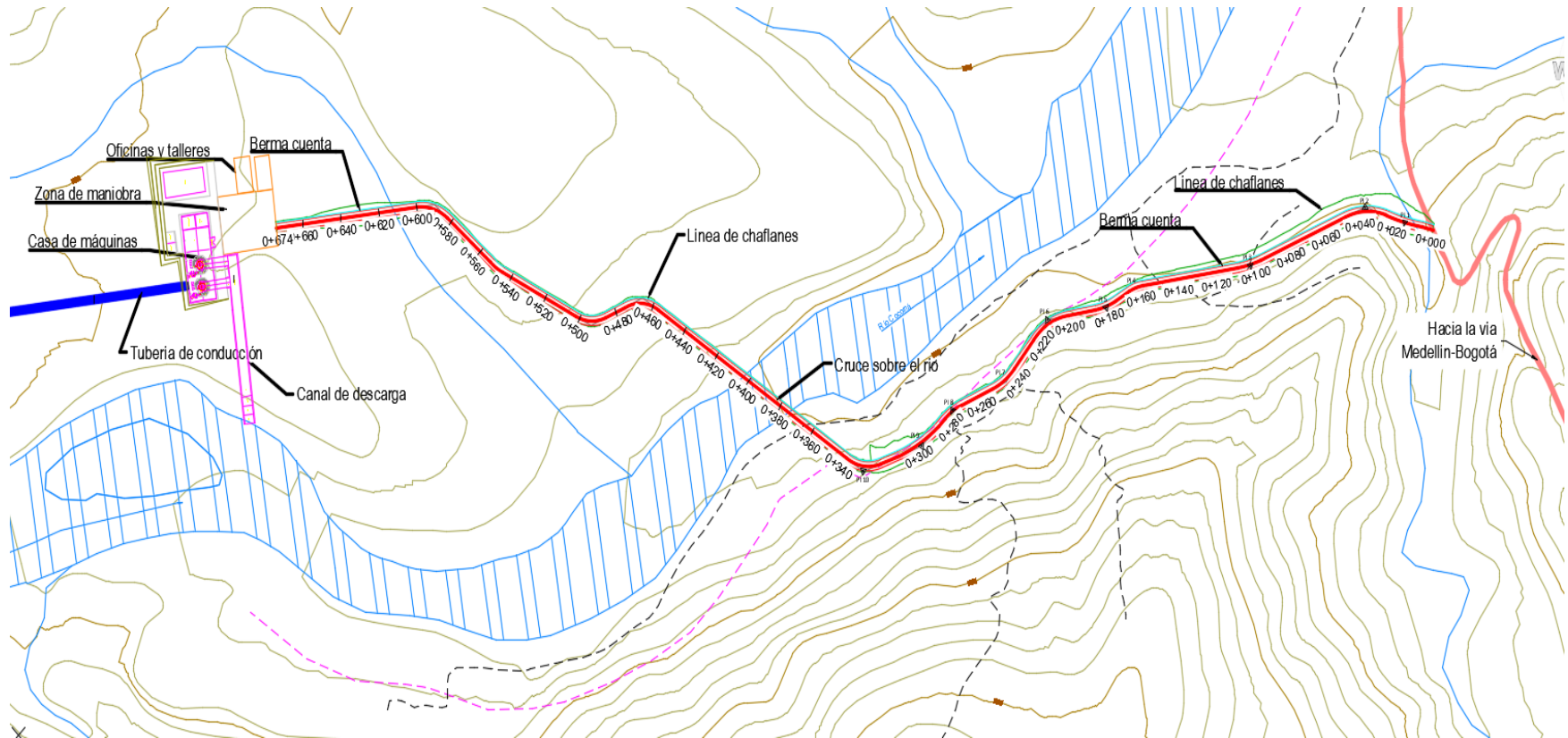


Figura 3-16. Vista en planta de vía a casa de máquina



En la

Figura 3-16, mostrada previamente, se presentó la vista en planta del trazado definido para acercarse a la casa de máquinas del proyecto. Se evidencia que aproximadamente entre las abscisas K0+375 a K0+405 está localizado el puente que permitirá cruzar el río y acercarse desde la margen derecha a la casa de máquinas ubicada en la margen izquierda del río Cocorná.

La sección típica para el acceso a la zona de la casa de máquinas se muestra en la Figura 3-17, en ella se resalta la presencia de una cuneta de 0,5 m que permitirá evacuar las aguas superficiales que serán direccionadas con un bombeo aproximado del 3%. A lo largo de la vía se hace necesario conformar taludes de corte y lleno, con relaciones de 1:0,5 (v:h) y 1:1,50 (v:h) respectivamente. Las secciones de la vía con mayor detalle (cada 20 m) se presentan en el Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos en el plano COC-PL-VCM\_01\_02.

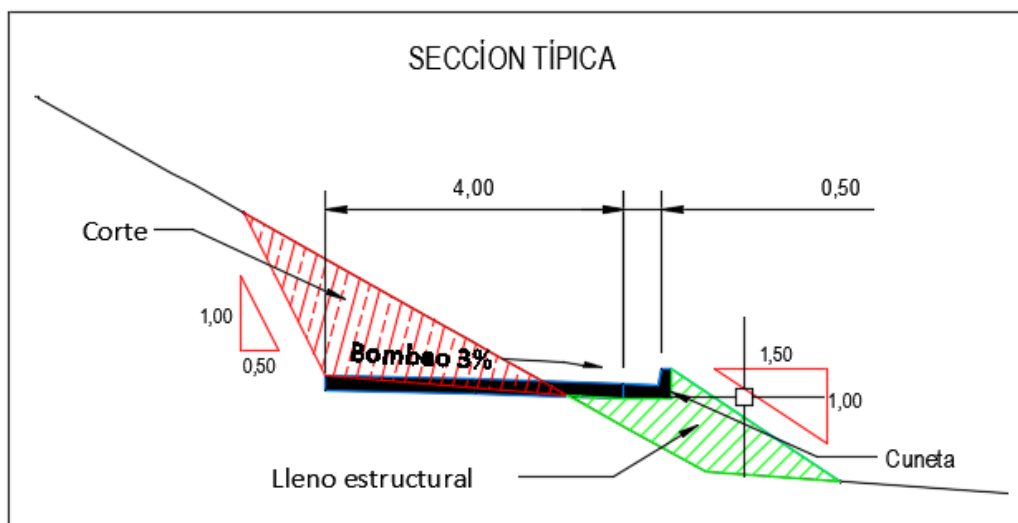


Figura 3-17. Sección típica de vía a casa de máquinas

A continuación, en la Figura 3-18 y Figura 3-19 se muestra el estado natural del terreno y el perfil de la vía junto a las pendientes definitivas con las que será construido este acceso. Se muestra también el perfil del puente que deberá construirse para atravesar el río, con una pendiente del 0,74% y se evidencia la ubicación de las 8 curvas verticales que tendrá el alineamiento.



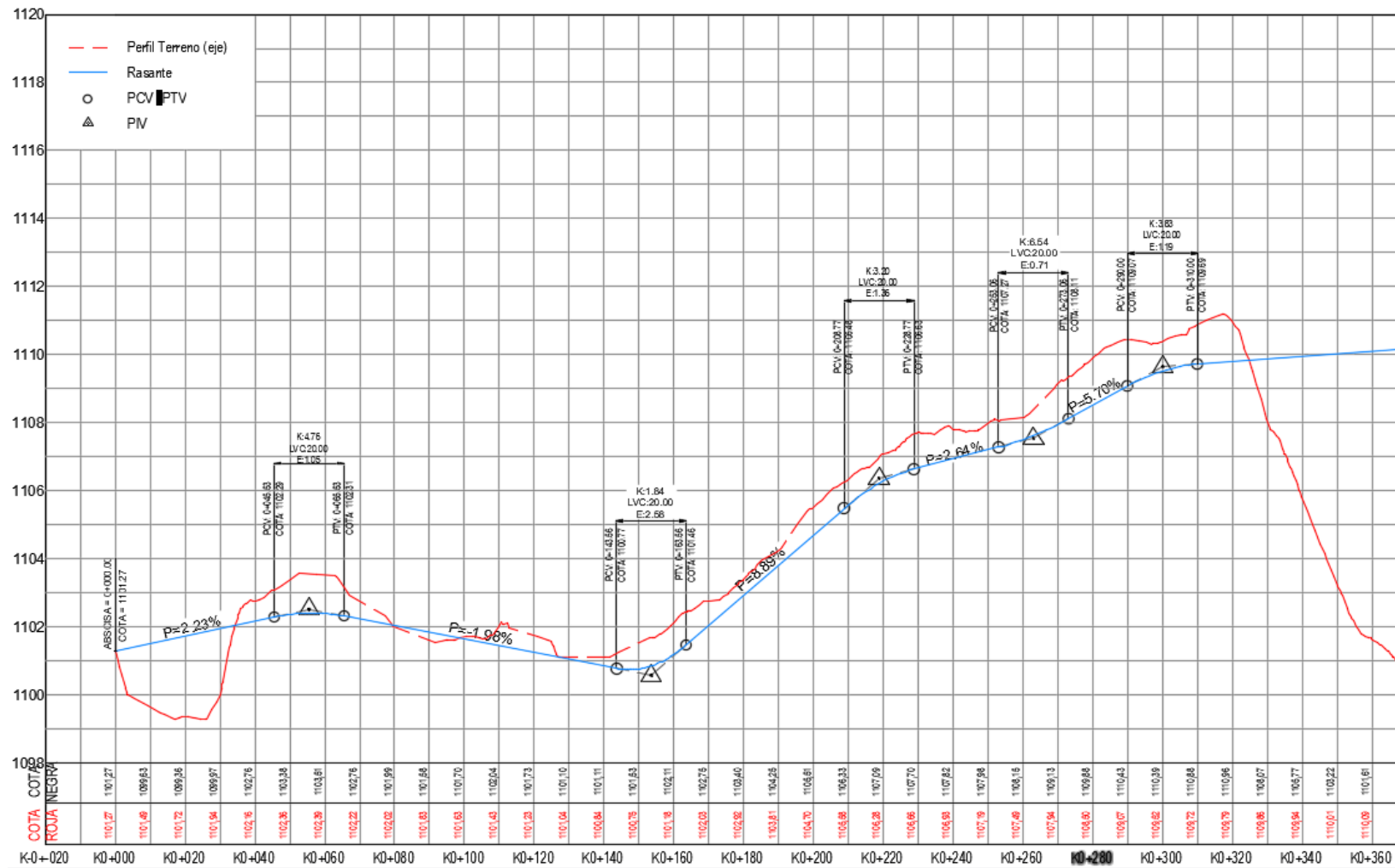


Figura 3-18. Perfil vía a casa de máquinas K0+000 a K0+360



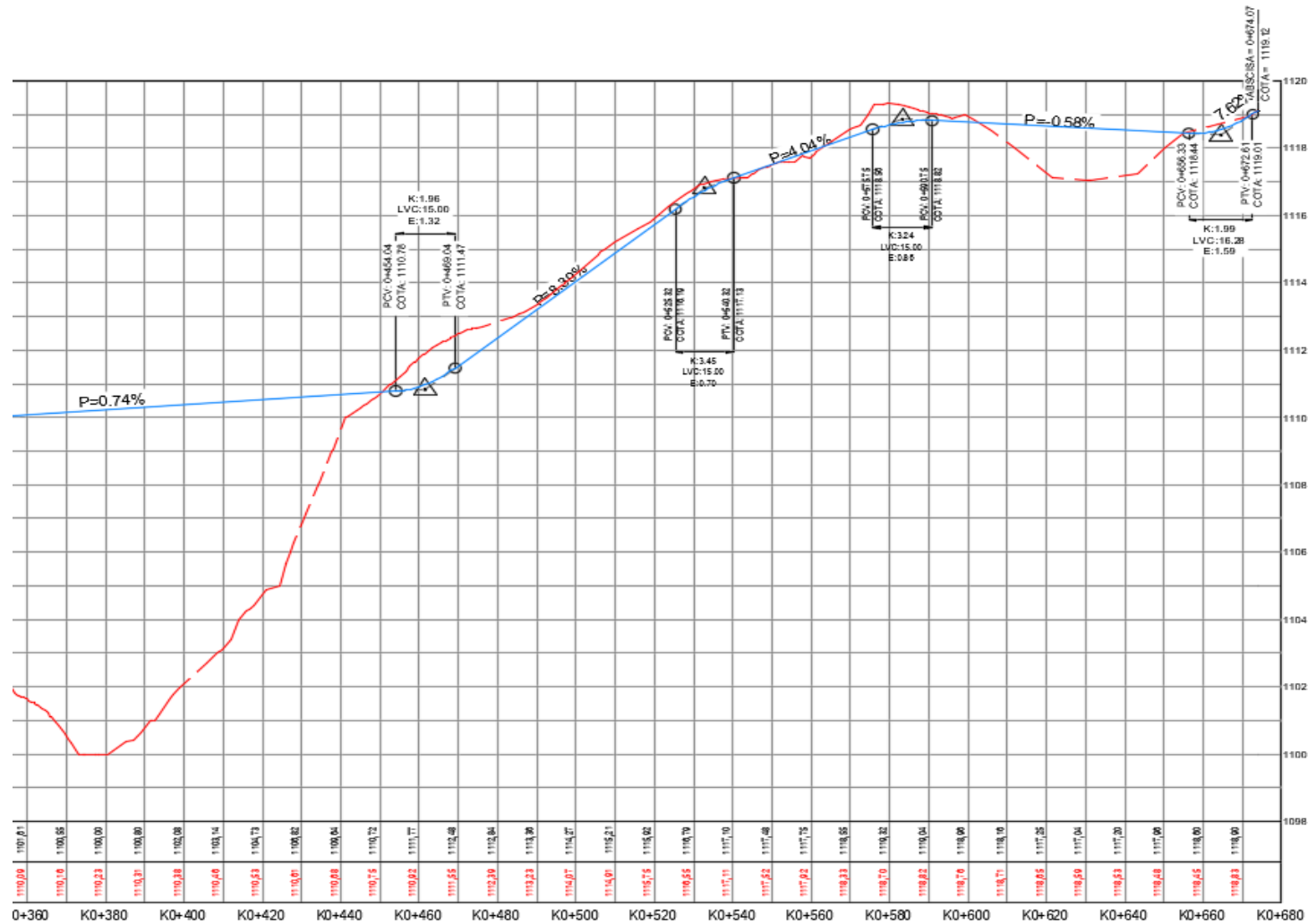


Figura 3-19. Perfil vía a casa de máquinas K0+360 a K0+680



Adicional a las vías ya mencionadas, se hace necesario implementar una nueva vía en el sector del CER (Centro Educativo Rural) La Placeta. Esto obedece a que el tramo de vía existente que da acceso a la captación se ve interceptado por la escuela La Placeta (ver Foto 3-11) y, en aras de disminuir los riesgos de accidentalidad en etapa constructiva, se ha diseñado una vía alternativa que permita la circulación de vehículos sin interferir en esta zona.



Foto 3-11. Punto de intercepción entre vía actual y CER La Placeta

Dicha vía cuenta con condiciones similares a las descritas previamente para las secciones de corte y lleno. Tendrá un ancho de 4,0 m, una cuneta de 0,40 m y un bombeo del 3%. En la Figura 3-20 se muestra la sección típica empleada para este trazado, el cual tendrá una longitud total de 0,238 m.



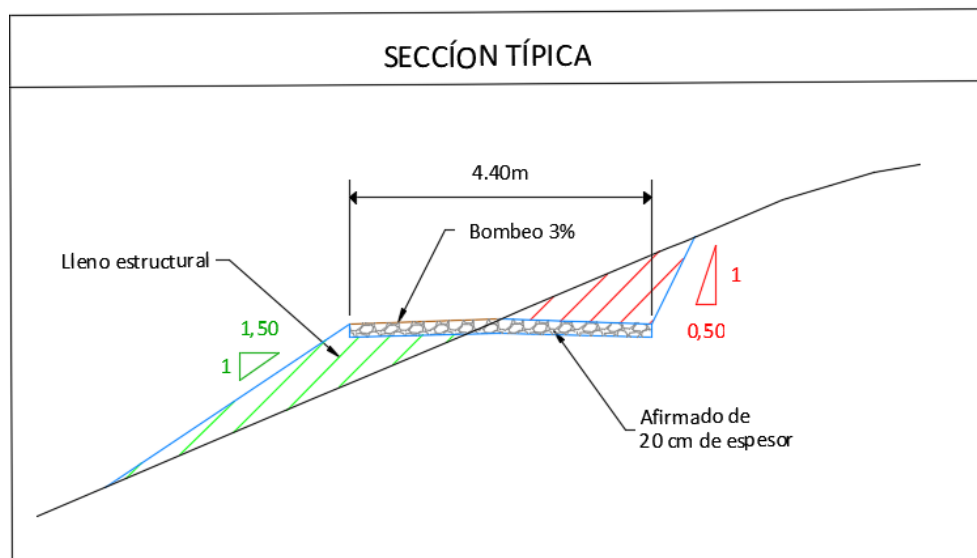


Figura 3-20. Sección típica vía sector escuela

En el Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos (Plano COC3-PL-VESC\_01\_02) se encuentra mayor detalle de las secciones del trazado.

En el trazado alternativo propuesto, entre las abscisas K0+110 y K0+145 será necesario implementar un puente para realizar el cruce sobre un afluente. Dicho puente tendrá una longitud de 30,0 m y una pendiente del 0,32% (ver Figura 3-21).



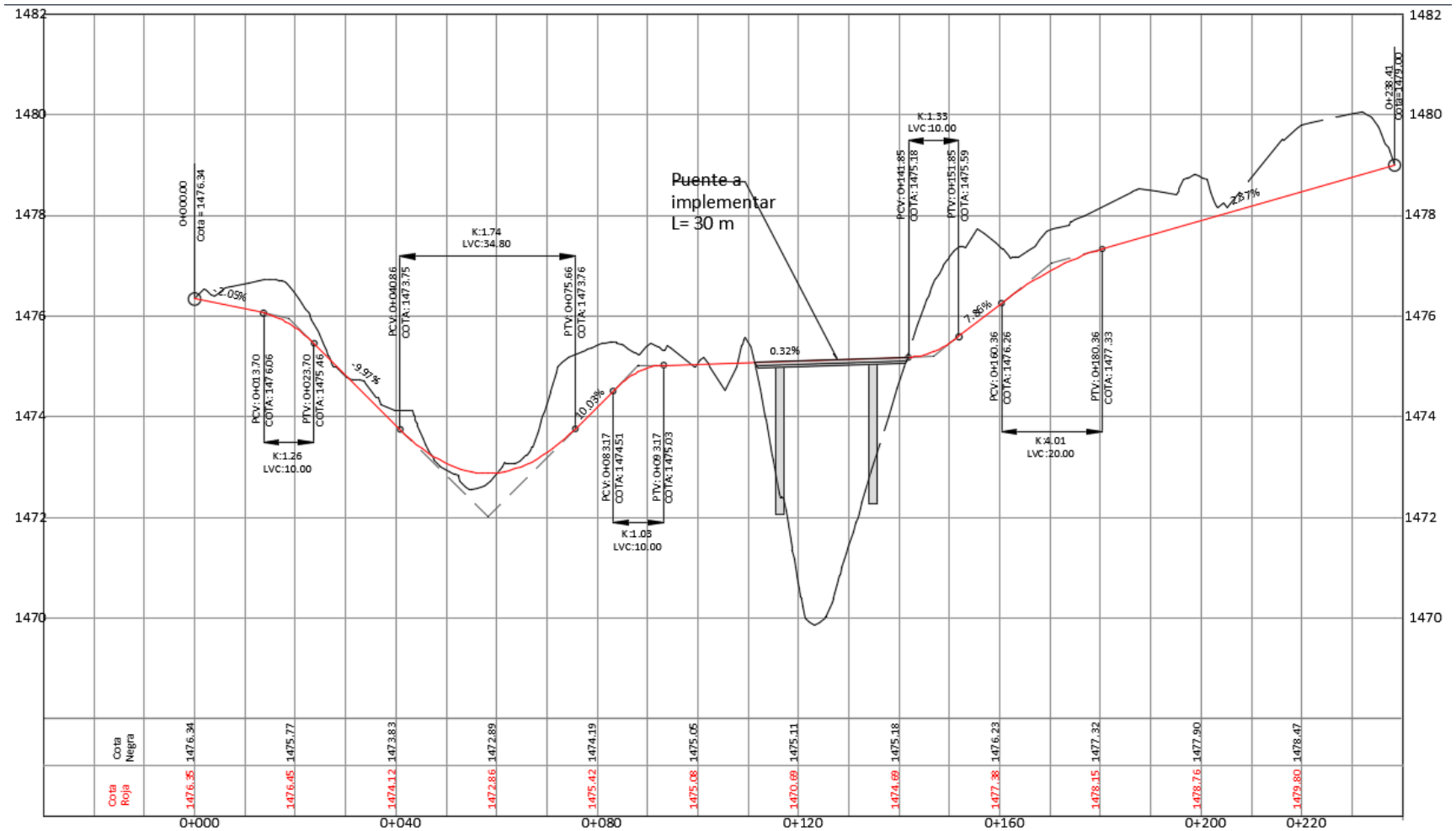


Figura 3-21. Perfil vía sector CER La Placeta



Para las vías proyectadas se implementarán las obras hidráulicas pertinentes, pues en todos los casos habrá intercepción con afluentes, más las obras de drenaje necesarias para el flujo adecuado de la escorrentía. Especialmente para la vía que conectará con la zona de casa de máquinas, que como se mencionó previamente, es necesario cruzar el río Cocorná, por lo que deberá contemplarse la construcción de un puente que permita realizar tal conexión.

En aras de conformar los accesos mencionados, se requerirán aproximadamente 3.180 m<sup>3</sup> de material para el afirmado (ver Tabla 3-10). Es importante resaltar que el material producto del corte (aproximadamente 18.500 m<sup>3</sup>) puede ser empleado para conformar dichos llenos; sin embargo, en caso de que se tenga que acudir a material extra, se tiene en cuenta que en la zona hacen presencia 7 fuentes para suministro del material para la elaboración de los concretos y para los afirmados (ver numeral 3.4.1.24). Adicionalmente, el material de corte sobrante deberá ser dispuesto en las zonas delimitadas para ello, en este caso, en los ZODMES (ver numeral 3.4.1.3)

Tabla 3-10. Volúmenes de corte y lleno para vías

Vía	Corte (m <sup>3</sup> )	Lleno (m <sup>3</sup> )
Captación	15.977,26	665,10
Casa de máquinas	1.694,07	1.893,35
Escuela	771,67	620,55

La localización y dimensionamiento de las obras viales se ha realizado de tal manera que con su pendiente máxima admisible se minimicen los volúmenes de excavación.

Para el diseño geométrico se tuvieron en cuenta las Normas Colombianas para el Diseño de Carreteras del INVIAS y A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001, AASHTO, para un vehículo de diseño camión C3 (ver Tabla 3-12).

En la Tabla 3-11 se presenta la información técnica de diseño para las vías de acceso a captación y casa de máquinas:

Tabla 3-11. Criterios de diseño para vías de acceso

Criterio	Valor
<b>Acceso a captación</b>	
Velocidad de diseño	20 km/h
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de carretera	Industrial
Material	Afirmado
Ancho banca	4 m



Criterio	Valor
	3,5 m
Berma - Cuneta	0,5 m
Bombeo	3,0% vías en afirmado
Peralte máximo	Sin peralte
Radio mínimo en curva	18 m
Tipo de curvas	Espiralizadas
Pendiente longitudinal	12,63%
	5,35%
Longitud de curva vertical mínima	20 m
<b>Acceso a casa de máquinas</b>	
Velocidad de diseño	20 km/h
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de carretera	Industrial
Material	Afirmado
Ancho banca	4 m
	3,5
Berma - Cuneta	0,5 m
Bombeo	3,0% vías en afirmado
Peralte máximo	Sin peralte
Radio mínimo en curva	18 m
Tipo de curvas	Espiralizadas
Pendiente longitudinal	8,89%
	0,58%
Longitud de curva vertical mínima	15 m
<b>Vía CER La Placeta</b>	
Velocidad de diseño	20 km/h
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de carretera	Industrial
Material	Afirmado
Ancho banca	4 m




Criterio	Valor
Berma - cuneta	0,4 m
Bombeo	3,0%
Radio mínimo en curva	18 m
Pendiente longitudinal	10,03%
	0,32%

#### 3.4.1.2.1 Trazado horizontal

El trazado del acceso al proyecto se realizó mediante curvas espirales, con radio mínimo de 18 metros, bajo el criterio de la velocidad de diseño de 20 km/h, garantizando siempre una longitud de curva mayor a 15 m para los accesos a captación y casa de máquinas y de 10 m para la vía de la escuela. En todos los casos consideró un ancho de calzada de 4,0.

Según el numeral 1.2.4 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVÍAS, por las pendientes que se presentan en general, el tipo de terreno se clasifica como ESCARPADO. En este caso, el vehículo de diseño corresponde al vehículo representativo de la condición más crítica, para este caso es el camión tipo 3S3 (ver Tabla 3-12), para el cual se realiza el dimensionamiento de radios mínimos y anchos de carril.

Tabla 3-12. Vehículo de diseño

Designación	Configuración	Dimensiones	Descripción
3S3		2.6 x 18.5 m	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Dado que el vehículo de diseño tiene una longitud superior a la longitud de la curva vertical mínima, se hace la aclaración de que, al ser curvas cóncavas, no habrá problema para la circulación del tractocamión sobre el trazado diseñado.

#### 3.4.1.2.2 Trazado vertical

El parámetro K (Parámetro de relación de cambio de pendiente) define la distancia horizontal en metros necesaria para tener un cambio de pendiente de 1% a lo largo de una curva vertical y tiene como finalidad brindar condiciones mínimas de estética a la vía, lo que se traduce en mayor comodidad para el conductor cuando circule por



una curva vertical, sea cóncava o convexa. Cuanto mayor es el valor absoluto de K, menos puntiaguda es la curva y, por tanto, más suave es la transición entre las dos rasantes uniformes que conforman una curva vertical.

Según el manual del INVIAS, en la tabla 4.4, el valor mínimo de K es de 0,6 para curvas convexas y 2,1 para curvas cóncavas.

La pendiente máxima está dada en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos. Considerando el tipo de vía, su propósito y que predomina la necesidad de minimizar los movimientos de tierra, garantizando siempre la seguridad, se considera una pendiente máxima de 12,63% para el acceso a captación, 8,83% para el acceso a casa de máquinas y 10,03% para la escuela. Para facilitar el drenaje del agua lluvia la pendiente mínima deseada debe ser 0,5%, aceptando como mínimo 0,3% para vías que tienen bombeo; se adopta 0,5% como pendiente mínima de diseño.

#### 3.4.1.2.3 Taludes

Los taludes de corte y lleno adoptados fueron los siguientes: Para corte se consideró una pendiente transversal de 0,50:1,0 y para lleno 1,50:1,0, con bermas de 2,50 m cada 5,00 m de altura.

Adicional a la cuneta vial, se construirán obras complementarias como rondas de coronación y cunetas en las bermas, con el objetivo de proteger los taludes y manejar adecuadamente las aguas superficiales.

#### 3.4.1.2.4 Cunetas viales

Son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición, con la finalidad de proteger la estructura de vía y brindar mayor seguridad en la circulación sobre ella. Las cunetas construidas en zonas en terraplén protegen también los bordes de la berma y los taludes del terraplén de la erosión causada por el agua lluvia.

Las secciones de las cunetas dispuestas en los trazados viales pueden ser evidenciadas en las figuras mostradas previamente para las secciones típicas de la vía a captación, vía a casa de máquinas y vía de la escuela (Figura 3-13, Figura 3-17 y Figura 3-20 respectivamente)

Las abscisas en las cuales se deben ubicar cunetas deben ser obtenidas a partir del análisis de los perfiles de la vía (con sus líneas de chaflán de corte y de lleno), de la siguiente forma:

- En todos los costados colindantes a los taludes de corte generados en la construcción de la vía; si la sección es en cajón deberán construirse cunetas en ambos costados.



- En todos los costados internos de las curvas que sean cóncavas hacia la ladera, pues por efecto del peralte tienden a concentrar flujo de escorrentía en el punto más bajo de la curva y se pueden generar procesos de socavación. En el caso de las curvas convexas no hay problema porque siempre habrá cuneta en el costado que colinda con la pata del talud de corte.

Con base en el trazado geométrico de la vía se determinó que el área aferente máxima a las cunetas corresponde a un ancho de talud de 5 m para los cortes más grandes sin bermas intermedias, más 4,0 m del ancho de vía. En la Figura 3-23 se presenta la capacidad hidráulica de la cuneta vial para diferentes pendientes longitudinales de la vía y niveles de lámina de agua.

Las cunetas que se implementarán tendrán una sección triangular, la cual es una sección óptima para su construcción y funcionamiento. Estarán revestidas en concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se debe verificar que la velocidad máxima del flujo en la cuneta sea menor a 10 m/s para evitar problemas de erosión y desgaste del concreto que puedan ocasionar contratiempos futuros.

Para verificar la capacidad hidráulica de las cunetas se recurre a la Ecuación 3-1, con la que se verifica que dicha capacidad sea mayor al caudal de diseño. El coeficiente de rugosidad de Manning será de 0,014, que se asume por ser el valor de referencia para canales en concreto vaciado en formaleas sin acabado. La pendiente longitudinal mínima de la vía corresponde al 2,81% y la máxima a 18,40%.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot S_0^{1/2}$$

Ecuación 3-1

Donde:

Q: es el caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

n: es el coeficiente de rugosidad o de Manning (adimensional)

A: es el área mojada (m<sup>2</sup>)

Rh: es el radio hidráulico (m)

So: es la pendiente longitudinal de la cuneta (m/m)

En la Figura 3-22 se muestra la sección típica de las cunetas en vías y taludes.



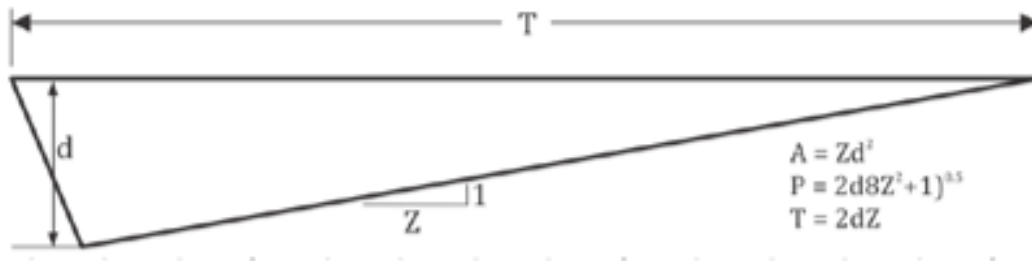


Figura 3-22. Sección de cuneta vial

Donde:

T: 0,50 m

d: 0,20 m

z1: pendiente hacia el talud: 0,5

z2: pendiente hacia la vía: 2,0

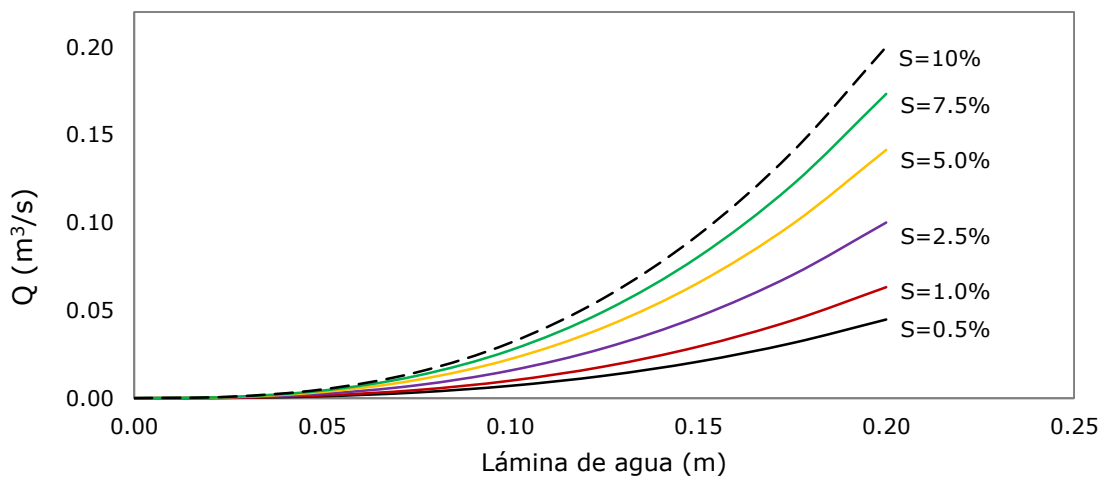


Figura 3-23. Capacidad hidráulica de cunetas viales

#### 3.4.1.2.5 Rondas de coronación

Se localizan en la parte alta del talud o en proximidades de la base del terraplén, cuya función es evitar el paso de agua por el talud de corte o proteger la base del terraplén de procesos erosivos.

