



Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable
PROAGRO
Programa Nacional de Riego
PRONAR

tomas

Tirolesas

Serie de Investigación Aplicada N° 1

CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CAPTACIÓN PARA RIEGO



gtz



Título: Criterios de Diseño y Construcción de Obras de Captación para Riego
Tomas Tiroleras

Primera Edición: Programa Nacional de Riego
Componente de Asistencia Técnica
Subcomponente de Investigación Aplicada

Preparación: Luis Carlos Sánchez

Revisión: Zulema Gutierrez

Carlos Montaña

Edición: Fabiana Brun
2002

Segunda Edición: PROAGRO / Diciembre 2009

Revisión: Augusto Prudencio
Carlos Montaña
Humberto Gandarillas

Serie: N° 1 Investigación Aplicada
Quedan todos los derechos reservados bajo
Depósito Legal N° 2-1-279-06
ISBN: 99954-708-6-1

Edición: Selva Roca

Diseño y Diagramación: Unidad de Comunicación y Relaciones Públicas

Fotografías: PRONAR

Auspicios: Cooperación Técnica Alemana GTZ

El Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable PROAGRO es financiado por el Ministerio Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y ejecutado por la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en cooperación con el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego y el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.

La información contenida en este documento pertenece al Programa Nacional de Riego, su reproducción está permitida siempre que se cite la fuente.

Componente Riego PROAGRO
Av. Litoral E-984
Teléfonos: 4-4256689 - 4-426281
E-Mail: gtzriego@riegobolivia.org
Cochabamba, Bolivia

Índice

Presentación	5
1. Los Casos Estudiados	7
1.1. TORALAPA ALTA.....	7
1.2. KORA TIQUIPAYA.....	10
1.3. APOTE	13
1.4. MILLU MAYU	16
1.5. LAIMIÑA.....	19
1.6. TITIRI	21
1.7. CANAL PALCA CORANI	24
2. Análisis de la Funcionalidad de la Obra A Partir de la Gestion de Agua	27
2.1. Consideraciones Previas.....	27
2.1.1 Gestión de agua y diseño técnico: dos caras de la misma moneda	27
2.1.2 La construcción social de la tecnología.....	28
2.2. Relación del Diseño y Construcción de Tomas Tirolesas con los Elementos de la Gestión del Agua.....	29
2.2.1 Diseño y construcción de tomas tirolesas y aspectos organizativos.....	29
2.2.2 Relaciones entre diseño, construcción y mantenimiento de tomas tirolesas	31
2.2.3 Diseño, construcción y operación de tomas tirolesas	36
2.2.4 Diseño y construcción de tomas tirolesas y derechos al agua.....	38
3. Criterios de Diseño y Construcción	41
3.1 Criterios Generales de Diseño de Tomas.....	41
3.2. Descripción de la Toma Tirolesa	42
3.3. Criterios Constructivos	44
3.4. Elección del Sitio de la Obra de Toma	45
3.5. Criterios de Diseño Hidráulico	47
3.6. Componentes Complementarios.....	57
3.7. Factores de Riesgo	58
3.8. Características Constructivas de la Toma	59
3.9. Criterios de Gestion de Agua que orientan el Diseño y Construcción.....	59
Bibliografía	63
Anexo 1: Ejemplo de Cálculo Hidráulico de Toma Tirolesa	65
Anexo 2: Desarenadores	67

Figuras

Figura N° 1. Croquis de la obra de toma	8
Figura N° 2. Croquis de la obra de toma Kora Tiquipaya	11
Figura N° 3. Croquis de la toma Apote	14
Figura N° 4. Croquis de la toma Millu Mayu	17
Figura N° 5. Croquis de la toma Laimiña	20
Figura N° 6. Croquis de la toma Titiri	22
Figura N° 7. Partes de una Toma Tirolesa.....	42
Figura N° 8. Esquema de Toma Tirolesa con barras de rejilla transversales al flujo.....	43
Figura N° 9. Relación entre las dimensiones “a” y “b” de una rejilla	48
Figura N° 10. Valores del coeficiente de contracción de la rejilla μ	49
Figura N° 11. Parámetros del diseño hidráulico de la rejilla	49

Fotografías

Fotografía N° 1 Vista general de la toma de Toralapa Alta.....	9
Fotografía N° 2 Toma Kora Tiquipaya, se aprecian.....	12
Fotografía N° 3 Taponamiento de rejilla por acarreo de sedimentos en toma Apote	15
Fotografía N° 4 Toma Millu Mayu en funcionamiento en época de lluvias	18
Fotografía N° 5 Obra de toma tirolesa de Laimiña con rejilla extraída de la estructura	20
Fotografía N° 6 Vista del azud con el emplazamiento de la toma tirolesa en Titiri.....	23
Fotografía N° 7 Toma tirolesa sobre el canal Palca en la subcuenca de Potrero Mayu.....	24

Cuadros

Cuadro N° 1. Pendientes del río en tomas investigadas	45
Cuadro N° 2. Funcionamiento de las tomas tirolesas según la pendiente del río*	46
Cuadro N° 3. Valores del factor de corrección por inclinación de rejilla	50

CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TOMAS TIROLESAS¹

Presentación

El Programa Nacional de Riego, (PRONAR), a través del subcomponente de Investigación Aplicada ha tomado la decisión de desarrollar un estudio sobre criterios de diseño y construcción de tomas tirolesas en el contexto medioambiental. Esta investigación fue planteada con el objetivo de realizar el análisis de este tipo de tomas a través de estudios de caso en Cochabamba, considerando que este departamento cuenta con el mayor número de obras de este tipo.

De acuerdo al inventario de sistemas de riego elaborado por el PRONAR, en las provincias de Tapacaré y Arque del departamento de Cochabamba, existen algunos sistemas de riego muy pequeños con obras de toma tipo tirolesa, que en general son captaciones de vertientes de magnitud muy pequeña, las cuales no se consideraron apropiadas para el presente estudio. En las provincias de Quillacollo, Tiraque y Carrasco, existen 7 tomas tirolesas consideradas estructuras de importancia y se constituyen en los casos estudiados en la presente investigación.

Las tomas tirolesas son adecuadas para zonas montañosas, pero en nuestro país se encuentran en pequeña cantidad con respecto a otros tipos de tomas construidas en zonas planas aluviales, por lo que no se les ha brindado una atención importante en trabajos de investigación. La mayor parte de las experiencias está basada en modelos estándar de riego desarrollados para áreas montañosas, y por esta razón se han encontrado problemas de diseño en los siguientes aspectos:

Manejo Integral de Cuencas

Ubicación de la Obra de Toma

Arrastre de Sedimentos

Destrucción de las Estructuras de Disipación

Taponamiento de la Rejilla

Mantenimiento de la Toma

¹ Elaborado por Luis Carlos Sánchez

El presente documento está dividido en 3 capítulos debidamente relacionados. En el Capítulo 1 se presenta la descripción detallada de las 7 tomas tirolesas analizadas para la preparación del presente estudio. El Capítulo 2, muestra un análisis completo de la funcionalidad de las obras en relación a su capacidad de gestión. Por último, en el Capítulo 3, se presentan los criterios de diseño y construcción de tomas tirolesas a manera de guía de diseño, donde se hace énfasis en el diseño hidráulico.

1

CAPÍTULO

Los Casos Estudiados

1.1. Toralapa Alta

Características del Contexto Físico Local

La toma de Toralapa Alta, se encuentra ubicada en la provincia Tiraque del Departamento de Cochabamba, a 3.100 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y a 75 km al sureste de la ciudad de Cochabamba, siguiendo la antigua carretera asfaltada Cochabamba - Santa Cruz. Un desvío de 7 km al sur por camino de tierra permite llegar al sitio de la toma. El camino es transitable durante todo el año, con excepción de algunos días en época de lluvias, en los que no es posible cruzar el río Jatun Mayu debido a sus crecidas.

Esta obra está implantada en el río Jatun Mayu, que es un torrente sinuoso que baja de la Cordillera de Tiraque. El sitio de toma presenta una pendiente media del 5% y un ancho de 12 m. El lecho del río es inestable, por lo que existen procesos combinados de socavación y sedimentación.

El talud del margen izquierdo es inestable y se encuentra protegido con muros de hormigón ciclópeo. El margen derecho es estable debido a que existen afloramientos rocosos.

Características de la Cuenca

La subcuenca de Jatun Mayu, hasta el sitio de toma, tiene un área de aporte de 44 km². Pertenece al sistema de cuencas Caine - Grande y a la subcuenca Cliza - Sulty, con un relieve montañoso ondulado de cobertura de morrenas. En la subcuenca, existen actividades de pastoreo y cultivos en pendientes pronunciadas. El Programa Forestal de la Prefectura de Cochabamba (PROFOR), en convenio con las comunidades campesinas de la zona, ha plantado pinos y eucaliptos en áreas muy reducidas de la cuenca, por lo que la mayor parte está cubierta por paja brava y pequeños arbustos de vegetación nativa.