La separación entre las zanjas de coronación y los taludes de corte o de lleno debe ser como mínimo de 3,0 m. Para los diseños de la vía de acceso a casa de máquinas, la separación tanto en los taludes de corte como en los terraplenes se fijó en 5,0 m, con lo cual se busca evitar que existan planos preferenciales de fallas y se generen



inestabilidades en la pata del terraplén, igualmente se recomienda impermeabilizar la corona entra la zanja y el talud para evitar flujos subsuperficiales que desestabilicen el talud.

Las zanjas se propone que sean de sección trapezoidal conformada con sacos de suelo-cemento, con base de 0,50 m, taludes con pendiente 0,5H: 1,0V, y profundidad de 0,50 m, de manera que el ancho superior es de 1,0 m, En la Figura 3-24 se presenta la capacidad de la zanja de coronación para un rango de pendientes que va desde la pendiente mínima sugerida de 2%, hasta pendientes del 100%, que pueden presentarse en bajantes.

Es importante aclarar que para pendientes superiores al 20% los sacos de suelo-cemento deben ser anclados al terreno para garantizar su estabilidad.

La zanja a sección llena tiene como mínimo la capacidad de transportar 1,1 m<sup>3</sup>/s, a una velocidad de 3,0 m/s, velocidad mayor a la velocidad mínima sugerida para considerar que un canal sea auto limpiante (0,6 m/s).

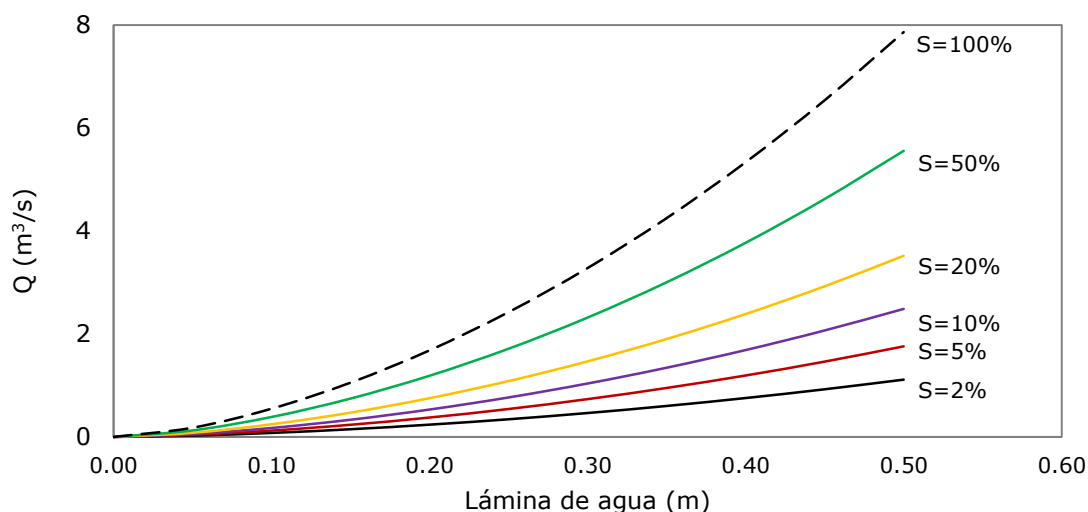


Figura 3-24. Capacidad hidráulica de rondas de coronación

El proceso constructivo para las vías de acceso será el siguiente:

- Disposición del material de explanaciones y excavaciones
- Colocación de subbase granular
- Excavación estructural para obras de arte (drenajes)



#### 3.4.1.3 Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavaciones, de construcción y demolición (Zodmes)

Para depositar el material sobrante de excavación se han identificado 6 zonas con potencial para utilizarse como Zodmes. Para la identificación de dichas zonas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Minimizar la distancia de transporte desde las zonas de excavación.
- Disminuir el aprovechamiento forestal.
- Disminuir la afectación de cultivos.
- Evitar el reasentamiento poblacional.
- Facilidad para proyectar accesos hacia ellas.

Para el diseño de las zonas de depósito, se siguió el procedimiento descrito a continuación:

- Se evaluaron las condiciones topográficas del sitio donde se descargará el material proveniente de las excavaciones.
- De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados para la geometría de conformación del depósito, se establecieron pendientes de 2,0H:1,0V, y bermas de 3 m de ancho, provistas de cunetas perimetrales que permitan una adecuada evacuación de las aguas superficiales.
- Las bermas se diseñaron con pendiente longitudinal no menor al 2% en el sentido del drenaje de la cuneta, para evitar que el asentamiento natural del depósito modifique el sentido del drenaje.

En la Tabla 3-13 se detalla cada uno de los Zodmes y posteriormente son esquematizadas en planta en la Figura 3-40.

Tabla 3-13. Detalle ZODMES  
Sistema de coordenadas Magna Sirgas origen: central

Zodme	Área (m <sup>2</sup> )	Capacidad aproximada (m <sup>3</sup> )	Coordenada este	Coordenada norte
1	3.391	11.330	874843	1160231
2	5.136	20.170	875289	1160263
3	5.656	27.130	876254	1160221
4	7.282	34.780	876803	1160272
5	7.246	37.400	877479	1160284
6	6.785	20.600	877470	1160208



Zodme	Área (m <sup>2</sup> )	Capacidad aproximada (m <sup>3</sup> )	Coordenada este	Coordenada norte
Total	35.496	151.410		

A continuación, de la Figura 3-25 a la Figura 3-36 se presentan los perfiles para los diseños de los 6 depósitos identificados:



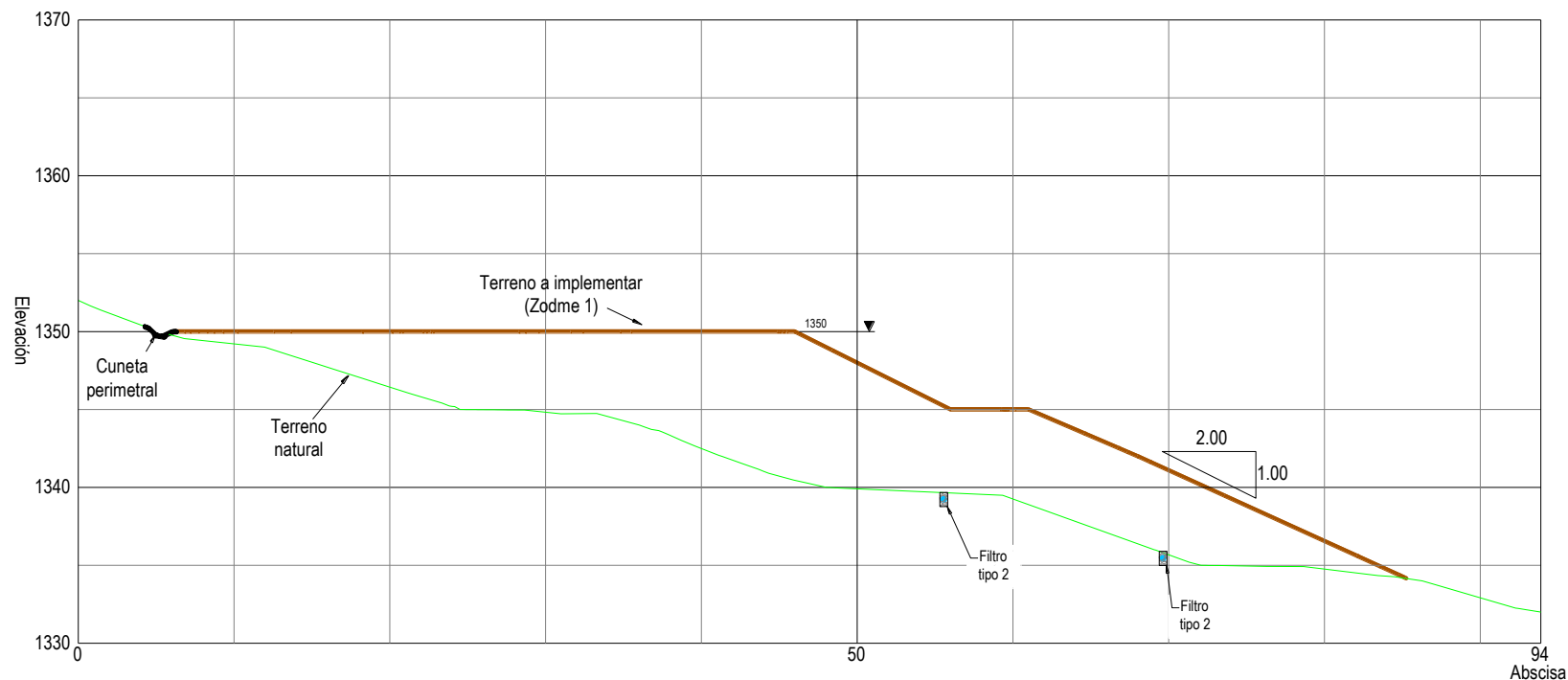


Figura 3-25. Sección A-A depósito 1. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente



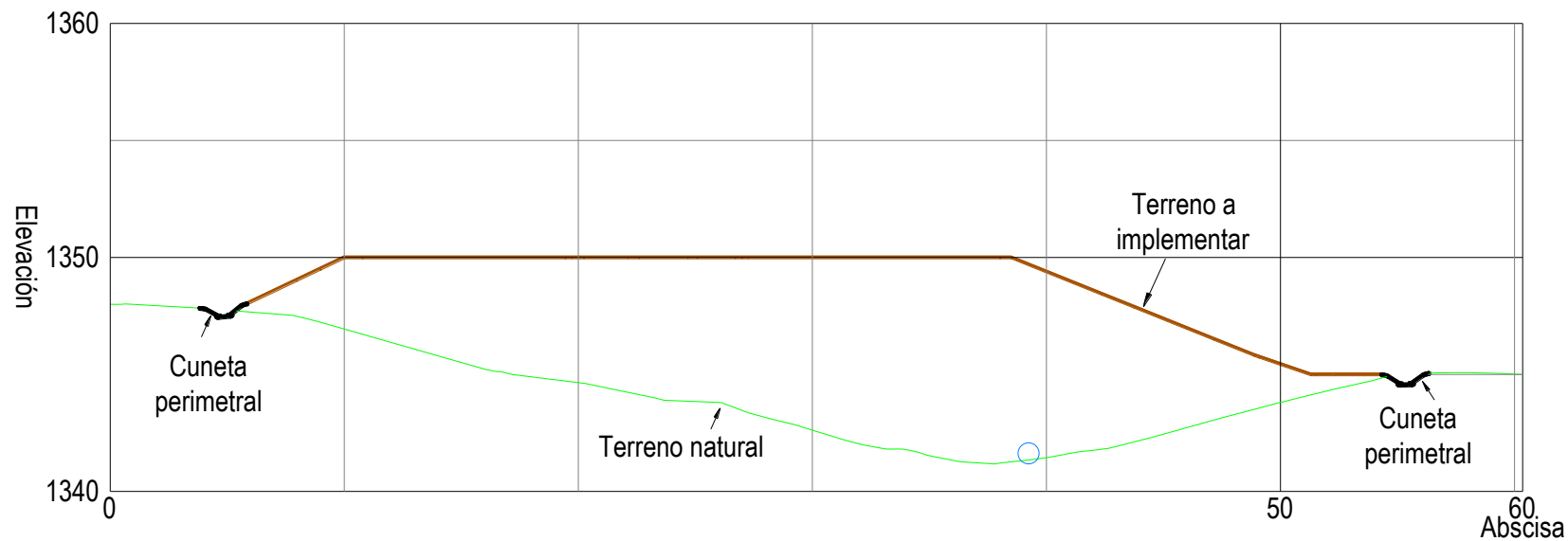


Figura 3-26. Sección B-B depósito 1. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



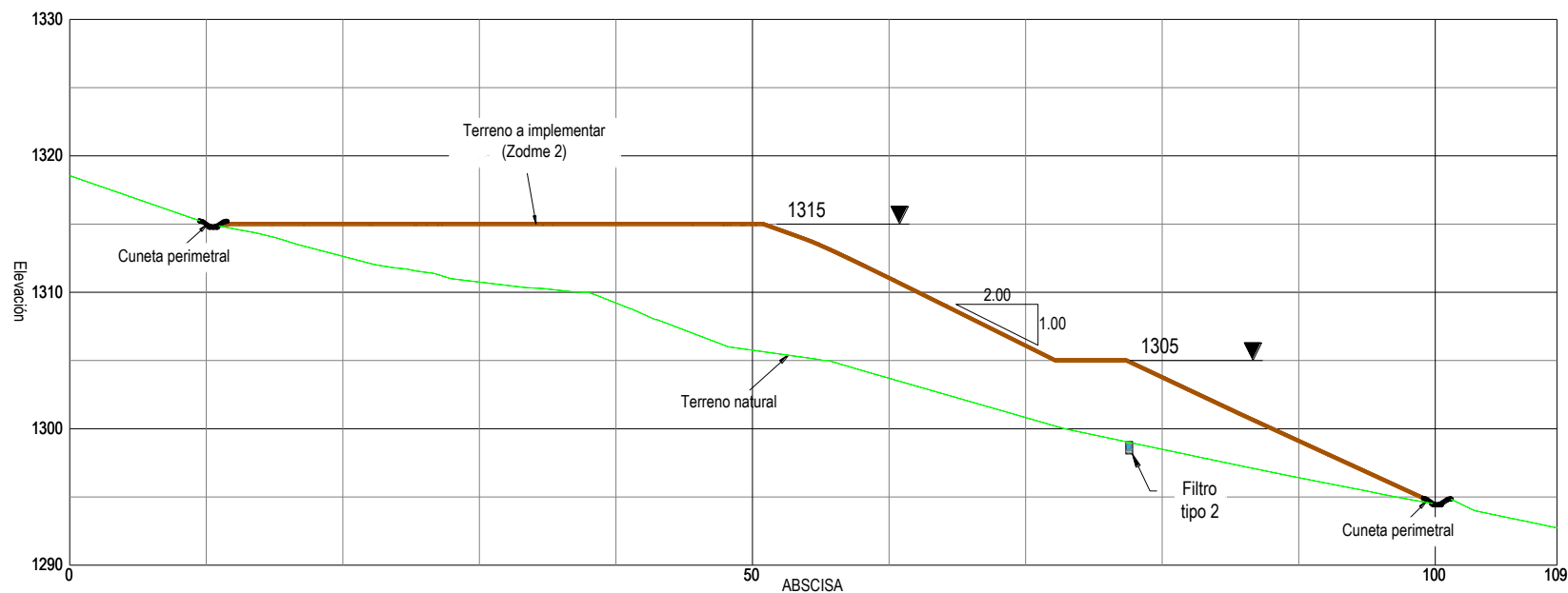


Figura 3-27. Sección A-A depósito 2. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente



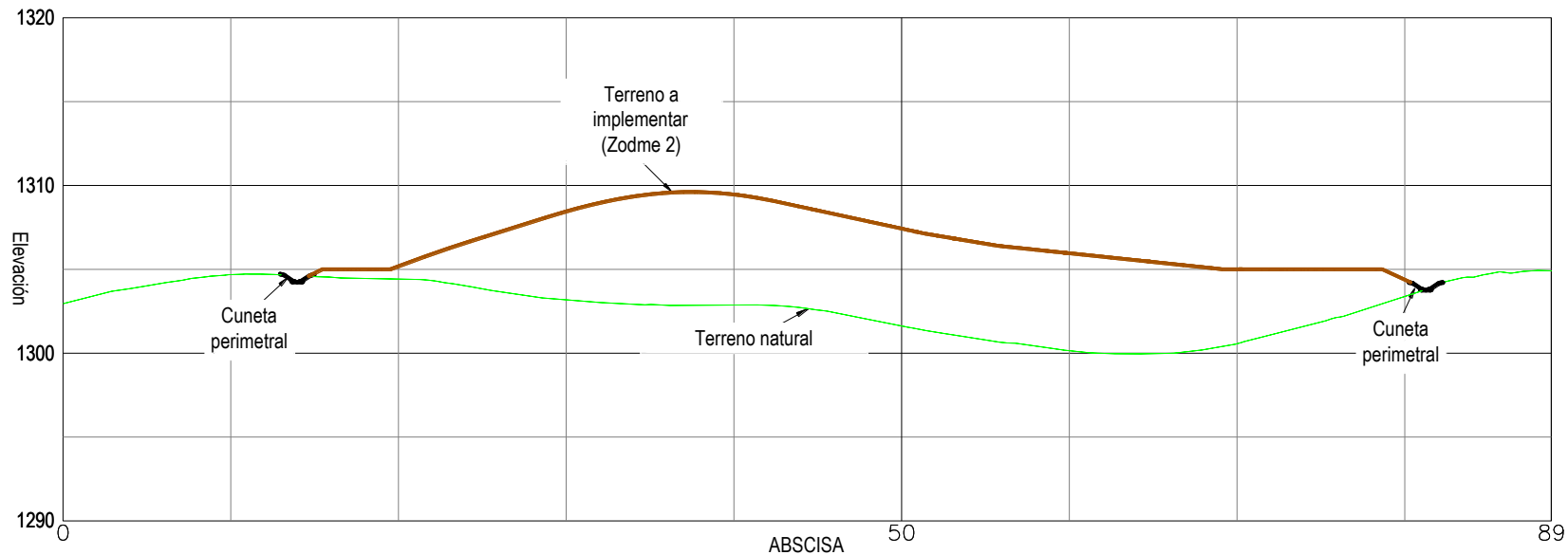


Figura 3-28. Sección B-B depósito 2. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



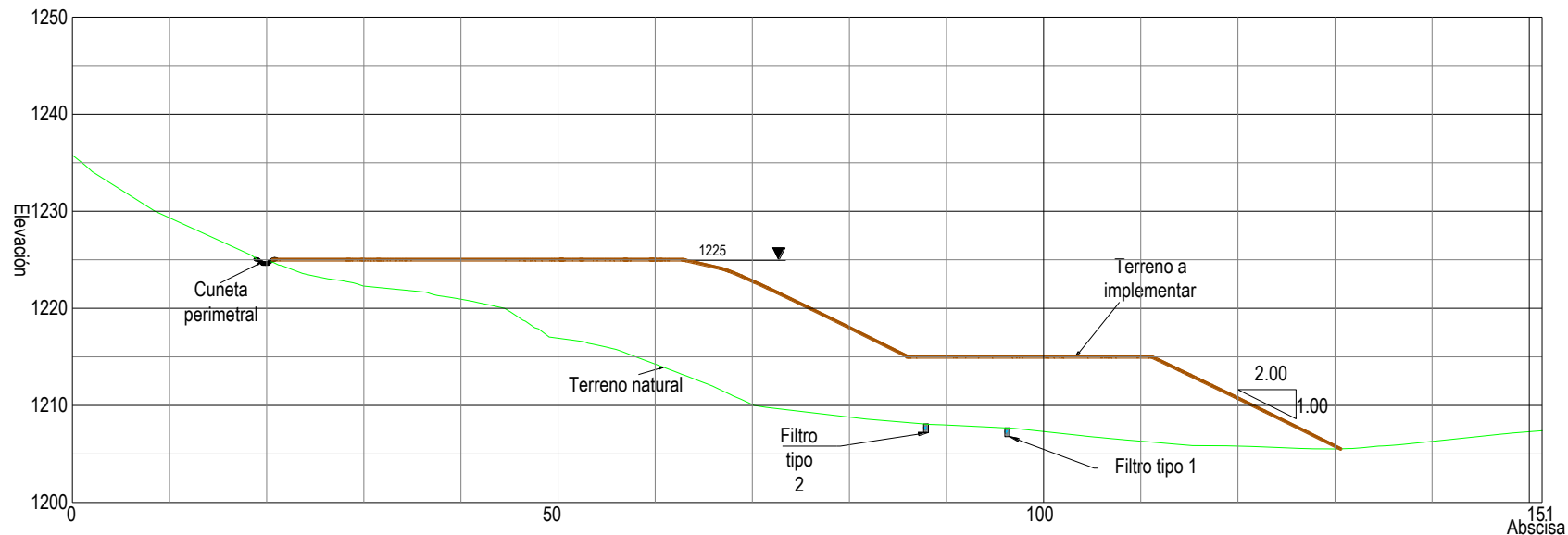


Figura 3-29. Sección A-A depósito 3. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 1, filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-38, Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente



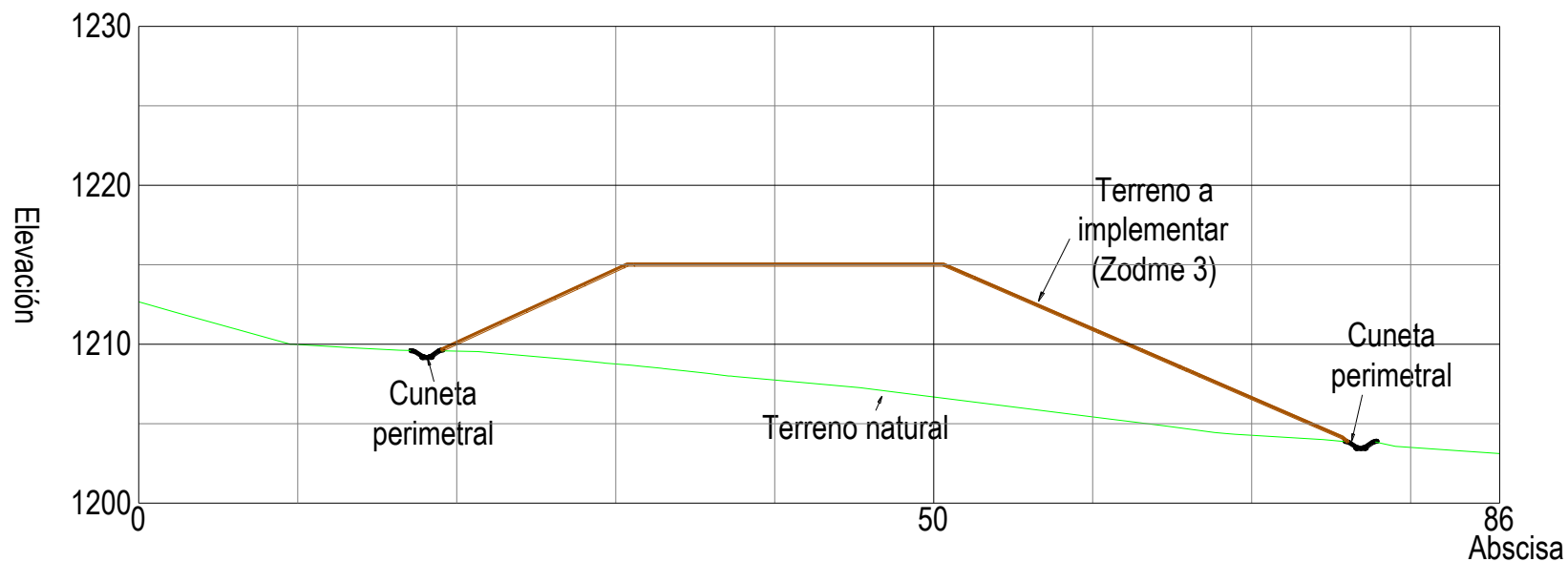


Figura 3-30. Sección B-B depósito 3. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



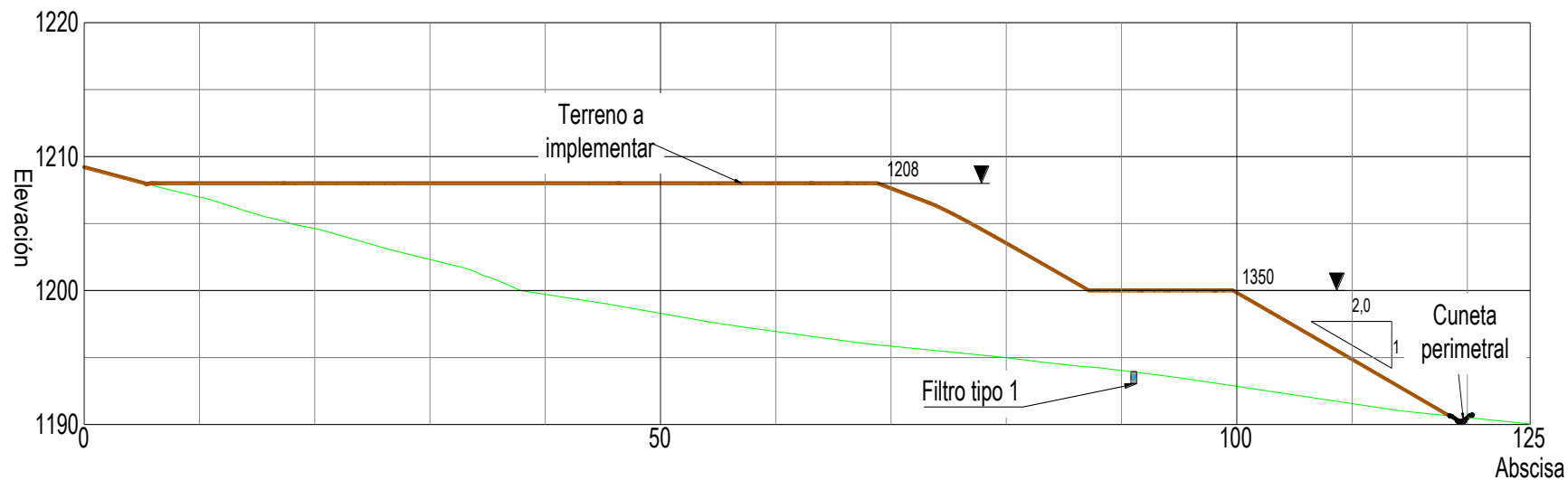


Figura 3-31. Sección A-A depósito 4. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 1 y cuneta perimetral ver Figura 3-38 y Figura 3-37 respectivamente



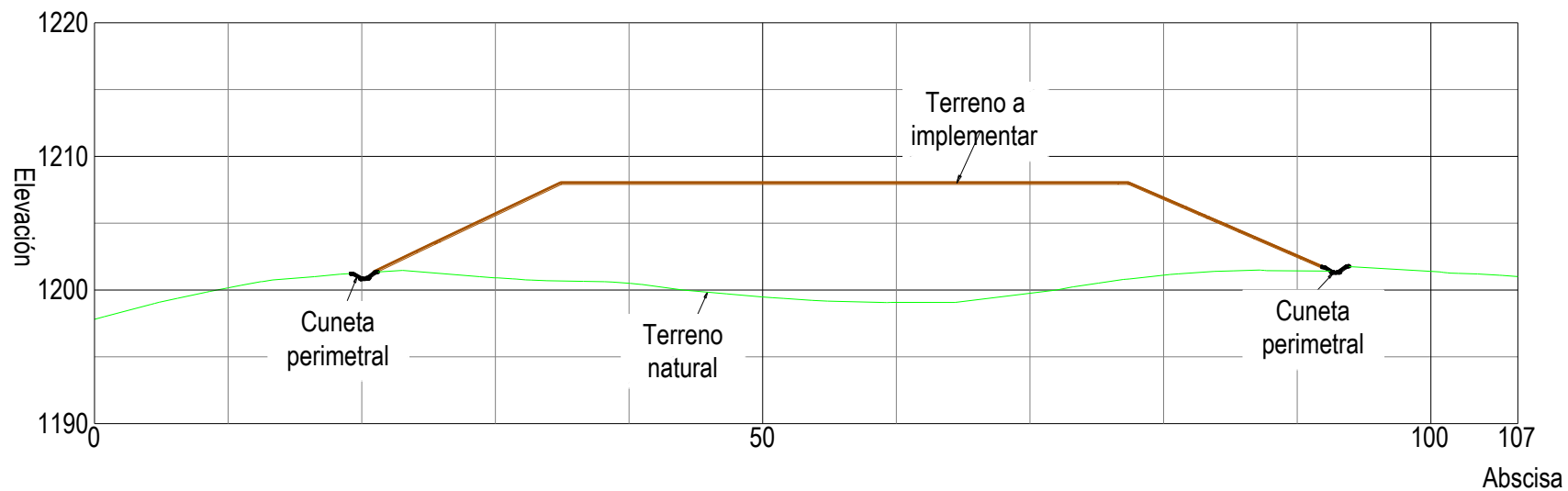


Figura 3-32. Sección B-B depósito 4. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



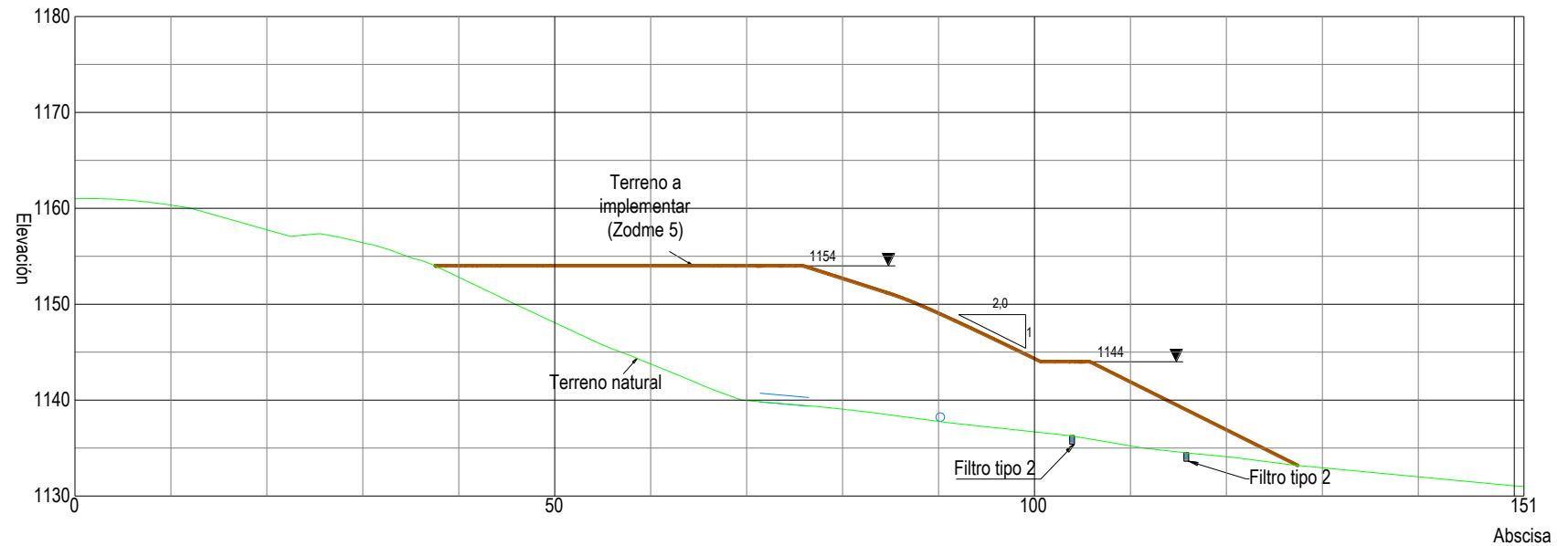


Figura 3-33. Sección A-A depósito 5. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 ver Figura 3-38



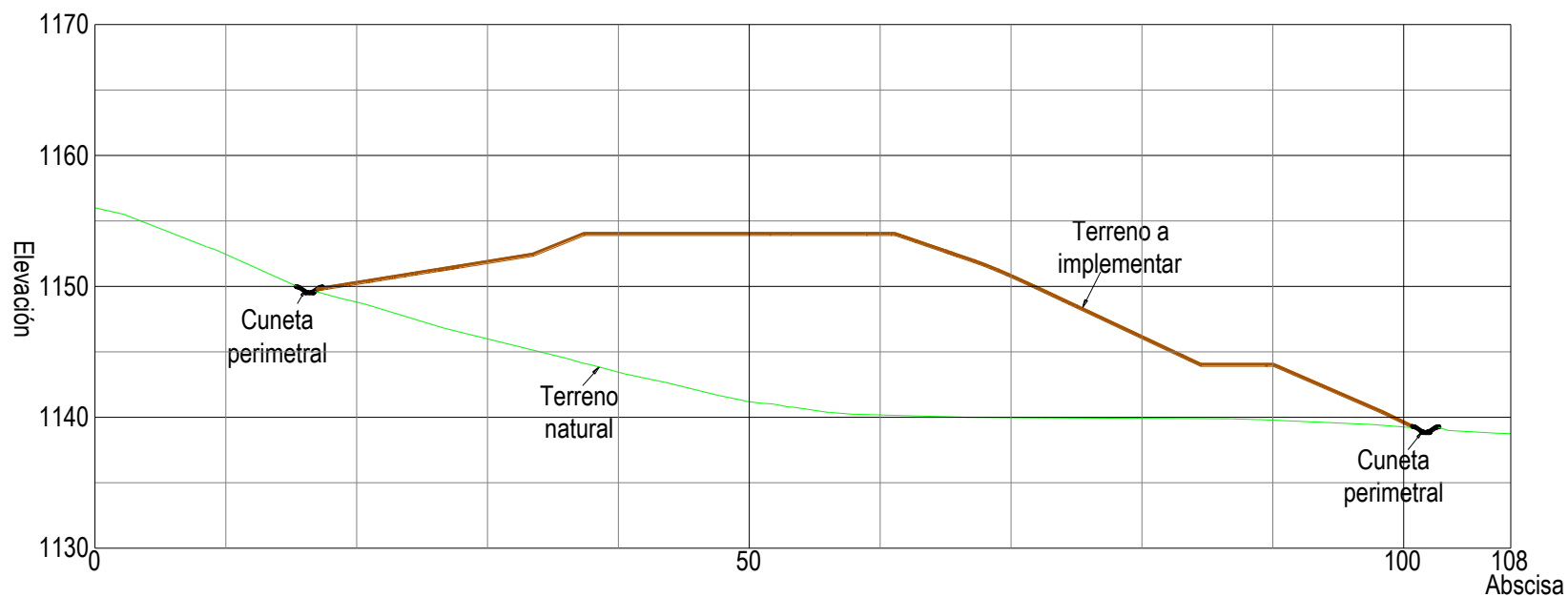


Figura 3-34. Sección B-B depósito 5. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



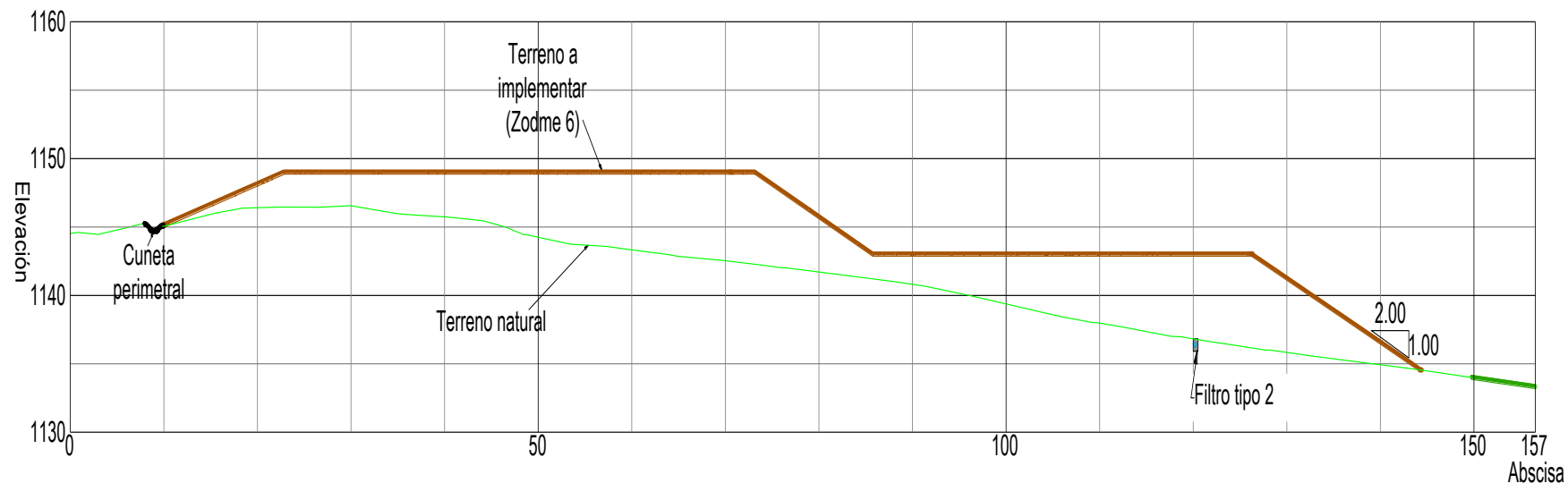


Figura 3-35. Sección A-A depósito 6. (Unidades en metros) – Para detalle de filtro 2 y cuneta perimetral ver Figura 3-39 y Figura 3-37 respectivamente



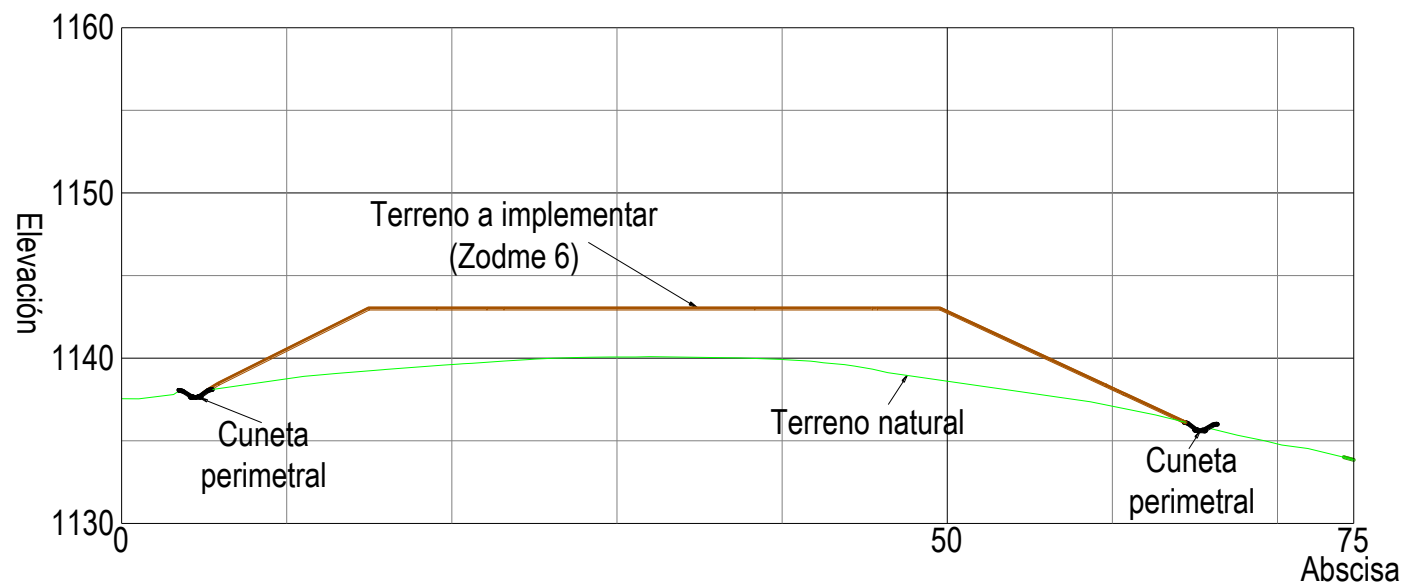


Figura 3-36. Sección B-B depósito 6. (Unidades en metros) – Para detalle de la cuneta perimetral ver Figura 3-37



El total del área de ocupación del proyecto en cuanto a zonas de depósitos corresponde a 35.496 m<sup>2</sup>, dicha área tendrá un potencial para almacenar un volumen aproximado de 151.410 m<sup>3</sup>. Adicional al espacio destinado para cada depósito, debe tenerse en cuenta el acceso que tendrán para permitir desplazar el material desde los frentes de trabajo hasta cada Zodme; por tanto, los accesos a las zonas de depósitos tendrán una ocupación total de 985 m<sup>2</sup>.

Los Zodmes identificados cuentan con gran capacidad, lo cual deberá ser suficiente para almacenar los volúmenes de excavación considerando un factor de expansión del 1,3.

Para realizar la adecuación de los Zodmes se debe realizar limpieza de la vegetación, descapote y construcción de filtros y obras de drenaje de acuerdo con el diseño de cada uno de los sitios. La conformación de los depósitos se hará en capas de aproximadamente 50 cm que serán compactadas con buldócer.

Con el fin de garantizar un adecuado drenaje de la superficie del depósito y la estabilidad de este, es necesario realizar la construcción de filtros, cunetas y rondas de coronación.

- La disposición de los filtros en la base de la superficie del depósito tiene el fin de recolectar el agua proveniente de diferentes zonas del área ocupada por el depósito, que se unen en un mismo filtro que finalmente conducirá el agua de infiltración hasta una canal de descole construido en sacos de suelo cemento. El objetivo final de dicha estructura es aliviar las presiones intersticiales generadas por el agua de infiltración.
- Las cunetas y rondas de coronación serán construidas en la superficie del terreno conformado en forma de terrazas y perimetralmente al área ocupada por el depósito con el fin de recoger el agua de escorrentía y evitar la erosión de este.
- Dichas estructuras serán construidas con sacos de suelo-cemento para garantizar la estabilidad de estas y la infiltración del agua de escorrentía.

De esta manera, en cada depósito se implementará según su necesidad una cuneta perimetral, un filtro tipo 1 y un filtro tipo 2 (ver Figura 3-37, Figura 3-38 y Figura 3-39 respectivamente). Dependiendo de las condiciones propias de cada Zodme se instalará cada uno de los elementos mostrados a continuación:



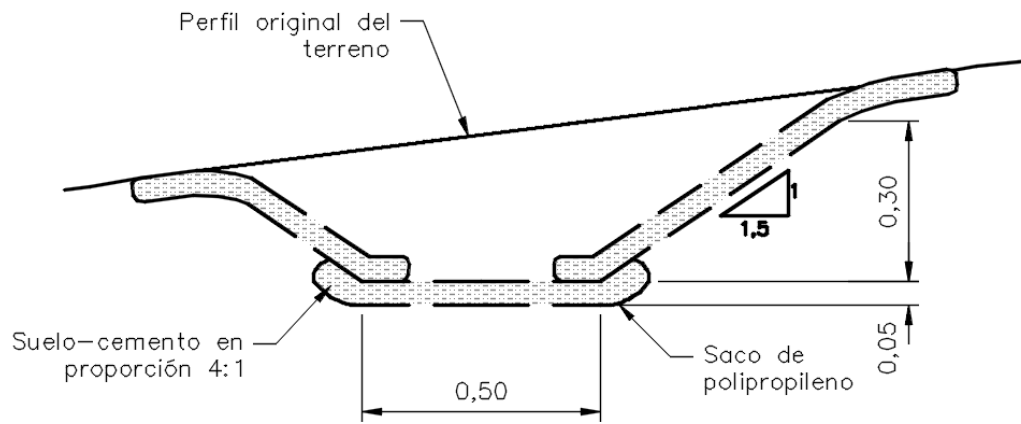


Figura 3-37. Sección de cuneta perimetral

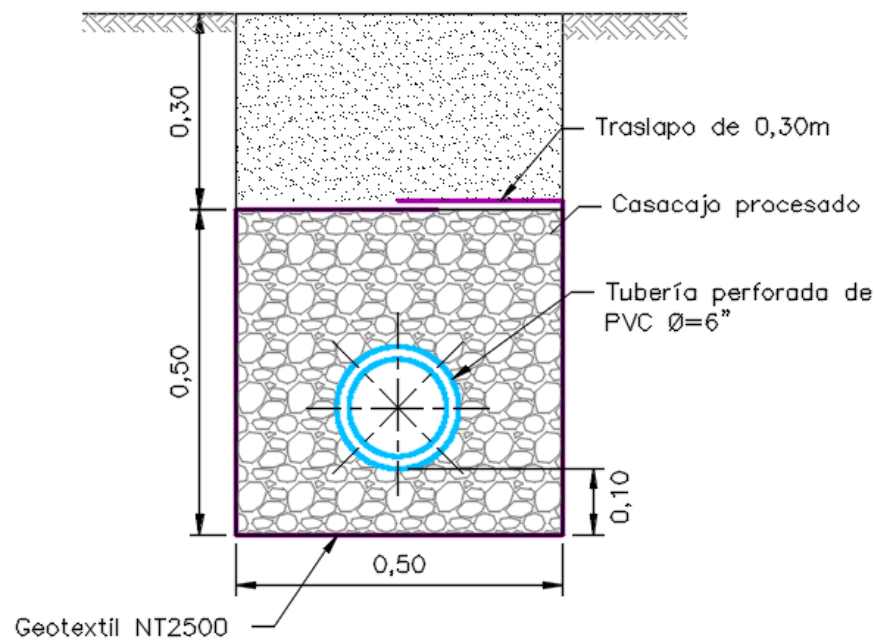


Figura 3-38. Sección filtro tipo 1



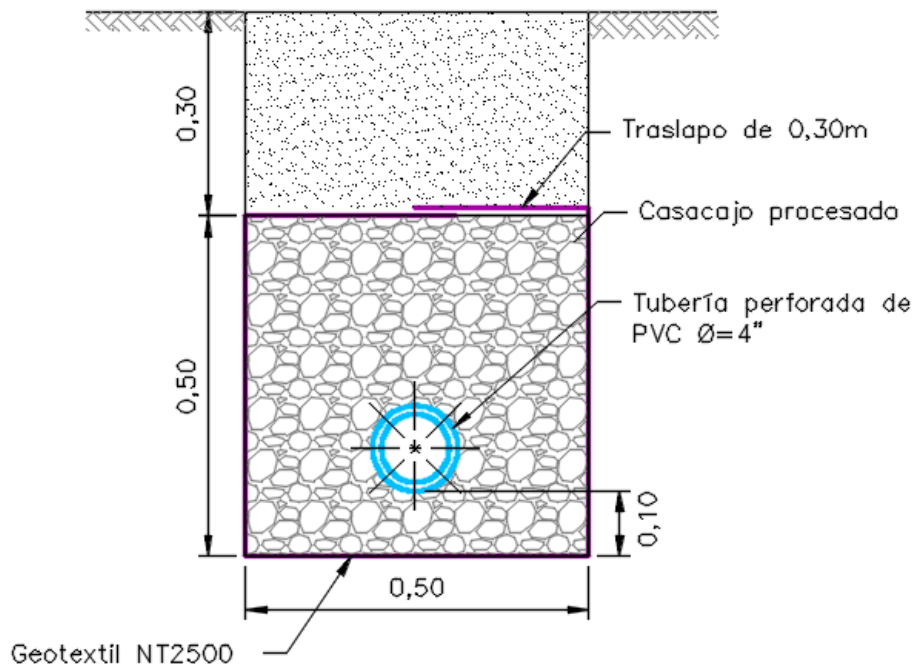


Figura 3-39. Sección filtro tipo 2

A continuación, en la Figura 3-40 se muestra la ubicación de las 6 áreas seleccionadas para la ubicación de los Zodmes requeridos por el proyecto con su respectiva vía de acceso. Los detalles de diseño de los Zodmes se encuentran dentro del Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos, dentro de los planos COC3\_PL\_ZOD\_01, COC3\_PL\_ZOD\_02, COC3\_PL\_ZOD\_03, COC3\_PL\_ZOD\_04, COC3\_PL\_ZOD\_05 y COC3\_PL\_ZOD\_06.



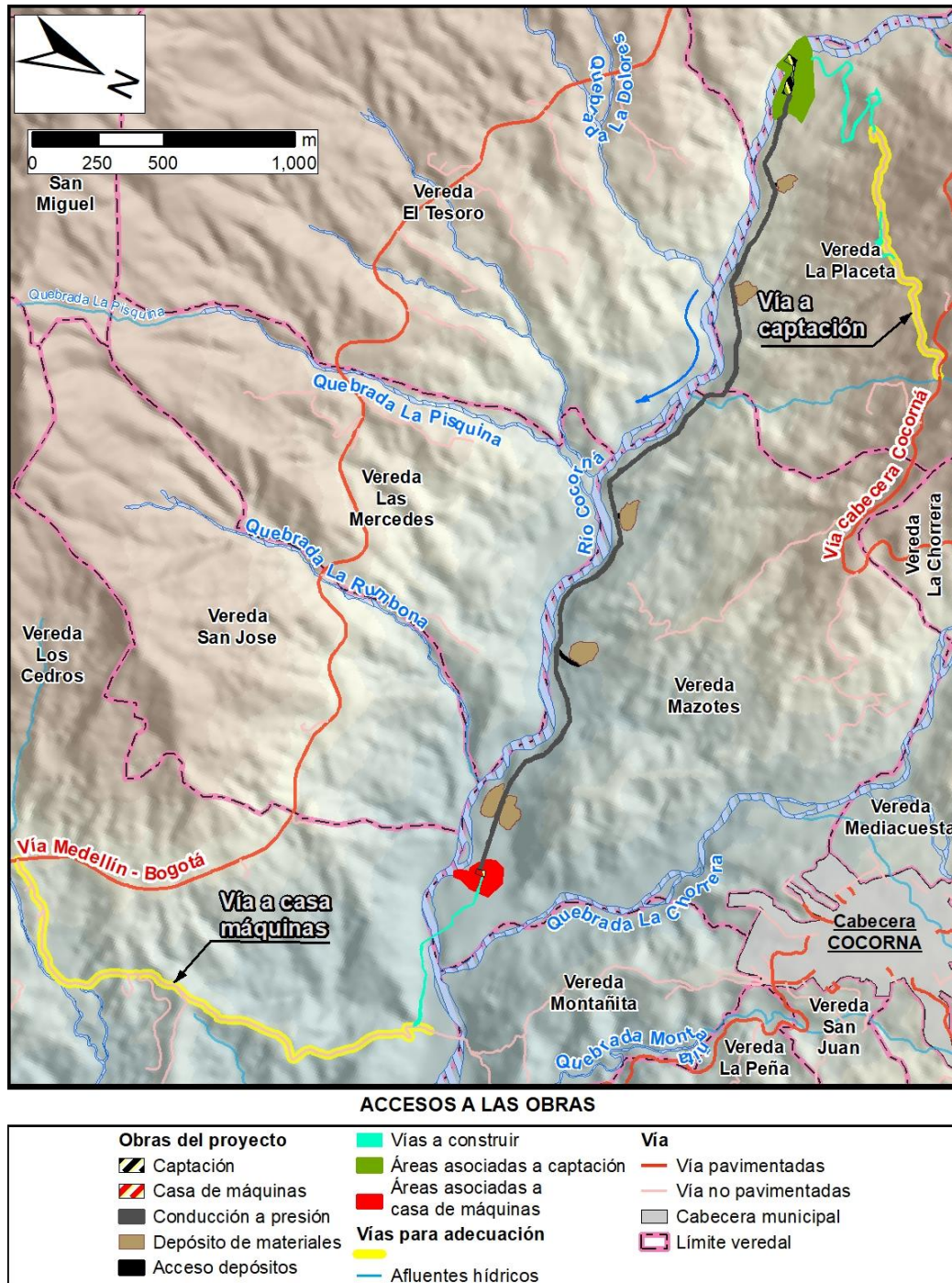


Figura 3-40 Localización Zodmes y sus accesos



#### 3.4.1.4 Volúmenes de movimiento de tierra

Una vez identificadas las zonas intervenidas por los diferentes elementos, se deben estimar los volúmenes que se obtendrán del movimiento de tierra. A continuación, en la Tabla 3-14 se muestra dicha información a nivel de factibilidad:

Tabla 3-14. Volúmenes de movimiento de tierra

<b>Obra</b>	<b>Corte (m³)</b>	<b>Lleno (m³)</b>
Vía a captación	15.657,31	665,51
Vía a casa de máquinas	1.694,07	1.893,85
Vía sector la escuela	771,67	620,55
Casa de máquinas	4.413,23	0
Obras de captación	7.684,13	3.482,7
Tubería a presión	50.594,35	3.868
<b>TOTAL</b>	<b>80.814,76</b>	<b>9.910,06</b>

Para la construcción de las obras del proyecto se requiere realizar excavaciones superficiales en los sitios de las obras de derivación, casa de máquinas, vías de acceso y a lo largo de la tubería de conducción. También es necesario realizar excavaciones menores para la adecuación de las zonas de manejo de escombros y materiales de excavación (Zodme). El equipo básico necesario para la adecuación de las vías se conforma por una motoniveladora, un vibrocompactador, un cargador y volquetas (ver numeral 3.4.1.23).

Para las excavaciones en material común se utilizan retroexcavadoras y se carga el material extraído en volquetas para ser trasladado a las zonas de depósito. En los sitios donde se encuentre roca fracturada también se utilizan retroexcavadoras y se procede de la misma manera que con las excavaciones en material común. Para las excavaciones en roca, el procedimiento a implementar consiste en fragmentar, mediante el empleo de explosivos, para poder cargar y trasladar el material a la zona de depósitos. Para las perforaciones en roca se utilizan martillos de percusión alimentados por compresores neumáticos. Por la composición geológica de la zona, se prevé manejo de diversos materiales de depósitos de vertientes, heterogéneos y de tipo superficial.

Es importante aclarar que el volumen de material excavado, como se mencionó previamente, se verá sometido a una expansión por el desconfinamiento inherente a la excavación o al movimiento de la tierra. Para dicha expansión se ha estimado un factor del 1,3; es decir, el volumen del material excavado será un 30% superior al material confinado (antes de excavar). Dicha información será de utilidad para las



estimaciones de transporte de material y disposición en los Zodmes, donde posteriormente será compactado bajo las condiciones ya descritas.

#### 3.4.1.5 Adecuación de zona industrial

Las zonas industriales se localizan en sitios cercanos a las obras principales del proyecto que no requieran mayores modificaciones, minimizando así los impactos ambientales negativos asociados.

Por la configuración del proyecto, se han ubicado dos zonas para la localización de los talleres, almacenes de depósito, oficinas, parqueaderos para el estacionamiento de la maquinaria pesada y los vehículos utilizados en la construcción de las obras. Estas zonas serán adyacentes a las obras de captación y a la zona de casa de máquinas.

El proyecto no tiene considerado la instalación de campamentos para la pernocta de los trabajadores, pues con el objetivo de favorecer el desarrollo de las dinámicas económicas del área de influencia, los procesos de contratación de mano de obra no calificada darán prioridad a las personas de la zona; por esta razón se considera que no se requiere de esta infraestructura. El personal que no sea de la zona será hospedado en alojamientos del área urbana del municipio de Cocorná o en viviendas arrendadas de las veredas del área de influencia.

En cuanto a los detalles técnicos constructivos de las oficinas y almacenes se tiene que, para la cimentación, debido a que las estructuras son livianas y poco complejas, se planteará inicialmente losas de cimentación, aunque estudios de suelos posteriores podrían sugerir otro tipo de subestructura. El techo de las estructuras será una cubierta planteada a un agua en lámina plástica, soportada directamente sobre la estructura en madera inmunizada.

A continuación, se detallan las características técnicas para cada uno de los sitios de la zona industrial:

##### 3.4.1.5.1 Oficinas

Las oficinas serán estructuras prefabricadas, debido a su fácil manejo, montaje y desmontaje. En este caso se utilizan contenedores, además, se instalarán baños móviles dotados con sistema de tratamiento y mantenimiento a domicilio.

Albergarán las áreas requeridas para la administración de la construcción. Su construcción se hará por módulos y contará con un baño con lavamanos y sanitario.

##### 3.4.1.5.2 Almacenes

Los almacenes tienen las mismas características técnicas que las oficinas. Se dispondrá de un almacén en el sitio de casa de máquinas hasta el momento de construcción de esta estructura, allí se guardarán los materiales, equipos de



protección individual, herramientas menores, entre otros que puedan ser requeridos en el proyecto.

#### 3.4.1.5.3 Casino

Dada la cercanía que tiene el proyecto con el casco urbano del municipio de Cocorná se propone que la comida sea suministrada y transportada desde éste.

#### 3.4.1.5.4 Talleres y estaciones de abastecimiento de gasolina

Se plantea la construcción de un taller para la reparación y mantenimiento de la maquinaria y equipos requeridos en el proyecto, donde se ubicará igualmente una estación para el suministro de combustible de la maquinaria y equipos.

#### 3.4.1.6 Planta trituración y planta de mezcla de concretos

En este proyecto no se requiere instalar una planta de trituración debido a que los materiales granulares para la elaboración de los concretos serán comprados en canteras licenciadas cercanas a la zona del proyecto (ver numeral 3.4.1.24).

Para la elaboración de concretos, en lugar de una planta, se propone utilizar mezcladoras portátiles de concreto con capacidades de 1 saco, 1,5 sacos o 2 sacos, tanto eléctricas como a gasolina (prefiriendo las primeras que serían adosadas a plantas eléctricas pequeñas con potencias mayores a 1 HP). Su cantidad será definida por el número de frentes de trabajo simultáneos y serán distribuidas en todos los sitios donde se efectuarán vaciados de concreto con criterios de distancia de menor acarreo del concreto producido. Debido a la relativa cercanía con Medellín, 72 km, puede también pensarse en suministros de concreto premezclado fabricado en plantas localizadas al iniciar la autopista Medellín-Bogotá y en algunos municipios del oriente (Marinilla y Rionegro). En la Tabla 3-15 se desglosan los volúmenes de concreto necesarios para las obras del proyecto:

Tabla 3-15. Volúmenes de concreto requeridos

Obra		Concretos (m³)
Captación	Generales	4.617
	Desarenador	776
	Tanque de carga y canal de excesos	855
<b>Subtotal Captación</b>		<b>1635.617</b>
Casa de máquinas		830
Canal de descarga		500
<b>Total</b>		<b>2965.617</b>



### 3.4.1.7 Infraestructura para el suministro de agua

Durante la construcción se requiere el suministro de agua para actividades como la elaboración del concreto, para riego de vías, lavado de equipos y maquinaria y para servicios sanitarios y de aseo.

Para satisfacer las demandas industriales para las actividades descritas, se propone la ubicación de dos captaciones que garanticen la dotación del agua requerida para la construcción. A continuación, en la Tabla 3-16 se muestran las características propias de cada una de las implementar para la fase constructiva del proyecto.

Tabla 3-16. Concesiones para uso industrial en etapa constructiva

Concesión N°	Zona	Actividad	Caudal (l/s)	Tipo de uso	Coordenadas*		Fuente
					Este	Norte	
1	Captación	Fabricación de concretos	0,6	Industrial	874316	1160216	Río Cocorná
		Lavado y mantenimiento de vehículos y maquinaria	0,5				
		Riego de vías	0,1				
Total			1,2				
2	Casa de Máquinas	Fabricación de concretos	0,6	Industrial	877599	1160160	Río Cocorná
		Lavado y mantenimiento de vehículos y maquinaria	0,5				
		Riego de vías	0,1				
Total			1,2				

El agua necesaria para la elaboración de concretos y para el lavado de vehículos, se captará por medio de un sistema de toma lateral, y el agua se conducirá a través de una tubería a presión. Por su parte, el agua que se empleará para el riego de vías se captará a través de bombeo directo al carro cisterna. El recurso no requiere de tratamiento para su uso en las actividades expuestas, y la concesión se solicita temporalmente por el tiempo que dura la construcción del proyecto.

En cuanto a la captación para la generación de energía, en la Tabla 3-17 se presenta la información correspondiente:



Tabla 3-17. Concesión para generación de energía

Concesión N°	Zona	Actividad	Caudal (l/s)	Tipo de uso	Coordenadas*		Fuente
					Este	Norte	
3	Captación	Generación de energía	10.600	Industrial	874391	1160076	Río Cocorná

Adicional a las captaciones antes descritas, se cuenta con otras dos concesiones destinadas al uso doméstico durante la construcción, es decir, para servicios sanitarios y lavado de manos. No se requiere tratamiento para su uso y la captación será realizada por medio de tubos perforados o tubos con rejilla (para la retención de sólidos) que se colocan en el fondo del cauce por donde se capta el agua a través de bombas. Cabe aclarar, como se mencionó al principio de este numeral, que el agua para el consumo humano será suministrada por medio de botellones. A continuación, en la Tabla 3-18 se presenta el detalle de las concesiones empleadas con fines domésticos.

Tabla 3-18. Concesiones para uso doméstico

Concesión N°	Zona	Actividad	Caudal (l/s)	Tipo de uso	Coordenadas*		Fuente
					Este	Norte	
4	Captación	Servicios sanitarios y lavado de manos	0,003	Doméstico	874316	1160216	Río Cocorná
5	Casa de Máquinas		0,021	Doméstico	877599	1160160	Río Cocorná

Se dispondrá de una sexta concesión que tendrá la finalidad de abastecer la red contra incendio del proyecto y el sistema de aire acondicionado durante su etapa de operación. En la Tabla 3-19 se presenta el detalle de este último punto:

Tabla 3-19. Concesión para red contra incendio y aire acondicionado

Concesión N°	Zona	Actividad	Tipo de uso	Caudal (l/s)	Coordenadas*		Fuente
					Este	Norte	
6	Casa de Máquinas	Red contra incendios	Industrial	30	877599	1160160	Río Cocorná
		Sistema aire acondicionado		0,1			
Total				30,1			



#### 3.4.1.8 Infraestructura para el suministro de energía

El proyecto requiere de energía en sus tres principales frentes de trabajo: captación, conducción y casa de máquinas. Dicha energía es necesaria para abastecer los servicios de soldadura, corte de perfiles en acero, iluminación para los trabajos en horario nocturno, maquinaria como los vibradores de concreto.

Para el suministro de energía, como mínimo se emplearán 3 plantas eléctricas de mediana capacidad, localizadas en los tres frentes de trabajo. Posteriormente, de acuerdo con las necesidades que vaya presentando el proyecto, se emplearán adicionalmente plantas pequeñas que satisfagan la demanda energética de la construcción.