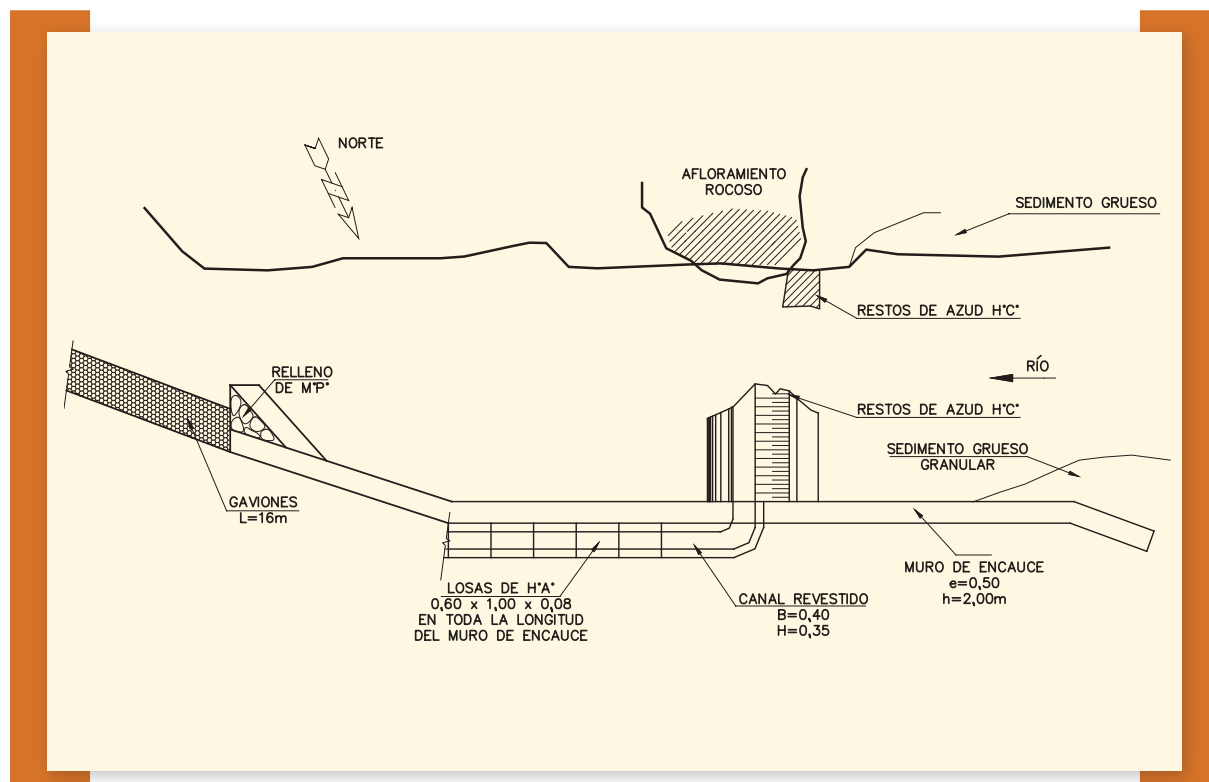
La obra de toma recibe aportes de los embalses de Koari - Kewiña y Totorá Khocha. Presenta una variabilidad de caudales, desde 35 l/s durante el mes de junio hasta 160 l/s el mes de enero y su máxima crecida para un período de retorno de 25 años es de 30 m³/s. Según la estación de Plano Alto, situada en la planicie de Tiraque, la precipitación máxima diaria promedio es de 30 mm en el mes de enero y cero entre los meses de mayo y agosto.

El agua es ligeramente turbia en estiaje, con bastante sedimento en suspensión y arrastre en crecidas.

Características Generales y Específicas de la Obra

La toma tipo tirolesa fue construida el año 1984 por el Ex Servicio Nacional de Desarrollo de la Comunidad (SNDC). El diseño y supervisión de la construcción estuvieron a cargo de la consultora alemana Salzgitter, con financiamiento de la cooperación alemana. Esta estructura fue construida para captar el escurrimiento natural del río Jatun Mayu y los aportes de los embalses, señalados en el párrafo anterior, para su respectiva utilización en el riego de terrenos de las comunidades de Waca Huasi y Chaqo.

Figura N° 1. Croquis de la obra de toma



Existe poca documentación sobre la obra de toma tirolesa; sin embargo, por la información que se ha podido obtener, se conoce que es parte del sistema de riego de Tiraque financiado por la cooperación alemana, bajo la responsabilidad del ex Servicio Nacional de Desarrollo de la Comunidad (SNDC) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ).

El año 1980, el diseño fue realizado por la empresa consultora Salzgitter. La obra fue construida el año 1984, durante aproximadamente 6 meses, bajo la modalidad de administración directa supervisada por Salzgitter. Por otro lado, una parte de la construcción se realizó en época de lluvias, entre los meses de diciembre y marzo, lo que ocasionó problemas debido a la persistencia de las lluvias y las crecidas del río.

La información hidrológica, referente a las intensidades y duración de eventos de precipitación y máximas crecidas, con la cual se realizó el diseño de esta obra, no pudo ser obtenida para el análisis de los efectos sobre el diseño y la construcción. Sin embargo, con la presencia del Programa de Riego Altiplano Valles (P.R.A.V.) en el área de Tiraque, se instalaron algunos equipos de hidrometeorología que posteriormente fueron retirados.

La obra de toma tenía una longitud de 5,5 m a lo largo de la cual se construyó la caja de la estructura que recibe las aguas del río, con un ancho de 2,0 m. Finalmente, la rejilla estaba compuesta por rieles de ferrocarril con un ancho de 1,5 m y un espaciamiento de 0,02 m.

Fotografía N° 1 Vista general de la toma de Toralapa Alta



En el margen izquierdo, antes de la toma, se ha construido un muro de encauce de hormigón ciclópeo de 8,0 m de longitud, 2,0 m de altura, 1,0 m de ancho en la parte inferior y 0,50 m en la parte superior. Aguas abajo de la toma, este muro se prolonga a 12 m de longitud, y a continuación, existe una protección de muro de gaviones de 16 m de longitud, el cual resguarda al canal de aducción que se desarrolla paralelo al muro en el margen izquierdo.

La obra de toma ha sido afectada en la parte central debido a la construcción de un muro deflector en el margen derecho, que hace que el flujo de agua se concentre en el margen izquierdo, dejando vulnerable la estructura de la toma. Este hecho, y la falta de mantenimiento y de control del río, aguas arriba de la toma, ha tenido como consecuencia la destrucción parcial del azud donde estaba ubicada la rejilla, como se puede observar en la fotografía.

Criterios de Diseño

El emplazamiento de la obra de toma se considera correcto debido a que la toma ha sido ubicada en un tramo recto, con protección natural del margen derecho a causa del afloramiento rocoso. Sin embargo, desde el punto de vista hidráulico, existe una concentración del flujo hacia el margen izquierdo debido al afloramiento rocoso que actúa como un azud transversal al río, lo que provoca que en época de crecidas tenga una carga de agua considerable en la toma y aumente sustancialmente la velocidad del agua. En estos casos, es recomendable que el río tenga la sección transversal a un mismo nivel y con el área suficiente para evacuar las crecidas de diseño.

Cualquier obra extraña al curso del río y con estructuras de carácter permanente, conlleva siempre una modificación del perfil del río. Es importante recordar que los ríos tienen un comportamiento cíclico de socavación y sedimentación debido a una compensación de las pendientes, por lo que se requiere que

este tipo de estructuras tenga un control del perfil longitudinal del río por lo menos 100 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de la obra de toma, aspecto que no ha sido considerado en el diseño de la toma de Toralapa Alta.

Otro aspecto importante es que dentro el área de la cuenca del Jatun Mayu existe cárcavas activas que otorgan un gran aporte de material al río, además cultivos en pendientes susceptibles a la erosión hídrica, aspectos que hacen que en época de lluvias, las crecidas del río sean una mezcla de lodo, agua y pedrones que afectan las estructuras de la toma.

Características Constructivas de la Obra

La construcción de la obra de toma se inició en la época de estiaje, cuando el caudal del curso de agua era manejable; sin embargo, no fue concluida a tiempo. Durante la última etapa, la falta de control de las aguas afectó la construcción .

Los agregados utilizados provenían del río Jatun Mayu y fueron aprobados previo análisis de calidad. La mano de obra no calificada fue aporte de los beneficiarios del sistema de riego Tiraque, y la mano de obra calificada fue contratada en Punata y Tiraque.

Durante la construcción se contó con una supervisión continua, por lo que el diseño de la obra no tuvo ningún tipo de modificaciones. Además, se cumplió con las especificaciones de calidad de los hormigones, dosificaciones, etc.

1.2. Kora Tiquipaya

Características del Contexto Físico Local

La toma de Kora Tiquipaya, se encuentra ubicada en el departamento de Cochabamba, provincia Qui-lacollo, municipio de Tiquipaya, a 2.800 m.s.n.m., distante a 13 km de la ciudad de Cochabamba y a 2 km al norte de Tiquipaya.

Esta obra está implantada en el río Kora Tiquipaya, que es un torrente que baja de la cordillera del Tunari con fuerte erosión basal y deslizamientos de ladera en época de lluvias, con pendientes del orden del 8% y un ancho de 35 m en el sector de la toma.

Los taludes de los márgenes izquierdo y derecho son inestables porque están conformados por morrenas casi verticales. El material del lecho del río tiene grandes bolones y rocas, además de material granular grueso. Durante la época de lluvias, los aportes de material sólido son considerables debido a eventos combinados de socavación y sedimentación .

Características de la Cuenca

La subcuenca del Kora Tiquipaya tiene un área de aporte de 18 km², pertenece al sistema de cuencas Caine-Grande y a la cuenca Rocha-Maylenco. Posee un relieve montañoso ondulado con cobertura de morrenas. En la subcuenca, se observan actividades de pastoreo y cultivos en pendientes pronunciadas. La parte alta de la cuenca está cubierta por pajonales, en la parte media existen pequeños bosques de khewiñas y algunas plantaciones forestales de pinos radiata y eucaliptos, y la parte baja presenta una fuerte concentración de arbustos mezclados con paja brava.

Durante la época de lluvias, entre los meses de noviembre y marzo, los trabajos de control de crecidas se dificultan. El Río Kora Tiquipaya, de régimen torrencial, en época lluviosa es caudaloso de forma intermitente y con fuerte arrastre de sedimentos de gran tamaño. La máxima crecida estimada para un tiempo de retorno de 10 años es de 55 m³/s.