#### 3.4.1.9 Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto

El proyecto hidroeléctrico en estudio no tiene contemplado interceptar redes de servicio o infraestructura alguna. Únicamente se prevé la conexión y/o mejoramiento de las vías ya mencionadas (ver numeral 3.3.1.1) para facilitar el acceso a la zona de captación y casa de máquinas.

#### 3.4.1.10 Sistema de desvío del río Cocorná

Con el objetivo de tener el lecho del río seco durante la construcción del azud/zona de captación, se prevé la construcción de un elemento que permita conducir el agua del río temporalmente hasta que se termine dicha obra.

Para la construcción de las obras de captación (azud y muros de cierre) se requiere realizar la desviación del río. Esta desviación se realizará a través de una ataguía que consiste en un dique construido en roca y material aluvial simplemente depositado, apilado y extendido sobre la zona inmediatamente aguas arriba del lecho del río que queremos mantener en seco. Dicha ataguía tendrá una creciente de diseño igual o mayor a un periodo de retorno de 10 años, esto con el fin de garantizar la seguridad de los frentes constructivos.

El encauzamiento se realizará en dos etapas; inicialmente se hará hacia la margen derecha del río, de tal forma que se pueda realizar la construcción de la mitad izquierda del azud (ver Figura 3-41). Esta primera etapa se estima que tenga una duración de 8 meses, dentro de los cuales se realizarán las siguientes obras:

- 2 módulos de azud
- Descarga de fondo
- Desgravador y descarga de caudal ambiental
- Estructura de captación
- Muro de cierre izquierdo



- Canal de aducción y vertedero de excesos
- 2 módulos desarenadores
- Tanque de carga
- Caseta de la válvula mariposa

Posteriormente, se realizará el encauzamiento hacia el lado izquierdo del río para proceder a construir la mitad derecha del azud (ver Figura 3-42). Se estima que esta segunda fase tenga una duración aproximada de 2 meses, donde se desarrollarán las obras sobre la margen derecha del río y se construirán los 3 módulos del azud restantes y el muro de cierre derecho.

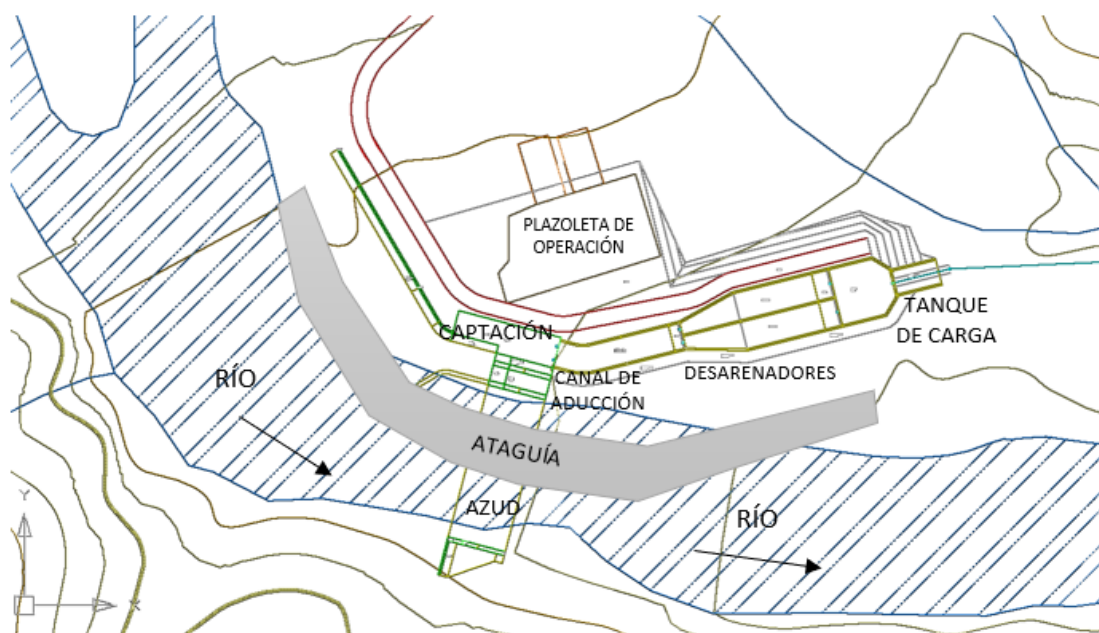


Figura 3-41. Primera etapa constructiva de la ataguía





Figura 3-42. Segunda etapa constructiva de la ataguía

Para la construcción de la ataguía se deben preparar las cimentaciones y colocar los materiales que la componen de acuerdo con las líneas y elevaciones mostradas en los planos de diseño. Sin embargo, debido a la variabilidad local que puede presentar el terreno, podrían variar dichos niveles hasta lograr que el desplante de las estructuras se realice sobre roca o materiales adecuados, removiendo totalmente la capa vegetal, restos de basura, troncos, ramas, depósitos de talud, depósitos de materiales sueltos en el cauce, etc.

La distribución de los materiales en las ataguías debe ser tal que no se presenten lentes, bolsas, franjas y capas de material sustancialmente diferente en granulometría de la que se encuentre alrededor, dentro de una misma zona de materiales. Todo el material debe ser extraído, transportado y colocado en forma tal que se asegure que el material no esté segregado antes de ser extendido.

Una vez finalizada la construcción del azud y de algunas de sus obras complementarias el dique será retirado y se restaurará el cauce a su condición inicial.

#### 3.4.1.11 Obras de captación

La captación del proyecto se localiza en las coordenadas 874409 Este, 1160046 Norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas, origen: central), en la cota 1345 msnm, operará a filo de agua y aprovechará un caudal de  $10,6 \text{ m}^3/\text{s}$  del río Cocorná respetando el caudal ambiental medio mensual de  $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor promedio),  $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal ambiental medio máximo correspondiente al mes de mayo) y  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal ambiental medio mínimo correspondiente al mes de agosto).



El proceso constructivo para las obras de captación consiste en:

- Replanteo
- Excavaciones hasta roca firme
- Construcción de cimentación
- Construcción del azud, muros laterales y canal colector
- Verificación de fisuras en el muro de contención
- Destrucción del sistema de desvío del río (ataguía y contra-ataguía)

En la Foto 3-12 podrá apreciarse la zona destinada para las obras de captación:



Foto 3-12. Zona de captación

Las centrales a filo de agua utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse y turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada.

Se cuenta con una compuerta plana que cumple la función de retornar el caudal ambiental captado y el caudal de excesos en eventos de crecientes, con el objetivo de descargarlo aguas abajo de la piscina de disipación. De igual manera, se dispondrá



de un tanque desgravador para atrapar las partículas más grandes antes de su entrada al desarenador.

Dentro del Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos, en el plano COC3-PL-DERIV\_01\_02 se verá en mayor detalle los aspectos aquí mencionados.

#### 3.4.1.11.1 Vertedero de crecientes

El vertedero de crecientes estará conformado por el azud en concreto y los muros laterales de cierre. Es un elemento fundamental del proyecto toda vez que garantiza la derivación del caudal a utilizar y el manejo de las crecientes futuras del río. Por ello deben estudiarse con detenimiento y detalle tanto su posicionamiento como su alineación con el fin de optimizar sus dimensiones y conseguir el comportamiento hidráulico más adecuado, evitando al máximo efectos laterales nocivos a los predios adyacentes.

El dimensionamiento se realizó a partir de los criterios definidos por el *U.S. Bureau of Reclamation* (United States Department of the Interior, 1987). El azud tendrá 4 m de paramento que equivale a la altura desde el lecho del río hasta la cresta del azud, 40 m de ancho y 15 de largo.

Los muros laterales y de cierre se han previsto para encauzar el río y mantener el flujo dentro de la estructura. La cota de su cresta se determinó para que la crecida de diseño de 200 años no sobrepase la estructura.

#### 3.4.1.11.2 Descarga de fondo.

Adyacente al vertedero de crecientes se ubica la descarga de fondo (4,00 m x 4,00 m) dotada de una compuerta radial, destinada tanto a la evacuación de los sedimentos que se acumulen en el lecho del río como a la función adicional de desfogue auxiliar durante crecientes máximas.

#### 3.4.1.11.3 Captación lateral

La toma de aguas se hará mediante una captación lateral que se implantará a continuación de la descarga de fondo. Tendrá un sistema de rejas que servirán de filtro para el ingreso del agua y cuya limpieza se prevé sea realizada desde la plataforma superior de la estructura. Esta estructura también presenta la posibilidad de instalar un limpia rejas mecanizado para aumentar la eficiencia. Tal disposición facilita la evacuación de los sedimentos acumulados cerca de las rejas disminuyendo así el ingreso de partículas y elementos extraños. Esta estructura consta una reja de tipo lateral que permitirá el paso del caudal captado de forma segura y sin material granular o gravas, dado que dispone de una fina reja que no permite el paso de materiales con diámetro mayor a 1 pulgada. Dicha reja tiene una sección transversal de 8,0 m x 3,0 m como se ven la Figura 3-43. Las dimensiones generales de la estructura de captación son un ancho variable de 6,00 y 8,0 m por 27,0 m de largo.



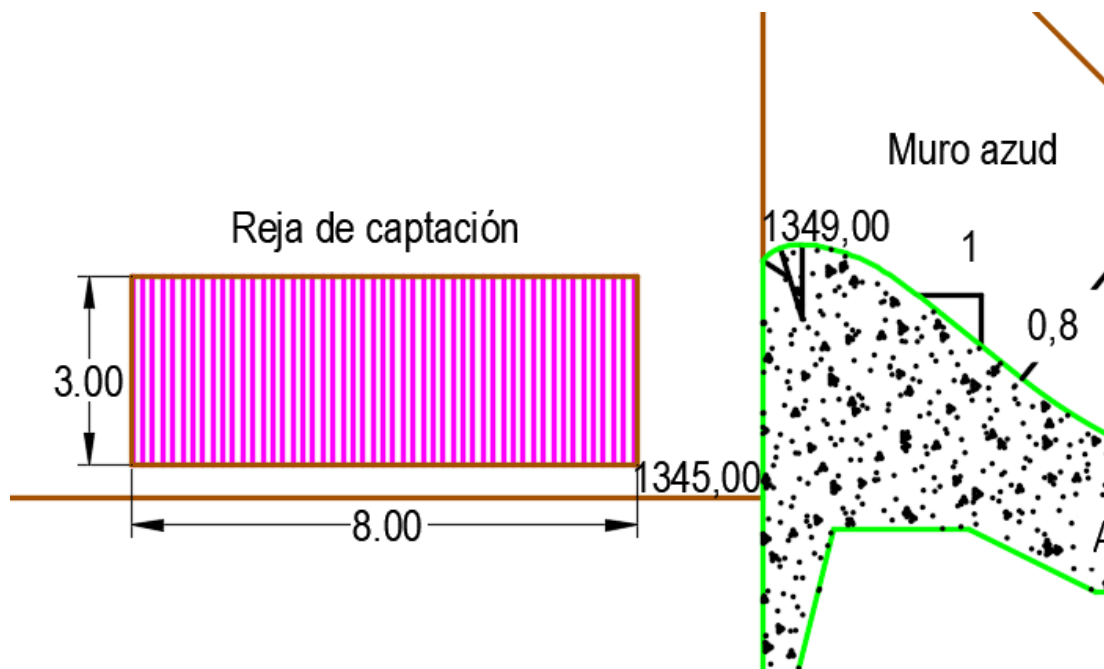


Figura 3-43. Perfil longitudinal reja de captación

#### 3.4.1.11.4 Trampa de gravas y canal de evacuación del caudal ambiental.

Dentro de la estructura de captación, al pie de las rejas y a un nivel inferior, se dispone la trampa de gravas, la cual descarga en el orificio destinado a la evacuación del caudal ambiental o de garantía ambiental (variable mensual entre un mínimo de 2,3 m<sup>3</sup>/s en agosto y un máximo de 4,6 m<sup>3</sup>/s en mayo). Para garantizar la descarga del caudal ambiental máximo se provee un orificio de 2,00 m x 1,0 m dotado de una compuerta plana vertical con nivel de fondo, el cual continúa en un canal paralelo a la descarga de fondo.



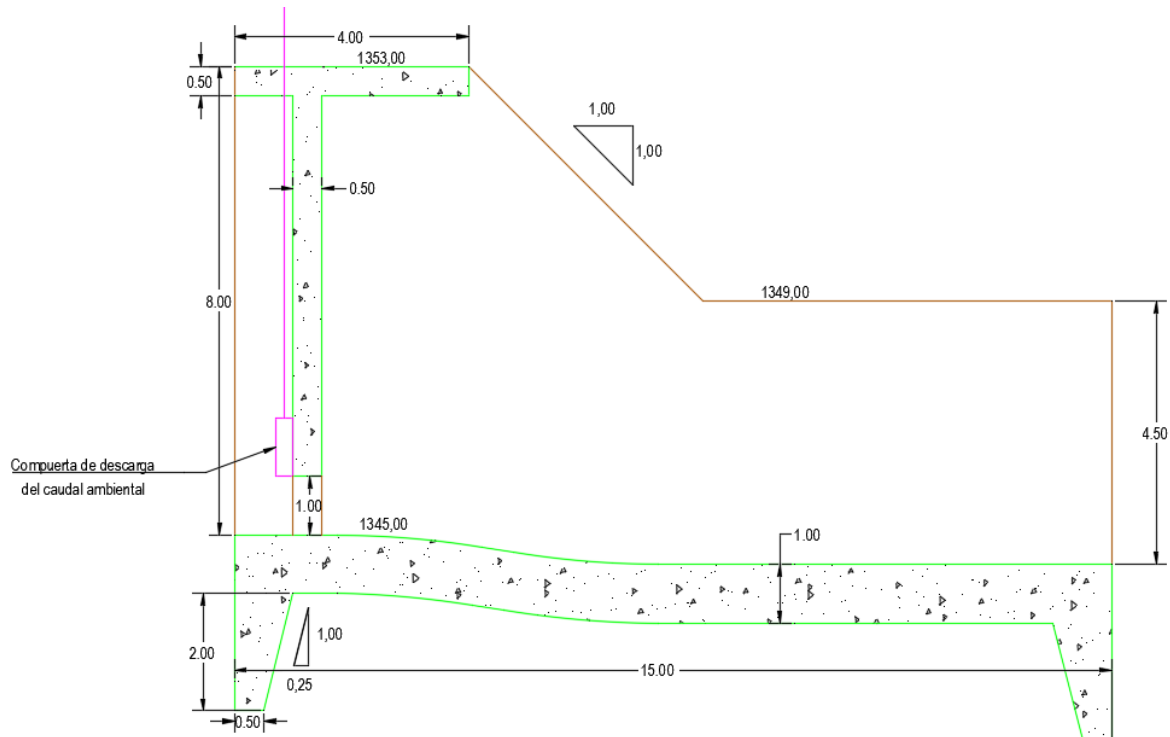


Figura 3-44. Perfil del canal de caudal ambiental

La compuerta para el caudal de garantía ambiental y la graduación de su apertura fue diseñada para la condición de caudal mínimo aprovechable para la generación de energía, correspondiente a  $2,65 \text{ m}^3/\text{s}$  (25% del caudal de diseño). Así, el nivel mínimo de agua sobre la compuerta de descarga del caudal ambiental está dado por el nivel necesario para el ingreso del caudal mínimo al sistema, el cual se obtiene a través del cálculo del perfil de flujo de las obras de derivación.

#### 3.4.1.11.5 Canal de aducción

Para el diseño hidráulico del sistema de conducción a flujo libre desde la estructura de captación hasta los desarenadores se utiliza la condición normal de operación: el caudal de diseño del proyecto ( $10,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

En la condición de creciente del río la operación de la central ha de ser suspendida para evitar la afectación de los equipos. La compuerta de entrada al canal de aducción, ubicada en la estructura de captación, ha de permanecer cerrada impidiendo la entrada del agua al sistema.

Para crecientes con periodos de retorno mayores a 2,33 años, en caso de que permanezca abierta la compuerta de la captación se produce desbordamiento en las obras de derivación. Aun cuando la función primordial de la compuerta de fondo es el tránsito de los sedimentos, bajo una situación de inundación se especifica que sea mantenida abierta contribuyendo así a la evacuación del agua.



A fin de evitar daños mayores, como práctica sana se recomienda detener la operación de la central cuando el caudal sobrepase 57,5 m<sup>3</sup>/s (5 veces el caudal medio del río Cocorná en el sitio de captación). En esta condición se recomienda suspender la operación y de inmediato proceder al cierre de la compuerta ubicada en la estructura de captación (compuerta de cierre del sistema).

El canal de aducción inicia con un ancho de 8,0 m y finaliza con uno de 6,50 m. Su altura es de 6,0 m y cuenta con una longitud de 32,60 m, descendiendo desde la zona de captación con una pendiente del 0,10% hasta la entrada a la zona de transición donde se conduce el agua hasta los desarenadores (ver Figura 3-45).

El canal de aducción es definido en conjunto con las zonas de transición y el desarenador utilizando un perfil de flujo planteado a partir del vertedero de salida del desarenador hasta el nivel aguas arriba del azud.

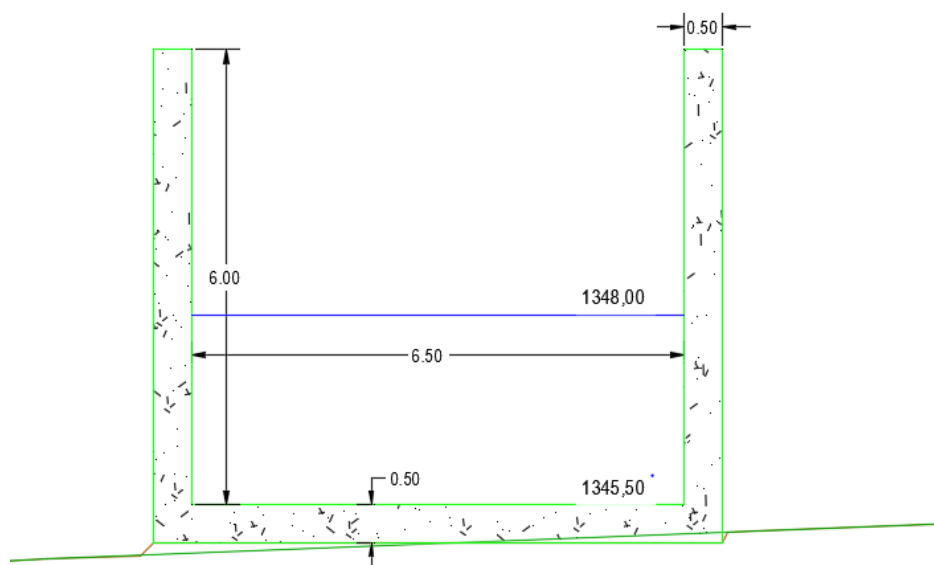


Figura 3-45. Perfil transversal canal de aducción

Los planos técnicos con el detalle del canal de aducción se encuentran dispuestos en el Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos en el plano COC3-PL-DERIV\_01\_02.

#### 3.4.1.12 Desarenador

Para evitar que los sedimentos del agua generen problemas en la conducción o en las turbinas, se dispondrá de un tanque desarenador, el cual conecta el canal de aducción con el tanque de carga.



El desarenador, ubicado en las coordenadas 874470 este y 1160085 norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas, origen: central) y en la cota 1342,93 msnm y abscisa K0+126, es la estructura hidráulica cuya función principal es la decantación de los sedimentos transportados por la corriente en suspensión, provenientes del lecho y laderas (desprendimiento por gravedad, y escurrimiento tras eventos de lluvia) principalmente, y evitar que este material particulado produzca obstrucciones o daños por abrasión y desgaste en la conducción y respectivos accesorios, o a los equipos electromecánicos de la casa de máquinas.

El desarenador se construye con la finalidad de remover el sedimento en suspensión en la menor distancia posible, evitando el impacto del material particulado sobre una mayor extensión de obras. La geometría es generalmente prismática, alargada, de sección transversal rectangular, y fondo piramidal truncado con canales de evacuación para facilitar la purga de lodos generados al río nuevamente.

Dentro de las celdas del desarenador la velocidad de flujo y la longitud del canal deben ser tales que permitan que las partículas sólidas que se encuentran en suspensión caigan por acción gravitacional al fondo del canal.

El diseño de las celdas del desarenador se basó en el marco teórico de la “velocidad de sedimentación de partículas discretas” (Pérez Parra, 1998). Donde se realizan las siguientes consideraciones:

- El asentamiento ocurriría exactamente como sucedería con un fluido en reposo
- La concentración de partículas a la entrada es homogénea

Como condición de diseño se debe cumplir que la velocidad horizontal en el desarenador debe ser menor que la velocidad de re-suspensión (Pérez Parra, 1998). Debido a que dentro de las variables involucradas en las fórmulas utilizadas para la verificación de esta condición se incluyen las dimensiones del desarenador, su dimensionamiento se realizó mediante un procedimiento iterativo, hasta lograr condiciones de diseño favorables.

La finalidad de un desarenador es la de eliminar o separar del agua aquellas partículas sólidas más densas que ésta, principalmente las arenas por medio de la fuerza gravitacional. En general, un desarenador puede eliminar del agua limos, arcillas, arenas, y grava fina. El tamaño de partícula de diseño está en función del salto neto, y del tipo de turbina, de forma tal que cumpliera con los requerimientos recomendados en la literatura técnica para minimizar daños en las turbinas (Tabla 3-20 y Tabla 3-21).

Tabla 3-20. Definición de la partícula de diseño en función del Tipo de Turbina

Tipo de Turbina	Diámetro partícula (mm)
Pelton	0,2 – 0,4



Tipo de Turbina	Diámetro partícula (mm)
Francis	0,4 - 1
Kaplan	1 - 3

Tabla 3-21. Definición de la partícula de diseño en función del salto bruto

Salto neto (m)	Diámetro partícula (mm)
500 – 1000	0,1
300 – 500	0,3
200 – 300	0,5
100 - 200	0,6

Los desarenadores se diseñan con base en la Teoría de la Sedimentación Simple de Partículas Discretas, es decir, la Ley de Stokes, en la cual la velocidad de decantación de las partículas en el agua, principalmente arenas, es función del tamaño, la forma, y la densidad relativa de las partículas, además de la temperatura, y viscosidad del agua.

Se considera además que las partículas son trasladadas horizontalmente con la misma velocidad de pasaje del agua por el tanque, lo que implica que no existe fricción en el sentido horizontal, hipótesis simplificativa que permite esbozar un esquema simple de cálculo, implicando un pequeño sobredimensionado porque el efecto de "freno" no es considerado y la longitud de la estructura de la sedimentación resultará imperceptiblemente más larga que la teórica.

Para el desarrollo de la Teoría de Sedimentación y su aplicación práctica en estructuras, se realizan además las siguientes hipótesis simplificadoras de la decantación de partículas (Pérez Parra, 1981) (Marbello Ortiz, 2013):

- El escurrimiento en el tanque es uniforme (velocidad constante), a través del tanque desarenador.
- El asentamiento ocurre similarmente como en un recipiente con fluido (líquido) en reposo de igual profundidad que el sedimentador.
- La concentración de partículas de cada tamaño (distribución por tamaño) a la entrada de la Zona de Sedimentación es Homogénea, e igual en toda la sección transversal del flujo.
- La dirección de flujo es horizontal, con velocidad media constante, e igual en todos los puntos del tanque, y menor que la velocidad de arrastre de lodos.



- Todas las partículas son discretas, y sedimentan sin interferencias con una velocidad de sedimentación en función del tamaño y peso específico.
- La velocidad de asentamiento de la partícula,  $V_s$ , es constante, por lo cual la trayectoria de ésta es una línea recta.
- Una vez que las partículas llegan al fondo quedan eliminadas del agua que escurre por el tanque de sedimentación.
- Todas las partículas se consideran discretas, y sedimentan sin interferirse entre sí.

El proceso constructivo para el tanque desarenador es el siguiente:

- Trazo y replanteo
- Movimiento de tierra
- Construcción de obras en concreto
- Pruebas hidráulicas

En la Figura 3-46 se muestra el esquema de las principales zonas que contiene un desarenador convencional, las cuales serán explicadas posteriormente.

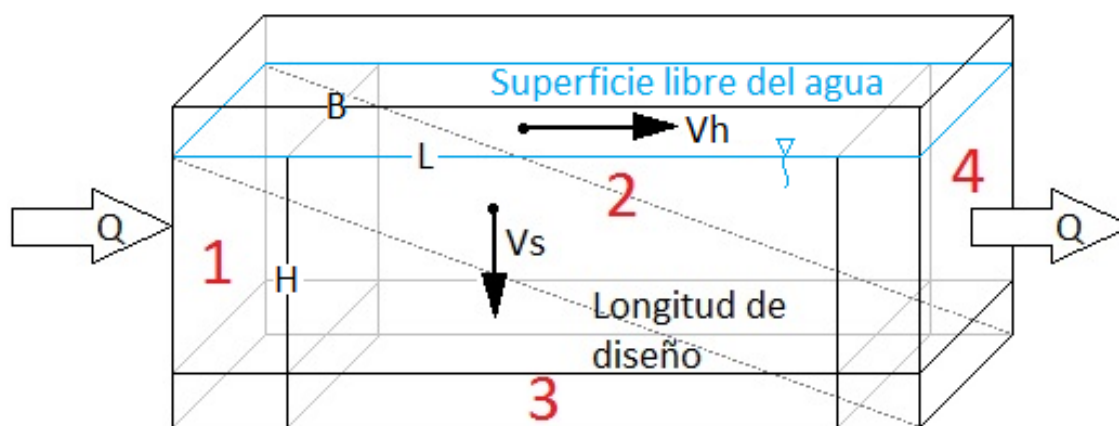


Figura 3-46. Esquema de los componentes principales de un desarenador convencional

Modificado de: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/ani4054.html>

En la figura anterior las zonas corresponden a:

#### 3.4.1.12.1 Zona de llegada

Corresponde a la zona demarcada con el número 1 en la Figura 3-46. Es la entrada a los tanques desarenadores desde el canal de aducción y se realiza mediante un canal desviador.



#### 3.4.1.12.2 Zona de transición

Para lograr una óptima sedimentación de las partículas sólidas se requiere que la distribución de las líneas de flujo a la entrada de las celdas del desarenador sea uniforme, para lo cual se debe disminuir la velocidad del flujo. Esto se consigue ampliando la sección hidráulica del canal, en la llamada zona de transición (ver Figura 3-47), donde la sección del canal varía tanto horizontal como verticalmente.

Se recomienda que la transición horizontal se haga en ángulos menores a 12,5° para que la redistribución de las líneas de flujo sea “suave” (Organización Panamericana de la Salud, 2005), La transición vertical no tiene limitaciones físicas ni constructivas.

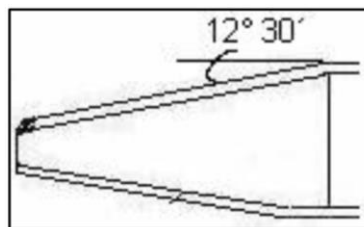


Figura 3-47 Zona de transición de entrada al desarenador

De esta manera, para conseguir un ángulo igual a 12,5° se emplea la Ecuación 3-2 para calcular la longitud de transición requerida:

$$Lt = \frac{B_{des} - B_{can}}{2 \tan 12,5^\circ} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

Lt: longitud de transición

B<sub>des</sub>: ancho del desarenador a nivel de la superficie libre

B<sub>can</sub>: ancho del canal a nivel de la superficie libre

#### 3.4.1.12.3 Zona de sedimentación

Dentro de las celdas del desarenador la velocidad de flujo y la longitud del canal deben ser tales, que permitan que las partículas sólidas que se encuentran en suspensión caigan por acción gravitacional al fondo del canal. Para cumplir con los criterios de diseño y la metodología empleada, cada tanque una sección transversal de 7,00 m de ancho por 5,00 m de altura.

#### 3.4.1.12.4 Zona de lodos

La zona de lodos, localizada debajo de la zona de sedimentación, tiene la función de almacenar el material sólido que se decanta en el desarenador. Cada celda posee



dos cámaras de almacenamiento, una con pendiente de fondo del 1% y una pendiente transversal del 50%.

En la Figura 3-46 se identifica con el número 3.

#### 3.4.1.12.5 Zona de salida

La zona de salida del desarenador recibe las aguas provenientes de la zona de sedimentación y encauza el líquido clarificado hacia el tanque de carga. En la Figura 3-46 se identifica con el número 4.

A continuación, en la Figura 3-48 se muestra el perfil transversal de los desarenadores descritos en los apartados anteriores:

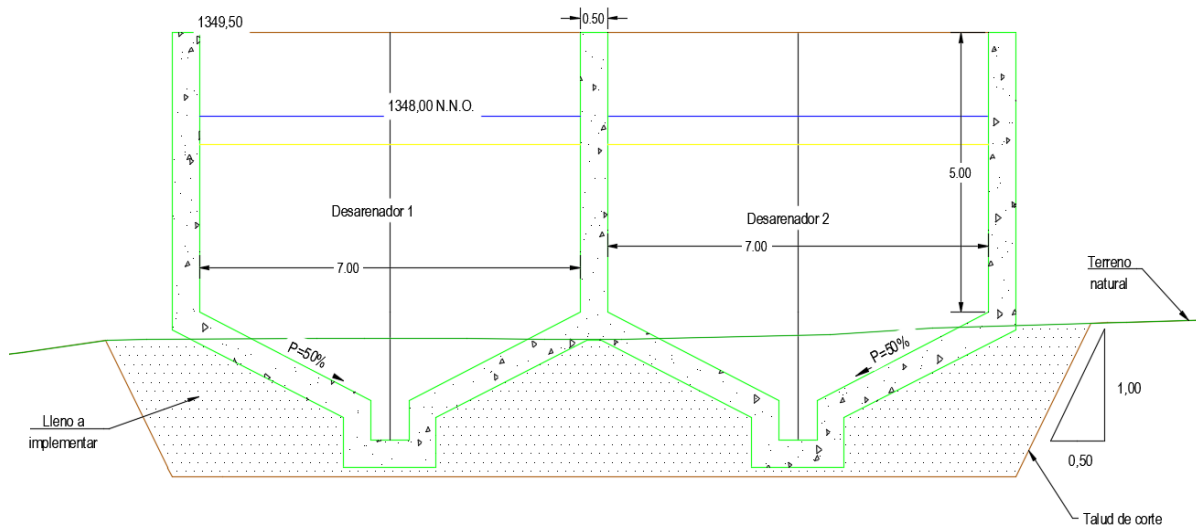


Figura 3-48. Perfil transversal desarenadores

#### 3.4.1.13 Tanque de carga

Contiguo y aguas abajo del desarenador se ubica el tanque de carga (ver Figura 3-49) en las coordenadas 874490 Este y 1160090 Norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas, origen: central). Está destinado a satisfacer tres funciones fundamentales: garantizar la sumergencia mínima del sistema, que la conducción se encuentre presurizada en todo momento y que se disponga de un volumen de almacenamiento que permita la operación del sistema durante el breve lapso de reacción ante una eventualidad en la cual el caudal de generación sobrepase al caudal de aducción.