Según los registros de la estación pluviométrica Taquiña, situada 5 km al este de la cuenca y a 3.800 m.s.n.m., las precipitaciones anuales esperadas para un año seco son de 706 mm, para un año normal de 849 mm y para un año húmedo de 993 mm.

Fuera de su escurrimiento natural, la cuenca recibe aportes anuales de los embalses de Lagun Mayu que alcanzan a 3.029.000 m³, Saytu Khocha a 2.000.000 de m³ y Chankas a 1.060.000 m³, lo que hace que el caudal de diseño para la obra de toma sea de 0,80 m³/s

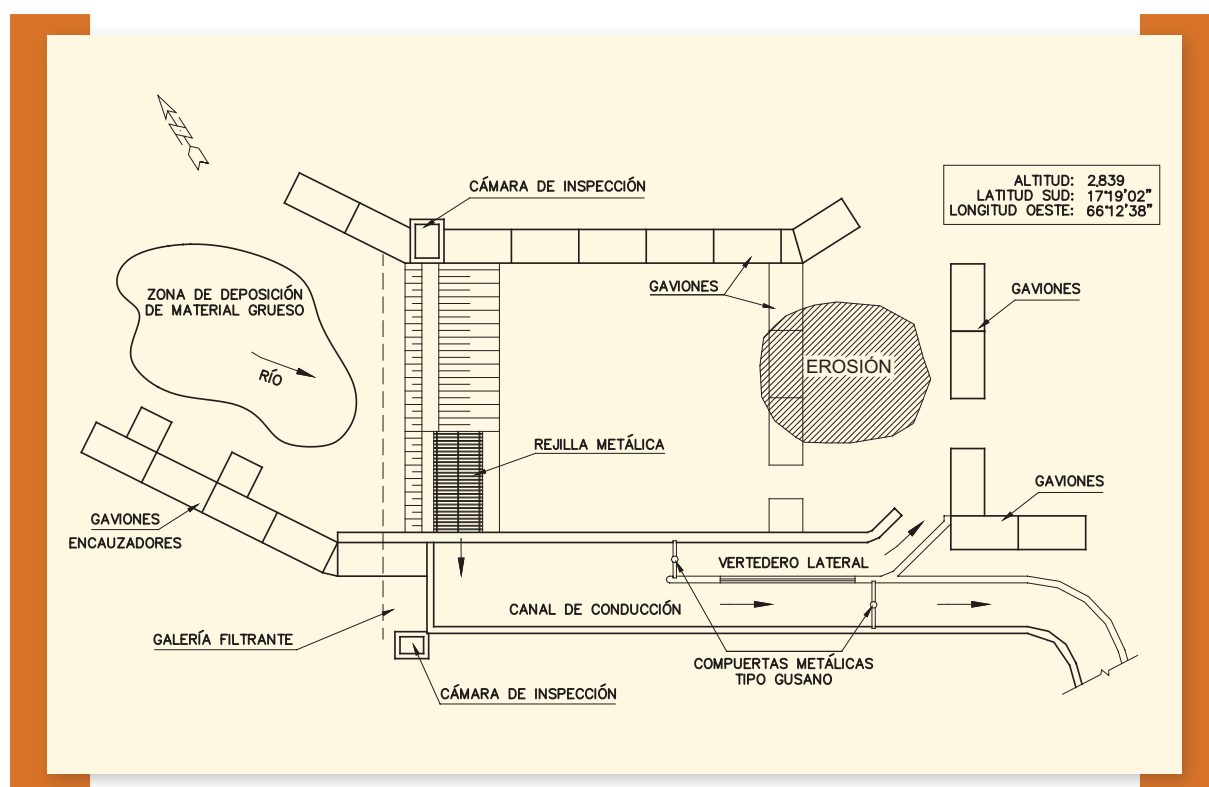
El agua es ligeramente turbia en estiaje y en época de lluvias, las crecidas presentan mucho sedimento en suspensión y arrastre de grandes bolones.

La información hidrológica utilizada es confiable debido a que el Programa de Manejo Integral de Cuenas (PROMIC) mantiene una red hidrometeorológica en el área de la Cordillera del Tunari desde hace varios años.

Características Generales y Específicas de la Obra

La obra de tipo tirolesa fue construida los años 1996 y 1997 por la Prefectura de Cochabamba a partir de un diseño preparado mediante consultoría por encargo de la ex Corporación Regional de Desarrollo de Cochabamba, CORDECO. La construcción fue supervisada por el Proyecto de Riego Tiquipaya, entidad dependiente de la Prefectura. Esta estructura fue construida para captar los escurrimientos del río Kora Tiquipaya y los aportes de los embalses para su utilización en el riego de las áreas agrícolas de Tiquipaya y Colcapirhua.

Figura N° 2. Croquis de la obra de toma Kora Tiquipaya



La estructura de captación es una obra combinada de toma tirolesa y galería filtrante. En lo referente a la toma tirolesa, tiene una longitud de 13 m y un ancho de la rejilla inclinada de 1,5 m. La diferencia de nivel entre el punto más alto y bajo de la rejilla es de 0,70 m. La estructura está conformada por un marco metálico de 0,08 m de ancho con barras de hierro (pletinas) de 1" de espesor y espaciamiento de 0,02 m.

Aguas arriba de la estructura existen muros de gaviones en ambos márgenes. En el caso de los muros del margen derecho, existen dos muros deflectores que dirigen el flujo del agua hacia el otro margen. La estructura de salida y el desarenador están en el margen derecho, protegidos por un muro de hormigón ciclópeo. Aguas abajo de la toma, se han construido muros de gaviones transversales al río para la disipación de energía, los cuales se encuentran semidestruídos.

La obra de toma está ubicada en un río con régimen torrencial y gran cantidad de arrastre de materiales, pedrones de diámetro mayor a 0,5 m, que han destruido parcialmente los muros transversales de gaviones construidos para la disipación de energía. La obra no cuenta con un control de torrente; es decir, con un tratamiento del perfil longitudinal del lecho del torrente, por lo que está a merced de los procesos de socavación y sedimentación. Esto implica que los costos de mantenimiento sean altos, fundamentalmente en la protección de la socavación. La gran cantidad de sedimentos que arrastra el torrente hace que el flujo de agua del río deba ser dirigido de forma manual al lugar de la rejilla, tanto en tiempo de estiaje como de lluvias, haciendo bastante trabajosa la operación de la toma.

Fotografía N° 2 Toma Kora Tiquipaya, se aprecian sedimentos acumulados en la rejilla



Criterios de Diseño

El área de la cordillera del Tunari, donde está ubicada la toma, es un lugar ideal para la captación de agua porque en la parte alta de la cordillera la precipitación aumenta con la altitud, y genera gran cantidad de recursos hídricos; sin embargo, la subcuenca de Kora Tiquipaya tiene áreas con riesgo de erosión considerable debido al deterioro de su medio ambiente. Por esta razón, la captación de aguas para riego tiene el inconveniente de que las estructuras construidas en los torrentes tienen problemas de estabilidad y requieren de mantenimiento permanente.

Cualquier obra extraña al curso del río y con estructuras de carácter permanente, conlleva una transformación del perfil del río, puesto que los ríos tienen un comportamiento cíclico de socavación y sedimentación debido a una compensación de las pendientes, por lo que este tipo de estructuras requiere

un control del perfil longitudinal del río de por lo menos 100 m aguas abajo y 100 m aguas arriba de la obra de toma, aspecto que no ha sido considerado en el diseño de la toma. En este caso, debido al deterioro de la cuenca, o más propiamente a su índice de riesgo, existe una gran cantidad de material de arrastre, el cual, en época de lluvias, obstruye la rejilla de la toma tirolesa y socava fuertemente la estructura de disipación de energía aguas abajo de la toma. Estos aspectos no han sido correctamente evaluados en el diseño de la toma.

En época de lluvias, las crecidas del río tienen una mezcla de lodo, agua y pedrones que afectan las estructuras de la toma.

Características Constructivas de la Obra

La construcción de esta obra fue iniciada el 1° de septiembre de 1996 y concluida el 30 de agosto de 1997. Su tiempo de ejecución fue de 300 días calendario, a un costo de \$us 139.398. La construcción estuvo a cargo de la empresa constructora M & M.

Los agregados utilizados provenían de los ríos Pankoruma y Parotani (los del Kora Tiquipaya contienen pizarras con elevado desgaste a la abrasión) y fueron aprobados previo análisis de calidad. La mano de obra no calificada fue aporte de los beneficiarios de los sistemas de riego Tiquipaya y Colcapirhua, y la mano de obra calificada fue contratada en Cochabamba y Tiquipaya.

Durante la construcción existía una supervisión continua por parte del Proyecto de Riego Tiquipaya dependiente de la Prefectura, la cual definió algunos cambios en el proyecto original, principalmente en la rejilla y la protección de la toma. Además de ello, se ejerció un estricto control de la calidad de los hormigones, dosificación, etc.

1.3. Apote

Características del Contexto Físico Local

La toma de Apote está ubicada en el departamento de Cochabamba, provincia Quillacollo, municipio de Tiquipaya, a 2.840 m.s.n.m. Se encuentra a 14 km de la ciudad de Cochabamba y 2 km al oeste del pueblo de Tiquipaya, siguiendo un desvío de 1 km al norte antes de llegar a la comunidad de Apote.

Esta obra está implantada en el río Chako Mayu, que es un torrente que baja de la cordillera del Tunari con fuerte erosión basal y deslizamientos de ladera en época de lluvias, con una pendiente del 9% y un ancho de 25 m en el sitio de toma.