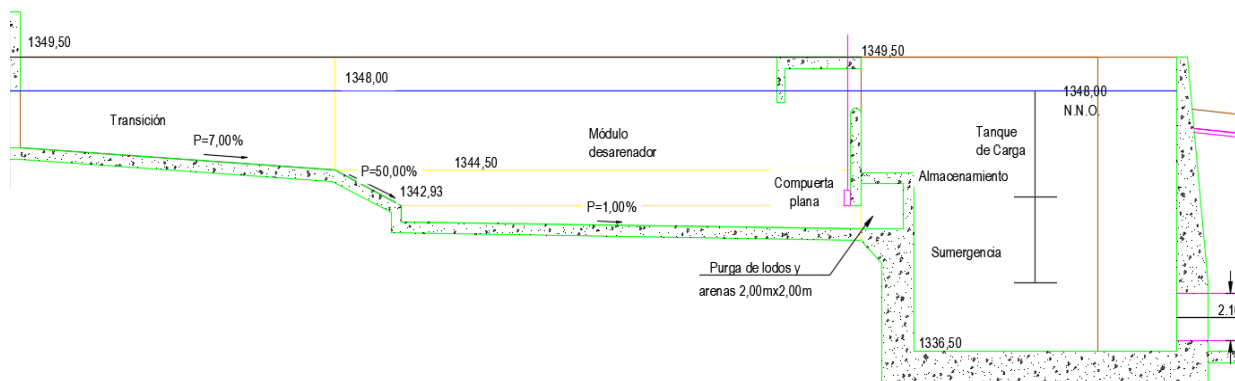


Figura 3-49. Perfil longitudinal de desarenadores y tanque de carga

En el tanque de carga un sistema de medición del nivel de agua enviará señal a los reguladores de velocidad y potencia de las turbinas, para el control del caudal utilizado, de manera que el nivel de agua en el tanque se mantenga por encima de un mínimo prefijado. De esta manera se evitará que entre aire a la conducción y así lograr aprovechar el caudal disponible.

Cuenta adicionalmente con una zona de transición hacia su conexión con la tubería, cuyas dimensiones son: longitud aproximada de 15,0 m y ancho variable desde 14,50 m hasta 6,50 m. A continuación, en la Figura 3-50 se muestra el perfil transversal del tanque de carga cuando su ancho se define en 14,50m:

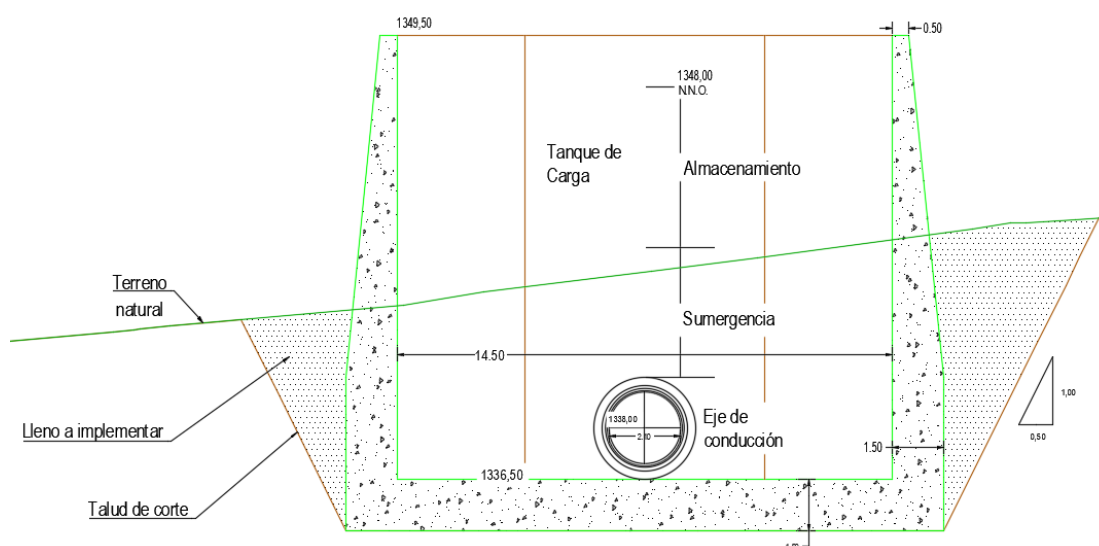


Figura 3-50. Perfil transversal tanque de carga

La construcción del desarenador y del tanque de carga se hace de manera simultánea, de acuerdo con las especificaciones constructivas definidas. Se realiza la



limpieza de la vegetación y el descapote para luego continuar con las excavaciones que se realizarán con retroexcavadora, el material retirado será transportado hacia el ZODME correspondiente. Una vez realizadas las excavaciones se procede a colocar el refuerzo de la losa de piso y de los muros para posteriormente colocar la formaleta y proceder al vaciado.

Cuando el concreto se encuentre debidamente curado y endurecido se procede a colocar los elementos metálicos como son escaleras, pasamanos, rejas y compuertas.

#### 3.4.1.14 Conducción a presión

De acuerdo con los criterios generales esbozados con anterioridad se proyecta el trazado de la ruta procurando evitar el cruce de terrenos inestables, de pendientes transversales pronunciadas o sujetos a erosión o socavación. Se procura adicionalmente minimizar la afectación de la vegetación riparia y evitar negativamente las actividades económicas que se desarrollen en el área.

La conducción a presión consiste en una tubería en GPR de 2,10mm. Dicha tubería inicia su trayecto a la salida del tanque de carga, en la cota 1338 msnm y recorre 3,56 km hasta arribar a la Casa de Maquinas en la cota 1122,55 msnm. En la Figura 3-51 a la Figura 3-54 se muestra el trazado de la conducción:

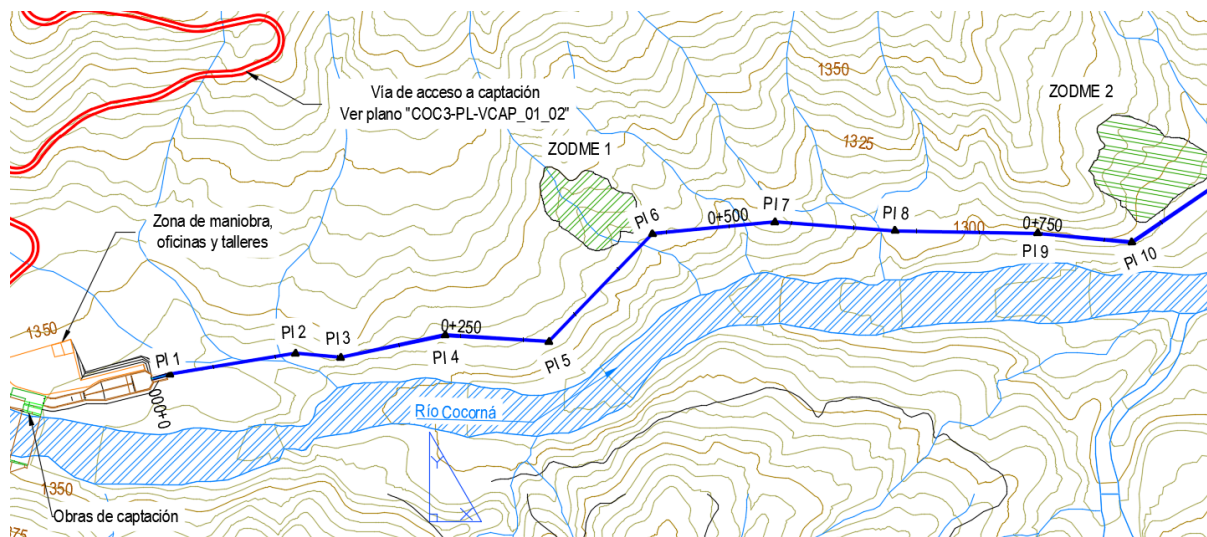


Figura 3-51. Trazado de la conducción a presión abscisas K0+000 a K0+750



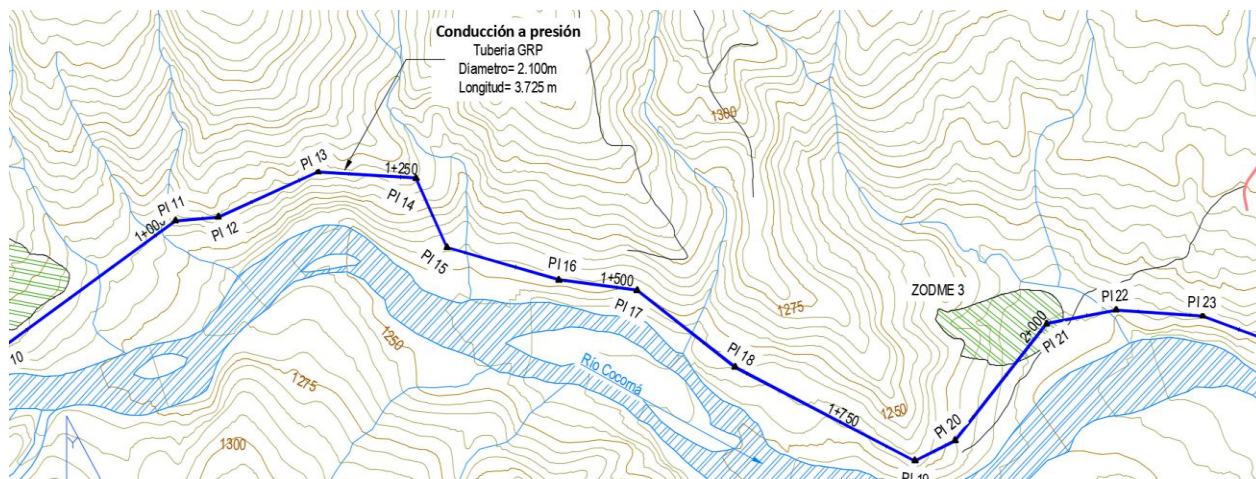


Figura 3-52. Trazado de la conducción a presión abscisas K0+750 a K2+000

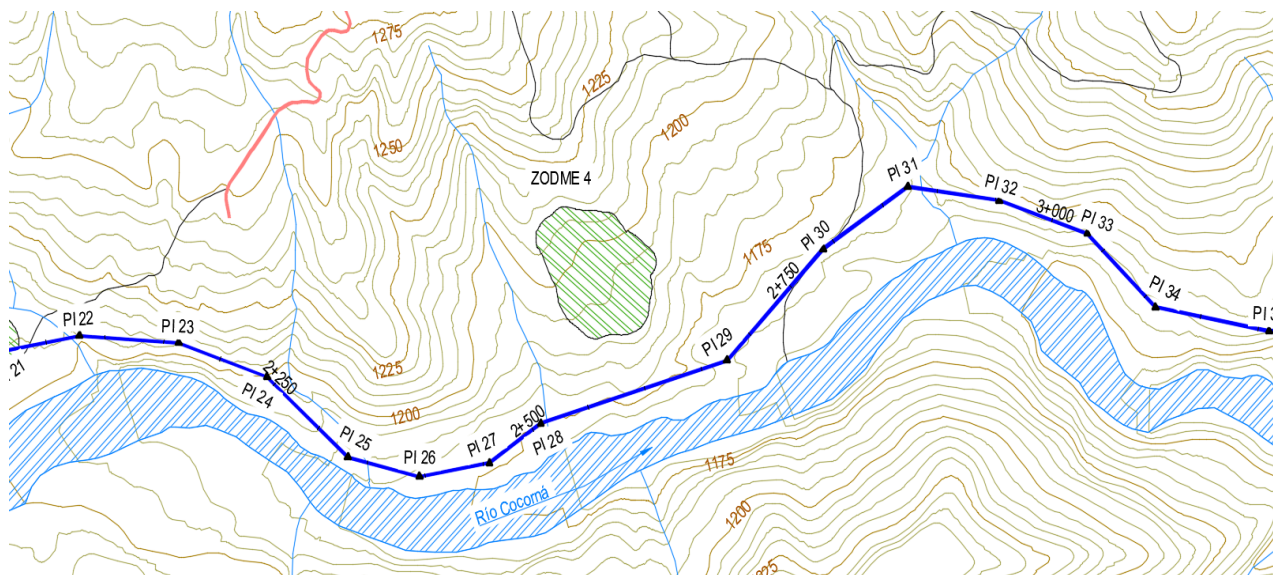


Figura 3-53. Trazado de la conducción a presión abscisas K2+000 a K3+000



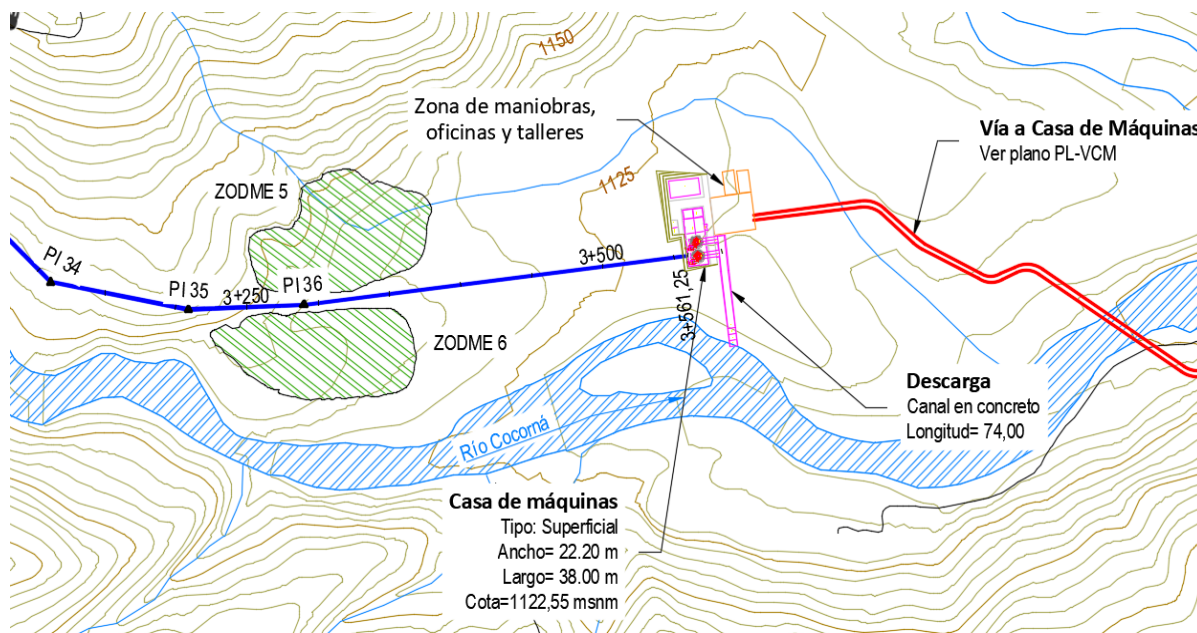


Figura 3-54. Trazado de la conducción a presión abscisas K3+000 a K3+561

Dadas las características de las vías existentes en el área, la movilización de la tubería es limitada, por lo cual se ha dispuesto que la longitud máxima de los tubos individuales sea de 6 m.

En general, la instalación de las tuberías se realizará de acuerdo con los detalles indicados en los planos y siguiendo estrictamente las indicaciones de los fabricantes de la tubería. Previo a su colocación, deberá limpiarse cuidadosamente de todas las materias extrañas que contenga.

A lo largo de su recorrido la tubería estará en todo momento de manera subterránea, excepto para los cruces de drenaje. Cuando vaya de manera subterránea, se dispondrá de una zanja lo suficientemente ancha como para permitir la colocación de la tubería y las actividades y maniobras asociadas a este procedimiento (ver Figura 3-55). El ancho de la zanja dependerá de las condiciones propias del terreno, sin embargo, tomará un valor promedio de 3,30 m. El asiento de la zanja proveerá un apoyo constante y uniforme para la tubería.

El espesor de la capa de asiento en arenilla se puede calcular como la cuarta parte del diámetro nominal del tubo, pero no excederá 15 cm.

Si en el fondo de la zanja hay rocas, suelos blandos, inestables o altamente expansivos, es necesario incrementar la profundidad de la capa de asiento para alcanzar un adecuado soporte longitudinal o realizar procesos de estabilización que minimicen los asentamientos diferenciales.



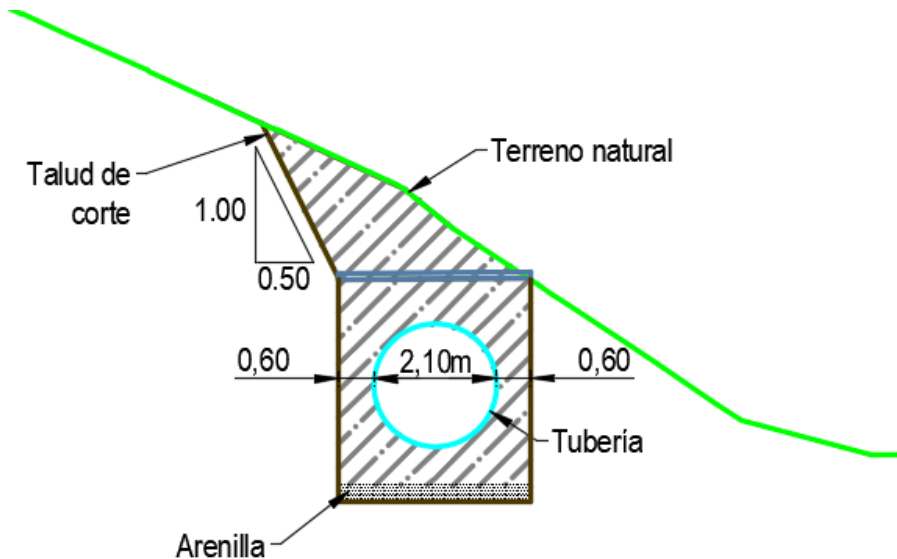


Figura 3-55. Sección típica de la tubería

Si el nivel freático se encuentra por encima del fondo de la zanja, éste será abatido como mínimo hasta el fondo (y preferiblemente 200 mm por debajo del fondo) de la zanja antes de preparar la cama de asiento de la tubería.

Cuando sea necesario cruzar un afluente, la tubería saldrá a la superficie y deberá ser dispuesta de forma aérea, es decir que su apoyo será sobre puente ductos tipo cercha. Cada tubería será apoyada por lo menos en dos silletas y anclada a una de estas (ver Figura 3-56). La silleta restante servirá como guía, permitiendo la expansión longitudinal de la tubería, pero restringiendo los movimientos laterales. Para las tuberías apoyadas en más de dos silletas, la silleta más cercana al centro de la tubería se debe utilizar como anclaje. Los anclajes serán situados con el espaciamiento regular para asegurar la distribución uniforme de la expansión longitudinal de la tubería en las uniones. Sin embargo, la distancia entre los dos anclajes (puntos fijos de sujeción) no debe superar los 6 m.



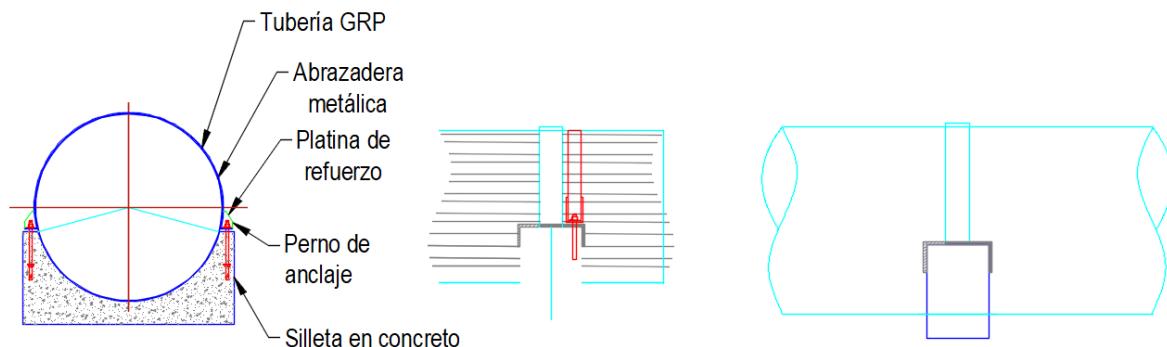


Figura 3-56. Tubería apoyada en silletas y con anclaje

En los cambios de dirección de la tubería (vertical o en planta) y en los cambios fuertes de pendiente es necesario crear bloques de anclaje en concreto reforzado (ver Figura 3-57 y Foto 3-13) dado que son los puntos de mayor esfuerzo y existe el riesgo de que en las juntas ocurra un desplazamiento debido a la excesiva presión. La función de los bloques de anclaje es transmitir la carga que recibe por parte de la tubería al suelo y así alivianar las presiones que esta puede sufrir.

Cada uno de estos bloques se fundirán en dos etapas, la primera etapa se realiza hasta nivel de piso de trinchera y la totalidad del acero de refuerzo vertical estará embebido en esta etapa. La segunda etapa de los bloques se realiza una vez instalada la sección de tubería correspondiente (alineación completa mediante un minucioso levantamiento topográfico). Si constructivamente es factible se podrán vaciar en tres etapas.

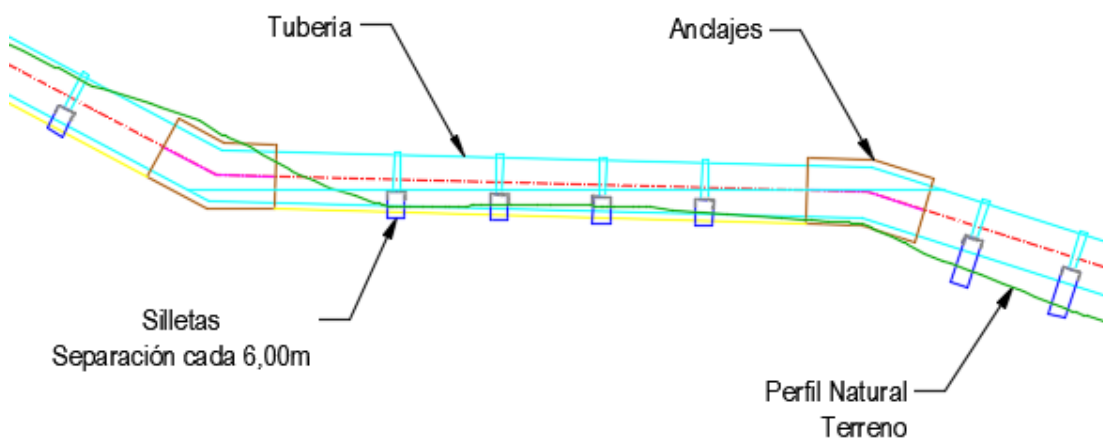


Figura 3-57. Tubería en silletas con anclajes





Foto 3-13. Bloques de anclaje en concreto reforzado en tubería aérea

Fuente: Domínguez (n.d.)

A continuación, en la Figura 3-58 se muestra el perfil de la conducción a presión:



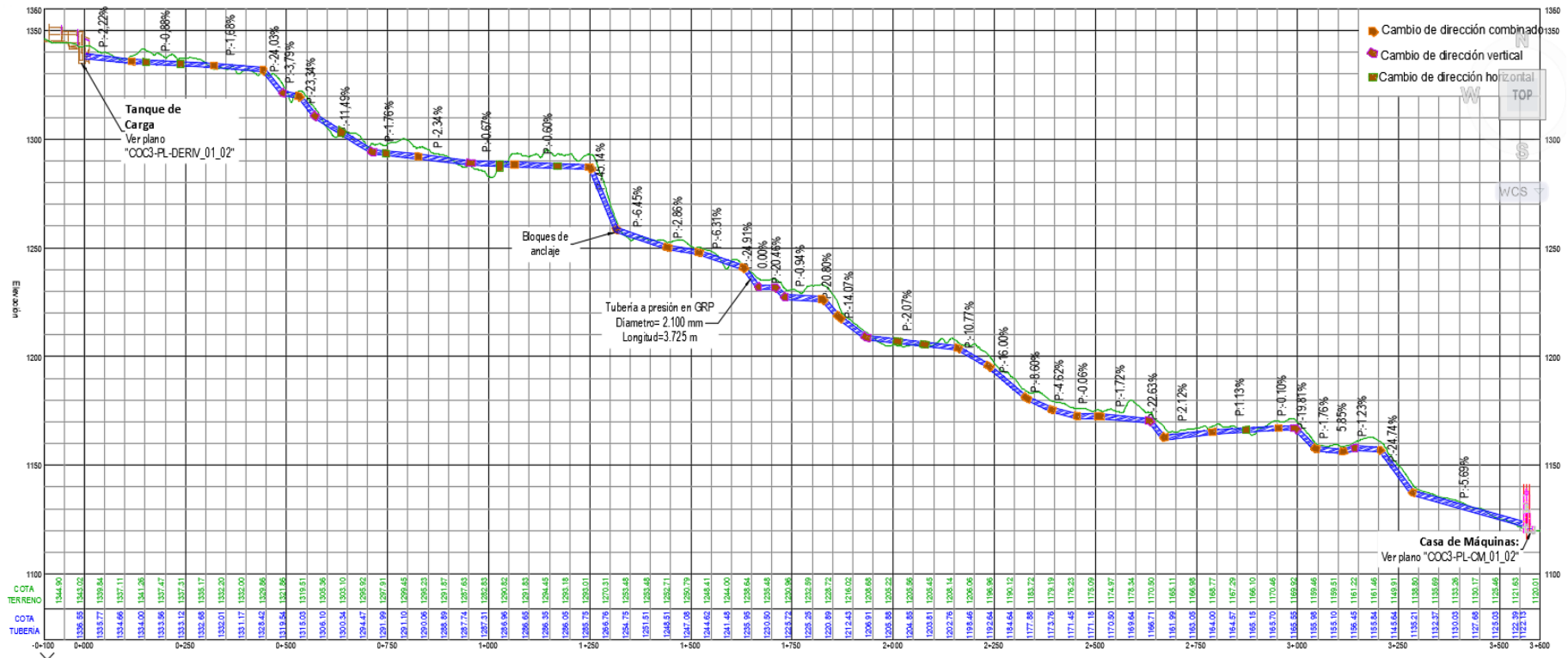


Figura 3-58. Perfil de conducción a presión (ver Anexo 2. Memorias y Planos Técnicos. Plano COC3-PL-COND\_01)



#### 3.4.1.15 Casa de máquinas

De acuerdo con la topografía del terreno y al análisis de estabilidad de taludes se definió una casa de máquinas de tipo superficial. Se localizará en las coordenadas 877722 Este y 1160275 Norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas, origen: central). Tendrá un ancho de 22,2 m y un largo de 38,0 m, ver Foto 3-14 y Foto 3-15.

El dimensionamiento general de la casa de máquinas se efectuó de manera que fuera posible alojar en ella las dos unidades de generación que corresponden a turbinas tipo Pelton, con una capacidad instalada 5,3 m<sup>3</sup>/s por unidad, con los correspondientes equipos electromecánicos asociados.

Para las distintas áreas de la estructura principal se definieron su disposición y dimensionamiento, buscando proveer espacios razonables y cumplir con los requerimientos de los fabricantes de equipos.

Es de anotar, que el dimensionamiento de los equipos fue realizado a partir de proyectos ya construidos y de información de varios fabricantes; para la etapa de construcción se deberán hacer ajustes en la obra civil de acuerdo con los diseños definitivos de los equipos.

La casa de máquinas se dimensionó tal que pueda alojar:

- Válvulas de admisión
- Turbinas
- Generadores
- Sala de montaje
- Zona de tableros auxiliares
- Sala de baterías, almacén, oficinas y taller
- Zona de servicios y espacios para circulación

La casa de máquinas dispondrá de un puente - grúa como sistema de manejo e izaje de piezas pesadas. En la etapa de diseño de detalle se analizará su validez económica.





Foto 3-14. Zona de casa de máquinas



Foto 3-15. Zona de casa de máquinas



Su estructura se compone de fundaciones en zapatas, vigas y columnas de concreto, muros en mampostería y cubierta metálica con teja en policarbonato o en materiales adecuados que sean seguros, térmicos y permitan buen paso de luz.

Inicialmente se procede con el replanteo de la ubicación general de la casa de máquinas y del canal de descarga y la limpieza del área afectada (remoción de vegetación y descapote). Luego se realizan las excavaciones globales correspondientes a ambos elementos hasta llegar al nivel del piso de cada uno de ellos.

Posteriormente, se realizan las obras de construcción de la estructura, las cuales implican preparación de las superficies de fondo, colocación de acero de refuerzo, encofrado en muros, columnas y vigas de la estructura aporticada y del puente grúa si se requiere, vaciado de los concretos primarios y secundarios de acuerdo con las especificaciones de resistencia correspondientes, lapsos de espera por el fraguado del concreto, desencofrados, remoción del material sobrante, obras de mampostería, techos, instalaciones sanitarias y eléctricas, puertas, ventanas y elementos adicionales como cunetas, rellenos exteriores y demás.

Construida la casa de máquinas se procede al transporte e instalación del puente grúa, si se requiere, y luego las turbinas, generadores, transformadores y demás elementos complementarios. A continuación, en la Figura 3-59 y Figura 3-60 se muestra la vista en perfil y en planta de la casa de máquinas respectivamente.

El ensamblaje final de todos los elementos que se instalan en la casa de máquinas requiere de una coordinación especial y detallada para la integración adecuada de todos los componentes de cada uno de los sistemas eléctrico, mecánico, aire acondicionado, contra incendio, iluminación, acueducto, alcantarillado, etc.