Los taludes de ambos márgenes son inestables debido a que están conformados por morrenas casi verticales. El material del lecho del río tiene grandes bolones y rocas, y existen grandes aportes de sólidos en la época de lluvias que causan eventos combinados de socavación y sedimentación que lo definen como un cauce inestable.

Características de la Cuenca

La subcuenca del Chako Mayu está conformada por dos tributarios, uno del mismo nombre y el otro, denominado Tinti Mokho, con un área de aporte de 15 km². Perteneció al sistema de cuencas Caine - Grande y a la subcuenca Rocha - Maylancu. El relieve es montañoso ondulado con cobertura de morrenas. En la subcuenca, se observan actividades de pastoreo y cultivos en pendientes pronunciadas. La parte alta de la cuenca está cubierta por pajonales y en la parte media existen pequeños bosques de khewiñas y algunas plantaciones forestales de pinos radiata y eucalipto. La parte baja de la cuenca presenta una fuerte concentración de arbustos mezclados con paja brava.

La toma aprovecha los escurrimientos de su cuenca y los rebalses o pérdidas del canal Escalerani - La Cumbre que suministran agua potable a Cochabamba. Según la estación de la Taquiña, las precipita-

ciones anuales esperadas para un año seco son de 706 mm, para un año normal de 849 mm y para un año húmedo de 993 mm. Existe también información meteorológica de la estación pluviométrica La Cumbre que es controlada por SEMAPA.

El agua es ligeramente turbia en estiaje, con bastante sedimento en suspensión y arrastre de bolones grandes en época de crecidas.

Características Generales y Específicas de la Obra

La obra fue construida en 1988 por el ex Fondo Social de Emergencia, bajo contrato con el Ing. Freddy Magariños. Fue diseñada por el mencionado técnico y supervisada por la comunidad. Esta estructura fue construida para captar los escurrimientos del río Chaco y las pérdidas del canal de agua potable Escalerani - La Cumbre, con el objetivo de regar 150 ha en el área de Apote. En época de estiaje se captan entre 35 a 68 l/s.

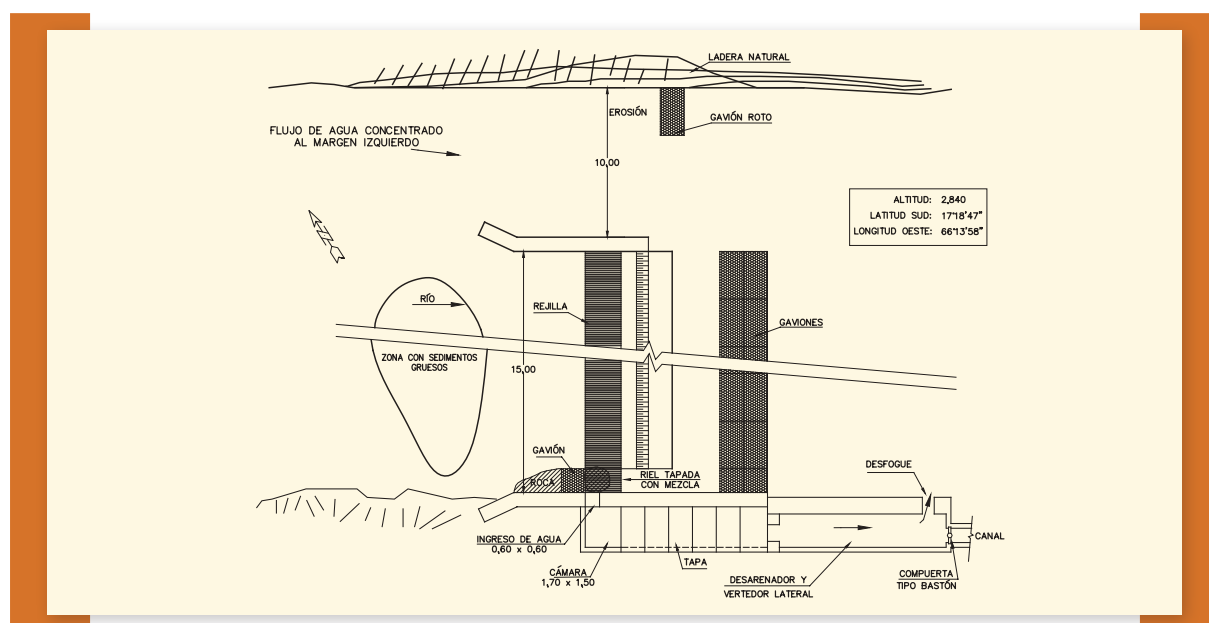
Existe un camino transitable todo el año desde Cochabamba a la toma de Chaco, que pasa por la localidad de Tiquipaya y se desvía hacia el norte 1 km antes de llegar a la localidad de Apote. La zona es de fácil acceso y no se tienen problemas para trabajos de campo.

La obra de toma está implantada en un torrente de 25 m de ancho, de los cuales la toma tirolesa ocupa 15 m. La rejilla es de rieles de ferrocarril de 1,20 m de largo con un espaciamiento entre los bordes de 0,065 m. El lado izquierdo de la rejilla está protegido por un muro de mampostería de piedra de 2 m de ancho, 15 m de largo y talud de 0,5:1 (H:V) al centro del muro.

En los restantes 10 m, hacia el margen izquierdo, existen piezas de gaviones destruidos donde se concentra todo el flujo del agua, lo que produce una socavación considerable en la toma. Aguas abajo de la rejilla, existe un azud construido de gaviones de la misma longitud de la rejilla y de 2 m de espesor, que no cumple ninguna función, ya que todo el flujo está concentrado en el otro margen.

Según la información de los usuarios del sistema, durante el primer año de riadas, esta obra fue parcialmente destruida, sobre todo en lo que respecta al azud de los gaviones del margen izquierdo. Esto ocasionó que la toma quede encima del fondo del lecho del torrente. Por otro lado, parte de la estructura de la toma tirolesa fue afectada, razón por la que actualmente funcionan cerca de 5 m. Los usuarios del sistema canalizan el agua desde unos 150 m aguas arriba de la toma para dirigir el flujo hacia lo que queda de la toma tirolesa.

Figura N° 3. Croquis de la toma Apote



La obra de toma está ubicada en un río de régimen torrencial con gran cantidad de arrastre de materiales, pedrones de diámetro mayor a 0,5 m, que han destruido parte del azud transversal de los gaviones debido a que la obra no cuenta con un control de torrente, esto es, un tratamiento del perfil longitudinal del lecho (velocidades erosivas). Por esta razón, dicha estructura está a merced de los procesos de socavación y sedimentación, lo cual implica que los costos de mantenimiento sean altos, principalmente en la protección de la socavación.

La gran cantidad de sedimentos que arrastra el torrente hace que el flujo de agua del río deba ser dirigido en forma manual al lugar de la rejilla, tanto en época de estiaje como de lluvias, haciendo trabajosa la operación de la toma. Por otra parte, se ha podido observar que entre los barrotes de la rejilla se incrustan fácilmente pequeñas piedras, que obstruyen el normal flujo de aguas hacia la caja principal de la toma.

Criterios de Diseño

El área de la cordillera del Tunari, donde está ubicada la toma, es un lugar apropiado para la captación de agua, porque en la parte alta de la cordillera la precipitación aumenta considerablemente y existe una gran cantidad de recursos hídricos. Sin embargo, la subcuenca del río Chaco presenta áreas con riesgo de erosión a causa del deterioro de su medio ambiente, por lo que la captación de aguas para riego es complicada, debido al ingreso de sedimentos. Además, las estructuras son atacadas por los sedimentos gruesos que transporta el río, lo que ocasiona problemas de estabilidad que requieren de mantenimiento permanente.

Fotografía N° 3 Taponamiento de rejilla por acarreo de sedimentos en toma Apote



Una obra extraña al curso del río y con estructuras de carácter permanente, conlleva una transformación del perfil del río. Sin embargo, esta toma presenta una combinación de errores en la concepción y el diseño debido a que no se ha considerado una intervención en la cuenca de Aporte, la cual presenta un deterioro considerable. Por esta razón, el comportamiento cíclico de socavación y sedimentación ha causado deterioros en la estructura de la toma, colapsando el sistema de disipación. Esto sucedió por una falta de compensación de las pendientes, pues este tipo de estructuras requieren un control del perfil longitudinal del río.

El diseño y la construcción de la toma presenta errores en una parte del ancho del torrente protegido con muros de mampostería y un muro transversal de gaviones, lo que deja un espacio con una protección más débil desde el punto de vista de sostenimiento. Esto representa una desventaja porque la fuerza del agua rompe por el lado más débil, situación a la que se suma la falta de tratamiento del perfil longitudinal del río antes y después de la toma y de un manejo integral de la cuenca.

Características Constructivas de la Obra

Esta obra fue construida en 1988 y concluida en 1989. No se tiene mucha información adicional porque su construcción fue financiada por el Fondo Social de Emergencia que posteriormente desapareció.

Se observó que los trabajos de hormigón ciclópeo fueron correctamente dosificados y los agregados del río de buena calidad. A pesar de ello, se presentaron algunos problemas en los encofrados. Los gaviones están expuestos a golpes debido a las piedras que arrastra el río y no cuentan con colchonetas tipo Reno en la base que contribuirían a la estabilidad del muro de gaviones.

La mano de obra no calificada fue aporte de los beneficiarios del Sistema de Riego Apote y la mano de obra calificada fue contratada en Cochabamba y Tiquipaya. La supervisión fue realizada por la Asociación de Riego de Apote.

1.4. Millu Mayu

Características del Contexto Físico Local

La toma de Millu Mayu, se encuentra ubicada en el departamento de Cochabamba provincia y municipio de Tiraque, a 3.200 m.s.n.m. y a 65 km de la ciudad de Cochabamba, siguiendo la carretera antigua Cochabamba - Santa Cruz. El acceso se logra cruzando el pueblo de Tiraque y continúa 2 km al norte.

Esta obra está implantada en el río Millu Mayu, que es un torrente que baja de la cordillera de Tiraque con moderada erosión basal y deslizamientos de ladera en época de lluvias. Cuenta con una pendiente del 10,55% y un ancho de 11 metros en el sector de la toma.

Los taludes de los márgenes izquierdo y derecho son estables debido a que existen afloramientos rocosos y grandes rocas sueltas mayores a 1,50 m de diámetro.

Características de la Cuenca

La subcuenca del Millu Mayu pertenece al sistema de cuencas Caine – Grande y a la cuenca Cliza – Sulty. Tiene un área de aporte de 102 km² y un relieve montañoso ondulado con cobertura de morrenas. En la subcuenca se observan prácticas de pastoreo y cultivos en pendientes pronunciadas. La parte alta de la cuenca está cubierta por pajonales y en la parte media existen pequeños bosques de kewiñas y algunas plantaciones forestales de pinos radiata y eucaliptos, y la parte baja de la cuenca presenta una fuerte concentración de arbustos y paja brava.

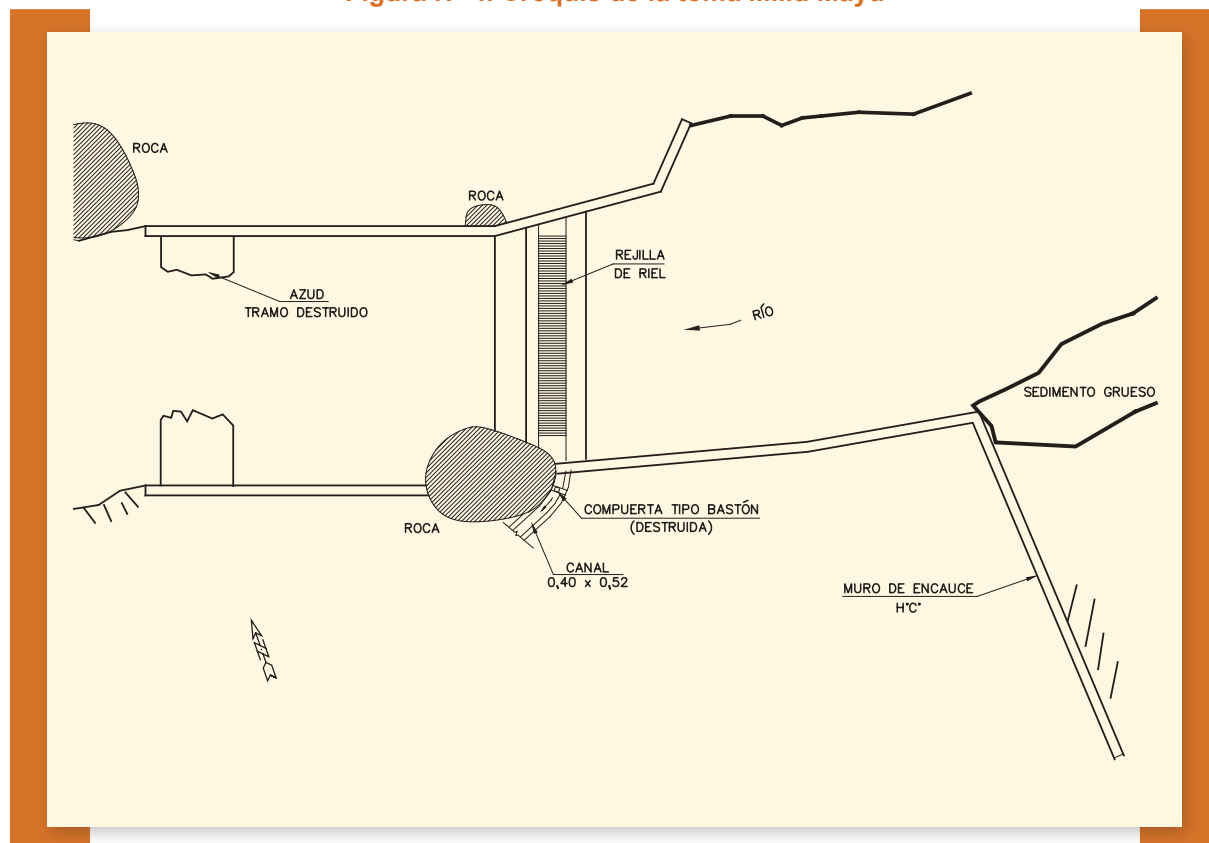
La toma capta aportes del escurrimiento natural del río y de los embalses de Kewiña Kocha que alcanzan a 2.045.000 m³, Koari 1.532.000 de m³ y Pachaj Kocha 1.500.000 m³. El caudal de diseño es de 0,48 m³/s y la máxima crecida para un período de retorno de 25 años es de 80 m³/s. La precipitación se caracteriza por una fuerte variación entre los lados sur y norte de la cordillera de Tiraque. El sur, con un clima tipo “valle”, registra en la estación de Tiraque un promedio anual de sólo 489 mm de precipitación, mientras que a 15 km de distancia al norte, la estación de Málaga mide 2.263 mm como promedio anual. Para las cuencas tributarias del río Koari se estima una lluvia media anual de 900 mm y las precipitaciones se concentran entre los meses de diciembre y marzo. El rendimiento unitario de la cuenca se estima de 20 a 22 l/s/km².

El agua es ligeramente turbia en estiaje, con bastante sedimento en suspensión y arrastre de bolones grandes, además de las hojas secas del follaje de los árboles y arbustos circundantes.

Características Generales y Específicas de la Obra

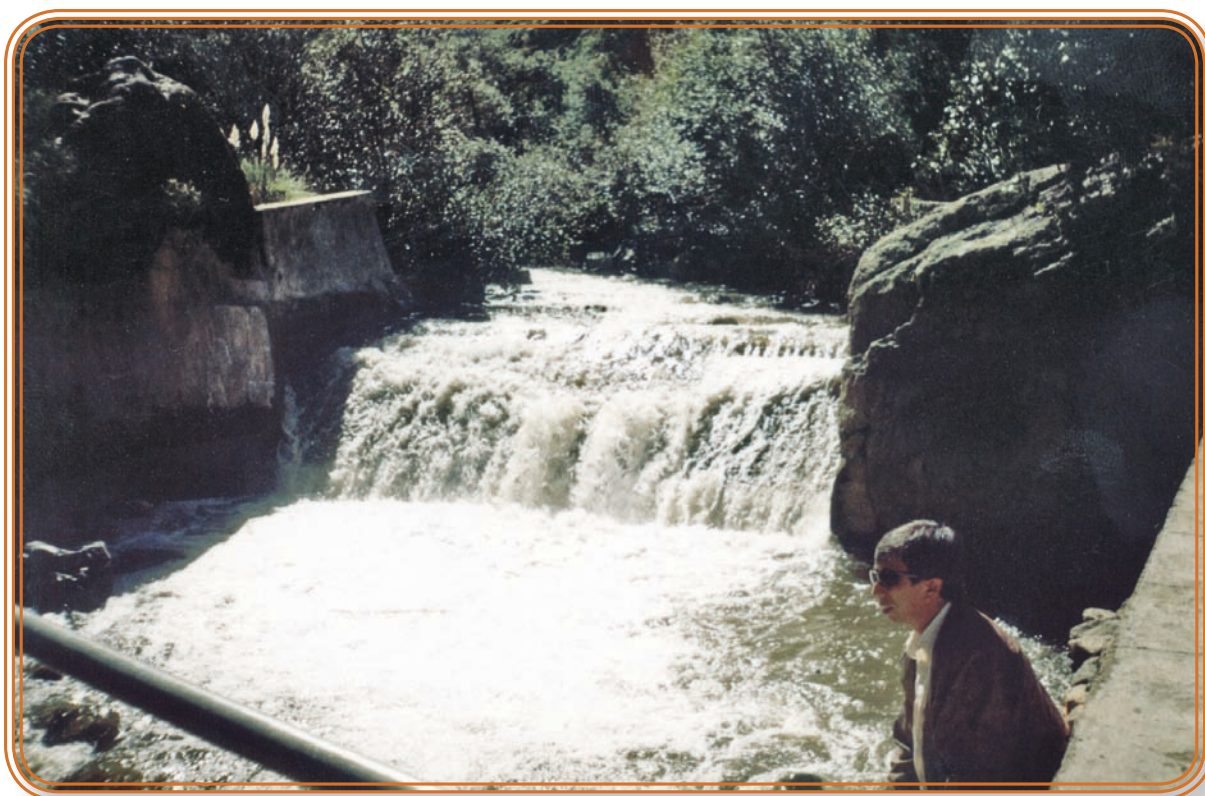
La obra fue diseñada en 1978 y construida en 1979 por el Programa de Riego Altiplano Valles (SNDC y GTZ). La construcción fue supervisada por la GTZ y fiscalizada por el SNDC. Esta estructura fue construida para captar los escurrimientos del río Millu Mayu y los aportes de los embalses señalados en el párrafo anterior, para ser utilizados en el riego de 1.700 hectáreas en el área de Tiraque.

Figura N° 4. Croquis de la toma Millu Mayu



La estructura de toma presenta una rejilla de 8 m de largo por 1,20 m de ancho, conformada por rieles de ferrocarril. La obra se encuentra protegida por dos grandes rocas en ambos márgenes. Aguas abajo, a una distancia de 14 m, se encuentra un azud de H° C° semidestruido que sirve para disipar la energía del agua. La toma, antes de llegar a la rejilla, está protegida con muros de encauce.