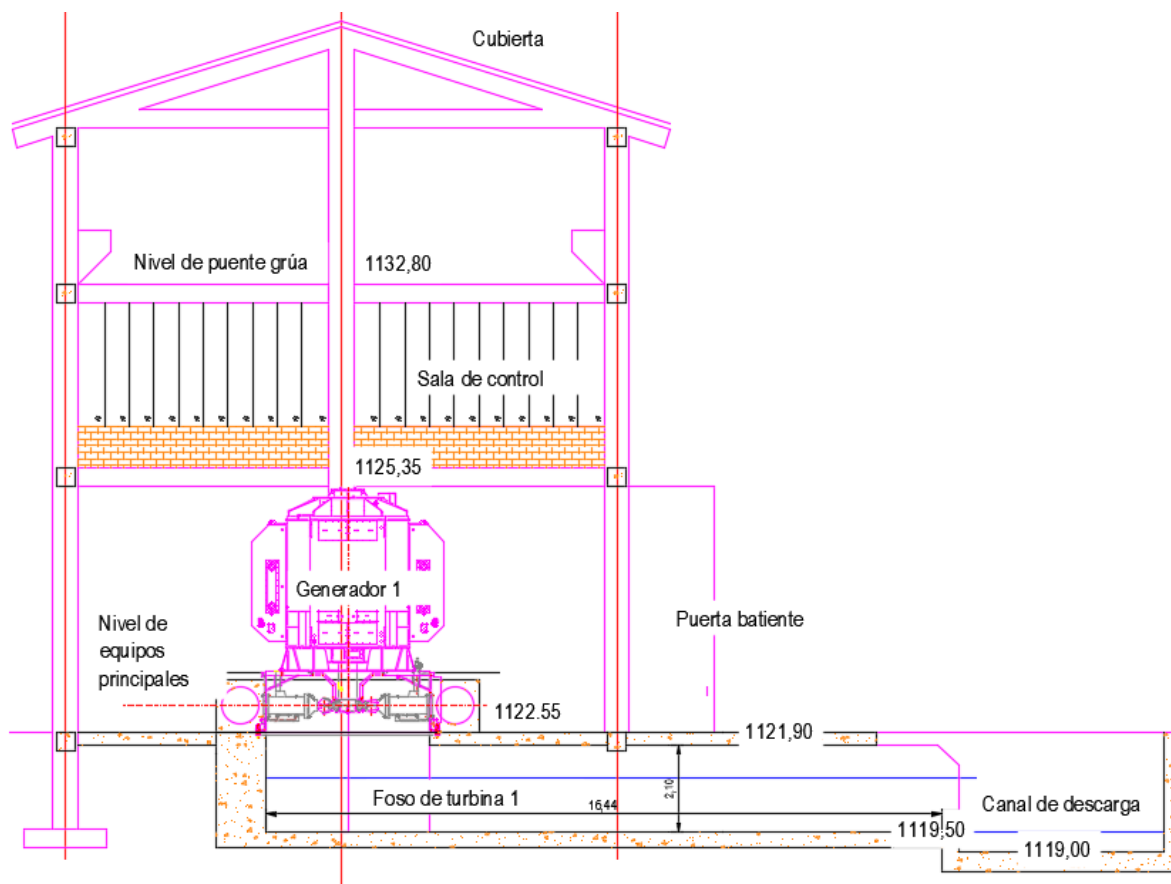


Figura 3-59. Perfil casa de máquinas



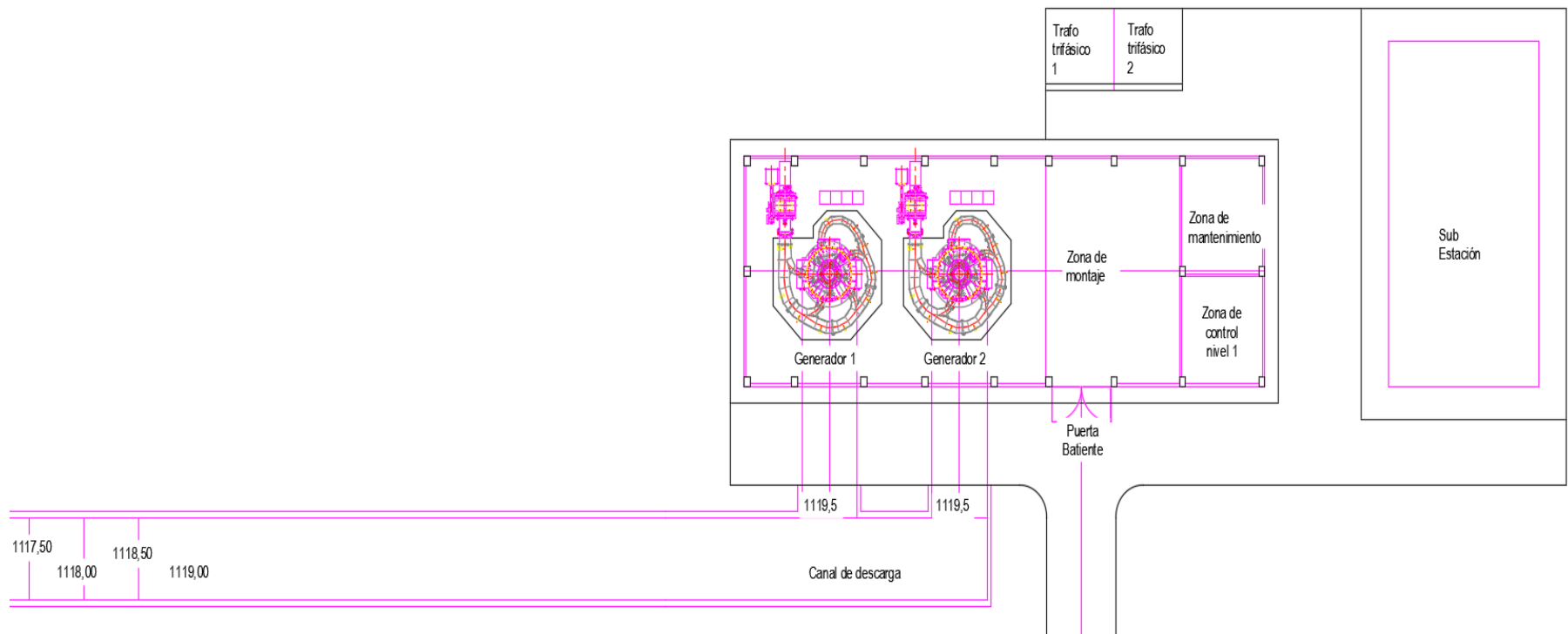


Figura 3-60. Vista en planta de casa de máquinas



#### 3.4.1.16 Sistema de descarga

La descarga estará localizada en las coordenadas 877763 Este y 1160203 Norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas, origen: central).

El sistema de descarga está compuesto de un tramo de canal en fondo liso y un tramo de canal escalonado antes de la entrega del caudal turbinado al río Cocorná.

Las dos turbinas tipo Pelton entregan en forma libre el caudal turbinado en la cota 1119,50 al canal de fondo liso de 5,00 m de ancho y 2,90 m de altura con pendiente longitudinal del 0,81% en una longitud de 61,90 m. Seguido a este se plantea un canal escalonado de 12,0 m de longitud, donde los 3 escalones diseñados tendrán cada uno 4,0 m de longitud, de 5,00 m de ancho y una altura de 0,5 m. El último escalón diseñado se localiza en la cota 1117,50 msnm, es decir, el canal de descarga descende en su totalidad 2,0m y tiene una longitud total de 74 m (ver Figura 3-62).

La sección transversal del canal de descarga se muestra a continuación en la Figura 3-61, en dicha figura puede observarse la disposición de los escalones de 0,5 de altura.

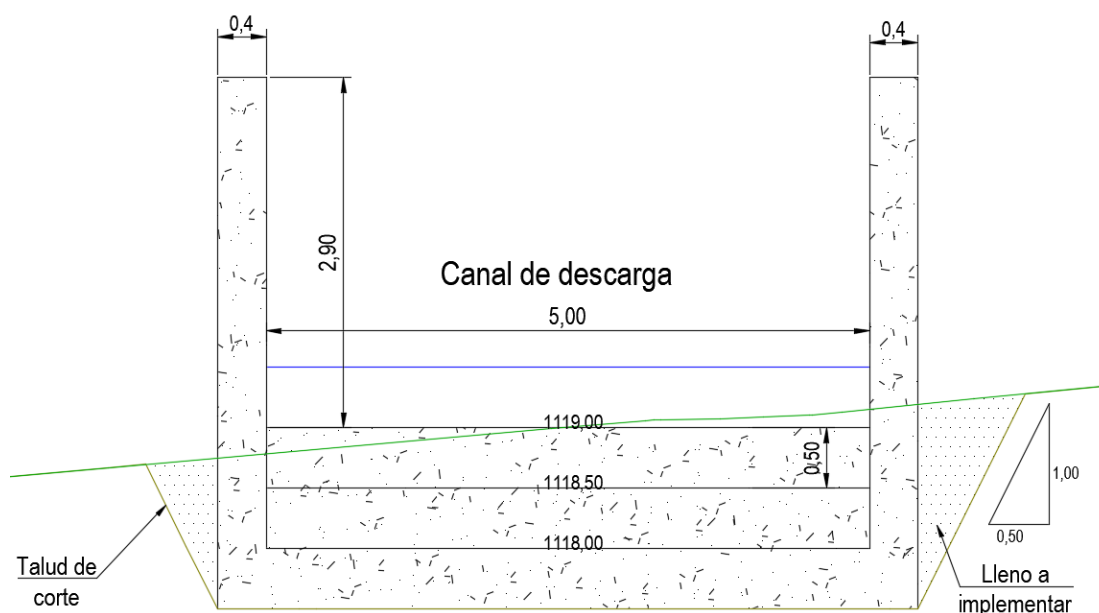


Figura 3-61. Perfil del canal de descarga



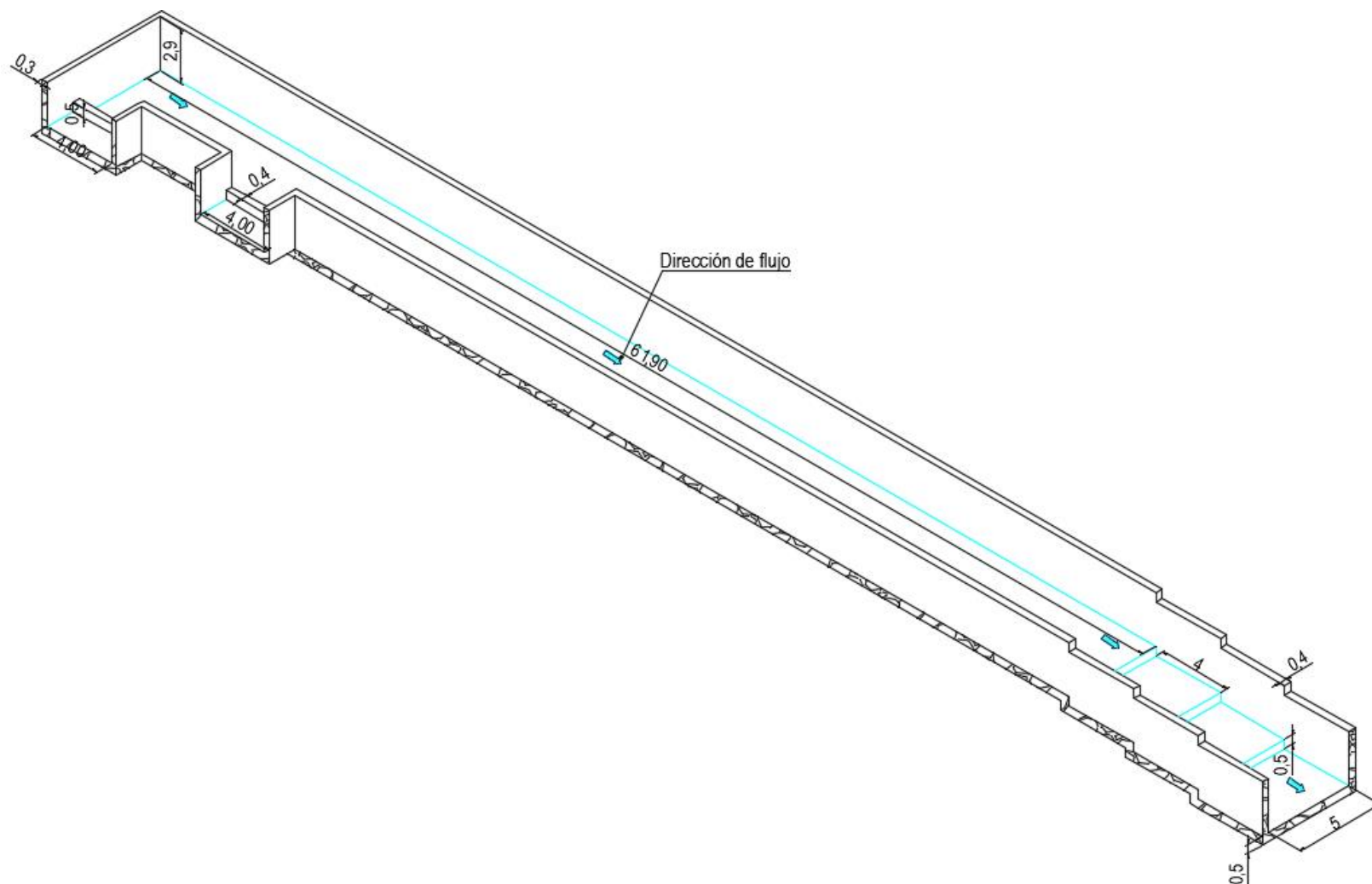


Figura 3-62. Isométrico del canal de descarga



Los canales escalonados son estructuras diseñadas para disipar energía, con el fin de entregar los caudales con un nivel de energía que minimice el riesgo de socavación local en los puntos de descarga. En general, las estructuras de disipación de energía buscan reducir la velocidad del flujo, creando una transición de estado supercrítico a subcrítico. El flujo sobre estas estructuras se puede dar bajo tres condiciones (saltante, transición y rasante). Las metodologías de diseño para estructuras de caída escalonadas con flujo rasante son variadas y todas basadas en la experiencia, en este caso se selecciona la metodología propuesta por Ohtsu en el 2004 por su amplia experiencia en el campo hidráulico.

Esta metodología considera el cálculo de estructuras de caída escalonadas con flujo rasante en pendientes entre 5,7° y 55°, pues la formación total o parcial del resalto hidráulico para un flujo escalón a escalón implica pendientes suaves del terreno. El diseño consiste en determinar la velocidad ( $v_w$ ), la profundidad del flujo ( $d_w$ ) en la estructura, la energía al final de la estructura ( $E_{res}$ ) y el incremento de la profundidad del flujo por efecto del aire ( $Y_{0,9}$ ) para determinar la altura de muros de la estructura ( $H_w$ ) (Figura 3-63). Como datos de entrada se tienen el ancho del canal ( $B$ ), la caída total ( $H_{dam}$ ), el ángulo del canal ( $\theta$ ) y un caudal de diseño ( $Q_w$ ).

La profundidad crítica se calcula como en la siguiente ecuación, con la cual es posible calcular la relación  $H_{dam}/d_c$ .

$$d_c = \left[ \frac{\left(\frac{Q_w}{B}\right)^2}{g} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

$d_c$ : es la profundidad crítica (m)

$B$ : es el ancho del canal

$Q_w$ : es el caudal de diseño

$G$ : es la gravedad ( $m/s^2$ )



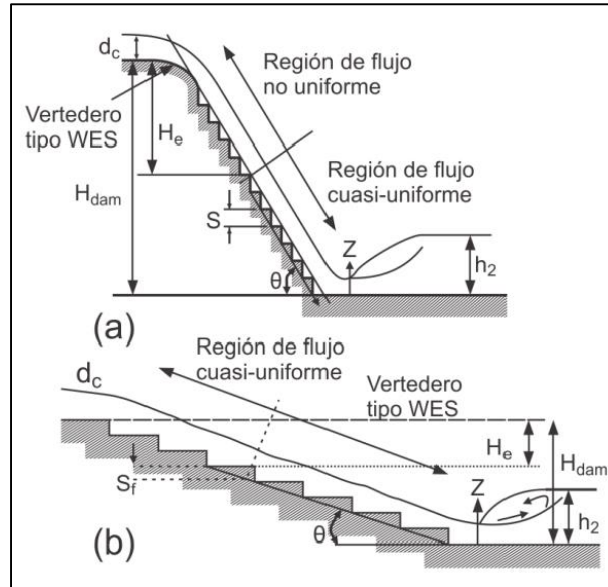


Figura 3-63. (a) escalones para  $\theta=19^\circ$  a  $55^\circ$ , (b) escalones tomados para  $\theta = 5.7^\circ$  a  $11.3^\circ$

La topografía permite la construcción de un canal tipo a, debido a que ángulo  $\theta$  formado entre el terreno natural y la horizontal es de aproximadamente  $25^\circ$ . Posteriormente se selecciona la caída en cada escalón ( $S$ ) de manera que se forme una condición de flujo tipo rasante. Para ello se debe cumplir la siguiente condición:

$$\left(\frac{S}{d_c}\right)_s = \frac{7}{6}(\tan\theta)^{1/6} \quad \text{Ecuación 3-4}$$

$$0.1 \leq \frac{S}{d_c} \leq \left(\frac{S}{d_c}\right)_s \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

$d_c$ : es la profundidad crítica

$s$ : caída del cada escalón

En las anteriores ecuaciones  $\theta$  se encuentra en grados y se aplica para valores entre  $5.7^\circ$  y  $55^\circ$ . Los autores recomiendan valores de  $S/d_c > 0.25$  para incrementar las pérdidas de energía en la estructura.

De acuerdo con la metodología las condiciones de flujo cambian en función del ángulo  $\theta$  y de la altura relativa del escalón  $S/d_c$ . Por este motivo se clasifica el flujo rasante como tipo A cuando  $\theta > 19^\circ$  o cuando  $S/d_c < (S/d_c)_B$  y como tipo B en otro caso. La expresión  $(S/d_c)_B$  se puede obtener de la siguiente ecuación:



$$\left(\frac{S}{dc}\right)_B = 13 \times (\tan \theta)^2 - 2.73 \times \tan \theta + 0.373 \quad \text{para } 5.7^\circ \leq \theta \leq 19^\circ \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Para el flujo tipo A, la lámina de agua es paralela al pseudo fondo formado por las esquinas exteriores de los escalones, mientras que para el flujo tipo B la lámina de agua fluye parcialmente paralela a la huella del escalón.

El flujo rasante es altamente turbulento, generándose la entrada de grandes cantidades de aire a lo largo del canal desde un punto de “iniciación” hasta un cierto punto en el cual el flujo llega a ser cuasi uniforme, sección a partir de la cual no se producen variaciones en la profundidad, concentración de aire y velocidad para un caudal dado. La altura necesaria del canal para que se alcance el flujo cuasi uniforme ( $H_e$ ) está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{H_e}{dc} = (-1.21 \times 10^{-5} \times \theta^3 + 1.6 \times 10^{-3} \times \theta^2 - 7.13 \times 10^{-2} \times \theta + 1.3)^{-1} \left[ 5.7 + 6.7 \times \exp\left(6.5 \times \frac{S}{dc}\right) \right] \quad \text{Ecuación 3-7}$$

Si el flujo alcanza la condición cuasi uniforme, la altura representativa del flujo ( $d_w$ ) y la velocidad promedio, ( $v_w = (Q_w/B)/d_w = q_w/d_w$ ) pueden ser predichas a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{d_w}{dc} = \left( \frac{f}{8 \sin \theta} \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

En la que el factor de fricción  $f$  del flujo es:

$$f = f_{\max} - A \left( 0.5 - \frac{S}{dc} \right)^2 \quad \text{para } 0.1 \leq S/dc \leq 0.5 \quad \text{Ecuación 3-9}$$

$$f = f_{\max} \quad \text{para } 0.5 \leq S/dc \leq (S/dc)_s \quad \text{Ecuación 3-10}$$

- Para  $5.7^\circ \leq \theta \leq 19^\circ$ :

$$A = -1.7 \times 10^{-3} \theta^2 + 6.4 \times 10^{-2} \theta - 1.5 \times 10^{-1} \quad \text{Ecuación 3-11}$$

$$f_{\max} = -4.2 \times 10^{-4} \theta^2 + 1.6 \times 10^{-2} \theta + 3.2 \times 10^{-2} \quad \text{Ecuación 3-12}$$

- Y para  $19^\circ < \theta \leq 55^\circ$ :

$$f_{\max} = 2.32 \times 10^{-5} \theta^2 - 2.75 \times 10^{-3} \theta + 2.31 \times 10^{-1} \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Para el flujo cuasi uniforme, la energía residual ( $E_{res}$ ) en el extremo inferior de la estructura se determina con la primera parte de las siguientes expresiones:



- Para flujo tipo A:

$$\left(\frac{E_{res}}{dc}\right)_u = \frac{dw}{dc} \cos \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{dc}{dw}\right)^2 = \left(\frac{f}{8 \sin \theta}\right)^{1/3} \cos \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \sin \theta}\right)^{-2/3} \quad \text{Ecuación 3-14}$$

- Para flujo tipo B:

$$\left(\frac{E_{res}}{dc}\right)_u = \frac{dw}{dc} + \frac{1}{2} \left(\frac{dc}{dw}\right)^2 = \left(\frac{f}{8 \sin \theta}\right)^{1/3} + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \sin \theta}\right)^{-2/3} \quad \text{Ecuación 3-15}$$

Finalmente, para el flujo cuasi uniforme la altura de los muros del canal,  $H_w$  está dada por:

$$H_w = 1,4 Y_{0,9}$$

Ecuación 3-16

Siendo  $Y_{0,9}$  la profundidad del flujo para una concentración de aire de 0,9. Este valor de  $Y_{0,9}$  se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Y_{0,9} = \frac{dw}{1 - C_{mean}} \quad \text{Ecuación 3-17}$$

$$C_{mean} = D - 0.3 \exp \left[ -5 \left( \frac{S}{dc} \right)^2 - 4 \frac{S}{dc} \right] \quad \text{Ecuación 3-18}$$

$$D = 0.300 \quad \text{para } 2.7^\circ \leq \theta \leq 19^\circ \quad \text{Ecuación 3-19}$$

$$D = -20 \times 10^{-4} \times \theta^2 + 2.14 \times 10^{-2} \times \theta - 3.57 \times 10^{-2} \quad \text{para } 19^\circ \leq \theta \leq 55^\circ \quad \text{Ecuación 3-20}$$

La variable  $C_{mean}$  es la concentración media de aire.

En las estructuras en que no se alcanza a desarrollar el flujo cuasi uniforme, la energía residual ( $E_{res}$ ) se calcula como:

$$\frac{E_{res}}{dc} = 1.5 + \left[ \left( \frac{E_{res}}{dc} \right)_u - 1.5 \right] \left[ 1 - \left( 1 - \frac{H_{dam}}{H_e} \right)^{\frac{\theta}{25} + 4} \right] \quad \text{Ecuación 3-21}$$

Esta ecuación es válida para  $5,0 \leq H_{dam}/dc \leq H_e/dc$ .

El parámetro  $(E_{res}/dc)$  se calcula con la segunda parte de la Ecuación 3-14 y Ecuación 3-15.

Se calcula, entonces, para este flujo no uniforme la altura representativa del flujo ( $dw$ ) y la velocidad promedio ( $V_w$ ) por tanteos a partir de la ecuación:

$$E_{res} = dw \times \cos \theta + \frac{V_w^2}{2g} \quad \text{para flujo tipo A} \quad \text{Ecuación 3-22}$$



$$E_{res} = dw + \frac{v_w^2}{2g}$$

para flujo tipo B

Ecuación 3-23

#### 3.4.1.17 Subestación

La subestación es el área donde se colocan los transformadores y estructuras metálicas que sirven de torres a los cables conductores que transporta la energía generada por el proyecto. Será construida adyacente a la casa de máquinas (como se mostró en la Figura 3-60) y para habilitar el proyecto se estima la construcción de una línea de transmisión de que conecte la subestación de salida del proyecto con la subestación que sea aprobada por la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética, adscrita al Ministerio de Minas y Energía) para entregar la energía generada al STN (Sistema de Transmisión Nacional).

El predimensionamiento de la subestación fue realizado a partir de proyectos ya construidos. En la etapa de diseños definitivos, se deberán hacer los ajustes necesarios tomando en consideración todas las cargas que se encuentren conectadas en la red, por lo que el cálculo de la capacidad de un transformador para alimentar a un cierto número y tipo de cargas se debe hacer sobre criterios técnicos, de manera tal que el transformador no opere sobredimensionado (poca carga), o bien se sature rápidamente por insuficiencia; además de las celdas y cuadros eléctricos que demande la central.

Los equipos que se deben alojar en la subestación son: Equipos de alta tensión (interruptores automáticos, aisladores y seccionadores), equipos de transformación (transformadores y reactores) y equipos de media tensión (celdas, interruptores seccionadores y transformadores de corriente).

El proceso constructivo para la subestación eléctrica consiste en:

- Trazado de cimientos
- Excavaciones y construcción de cimientos y subestación
- Colocación de placa corrida
- Montaje de subestación

#### 3.4.1.18 Línea de transmisión

El proceso constructivo para la línea de transmisión consiste en los siguientes pasos:

- Despeje de la faja de servidumbre
- Preparación de la superficie de fundación
- Excavaciones para fundaciones
- Emplantillado, enfierradura, stub y vaciado



- Montaje de estructura
- Tendido de conductores

### 3.4.1.19 Equipos electromecánicos

#### 3.4.1.19.1 Equipos electromecánicos

Los equipos de generación se localizarán dentro de la casa de máquinas. Para su selección se tienen en cuenta las características hidráulicas del proyecto, salto y caudal de diseño, al igual que las zonas operativas de los diferentes tipos de turbina (Figura 3-64)

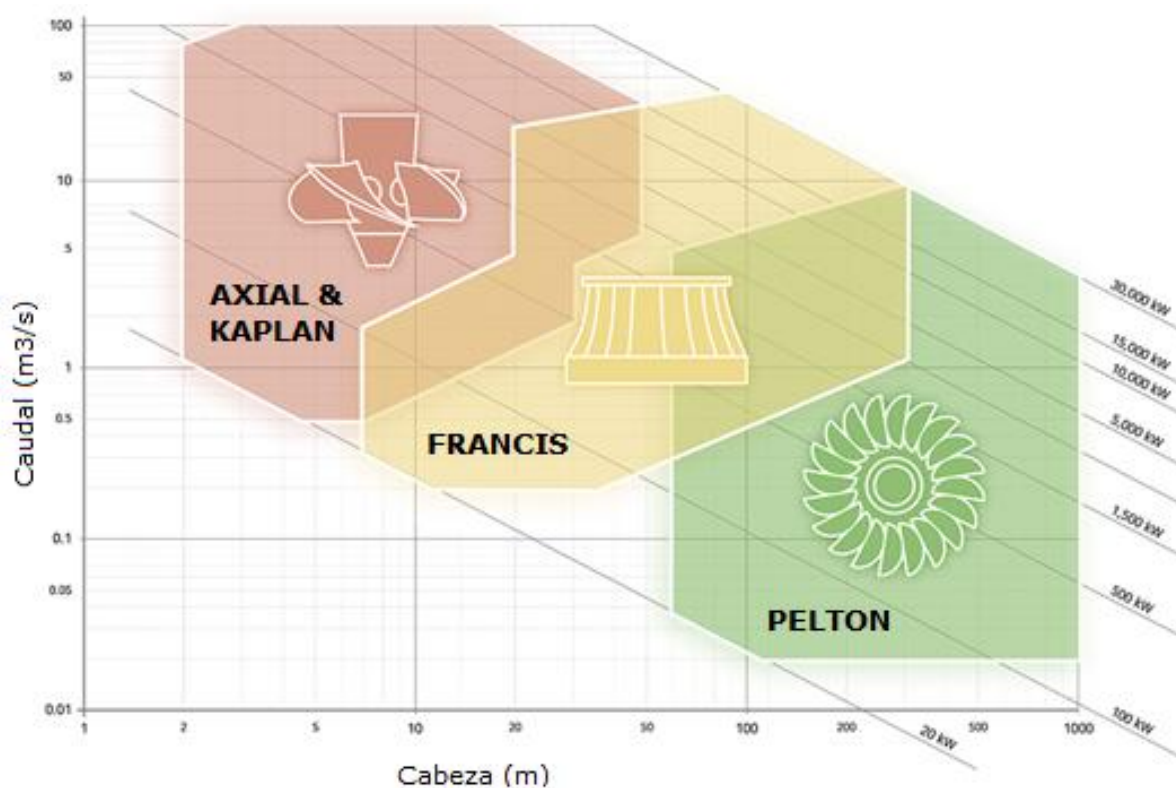


Figura 3-64. Tipos de turbina

Fuente: <https://www.andritz.com/products-en/hydro/markets/small-mini-hydropower-plants>

La turbina hidráulica convierte la energía cinética del agua en energía mecánica, y ésta es transmitida a un eje acoplado directamente al generador que la convierte en energía eléctrica. Dadas las condiciones específicas de la central Cocorná III (salto neto, caudal de diseño, número de unidades, altura de instalación) se determina el



tipo y cantidad de turbinas a emplear, que puntualmente serán dos unidades de tipo Pelton con las características mostradas en la Tabla 3-22:

Tabla 3-22. Características de turbinas a emplear

Característica	Valor
Salto neto	213,29
Caudal máximo turbinable (m <sup>3</sup> /s)	5,3 cada una
Tipo de turbina	Pelton

#### 3.4.1.19.2 Puente grúa

Para labores de montaje y mantenimiento podrá disponerse de un puente grúa en casa de máquinas, dimensionado para una capacidad de alce correspondiente al peso total del generador.

Las características del puente grúa requerido para movilizar los equipos de manera segura y precisa durante los trabajos de montaje y mantenimiento se encuentran definidas por los pesos de los equipos que se requiere movilizar y por el predimensionamiento de la Casa de Máquinas.

#### 3.4.1.20 Equipos hidromecánicos

Los equipos hidromecánicos, compuertas planas y radiales, estarán localizados en la captación, desarenador, tanque de carga y casa de máquinas.

Las compuertas corresponden a dispositivos hidráulicos-mecánicos que cumplen la función de regular el paso de agua en canales y tuberías.

De acuerdo con el propósito operacional, las compuertas se utilizan generalmente para la regulación de flujo o de los niveles de agua; también para cerrar el flujo de agua en canales, o mantener vacío el canal o conducto de manera que se pueda hacer mantenimiento. Esto es muy utilizado cuando existen equipos como turbinas, bombas u otras compuertas.

En el azud se utilizan generalmente compuertas radiales, mientras que, en el desarenador, compuertas planas.

En cuanto a su secuencia constructiva, para las obras donde se entrelazan trabajos de concreto convencional con el montaje de elementos metalmecánicos, requiere de una logística particular a cualquier otro proceso constructivo de obra civil, debido a que el objetivo final de estas obras es que las estructuras metalmecánicas funcionen adecuadamente. Por lo tanto, se requiere que desde el primer elemento que se coloque tenga su ubicación correcta pues es necesario por la precisión que deben



tener todas las partes. Una estructura metalmecánica está compuesta por una serie de elementos que se van izando a través de toda la construcción, con la finalidad de completar una estructura que funcione de forma monolítica para lo que ha sido diseñada.

Adicionalmente, contigua al tanque de carga se localiza una estructura conocida como caseta de la válvula mariposa (ver Figura 3-65). Allí, se inicia la conducción a presión y se albergan dos válvulas que permitirán la correcta y segura operación del proyecto. Las válvulas allí dispuestas son la válvula de aire y la válvula mariposa.

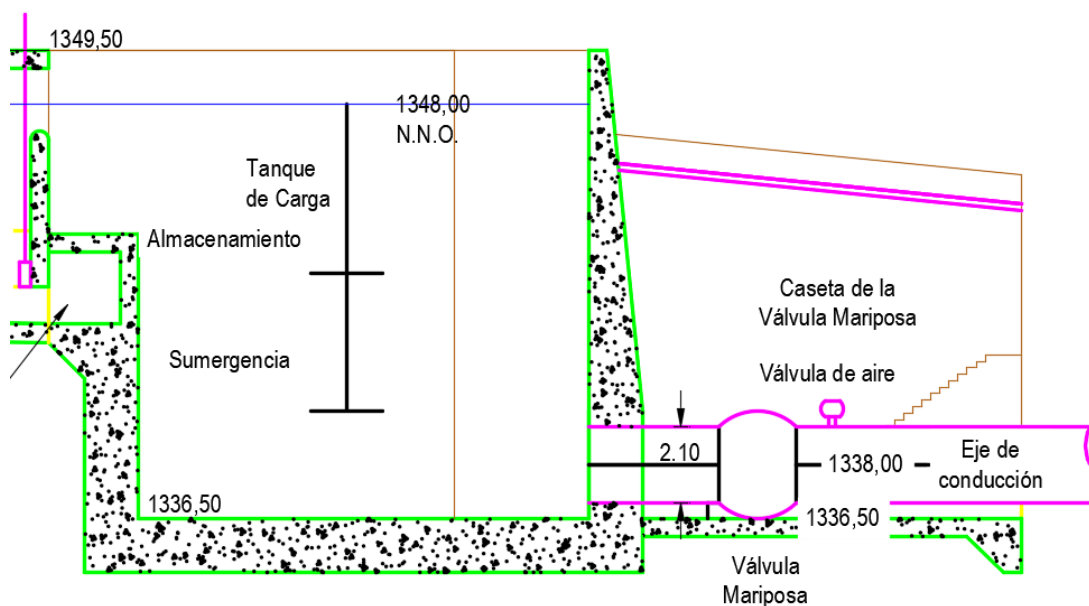


Figura 3-65. Caseta de la válvula mariposa

Generalmente todas las conducciones en tubería llevan una válvula de seguridad que ante eventos de fugas no controladas puedan mitigar o minimizar los riesgos que puedan causarse. Las válvulas de mariposa tienen la capacidad de regular o interrumpir el flujo de la conducción mediante una placa que gira de manera axial que aumenta o reduce la sección transversal por la cual circulan las aguas, de esta manera se aumenta o se disminuye su caudal a tal punto de que pueda ser nulo. Por otro lado, la válvula de aire o de aeración cumple la función de regular la presencia de aire al interior de la tubería, tanto para la expulsión o la admisión de este, dada la necesidad del caso.