Fotografía N° 4 Toma Millu Mayu en funcionamiento en época de lluvias



Antes de llegar a la estructura transversal de la toma, existen en ambos márgenes muros de hormigón ciclópeo dimensionados para soportar el impacto de grandes pedrones. La estructura de salida y el desarenador están en el margen izquierdo, protegidos por un muro de hormigón ciclópeo.

Criterios de Diseño

El área de la cordillera de Tiraque, donde está ubicada la toma, es un lugar adecuado para la captación de agua debido a que en la parte alta de la cordillera la precipitación aumenta considerablemente y existe una gran cantidad de recursos hídricos, sin embargo, la subcuenca de Millu Mayu tiene áreas con riesgo de erosión por el deterioro de su medioambiente. Por esta razón, la captación de aguas para riego tiene el inconveniente de que las estructuras muestran problemas de estabilidad y requieren de mantenimiento permanente.

Los ríos presentan un comportamiento cíclico de socavación y sedimentación a causa de la falta de compensación de las pendientes, que requieren estructuras de control del perfil longitudinal del río. Este aspecto favorece la tendencia del río a desviarse aguas arriba antes de la estructura de la toma, por lo que se tuvo que construir un muro de encauce y reforzar la estructura de disipación aguas abajo de la obra de toma. Todos estos aspectos afectan el normal desenvolvimiento de la obra.

Características Constructivas de la Obra

Para fomentar el estudio y la construcción de nuevos proyectos de riego, en 1977 los gobiernos de Bolivia y de la República Federal de Alemania concertaron un convenio de préstamo y asistencia financiera para ejecutar el “Programa de Riego Altiplano Valles”, PRAV. El Departamento de Riegos del SNDC, creado el año 1978, fue la contraparte del proyecto y el responsable de la fiscalización. Durante la construcción se realizaron algunos cambios de diseño en la rejilla y la utilización de rieles. Además, se cumplió con la calidad de los hormigones, dosificaciones, etc.

El año 1978 el PRAV empezó los estudios del proyecto Koari, los cuales incluyeron la toma de Millu Mayu. Las obras fueron iniciadas en 1979. No se ha podido determinar exactamente el costo de esta obra. Debido a un evidente riesgo de colapso, el año de 1986 fue realizado un mejoramiento de la toma por el Proyecto de Riego Inter Valles (PRIV), sucesor del PRAV, bajo administración directa, habiéndose reforzado la obra en su estructura principal y el muro del margen izquierdo, que fue empotrado en el talud natural del cerro.

Los agregados utilizados provenían del río Pucara, que fueron aprobados previo análisis de su calidad. La mano de obra no calificada fue aportada por los beneficiarios del sistema de riego Tiraque y la mano de obra calificada fue contratada en Tiraque y Punata.

1.5. Laimiña

Características del Contexto Físico Local

La toma de Laimiña se encuentra ubicada en el departamento de Cochabamba, provincia Carrasco, municipio de Pocona a 2.750 m.s.n.m. Se encuentra a 120 km de la ciudad de Cochabamba, siguiendo la carretera antigua Cochabamba - Santa Cruz. Luego se desvía por el camino empedrado a Pocona, 13 km, y a continuación, se toma el camino empedrado a Incallajta, 3 km.

Esta obra está implantada en el río Machajmarca, que es un torrente que baja de la cordillera del mismo nombre, con moderada erosión basal, pendiente del 5% y un ancho de 15 m en el sector de la toma.

Los taludes de ambos márgenes son estables debido a que existe afloramiento rocoso, incluyendo la base del río. Existen también, rocas mayores a 1 m de diámetro.

Características de la Cuenca

La subcuenca del Machajmarca tiene un área de aporte de 120 km², pertenece al sistema de cuencas del río Caine - Grande y la cuenca del Julpe – Mizque. Cuenta con un relieve montañoso ondulado con cobertura de morrenas. En la subcuenca, se observan prácticas de pastoreo y cultivos en pendientes pronunciadas. La parte alta de la cuenca está cubierta por pajonales y la parte media, por pequeños bosques de plantaciones nativas. Finalmente, la parte baja de la cuenca presenta una fuerte concentración de arbustos.

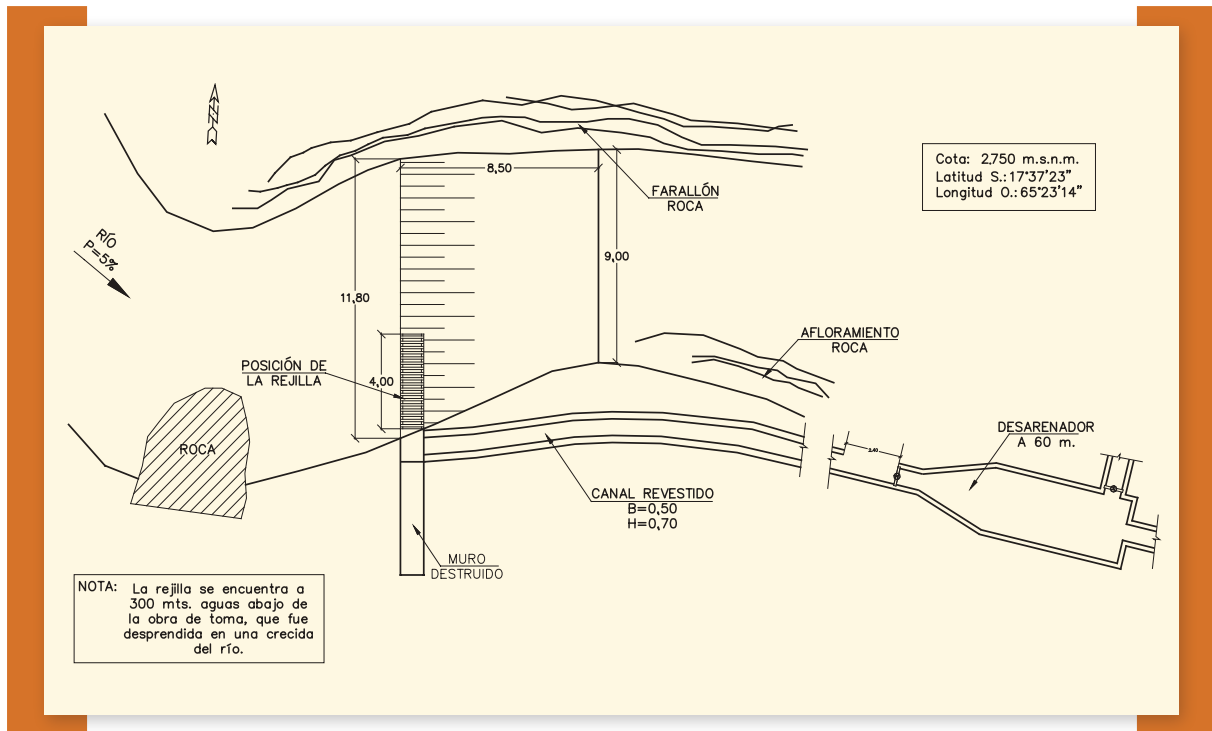
El caudal de diseño de la obra es de 100 l/s. La máxima crecida se estima en 50 m³/s. La precipitación se caracteriza por una fuerte variación entre los extremos sur y norte de la cuenca, por lo que la estación de Monte Puncu tiene una precipitación promedio anual de 662 mm, Pocona de 818 mm y Toralapa de 554 mm. Las precipitaciones se concentran entre los meses de diciembre y marzo.

El agua es clara en estiaje, con bastante sedimento en suspensión y arrastre de bolones grandes en época de crecidas.

Características Generales y Específicas de la Obra

La obra fue diseñada y construida el año 1984 por la ex Corporación de Desarrollo de Cochabamba, y supervisada por la misma institución. Esta estructura fue construida para captar los escurrimientos del río Machajmarca, con el objetivo de que sean utilizados en el riego de terrenos de la comunidad de Laimiña.

Figura N° 5. Croquis de la toma Laimiña



Originalmente la estructura de toma tenía una rejilla de 4 m de largo por 1,0 m de ancho, que actualmente se encuentra abandonada a 300 m aguas abajo del río a causa de un desprendimiento en una crecida extraordinaria. La obra se encuentra ubicada en un lugar protegido por afloramientos rocosos, tanto en sus márgenes como en el lecho del río. En la actualidad, la toma está funcionando como una toma directa con azud transversal al río y el muro de protección del canal se encuentra semi-destruido.

El canal de conducción se encuentra correctamente ubicado y está protegido contra las crecidas. El desarenador está a 60 m de la toma y cuenta con un funcionamiento adecuado.

Fotografía N° 5 Obra de Toma Tirolesa de Laimiña con rejilla extraída de la estructura



Criterios de Diseño

El área de la cordillera de Machajmarca, donde está ubicada la toma, es un lugar adecuado para la captación de agua porque el río es de flujo permanente, que en época de estiaje alcanza a 150 l/s. La cuenca tiene buena cobertura vegetal que la protege contra la erosión hídrica, sin embargo, existen problemas de erosión en la parte media de la cuenca a causa del socavamiento basal.

La obra fue implantada en un lecho de bed rock, elevada 0,70 m encima del lecho del río y estrechada en su sección transversal debido a la necesidad de ubicar el canal de aducción en el margen izquierdo. Las medidas tomadas en la etapa de diseño y construcción trajeron como consecuencia un cambio en la sección y perfil del río. Producto de ello, en época de crecidas, existe un incremento de la velocidad, la cual tuvo incidencia en el deterioro prematuro de la obra. En la actualidad, un 80% del azud donde estaba ubicada la rejilla ha sido destruido.

Características Constructivas de la Obra

Los agregados utilizados provinieron del río Machajmarca y fueron aprobados previo análisis de calidad. La mano de obra no calificada fue aporte de los beneficiarios del sistema de riego Laimiña y la mano de obra calificada fue contratada en Pocona y Cochabamba.