#### 3.4.1.21 Retiro de las instalaciones temporales y restauración de las áreas utilizadas

Una vez finalizada la construcción de las obras civiles se procede al retiro de las instalaciones temporales tales como talleres, elementos de fabricación de concreto, oficinas y bodegas.



#### 3.4.1.22 Información general asociada a los diseños

A continuación, en la Tabla 3-23 se agrupan las coordenadas de las obras más relevantes dentro del proyecto:

Tabla 3-23. Coordenadas de obras principales

Obra	Este	Norte
Captación	874409	1160046
Desarenador	874470	1160085
Tanque de carga	874490	1160090
Casa de máquinas	877722	1160275
Descarga	877742	1160214

Sistema de coordenadas Magna Sirgas origen: central

Así mismo, en resumen, la Tabla 3-24 contiene los datos relevantes para cada uno de los elementos que compone el proyecto.

Tabla 3-24. Características generales

Características Generales	
<b>Captación</b>	
Material	Concreto reforzado y ciclópeo
Cota reja	1345 msnm
<b>Desarenador</b>	
No de celdas	2
Ancho de celda	7,00 m
Largo de celda	40,00 m
<b>Conducción</b>	
<b>Canal de aducción</b>	
Sección	Rectangular
Longitud	32,60 m
Sección	6,50 m x 6,0 m
Material	Concreto reforzado
<b>Tubería a presión</b>	
Sección	Circular
Longitud	3519,5 m
Dimensión	Φ2,1 m



Características Generales	
Material	GRP
<b>Tanque de Carga</b>	
Dimensiones en planta	14,50 m x 15,0 m
Altura	13,0 m
Material	Concreto reforzado
<b>Casa de máquinas</b>	
Tipo	Superficial
Número de Unidades de Generación	2 (50%-50% Qd)
Turbinas	Tipo Pelton
<b>Descarga</b>	
<b>Canal de descarga fondo lizo</b>	
Sección	Rectangular
Longitud	61,90 m
Dimensión	2,90 m x 5,0 m
Material	Concreto reforzado
<b>Canal de descarga escalonado</b>	
Sección	Rectangular
Longitud horizontal	12,0 m
Ancho	5,0 m
Huella	4,0 m
ContraHuella	0,5 m
Material	Concreto reforzado

Adicionalmente, en la Tabla 3-25 se presenta la información general asociada a los diseños del proyecto que una vez culminada la fase de construcción y montaje deberá tenerse para iniciar la fase de operación.

Tabla 3-25. Información general de diseño

Elemento de diseño	Valor
Capacidad de compuertas (m <sup>3</sup> /s)	170
Potencia instalada (MW)	19,56
Generación media anual (GWh/año)	112,76



Elemento de diseño	Valor
Caudal máximo turbinable (m <sup>3</sup> /s)	5,3 cada turbina
Caudal turbinable medio multianual (m <sup>3</sup> /s)	7,06
Factor de planta	65,7%
Cota máxima en creciente (msnm)	1.352
Cota máxima de operación (msnm)	1.348
Cota mínima operativa o técnica (msnm)	1.343,3
Cota mínima física (m.s.n.m.)	1.345
Cota de la casa de máquinas (m.s.n.m.)	1122,55
Cotas de captación (m.s.n.m.)	1.345

Es importante aclarar que los trabajos se ejecutarán de tal modo que se minimicen los daños a estructuras, vías o a fuentes de agua utilizadas por los vecinos, redes de servicios públicos, cultivos o propiedades privadas adyacentes a la zona de las obras, salvo cuando su destrucción esté prevista en los planos o sea ordenada o autorizada por el Interventor, siempre con la validación previa sobre la propiedad de los elementos. Cuando sea necesario interrumpir drenajes superficiales existentes, se tomarán todas las precauciones necesarias para proteger y preservar o proveer servicios temporales y/o definitivos, según sea el caso.

#### 3.4.1.23 Maquinaria y equipos para la construcción

A continuación, se describen los principales equipos que se utilizarán durante la construcción del proyecto. Estos equipos hacen referencia a la maquinaria pesada y a la herramienta menor.

##### 3.4.1.23.1 Retroexcavadora sobre oruga

Es una máquina que se utiliza para realizar excavaciones en el terreno. La excavadora se utiliza habitualmente en obras para el movimiento de tierras, para realizar rampas en solares, o para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, entre otros; así como también para preparar los sitios donde se asientan los cimientos de las obras civiles. Ver Foto 3-16:





Foto 3-16 Retroexcavadora

(Fuente: [www.blogmaquinaria.com](http://www.blogmaquinaria.com))

#### 3.4.1.23.2 Motoniveladora

Este equipo requiere de un operador y un ayudante. Es una máquina utilizada en construcción para nivelar los terrenos y refinar los taludes. Ver Foto 3-17.



Foto 3-17. Motoniveladora

(Fuente: [www.blogmaquinaria.com](http://www.blogmaquinaria.com))

#### 3.4.1.23.3 Vibrocompactador

Es una máquina utilizada para compactar el terreno y dar consistencia y estabilidad al suelo. Requiere un operador. Ver Foto 3-18.





Foto 3-18. Vibrocompactador  
(Fuente: [www.zmg-argentina.com.ar](http://www.zmg-argentina.com.ar))

#### 3.4.1.23.4 Retroexcavadora sobre llantas (Pajarita)

Máquina (conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar un trabajo con un fin determinado) que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos. Es una variante de la pala excavadora. La máquina hunde sobre el terreno una cuchara con la que arranca los materiales que arrastra y deposita en su interior. Ver Foto 3-19.



Foto 3-19. Retroexcavadora sobre llantas  
Fuente: Google, 2020

#### 3.4.1.23.5 Volqueta

Es una máquina utilizada para transportar materiales de construcción o productos de excavación. Requiere un operador. Ver Foto 3-20.





Foto 3-20. Volqueta

Fuente: [www.blogmaquinaria.com](http://www.blogmaquinaria.com)

#### 3.4.1.23.6 Concretadora

Es un aparato o máquina empleada para la elaboración del hormigón o concreto. Su principal función es la de suplantar el amasado manual de los diferentes elementos que componen el hormigón: cemento, áridos y agua. Los áridos empleados en la elaboración del hormigón suelen ser gruesos y de elevado peso por lo que la mecanización de este proceso supone una gran descarga de trabajo en la construcción. Ver Foto 3-21.



Foto 3-21. Concretadora

Fuente: [www.blogmaquinaria.com](http://www.blogmaquinaria.com)

Adicionalmente, como herramienta menor para la ejecución de la obra se emplearán, entre otras las siguientes (ver Foto 3-22 a Foto 3-25):





Foto 3-22. Martillo percutor  
(Fuente: [www.gruyser.com](http://www.gruyser.com))



Foto 3-23. Bomba  
(Fuente: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com))



Foto 3-24. Planta eléctrica  
(Fuente: [www.condustral.com](http://www.condustral.com))



Foto 3-25. Vibrador de concreto  
(Fuente: [www.prodimaco.com](http://www.prodimaco.com))

#### 3.4.1.24 Identificación de fuentes para suministro de material

El material de origen pétreo que demanda la construcción de las diferentes obras que conforman el proyecto provendrá principalmente de canteras y sitios de explotaciones legalmente constituidos en la zona, los cuales deben contar con licencias y permisos mineros y ambientales vigentes. Adicionalmente, se aprovechará parte del material obtenido en las excavaciones del proyecto que cumpla con los requerimientos técnicos para su uso.

Se identificaron 7 títulos que cumplen con los requerimientos principales:

- Estar dentro de un radio no mayor a 20 km del proyecto.
- Su explotación minera corresponde a los materiales de construcción de interés para el proyecto (principalmente gravas y arenas).
- Su fecha de terminación o vigencia le da la cobertura necesaria al proyecto



De esta manera, los títulos seleccionados se detallan en la Tabla 3-26 y posteriormente se muestran en Figura 3-66.

Tabla 3-26. Títulos seleccionados para suministro de material

<b>Título</b>	<b>Razón Social / Titular</b>	<b>Minerales de explotación</b>	<b>Municipios asociados</b>	<b>Vigencia (año)</b>
C4035005	Cantera La Ceja S.A.	Minerales de construcción	La Unión y La Ceja	2035
HHVD-01	José F Jiménez, Víctor Hugo Jiménez y Diego Javier Jiménez	Arenas y gravas silíceas, basaltos y arenas y gravas naturales	Marinilla	2037
ICQ-14451X	Ingetierras de Colombia S.A.	Arenas y gravas naturales y silíceas	San Francisco, Cocorná y San Luis	2040
IE7-11131	Ingetierras de Colombia S.A.	Granito, basalto pórfido y otras piedras de talla o de construcción en bruto	Cocorná	2040
G6425005	Jesús María Pavas Rivera	Arenas y gravas silíceas	La Unión	2041
LLA-08471	Tomás Camilo Nieto Giraldo	Arenas y gravas naturales y silíceas	Granada y Santuario	2041
B7164005	TRITCON S.A.S.	Gravas naturales	Carmen de Vivalor	2040



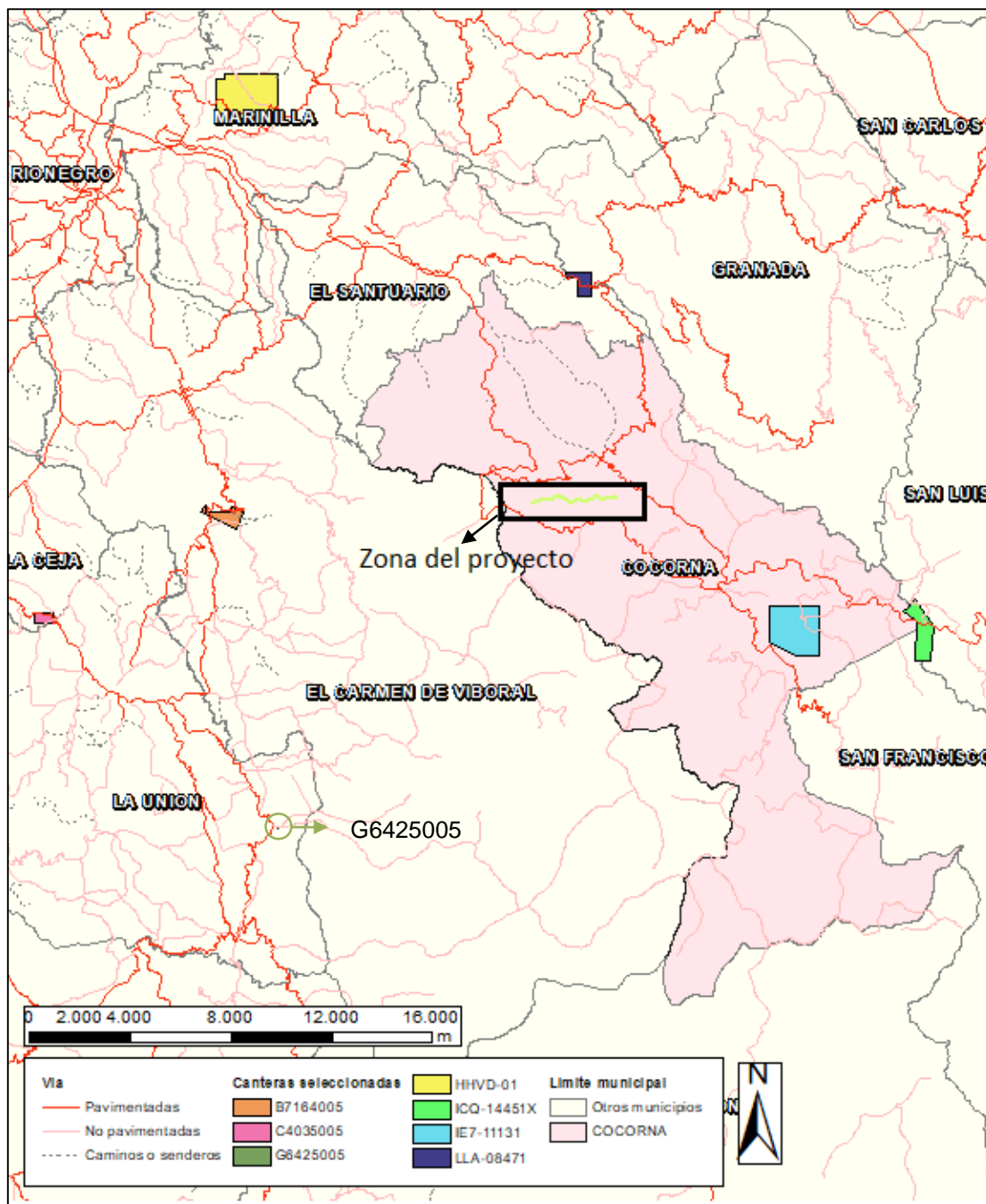


Figura 3-66. Localización canteras seleccionadas

Es importante resaltar, como se ve en la Figura 3-66, que los 7 títulos seleccionados como alternativas para el suministro de material están cercanos a una vía pavimentada que provee una adecuada articulación entre el proyecto y la respectiva cantera, siendo éste otro factor relevante a la hora de elegir la fuente de materiales.



Adicional a los parámetros que se mencionaron previamente, como criterio de aceptación para el material extraído proveniente de las canteras contempladas en la Tabla 3-26, deberá verificarse la calidad de los minerales para que en todo momento garanticen las condiciones idóneas para tanto durante la construcción como en la operación del proyecto. Entre las condiciones de calidad a evaluar de los materiales deberán contemplarse las propiedades físicas y mecánicas de los agregados que se emplearán en el proyecto.

### **3.4.2 Actividades de operación**

Antes de entrar en operación el proyecto, se deben realizar pruebas en cada uno de los equipos y componentes de la central para garantizar óptimas condiciones y seguridad del personal en el momento de generar energía. La operación de la Central se proyecta para una vida útil continua de aproximadamente 50 años, excepto por los períodos de mantenimiento programados o por acciones de contingencia que se presenten.

Durante el periodo de operación se realizará mantenimiento a las obras y elementos que así lo requieran con las especificaciones y frecuencia que se estipulen en los diseños y con base en las recomendaciones de los fabricantes de equipos.

#### **3.4.2.1 Proceso de Generación de energía**

##### **3.4.2.1.1 Estimación de caudales**

El caudal de diseño se establece de acuerdo con el caudal medio multianual, el caudal ambiental y un análisis de costos y beneficios del proyecto.

El cálculo del caudal medio se presenta en el Capítulo 5 “Caracterización del Medio Abiótico” sección “Hidrología” y se estimó en 11,5 m<sup>3</sup>/s.

Para el cálculo del caudal ambiental se utilizó la metodología de EPM (EPM, 2012), basada en la metodología de Grecco del año 2005. En el Capítulo 5 “Caracterización del Medio Abiótico” sección “Hidrología” se presenta el cálculo del caudal ambiental. En la Tabla 3-27 se presentan los valores obtenidos del caudal ambiental, del caudal medio y del caudal aprovechable para cada mes.

Tabla 3-27. Caudales ambientales mensuales

<b>Mes</b>	<b>Caudal Medio mensual (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal Ambiental mensual (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Qamb/Qm (%)</b>	<b>Caudal aprovechable mensual (m<sup>3</sup>/s)</b>
Enero	9,4	2,4	25,8	6,94
Febrero	9,6	2,4	24,5	7,26
Marzo	9,6	2,6	27,0	7,01
Abril	12,6	3,4	27,1	9,18



Mes	Caudal Medio mensual (m³/s)	Caudal Ambiental mensual (m³/s)	Qamb/Qm (%)	Caudal aprovechable mensual (m³/s)
Mayo	15,0	4,5	30,2	10,49
Junio	12,4	3,7	30,0	8,69
Julio	10,3	2,3	22,5	8,02
Agosto	10,0	2,2	22,1	7,80
Septiembre	13,1	3,1	23,5	10,02
Octubre	13,1	4,3	32,8	8,78
Noviembre	12,4	4,4	35,2	8,01
Diciembre	10,6	3,9	36,7	6,72
<b>Promedio</b>	<b>11,5</b>	<b>3,3</b>	<b>28,1</b>	<b>8,24</b>

El caudal de diseño se calcula con la siguiente expresión

$$Q_d = F.D (Q_m - Q_r) \quad \text{Ecuación 3-24}$$

Donde:

$Q_d$ : es el caudal de diseño (m³/s)

$Q_m$ : es el caudal medio del río Cocorná en la captación de la PCH

$Q_r$ : es el caudal remanente equivalente al caudal ambiental mensual más el caudal demandado en el tramo con caudal reducido por otros usuarios, que para este caso tiene un valor de cero ya que en dicho tramo no se demanda de agua del río Cocorná.

F.D: factor de diseño de la central con un valor de 1,14

Como caudal ambiental se toma el menor caudal mensual que corresponde al del mes de agosto (2,2 m³/s). Por lo tanto, se establece un caudal de diseño para el proyecto de 10,6 m³/s.

El caudal mínimo de generación se establece de acuerdo con el tipo de turbina seleccionada para el proyecto. En este caso las turbinas seleccionadas son de tipo Pelton, que por sus características admiten un caudal mínimo de operación del 50% del caudal de diseño, debido a que se dispondrá de 2 unidades cada una con una capacidad máxima turbinable de 5,3 m³/s, el caudal mínimo de operación de la central será de 0,53 m³/s.

#### 3.4.2.1.2 Reglas de operación

La generación de energía depende del caudal disponible y de la diferencia de altura entre la salida del taque de carga y las turbinas de generación. La diferencia de altura



es un parámetro fijo mientras que el caudal de generación depende del agua disponible en el río.

De acuerdo con el caudal disponible en el río se fijan las siguientes reglas de operación que determinan el caudal de generación y por lo tanto la cantidad de energía generada por el proyecto en su operación:

- Si el caudal disponible del río es mayor que el caudal de diseño más el caudal ambiental, entonces el caudal de generación corresponde al caudal de diseño y el caudal de exceso continúa por el cauce del río.

$$\text{Si } Q_R > Q_D + Q_e \rightarrow Q_G = Q_D \quad \text{Ecuación 3-25}$$

- Si el caudal disponible en el río es menor que el caudal de diseño más el caudal ambiental pero mayor al caudal mínimo de generación, entonces el caudal de generación corresponde al caudal del río menos el caudal de diseño y por el río continúa el caudal ambiental.

$$\text{Si } Q_R < Q_D + Q_e \text{ y } Q_R > Q_M \rightarrow Q_G = Q_R - Q_D \quad \text{Ecuación 3-26}$$

- Si el caudal disponible del río es menor que el caudal mínimo de generación se detiene la generación y este caudal continúa por el río.

$$\text{Si } Q_R < Q_M \rightarrow Q_G = 0 \quad \text{Ecuación 3-27}$$

Donde:

$Q_R$  = Caudal disponible en el río

$Q_D$  = Caudal de diseño 9,2 m<sup>3</sup>/s

$Q_e$  = Caudal ecológico

$Q_G$  = Caudal usado para la generación de energía

$Q_{min}$  = Caudal mínimo de generación

El caudal de generación es conducido a través de la tubería de conducción la cual finaliza en una bifurcación que distribuye el agua a dos turbinas tipo Pelton instaladas en la casa de máquinas. La presión del agua generada por la diferencia de altura entre el tanque de carga y las turbinas hace girar las turbinas que están conectadas a un generador donde la energía cinética del movimiento de las turbinas es convertida en energía eléctrica que se transmite al sistema interconectado nacional a través de una línea de transmisión eléctrica que se conecta a una subestación existente.

De acuerdo con las reglas de operación, la curva de porcentaje de excedencia de caudales y el caudal ambiental se estima una generación anual de 112,76 GWh.

El agua una vez que pasa por las turbinas es retornada por medio de un canal al río Cocorná.



El control del sistema, que incluye válvulas y compuertas, se opera a través del sistema de control ubicado en la casa de máquinas.

#### 3.4.2.1.3 Manejo de sedimentos

##### 3.4.2.1.3.1 Sedimentos almacenados temporalmente en el desarenador

Para realizar un adecuado manejo de los sedimentos atrapados en el desarenador, se deberá realizar un estudio granulométrico de los sedimentos que allí se depositen. Este análisis se realizará a partir de las muestras de transporte de fondo, de sedimento superficial depositado en eventos de crecientes recientes y de sedimento subsuperficial de las orillas y barras existentes en el tramo de captación. Los muestreos que se usarán para determinar las reglas de lavado del desarenador corresponden a aquellos que se plantearon en el PMA de sedimentos y que se deben ejecutar en las fases de estudios de detalle y construcción del proyecto (PMA-MF-08 del capítulo 10 de este informe).

Se tomarán las curvas granulométricas que mejor representen las muestras de fondo, superficial y subsuperficial para a partir de éstas obtener la granulometría promedio de los sedimentos en captación. Con la granulometría del material presente en esta zona y con las características de diseño del desarenador (diámetro de la partícula de diseño), se deberá evaluar el porcentaje por diámetro que el desarenador podrá remover y con los valores de los diámetros característicos de diferentes materiales se podrá conocer la composición, en tipo y cantidad, del material que será retenido por las celdas del desarenador.

De acuerdo con el volumen de almacenamiento en cada tolva de las celdas, la composición media calculada anteriormente (tipo y porcentaje de los materiales retenidos), asumiendo que no habrá compactación en el material debido al poco tiempo de almacenamiento en las tolvas y a la baja cabeza de presión y considerando una tolva completamente llena, se deberán estimar los volúmenes de cada uno de los materiales que se almacenarán. Así mismo, se deberá estimar el tiempo de colmatación de las tolvas según las condiciones hidrológicas típicas por mes.

Con el fin de no interferir en las actividades de operación de la central, el lavado de las tolvas no se realizará de forma simultánea, es decir, se contempla que siempre se hará el lavado de una sola celda, dejando la otra en operación. Para estimar la tasa de descarga de la fracción de arenas y gravas muy finas que podría atrapar el desarenador, se deberá calcular el tiempo promedio en que se realice el 100% del lavado de cada una de sus tolvas de retención de sedimentos. En todo caso el tiempo de lavado deberá ser tal que permita la salida del sedimento retenido, sin superar la concentración de sedimentos suspendidos que el río Cocorná tiene en épocas de crecientes medias. Para esto se deberá calcular la tasa de descarga en Kg/s para el rango de las partículas atrapadas en una tolva del desarenador, según el tiempo de lavado considerado en cada caso.



La frecuencia de lavado de las celdas dependerá de las condiciones hidrológicas del río, en las cuales un mayor caudal tiene una mayor capacidad de transporte de sedimentos, es decir, la concentración de sedimentos del agua aumenta con el aumento en el caudal del río y por tanto en el caudal captado para la generación de energía también hay un mayor aporte de sedimentos en épocas de caudales más altos. Por lo tanto, en los meses de mayores caudales la frecuencia de lavado debe ser más alta que en los meses de estiaje, ver Tabla 3-28.

Tabla 3-28. Caudal medio mensual multianual del río Cocorná en el sitio de captación del proyecto

Mes	Caudal Medio mensual (m <sup>3</sup> /s)
Enero	9,4
Febrero	9,6
Marzo	9,6
Abril	12,6
Mayo	15,0
Junio	12,4
Julio	10,3
Agosto	10,0
Septiembre	13,1
Octubre	13,1
Noviembre	12,4
Diciembre	10,6
<b>Promedio</b>	<b>11,5</b>

Según la tabla anterior, se espera que en el mes de mayo, en el cual se presenta un mayor caudal medio mensual, se requiera una mayor frecuencia de lavado que en los demás meses del año.

Otro factor que influye en la frecuencia de lavado de los desarenadores es el límite de operación de la central para caudales de crecientes, ya que, si se turbinan caudales provenientes de crecientes con altas cargas de sedimento, las tolvas de la estructura se colmatarán en un menor tiempo.

Para definir la frecuencia de lavado también se deberán tener en cuenta los muestreos de sólidos en suspensión que se realicen como parte de la implementación del plan de manejo ambiental PMA-MF-08 propuesto en el capítulo 10 y los resultados del estudio de hidrología de caudales medios diarios del capítulo 5 Caracterización del medio biótico de este EIA.



Otro aspecto para considerar en el lavado del desarenador es el desarrollo de actividades de aprovechamiento cultural y recreativo de los charcos existentes en el tramo con caudal reducido del río Cocorná. Teniendo en cuenta que en dicho tramo se identificaron 13 charcos que son usados con frecuencia por los habitantes del municipio de Cocorná y de otros municipios del departamento de Antioquia, el lavado de las celdas del desarenador no se podrá realizar en días festivos ni de alta afluencia a los charcos, como fiestas del pueblo o de fin e inicio del año, en horarios entre las 8 de la mañana y las 5 de la tarde.

#### 3.4.2.1.3.2 Sedimentos almacenados en el pondaje conformado por el azud en la captación

La metodología propuesta para el manejo de sedimentos durante la operación corresponde a la ejecución periódica de maniobras de flushing o remoción hidráulica de sedimentos, realizando aperturas de la compuerta radial de 4 m de alto y 4 m de ancho, que controla la descarga de fondo del pondaje, ubicada hacia la margen izquierda del azud, frente a las rejas laterales de captación. Una rápida reducción del nivel del agua mediante la apertura progresiva de la compuerta radial crea un flujo cercano al del río a lo largo del pondaje, que permite socavar y transportar hacia aguas abajo parte del sedimento previamente depositado, y que posibilita la liberación del área contigua a la estructura de toma.

El volumen de material depositado en el pondaje no se reduce significativamente, dado que esta maniobra permite únicamente la formación de una brecha de lavado que se estabiliza una vez el canal alcanza la pendiente de equilibrio.

La relación entre la capacidad del pondaje y las afluencias medias de sedimentos anuales, definen la necesidad de realizar un manejo de los sedimentos en el proyecto que implica una apertura periódica de las compuertas radiales. La consigna de operación consiste en disponer de una zona libre de sedimentación en el área contigua a las obras de toma.

Para estimar la frecuencia y el tiempo de apertura de la descarga de fondo se deberá estimar el tiempo de colmatación del pondaje. A partir de los datos granulométricos mencionados en el numeral anterior, de la hidrología de caudales medios del Capítulo 5 y de la información de sedimentos de las estaciones del Ideam ubicadas en la cuenca de estudio, se podrá establecer la forma en que se depositan los sedimentos en un año hidrológico típico y determinar cómo se acumulan mes a mes los sedimentos en el pondaje, tomando como referencia el nivel de la cresta del azud, 1349,0 msnm.

A partir del momento en que para una condición hidrológica normal, el sedimento acumulado logre igualar la capacidad de almacenamiento del pondaje, será necesario realizar las primeras aperturas de la compuerta radial

Con el fin de evaluar la estrategia de apertura frente a las concentraciones de sedimento hacia aguas abajo de la captación, se deberán simular escenarios donde



se realice la apertura de la compuerta en diferentes tasas y tiempos de duración. Para cada escenario modelado se verificará que el pico de concentración obtenido aguas abajo del azud, no supere el pico de sedimentos en suspensión obtenido en el río en los muestreos realizados en épocas de crecientes o por lo menos de caudales altos, de las fases de Estudios y Construcción.

La frecuencia y tiempos de apertura de la descarga de fondo serán las que arrojen resultados de la concentración de sedimentos suspendidos más cercanos a la concentración de sedimentos natural del río Cocorná en época de crecientes o caudales altos.

Es importante mencionar que las características de la apertura de la compuerta radial deberán ajustarse en la fase de operación de la central, de acuerdo con los resultados de los monitoreos que se lleven a cabo durante esta fase, en la ejecución del Plan de Manejo Ambiental PMA-MF-08.

#### 3.4.2.2 Zedmes

Durante la operación del proyecto, se hará limpieza a las cunetas y rondas de coronación cada tres meses, hasta que las zonas se hayan estabilizado.

#### 3.4.2.3 Instalaciones temporales

En la fase de operación, la infraestructura temporal se desmontará, y sólo se utilizarán las construcciones descritas a continuación:

- Para el sitio de captación una oficina y una caseta de vigilancia.
- Para la casa de máquinas se requerirá de una oficina y una caseta de vigilancia.

#### 3.4.2.4 Vía de acceso

En la etapa de operación, con el fin de conservar la vía en buen estado, se realizará mantenimiento de la calzada y las cunetas viales periódicamente y las obras de arte (alcantarillas), al menos cada tres meses.

#### 3.4.2.5 Sistema de desvío

Después de construido el azud y las obras anexas, el o los sistemas de desviación del río se desmontará(n).

#### 3.4.2.6 Obras de captación

Se sugiere un monitoreo preventivo cada tres meses en las obras de la zona de captación. Además, éstas deberán inspeccionarse después de los eventos de crecientes.



A continuación, en la Tabla 3-29 se muestra un cuadro de acciones de mantenimiento periódico recomendado en la zona de captación:

Tabla 3-29. Acciones de mantenimiento en zona de captación

Acciones	Periodicidad	
	Estiaje	Lluvias
Limpieza del azud	Mensual*	Semanal, quincenal*
Engrase de compuertas	Semestral	Mensual
Control de funcionamiento de compuertas	Diario	Diario
Inspección de obras en la zona de captación	Trimestral	Semanal

\*La periodicidad de limpieza del azud dependerá de los resultados de los muestreos realizados como parte del plan de manejo de sedimentos PMA-MF-08, del capítulo 10 de este EIA.

#### 3.4.2.7 Tanque desarenador

Los sedimentos en el desarenador se limpian abriendo la válvula de limpieza; la válvula debe abrirse intermitentemente o de manera continua durante la época de lluvia. Se deben comprobar las condiciones de las estructuras de cemento, además de las válvulas de limpieza y las compuertas.

A continuación, en la Tabla 3-30 se especifican algunas acciones de mantenimiento.

Tabla 3-30. Acciones e mantenimiento en desarenador

Acciones	Periodicidad	
	Estiaje	Lluvias
Purga del desarenador	Cada 2 meses	Semanal, quincenal
Engrase de compuertas	Semestral	Cada 2 meses
Control de funcionamiento de las compuertas	Durante la purga	Durante la purga
Limpieza total del desarenador	Mensual*	Quincenal*
Inspección de la estructura del desarenador	Anual	Anual

\*La periodicidad de limpieza del azud dependerá de los resultados de los muestreos realizados como parte del plan de manejo de sedimentos PMA-MF-08, del capítulo 10 de este EIA.

#### 3.4.2.8 Tanque de carga

En la etapa de operación de la central el tanque de carga tendrá un funcionamiento con los niveles descritos a continuación:



- El nivel normal de operación en el tanque de carga se definió en la cota 1348 msnm, que es el producido con el sistema procesando un caudal de diseño de 10,6 m<sup>3</sup>/s.
- A partir del nivel normal se estableció el nivel mínimo de alarma en la cota 1347,5 msnm, localizado 0,5 m por debajo del anterior nivel, con el fin de absorber en esta altura posibles oscilaciones que puedan generarse durante los ajustes de cierre y apertura normales de las turbinas, para mantener el nivel de operación constante.
- El nivel mínimo de operación en el tanque de carga se estableció en la cota 1343,3 msnm, 4,7 m de altura por debajo del anterior teniendo en cuenta un volumen mínimo de almacenamiento para un cierre simultaneo de las unidades en casa de máquinas.
- El volumen mínimo requerido para el tanque se estimó en 954 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta una condición extrema en la cual podría presentarse un desbalance entre el caudal de entrada al sistema y el caudal turbinado, con las dos turbinas tipo Pelton operando en la casa de máquinas, para el caudal nominal total de 10,6 m<sup>3</sup>/s y, considerando un cierre simultáneo de los inyectores de las turbinas en un tiempo de 60 segundos.
- La sumergencia, estimada en 3,8 m, se mide entre el nivel mínimo de operación del tanque, definido en el punto anterior, y la cota del eje de la tubería de presión que sale del tanque de carga.