1.6. Titiri

Características del Contexto Físico Local

La toma de Titiri está ubicada en el departamento de Cochabamba, provincia Quillacollo, municipio de Tiquipaya, en la comunidad de Cuatro Esquinas, a 3.860 m.s.n.m. Se encuentra a 35 km de la ciudad de Cochabamba, siguiendo el camino Tiquipaya – La Cumbre, y luego por el desvío a Escalerani.

Esta obra está implantada en el río Titiri, que es un torrente que baja de la cordillera del mismo nombre, con moderada erosión basal, con una pendiente del 3% y un ancho de 55 metros.

Esta obra fue construida con el objetivo de ser utilizada en el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Cochabamba. Sin embargo, en el presente estudio, ha sido analizada debido a sus características de funcionamiento eficiente.

Los taludes de ambos márgenes son estables, de baja altura y conformados por morrenas. El ancho del río es bastante amplio.

Características de la Cuenca

La subcuenca del Río Titiri tiene un área de aporte de 50 km², pertenece al sistema de cuencas del río Beni y subcuenca del río Pampa Grande. Presenta un relieve montañoso ondulado con cobertura de morrenas. En la subcuenca, se observan algunas prácticas de pastoreo. Toda la cuenca está cubierta por pajonales y en la parte alta existen afloramientos rocosos de tipo glacial.

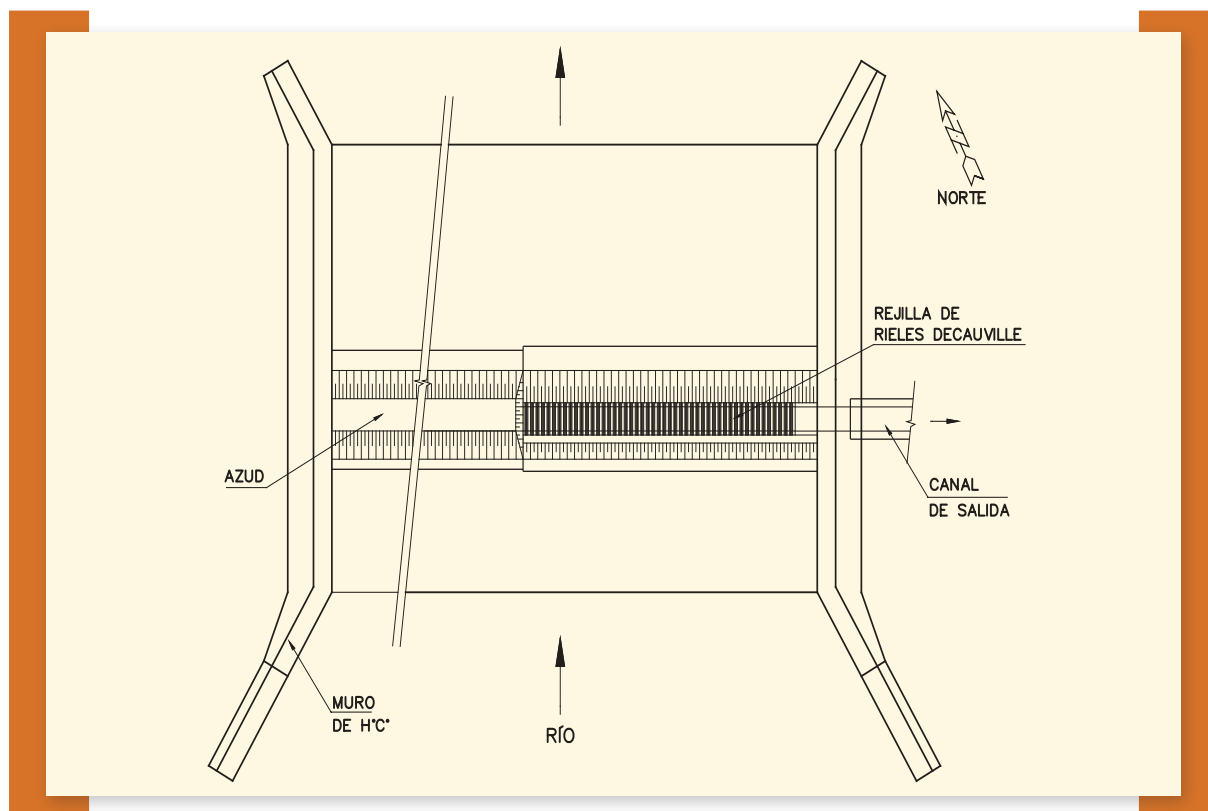
Características Generales y Específicas de la Obra

La obra fue diseñada en 1998 por Consultores Galindo, construida en el año 1999 por la Empresa Misicuni y ejecutada por administración directa. Esta estructura fue construida para captar los escurremientos del río Titiri, conducirlos por bombeo hasta el canal cuencas vecinas de SEMAPA, situado entre Titiri y Escalerani, y ser embalsados en la presa de este nombre para su posterior utilización en el abastecimiento de agua potable de Cochabamba. El sistema de bombeo tiene una capacidad instalada de 200 l/s.

La obra de toma tiene 55 m de longitud, está emplazada en el cauce principal del río Titiri, aguas abajo de la Estancia Cuatro Esquinas. La obra está protegida por muros de encauce de gaviones en ambos márgenes.

La época de lluvias se encuentra concentrada entre los meses de diciembre y marzo, donde existen lluvias permanentes que dificultan el trabajo. El río Titiri es de régimen torrencial, caudaloso en época de lluvias y con crecidas intermitentes. Presenta arrastre de sedimentos granulares de tamaño medio (gravas y arenas).

Figura N° 6. Croquis de la toma Titiri



La toma está construida en hormigón ciclópeo y cuenta con un canal de captación de 8,0 m de longitud y sección de 0,60 m, protegido por Rieles Decauville. La capacidad máxima del canal se ha estimado en 410 l/s.

Las aguas captadas en la toma son conducidas mediante un canal abierto construido de hormigón ciclópeo, de 33 m de longitud, pendiente de 0,45% y una capacidad de conducción de 410 l/s hasta un desarenador de sección variable de hormigón ciclópeo con vertedero de control de caudales lateral. El volumen del desarenador es de 23 m³ y su tiempo de retención igual a 2 minutos. El desarenador cumple adicionalmente la función de una trampa de gravas, para lo que cuenta con una compuerta de limpieza de fondo de 0,6 por 0,6 m de sección, la misma que es accionada mediante un vástago y volante de maniobra. Cuenta también con otra compuerta a la salida de la tubería de aducción, de características similares a las antes detalladas, con la finalidad de realizar la limpieza del desarenador o controlar el ingreso de caudal en caso de avenidas extraordinarias en época de lluvias.

Fotografía N° 6 Vista del azud con el emplazamiento de la Toma Tirolesa en Titiri



Con el objetivo de realizar mantenimientos periódicos y poder desfogar caudales superiores a los de diseño, se cuenta con un canal de limpieza y rebose que capta las aguas tanto del vertedero lateral del desarenador, como las aguas provenientes del proceso de limpieza y las conduce nuevamente hasta el río Titiri.

A la salida del desarenador, se inicia una tubería de aducción de acero que funciona como canal, con un diámetro nominal de 500 mm, pendiente de 0,45% y capacidad de conducción de 250 l/s. Esta tubería conduce las aguas desde el desarenador hasta el cárcamo de bombeo que tiene un tanque de regulación de 86 m³.

El agua es clara en estiaje, con poco sedimento en suspensión y arrastre de arenas y gravas en época de crecidas.

Criterios de Diseño

El área de la Cordillera del Tunari, donde se encuentra la cuenca del Río Titiri, es un lugar adecuado para la captación de agua debido a que el río es de flujo permanente, con un caudal de 200 l/s en la época de estiaje. La cuenca tiene buena cobertura vegetal, principalmente de paja brava, la cual protege contra la erosión hídrica.

Características Constructivas de la Obra

En el año de 1998 se empezaron los estudios del proyecto Titiri incluyendo la toma y las obras fueron iniciadas el mismo año. El costo total del proyecto fue de aproximadamente \$us 210.000.

Los agregados utilizados fueron traídos desde Tiquipaya y aprobados previo análisis de su calidad. La mano de obra no calificada y calificada fue contratada por la Empresa Misicuni.

1.7. Canal Palca Corani

Características del Contexto Físico Local

Las tomas de Corani están ubicadas en la Provincia Chapare, Municipio de Colomi del Departamento de Cochabamba, a 3.540 m.s.n.m. Se encuentran a una distancia media de 75 km de la Ciudad de Cochabamba, siguiendo la carretera nueva Cochabamba - Santa Cruz y un desvío de 5 km de camino de tierra hacia el canal de Palca.

Estas obras están implantadas sobre el canal Palca y tienen por objeto captar las aguas de las quebradas que cruzan este canal.

Características de la Cuenca

Las subcuencas Ramada, Champa Pampa, Potrero Mayu y Curi Mayu, son aprovechadas captando sus aguas hacia el canal Palca, y conducidas al embalse de Corani para su aprovechamiento en generación de energía hidroeléctrica. Las subcuencas tienen una alta precipitación y están cubiertas por una gran cantidad de vegetación. Tienen un relieve montañoso ondulado con cobertura de morrenas.

Características Generales y Específicas de la Obra

Las obras son de tipo tirolesa, fueron diseñadas el año 1999 por la consultora Harza y construidas el año 2000 por la Empresa Corani. Las obras fueron ejecutadas por el consorcio ICE-IMPRESIT.

Las obras se componen de dos muros de encauzamiento, empotrados a los taludes de las quebradas. Las rejillas están montadas sobre una losa de hormigón armado donde está colocada una rejilla metálica con un talud de 1.5:1 (H:V), de 0.70 m de ancho y longitud variable.