#### 3.4.2.9 Casa de máquinas

En la etapa de operación la casa de máquinas albergará los equipos para la generación de energía; en este sitio se localiza la sala de control, lugar donde se inspecciona el adecuado funcionamiento de la central.

#### 3.4.2.10 Subestación eléctrica

Una vez finalizadas las obras y ya en fase de funcionamiento de la subestación transformadora, se desarrollará el seguimiento ambiental de la misma. En general, se verificará el buen estado y funcionamiento de los elementos de la instalación, y se controlará si en algún momento fuera necesario adoptar algún tipo de medida correctora, principalmente el sistema pararrayos.

En esta fase se efectuarán revisiones periódicas que verifiquen el buen estado del lugar, comprobando que no hayan aparecido nuevos impactos.

#### 3.4.2.11 Sistema de descarga

En la etapa de operación de la pequeña central hidroeléctrica deberá inspeccionarse el sistema de descarga (canal) cuando las tuberías de conducción del agua para la generación de energía se encuentren también en inspección.



#### 3.4.2.12 Equipos de generación

En la operación se realiza el control, inspección y registros de lecturas de los equipos de generación (turbina y generador).

No obstante, se debe tener en cuenta que equipos similares pueden producir lecturas diferentes y, sin embargo, trabajar eficazmente durante muchos años. No se deberían ignorar los ruidos y las vibraciones. Se debe escuchar el ruido normal de los cojinetes y engranajes, ya que un cambio en dicho ruido puede ser señal evidente de posibles fallos.

Se debe asegurar que el generador se encuentre preparado para su uso. Así mismo, verificar que todos los niveles de aceite sean correctos, que los calentadores estén encendidos y los interruptores del selector en su posición adecuada.

Conviene equilibrar las horas de funcionamiento de los grupos turbina-generador de la central para repartir por igual el desgaste de las máquinas, y hacer coincidir la revisión principal de las mismas con los períodos de verano, cuando los caudales de generación sean bajos. De esta manera, el caudal mínimo turbinable de cada una de las máquinas (20% del caudal nominal) será del mismo orden de los caudales del río.

El trabajo de mantenimiento debería estar programado anualmente o más, para los trabajos menos frecuentes. Siempre debería haber disponibles piezas de repuesto, cumpliendo las recomendaciones de los fabricantes, para las operaciones de mantenimiento y para casos de averías. Conviene asegurarse de que todas las herramientas especiales y necesarias para los trabajos a llevar a cabo se han identificado y están disponibles.

#### 3.4.2.13 Equipos hidromecánicos

En la etapa de operación estos elementos permitirán realizar las labores de mantenimiento y limpieza.

### 3.4.3 Afectaciones de la maquinaria al ambiente

La maquinaria pesada que será utilizada durante construcción, descrita en el apartado anterior genera *per se* dos tipos de efectos que pueden producir impactos: (1) emisión de gases y (2) ruido. A continuación, la descripción de cada uno de ellos.

#### 3.4.3.1 Emisiones de gases

A diferencia del ruido, la emisión de gases contaminantes no debe ser estimada independientemente de la cantidad de vehículos, de su uso y de la tipología y modelo de estos. Depende de muchas variables. Hay modelos numéricos que permiten evaluar su comportamiento espacial y temporal. Hay modelos paramétricos que también lo hacen.



### 3.4.3.2 Ruido Durante la construcción

Mediante la circulación de vehículos, la operación de maquinaria pesada, la utilización de voladuras de roca con dinamita

Tomando como referencia “Transit Noise and Vibration Impact Assessment” (Harris Miller & Hanson Inc Chapter 10: Noise and Vibration During Construction, Table 10-1), las fuentes de emisión pueden ser cualquiera de las siguientes mostradas en la Tabla 3-31:

Tabla 3-31. Nivel de ruido de maquinaria durante la construcción

<b>Equipo</b>	<b>Nivel típico de ruido (dB)</b>
Compresor de aire	81
Retroexcavadora	80
Niveladora de balasto	82
Compactadora	82
Mezcladora de concreto	85
Vibradora de concreto	82
Torre grúa	88
Grúa móvil	83
Bulldócer	85
Generador	81
Motoniveladora	85
Taladro	85
Cargador	85
Pavimentadora	89
Piloteadora	101
Taladro neumático	85
Bombas	76
Sierra eléctrica	90
Martillo neumático	98
Vibrocompactador	89
Sierra eléctrica	90
Mototrailla	89
Camión	88



Como se puede ver, cualquiera de las máquinas utilizadas en una construcción del tipo que se necesita en el proyecto (salvo las piloteadoras que no serán utilizadas y los martillos neumáticos) cumplen con los 90 dB para exposiciones de 8 h/día (como efectivamente será en las jornadas de construcción) exigidos por las resoluciones 8321 de 1983 del Ministerio de Salud y la 1792 de 1990 de los Ministerios de Salud y de Trabajo y Seguridad Social.

No obstante, se logre cumplir con los requerimientos de salud ocupacional dados en la legislación colombiana, los niveles de ruido aumentarán y generará un impacto negativo en el entorno de las obras. El nivel esperado para que no haya una diferencia significativa con un entorno natural (55 dB) puede obtenerse de la recomendación de la Organización Mundial de la Salud, OMS, tal como se muestra en la Figura 3-67.

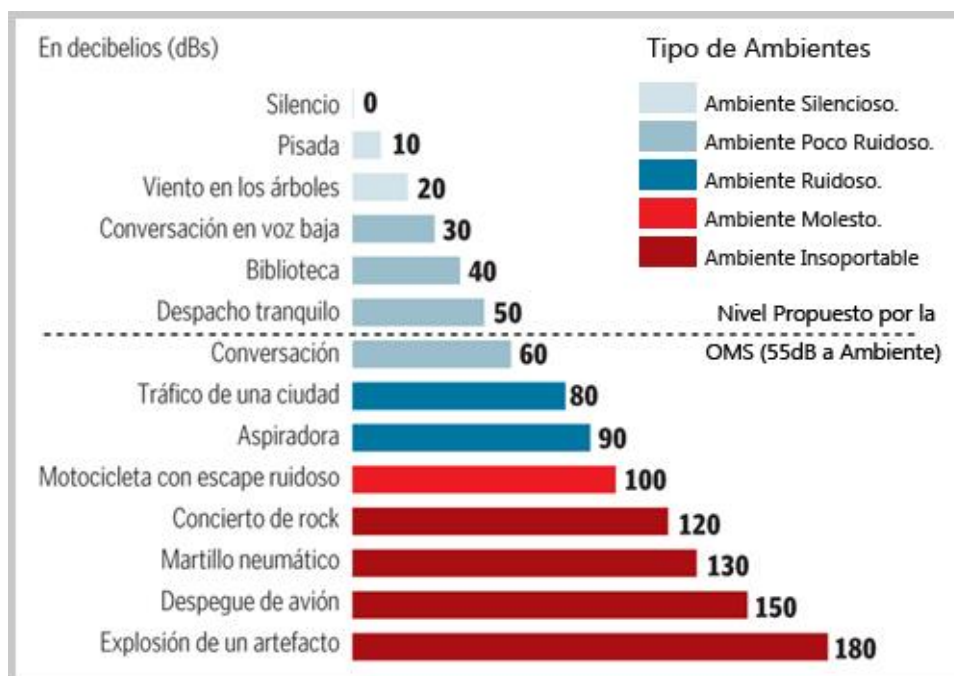


Figura 3-67. Recomendación de ruido según la OMS

El nivel de ruido disminuye con la distancia desde la fuente de emisión. Para determinar la distancia a la cual la maquinaria de construcción ya no genera ese impacto, basta con aplicar la fórmula para determinar la evolución de la presión sonora:

$$Lp2 - Lp1 = 20 \log (R2 - R1) \quad \text{Ecuación 3-28}$$

Donde:

Lp2: nivel de presión sonora en el punto a determinar



Lp1: nivel de presión sonora a 1 metro de la fuente

R2: distancia de la fuente al punto a determinar

R1: distancia de la fuente al punto de medición

Suponiendo  $R1=1$  m, R2 debe ser 145 m para que la atenuación del ruido sea 43 dB, o lo que es lo mismo, para bajar de 98 dB (la mayor presión sonora durante construcción) a 55 dB (ver Figura 3-68).

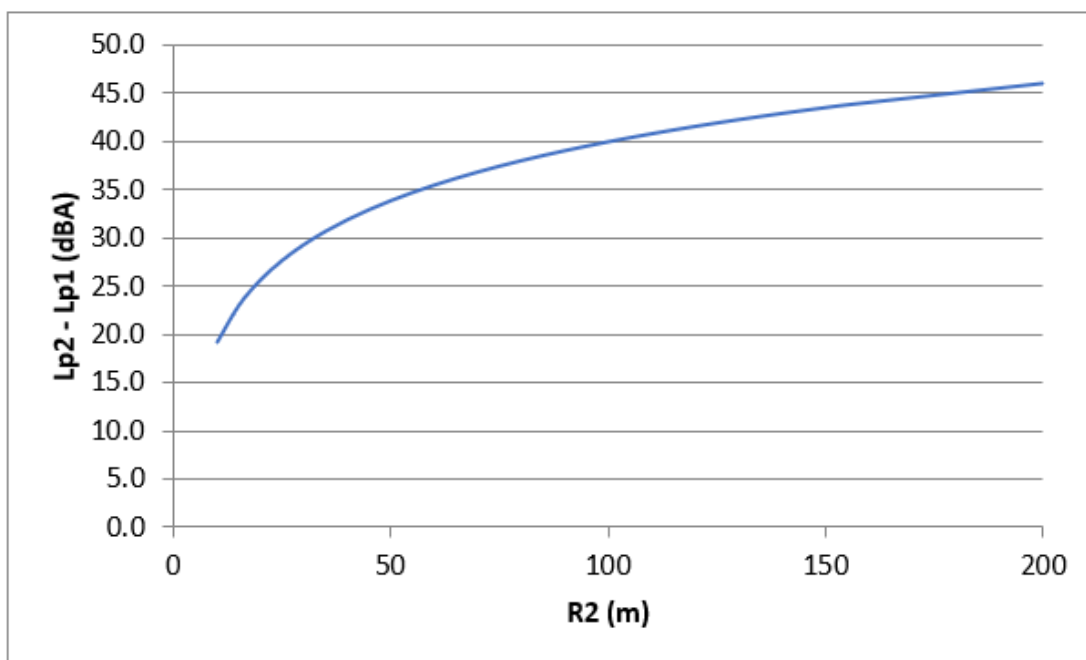


Figura 3-68 Atenuación del ruido según la distancia

Dentro de un radio de 145m del proyecto se tiene presencia de 14 viviendas y un centro educativo. Estos equipamientos se verán potencialmente afectados por ruido mayor de 55 dBA generado durante la construcción de las obras asociadas al proyecto. En la Tabla 3-32 se da el detalle para cada uno de ellos.

Tabla 3-32. Infraestructura susceptible a ruido mayor de 55 dBA

Sistema de coordenadas Magna Sirgas origen: central

Tipo de infraestructura	Vereda	Coordenada este	Coordenada norte	Obra de mayor proximidad	Distancia (m)
Vivienda	La Placeta	874969	1160744	Vía acceso a captación	9



Tipo de infraestructura	Vereda	Coordenada este	Coordenada norte	Obra de mayor proximidad	Distancia (m)
Vivienda	La Placeta	874911	1160808	Vía acceso a captación	67
Vivienda	La Placeta	874837	1160758	Vía acceso a captación	87
Vivienda	La Placeta	874981	1160691	Vía acceso a captación	50
Centro Educativo Rural	La Placeta	874921	1160674	Vía acceso a captación	18
Vivienda	La Placeta	874978	1160608	Vía acceso a captación	36
Vivienda	La Placeta	874855	1160593	Vía acceso a captación	35
Vivienda	La Placeta	874916	1160561	Vía acceso a captación	90
Vivienda	La Placeta	874509	1160640	Vía acceso a captación	145
Vivienda	La Placeta	874574	1160460	Vía acceso a captación	45
Vivienda	Mazotes	875858	1160392	Conducción	127
Vivienda	Mazotes	876475	1160324	Conducción	93
Vivienda	Mazotes	876365	1160032	Conducción	143
Vivienda	Los Cedros	878320	1160408	Vía acceso a casa de máquinas	11
Vivienda	Los Cedros	878355	1160347	Vía acceso a casa de máquinas	36

#### 3.4.3.3 Ruido durante operación

Mediante el movimiento del grupo turbina-generador podrá presentarse, según la literatura, ruido hasta de 91dB; lo que es ligeramente superior al umbral definido por la normativa, considerando que los equipos estarán en funcionamiento las 24 horas del día. Sin embargo, el cerramiento de la casa de máquinas producirá un aislamiento acústico que mitigue este impacto. Dicho aislamiento varía según el material que se defina para la estructura como se muestra a continuación en la

Tabla 3-33:



Tabla 3-33 Aislamiento acústico según tipo de cerramiento

Tipo de pared	Espesor (cm)	Masa unitaria (Kg/cm <sup>2</sup> )	Aislamiento acústico (dB)
Fábrica de ladrillo cerámico perforado	11,5	202	43
	14	250	46
	24	364	52
	29	460	56
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	11,5	242	46
	14	286	48
	24	444	55
	29	532	58
Fábrica de ladrillo silicocalcáero	11,5	252	46
	24	484	56
Fábrica de bloques de hormigón	14	225	44
	19	270	47
	29	370	52
Fábrica de hormigón armado	14	350	51
	18	450	55
	20	500	57
	24	600	60
	30	750	63

Dado que la casa de máquinas es a nivel superficial y está ubicada en proximidades del río Cocorná, se plantea inicialmente que su estructura esté conformada por hormigón armado. Sin embargo, esta información puede variar según lo que indiquen los estudios a realizar posteriormente.

Dentro del Programa de Manejo de la Calidad del Aire y Ruido (PMA-MF-01, del capítulo 10 de este EIA) se contemplan medidas de prevención y mitigación para el ruido que se generará en la etapa de Construcción y de Desmantelamiento y Abandono del proyecto.

### 3.5 Personal requerido y organigrama del Proyecto

A continuación, se presenta la cantidad y tipo de personal requerido durante las diferentes fases del proyecto.



### 3.5.1 Personal requerido

Para la construcción de las obras se requiere el siguiente personal, distribuido en los tres frentes de trabajo (obras de captación, obras de casa de máquinas y obras de instalación de la tubería de conducción). Dentro de las fases del proyecto el personal estará distribuido de la siguiente manera:

#### 3.5.1.1 Fase de estudios de detalle

Para la fase relacionada con los estudios de detalle se requerirán cerca de 40 personas para la actualización de los diseños y la realización de los estudios técnicos y ambientales. Aproximadamente de las 40 personas 15 serán de la zona del proyecto. Estas últimas en labores de: guías, cadeneros de topografía, auxiliares de perforación, entre otras funciones.

#### 3.5.1.2 Fase de construcción

Durante la etapa de construcción se requerirá de un promedio de 170 personas, divididos entre personal profesional, técnico y no calificado para el desarrollo del proyecto y a las actividades que se generen durante esta etapa (ver Tabla 3-34). El período de construcción tendrá una duración aproximada de 24 meses.

Se estima que el 95% de los trabajadores de mano de obra no calificada sean de la zona, con el objetivo de fomentar la generación de empleo como uno de los impactos positivos del proyecto.

Tabla 3-34. Personal durante la etapa de construcción

Personal	Cantidad
Ingeniero residente por frente	4
Director	1
Administrativos	2
SISO	3
Tecnólogos por frentes	6
Interventoría	6
Ingeniero Mecánico	1
Ingeniero Ambiental	1
Ingeniero Eléctrico	1
Profesional Social	1
Otros profesionales	6
Mano de obra no calificada	120
Operadores de maquinaria	8
Conductores	6
Topógrafos	6



Personal	Cantidad
Arqueólogos	1
<b>Total</b>	<b>170</b>

### 3.5.1.3 Fase de operación

Para la etapa de operación se estima que el número de trabajadores será de 12, distribuido como se muestra en la Tabla 3-35).

Tabla 3-35. Personal durante operación

Personal	Cantidad
Operación de la central	6
Operación captación	1
Administración general	2
Mantenimiento general	2
Seguridad	1
<b>Total</b>	<b>12</b>

Todas las personas vinculadas al proyecto deberán contar con la respectiva afiliación al sistema de seguridad social y tener las certificaciones necesarias según el SSST (Sistema de seguridad y salud en el trabajo).

## 3.5.2 Organigrama del proyecto

### 3.5.2.1 El organigrama a efectos de la gestión ambiental

El organigrama mostrado en la Figura 3-69 es típico de cualquier proyecto de infraestructura. Lo importante aquí es la responsabilidad que tiene cada uno de los actores en la gestión ambiental del Proyecto, entendiéndose esta como la ejecución de los planes de manejo ambiental, planes de monitoreo y seguimiento, plan de contingencia y plan de inversión del 1%. En ese organigrama se han resaltado algunos profesionales sobre los que recaerá esa responsabilidad. Siempre la responsabilidad primaria la debe tener el Promotor o dueño del proyecto, pero en cada fase hay unos encargados de ejecutar la gestión ambiental. A continuación, se describe cada uno de ellos.

#### 3.5.2.1.1 Fase de estudios

En la fase de estudios, marcada como A en el organigrama (ver Figura 3-69), deberá haber un encargado ambiental (Ingeniero Ambiental) y un encargado social (Sociólogo, Trabajador Social o Politólogo) por parte de la empresa consultora,



ejecutando la gestión ambiental y, sobre todo, los procesos de socialización en las comunidades. La generación de expectativas deberá ser controlada en esta fase.

#### 3.5.2.1.2 Fase de construcción

La construcción de la obra civil puede estar dividida en varios contratistas (movimientos de tierra, obras de concretos, obras subterráneas, etc.). Además, habrá aquellos que se dediquen al montaje de la tubería, los equipos electromecánicos, los equipos hidromecánicos y la subestación. Existe normalmente uno o varios interventores. Todos ellos, contratistas e interventores, deben contar con un encargado ambiental. Cuando las actividades de los constructores son pequeñas e implican pocos impactos ambientales o de baja magnitud (montaje de equipos hidromecánicos, por ejemplo), de la ejecución de la gestión ambiental se encargará un SISOMA (profesional de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Medio Ambiente), marcado como B en el organigrama (ver Figura 3-69). Si, por el contrario, las actividades que ejecutan pueden representar impactos ambientales críticos o severos (movimiento de tierras, por ejemplo), el contratista deberá contar con un ingeniero ambiental coordinador de la gestión ambiental de dichas actividades en el mismo nivel jerárquico del Director Técnico de la obra, marcado como C en el organigrama (ver Figura 3-69). El interventor siempre deberá contar con un supervisor ambiental (Ingeniero ambiental), marcado como D en el organigrama (ver Figura 3-69).



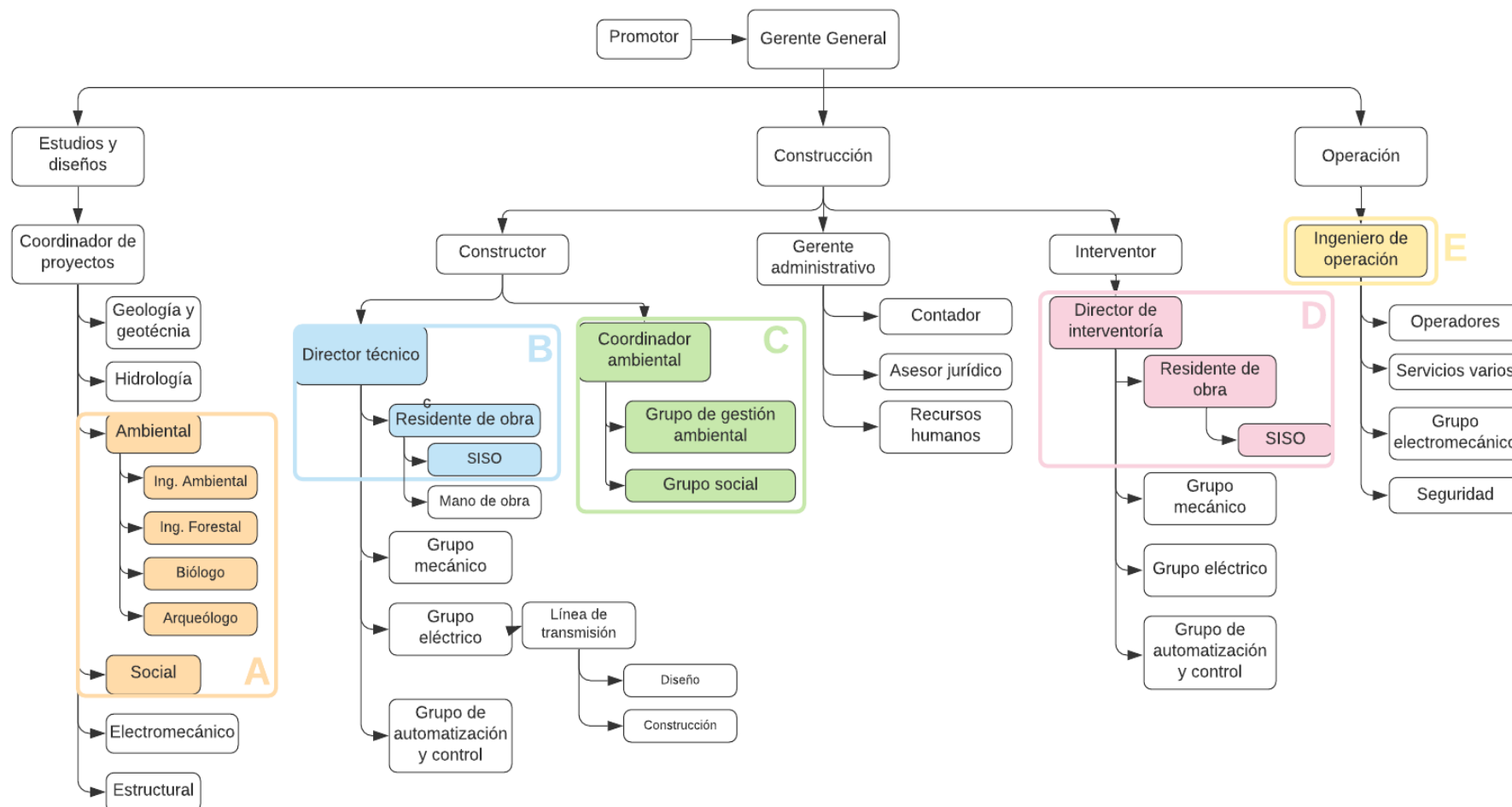


Figura 3-69. Estructura organizacional para la ejecución del proyecto en cada una de sus fases



### 3.5.2.1.3 Fase de operación

Durante operación, las funciones de gestión ambiental recaerán sobre el Ingeniero de Operación.

## 3.6 Cronograma y costos del proyecto

### 3.6.1 Duración de las actividades

La duración de cada una de las etapas para el desarrollo del proyecto se indica a continuación en la Tabla 3-36:

Tabla 3-36. Duración etapas del Proyecto después de la Licencia Ambiental

Actividad	Inicio	Final
Actividades Preliminares (Factibilidad, Ajuste de la Licencia, Diseño, cierre financiero, socialización y negociación de predios)	Mes 1	Mes 18
Construcción (Obras civiles, suministro y montaje de equipos electromecánicos, puesta en marcha)	Mes 19	Mes 36
Operación	Mes 37	50 años

### 3.6.2 Costos del proyecto

A continuación, en la Tabla 3-37 se desglosa el presupuesto estructurado para el proyecto hidroeléctrico, el cual suma 135,311,999,638 COP (teniendo en cuenta obra civil, equipos electromecánicos y otros costos) que en dólares se traduce a 37,586,667 USD, teniendo en cuenta una tasa de cambio de 3600 COP.

Tabla 3-37. Presupuesto del proyecto

Ítems	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>1 Predios (ha)</b>	15	\$ 500,000,000	<b>\$ 7,500,000,000</b>
<b>2 Actividades preliminares</b>			
2.1 Instalación y actividades preliminares	1	\$ 250,000,000	<b>\$ 250,000,000</b>
<b>Sub total</b>			<b>\$ 250,000,000</b>
<b>3 Zona de captación</b>			
3.1 Llenos - Ataguía, contrataguía (m³)	7,200	\$ 30,000	<b>\$ 216,000,000</b>
3.2 Desvío de río	2	\$ 500,000,000	<b>\$ 1,000,000,000</b>
3.3 Descapote (m³)	4,688	\$ 8,000	<b>\$ 37,502,400</b>
3.4 Excavación Roca (m³)	1,551	\$ 80,000	<b>\$ 124,080,000</b>



Ítems		Cantidad	Precio unitario	Precio total
3.5	Excavación Común (m³)	1,550	\$ 20,000	\$ 31,000,000
3.6	Lleno en concreto ciclópeo	433	\$ 450,000	\$ 195,030,000
3.7	Concreto (m³)	4,184	\$ 1,100,000	\$ 4,602,400,000
3.8	Acero (kg)	627,600	\$ 5,000	\$ 3,138,000,000
Sub total				\$ 9,344,012,400
4	Desarenador			
4.1	Descapote (m³)	1,469	\$ 8,000	\$ 11,752,000
4.2	Excavación Roca (m³)	1,625	\$ 80,000	\$ 130,000,000
4.3	Excavación Común (m³)	1,625	\$ 20,000	\$ 32,500,000
4.4	Concreto (m³)	776	\$ 1,100,000	\$ 853,600,000
4.5	Acero (kg)	116,400	\$ 5,000	\$ 582,000,000
Sub total				\$ 1,609,852,000
5	Tanque de carga			
5.1	Descapote (m³)	845	\$ 8,000	\$ 6,760,000
5.2	Excavación Roca (m³)	768	\$ 80,000	\$ 61,440,000
5.3	Excavación Común (m³)	768	\$ 20,000	\$ 15,360,000
5.4	Concreto (m³)	855	\$ 1,100,000	\$ 940,500,000
5.5	Acero (kg)	128,250	\$ 5,000	\$ 641,250,000
Sub total				\$ 1,665,310,000
6	Conducción a presión			
6.1	Descapote (m³)	12,064	\$ 8,000	\$ 96,512,000
6.2	Excavación Roca (m³)	30,300	\$ 80,000	\$ 2,424,000,000
6.3	Excavación Común (m³)	20,300	\$ 20,000	\$ 406,000,000
6.4	Tubería GRP	3,725	\$ 3,000,000	\$ 11,175,000,000
6.5	Relleno	39,863	\$ 25,000	\$ 996,569,915
6.6	Puenteducto (ml)	325	\$ 3,000,000	\$ 975,000,000
6.7	Transporte tubería	3,725	\$ 1,000,000	\$ 3,725,000,000
6.8	Anclajes (m³)	1,844	\$ 1,100,000	\$ 2,028,307,380
6.9	Pilas (m³)	226	\$ 1,100,000	\$ 248,600,000
6.9.1	Tratamiento de taludes	1	\$ 1,500,000,000	\$ 1,500,000,000
6.9.2	Acero (kg)	310,487	\$ 5,000	\$ 1,552,436,850
Sub total				\$ 25,127,426,145



Ítems		Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>7</b>	<b>Casa de máquinas superficial</b>			
7.1	Descapote (m <sup>3</sup> )	1,950	\$ 8,000	<b>\$ 15,600,000</b>
7.2	Excavación Roca (m <sup>3</sup> )	1,986	\$ 80,000	<b>\$ 158,880,000</b>
7.3	Excavación Común (m <sup>3</sup> )	1,986	\$ 20,000	<b>\$ 39,720,000</b>
7.4	Concreto (m <sup>3</sup> )	830	\$ 1,100,000	<b>\$ 913,000,000</b>
7.5	Acero (kg)	124,500	\$ 5,000	<b>\$ 622,500,000</b>
7.6	Acabados arquitectónico y urbanismo	1	\$ 300,000,000	<b>\$ 300,000,000</b>
7.7	Pisos muros y cubierta	1	\$ 300,000,000	<b>\$ 300,000,000</b>
7.8	Aire acondicionado y sistema contra incendio	1	\$ 200,000,000	<b>\$ 200,000,000</b>
7.9	Manejo de aguas subterráneas	1	\$ 150,000,000	<b>\$ 150,000,000</b>
<b>Sub total</b>				<b>\$ 2,699,700,000</b>
<b>8</b>	<b>Vías</b>			
8.1	Vía casa de máquinas (m)	549	\$ 2,000,000	<b>\$ 1,098,000,000</b>
8.2	Vía captación (m)	936	\$ 1,300,000	<b>\$ 1,216,800,000</b>
8.3	Vía sector la escuela (m)	208	\$ 1,300,000	<b>\$ 270,400,000</b>
8.4	Cunetas (m)	1,700	\$ 44,000	<b>\$ 74,800,000</b>
8.5	Puente zona escolar (m <sup>2</sup> )	120	\$ 4,500,000	<b>\$ 540,000,000</b>
8.6	Puente casa de máquinas (m <sup>2</sup> )	500	\$ 12,000,000	<b>\$ 6,000,000,000</b>
8.7	Descapote (m <sup>3</sup> )	18,902	\$ 8,000	<b>\$ 151,216,000</b>
<b>Sub total</b>				<b>\$ 9,351,216,000</b>
<b>9</b>	<b>Canal de descarga</b>			
9.1	Descapote (m <sup>3</sup> )	294	\$ 8,000	<b>\$ 2,350,400</b>
9.2	Excavación Roca (m <sup>3</sup> )	225	\$ 80,000	<b>\$ 18,000,000</b>
9.3	Excavación Común (m <sup>3</sup> )	225	\$ 20,000	<b>\$ 4,500,000</b>
9.4	Concreto (m <sup>3</sup> )	500	\$ 1,100,000	<b>\$ 550,000,000</b>
9.5	Acero (kg)	75,000	\$ 5,000	<b>\$ 375,000,000</b>
<b>Sub total</b>				<b>\$ 949,850,400</b>
<b>10</b>	<b>Zodmes</b>			
10.1	Adecuación de zodmes	6	\$ 400,000,000	<b>\$ 2,400,000,000</b>
<b>Sub total</b>				<b>\$ 2,400,000,000</b>
<b>TOTAL OBRA CIVIL</b>				<b>\$ 53,397,366,945</b>



Ítems		Cantidad	Precio unitario	Precio total
11	Equipos electromecánicos y subestación			\$ 36,188,714,618
Subtotal costos del proyecto (obra civil y equipos electromecánicos)				\$ 89,586,081,563
12	Inversión del 1%	0.01		\$ 970,860816
13	Imprevistos equipos (8%)			\$ 2,895,097,169
14	Plan de manejo ambiental			\$ 5,061,281,034
15	Costos de administración obras civiles	0.2		\$ 10,679,473,389
16	Imprevisto obras civiles (10%)	0.1		\$ 5,339,736,695
	Predios			\$ 7,500,000,000
17	Gastos de licenciamiento ambiental y otros permisos			\$ 2,000,000,000
18	Interventoría y gerencia (6%)	0.06		\$ 5,375,164,894
19	Ingeniería de detalle			\$ 1,500,000,000
20	Utilidad (5%)	0.05		\$ 4,479,304,078
	Sub total Otros costos			\$ 45,725,918,075
PRESUPUESTO TOTAL				\$ 135,386,999,638
Total USD\$				\$ 37,607,500
Potencia		19.56 MW		
Valor unitario por KW COP				\$ 6,921,626
Valor unitario por KW USD				\$ 1,923