Fotografía N° 7 Toma tirolesa sobre el Canal Palca en la subcuenca de Potrero Mayu



Las tomas están situadas encima del canal Palca y tienen el objetivo de captar las aguas que cruzan las diferentes quebradas de dicho canal. Están construidas en hormigón ciclópeo en sus paredes laterales. La rejilla está empotrada en una losa de hormigón armado al centro del canal. Las dimensiones varían de acuerdo a los aportes de la quebrada.

Las aguas captadas en las diferentes tomas son conducidas por el canal Palca hasta el embalse de Corani.

Criterios de Diseño

Debido a las características de las quebradas, con pendientes fuertes, flujo intermitente y crecidas permanentes en la época de lluvias, este tipo de obras se adecuan en forma óptima para la captación de las aguas.

Características Constructivas de las Obras

En el año de 1999 se inició la construcción del trasvase Palca donde se encuentran ubicadas las tomas tirolesas. Estas obras fueron construidas por el consorcio ICE-IMPRESIT y fueron concluidas el año 2000. La supervisión fue realizada por la Empresa Corani. Las obras tienen muy buen acabado y se puede observar que son de buena calidad.

2

CAPÍTULO

ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD DE LA OBRA A PARTIR DE LA GESTIÓN DEL AGUA

La experiencia ha enseñado que no es suficiente el diseño de una obra técnicamente bien concebida para que sea funcional y cumpla con el objetivo para la que ha sido diseñada y construida. Es preciso tomar en cuenta aspectos de gestión de manera paralela al diseño hidráulico de la obra. Es por esta razón, que se considera necesario introducir este acápite en el presente documento.

2.1. Consideraciones Previas

Con el objetivo de entender los resultados que se muestran en los estudios de caso, a continuación se presentan algunos conceptos importantes de aclaración:

2.1.1 Gestión de Agua y Diseño Técnico: Dos caras de la misma moneda

El diseño de una toma tirolesa para las condiciones de la zona andina, es un proceso complejo que involucra muchos parámetros. Principalmente porque la estabilidad de este tipo de obras no sólo depende de los parámetros hidráulicos, sino también de las características fisiográficas y propiedades de los materiales que conforman el suelo sobre el que se diseñará y construirá. Así, la topografía tiene una influencia predominante en los criterios y el producto del diseño.

La infraestructura, además de acomodarse a las condiciones fisiográficas de la zona andina, debe responder a las características sociales o capacidades de gestión de los usuarios de cada sistema de riego, de tal manera que los sistemas mejorados sean sustentables y autogestionarios. Asimismo, la obra debe responder a las características de producción agrícola de la zona del sistema de riego.

Los estudios de investigación realizados en Bolivia sobre gestión de sistemas de riego permiten concluir que el diseño de la infraestructura y el diseño de la gestión están estrechamente interrelacionados, o como indican Jurriens y Botral (1984) citados por Jurriens y de Jong, son las dos caras de la misma moneda. Si se considera la práctica de los campesinos bolivianos en la construcción o rehabilitación de sus sistemas de riego, encontramos que la definición de la forma física y la gestión de agua del sistema

se realizan en el mismo momento. Es decir, que diseñar un sistema de riego es dar una nueva forma a dos elementos: infraestructura y gestión (derechos al agua, distribución del agua, mantenimiento y organización) para posibilitar las prácticas de producción agrícola del sistema.

Reconocer que existen supuestos sobre la futura gestión “empotrados” en cada diseño de una obra, lleva a la conclusión de que cuando se elabora el diseño técnico-físico, es necesario averiguar o analizar si esos supuestos son reales; es decir, si los futuros usuarios estarán en condiciones para cumplir con estos supuestos y así hacer funcionar el sistema de riego diseñado. De la misma manera, se concluye que si el diseño de la infraestructura, que es un diseño socio- técnico, incluye siempre aspectos socio – organizativos y de gestión paralelamente a los aspectos físicos incluye siempre aspectos socio - organizativos (y de gestión), es importante analizar la manera de incluir ambos aspectos en el diseño.

El principal desafío de los proyectos de riego en Bolivia es que una vez terminado el trabajo en un sistema de riego, se logre una infraestructura hidráulica de buena calidad técnica-constructiva, una organización de regantes con la capacidad para asumir la autogestión del sistema y una producción agrícola que permita cubrir los costos de operación y mantenimiento. Cada vez existe más consenso que para lograr la capacidad de autogestión en los usuarios, se deben cumplir tres condiciones importantes: Primero, que se hayan establecido derechos y reglas de trabajo claros y socialmente aceptados; segundo, que los usuarios tengan la capacidad organizativa para asumir las actividades de gestión; y finalmente, que la infraestructura sea de buena calidad y social y económicamente adecuada a las capacidades de gestión de los usuarios y a la producción agrícola de la zona.

2.1.2 La Construcción Social de la Tecnología

La tecnología de riego (infraestructura) no solamente media la relación con procesos bio – físicos, también moldea la relación persona – persona que es parte del sistema de riego. La dimensión social puede estar especificada en tres puntos: requerimientos sociales de uso, construcción social y efectos sociales (Mollinga, 1998).

Requerimientos Sociales de Uso

Se entiende como requerimientos de uso, a las necesidades sociales para la utilización de la infraestructura u obra construida. Estas necesidades están enmarcadas dentro de las condiciones del entorno social, económico, cultural. Por ejemplo, la opción entre varios tipos de obras de captación puede implicar diferentes habilidades y procesos organizativos y también requerir diferentes relaciones externas para conseguir repuestos para el mantenimiento. Horst y Ubels (1993) hacen un análisis acertado cuando mencionan que los diseñadores fallan frecuentemente en la apreciación de los efectos que tiene el entorno social sobre el uso del sistema de riego. Como resultado, el sistema técnico no facilita el uso deseado por los agricultores, y/o éstos no tienen la motivación o la capacidad de cumplir con los requisitos de gestión que requiere la nueva infraestructura del sistema construido o mejorado.

La Construcción Social de la Tecnología

El resultado de una obra de riego es producto de una construcción social. Esto significa que el diseño y la construcción es un proceso social en el que diferentes actores (comunidad, grupos, familias, sectores, ingenieros, dirigentes, otros) interactúan, esto es, que se comunican, negocian, deciden, condicionan, etc. y la naturaleza de ese proceso y las diferentes percepciones e intereses de los actores dan forma a las características técnicas de la obra. (Mollinga, 1998). En nuestro medio, la experiencia muestra que los usuarios no son tomados en cuenta como actores capaces de aportar en las decisiones. Como consecuencia, los resultados son producto de las acciones del equipo técnico.

Efectos Sociales de la Obra

El diseño y construcción de una obra, además de producir efectos físicos positivos y negativos en el

lugar de emplazamiento y en su entorno (erosión, inundación, mayor producción, mejores eficiencias, etc.), provocan también efectos sociales positivos y negativos como la disminución de la inversión de mano de obra para el mantenimiento y la disminución del estado de tensión de la gente, conflictos, descontentos, etc.

2.2. Relación del Diseño y Construcción de Tomas Tirolasas con los Elementos de la Gestión del Agua

Los tres conceptos presentados han servido como punto de partida para analizar los casos estudiados relacionados con el diseño y construcción de tomas tirolasas y los elementos de la gestión: organización, mantenimiento, operación-distribución y derechos al agua.

2.2.1 Diseño y Construcción de Tomas Tirolasas y Aspectos Organizativos

La Organización de Riego se conforma en base a los derechos de uso del agua a una determinada fuente. Al interior de una organización matriz o mayor (sistema), pueden existir organizaciones menores (comunal o de grupo) cuando el sistema está conformado por dos o más comunidades. Asimismo, la intensidad de las actividades de la organización está estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua. Por ejemplo, cuando hay abundancia y carencia de agua, la organización disminuye al mínimo su funcionamiento, lo que muestra que la mayor actividad de la organización se presenta en época de escasez de agua, lo que implica más control y mayores conflictos por solucionar.

Necesidad de Creación de Cargo para el Control de la Toma

En las zonas de riego con sólo una fuente de agua, no es necesaria la creación de un cargo² permanente para el control de la toma. Por ejemplo, en el sistema de riego Laimiña (Pocona), el control sobre el funcionamiento de la toma es eventual y puede ser realizado por el juez de agua o por los usuarios e incluso por las familias que viven cerca de la toma debido a la simplicidad de la obra.

En el caso de la toma de Toralapa, ubicada aguas arriba de otras tomas, es necesaria la presencia de tomeros eventuales durante el tiempo de entrega de agua a las zonas de riego ubicadas aguas abajo de la toma. En este caso, al existir zonas y fuentes de agua diferentes es imprescindible la presencia de dos tomeros, uno por cada sistema, para el control de reparto de agua.

Las zonas de riego como Tiquipaya y Apote que cuentan con diferentes fuentes de agua, tienen una toma tirolasa que sirve para la captación de agua de cada uno de los sistemas de riego. Para la práctica de mezcla de agua, se nombra un encargado³ de controlar y dividir el agua correspondiente a cada fuente. Esta necesidad obliga a que los diferentes sistemas que utilizan la obra decidan sobre el control y las condiciones de uso. Por ejemplo, en el caso de la toma de Kora Tiquipaya existe un “tomero” pagado por la organización de regantes que aglutina a las organizaciones de las diversas fuentes. El tomero tiene la responsabilidad de entregar el agua correspondiente a cada fuente que confluye en la misma toma. Además, dentro de cada fuente, entrega el agua a cada comunidad de manera organizada.

Los ejemplos presentados muestran que cada sistema de riego mantiene su autonomía de gestión, aunque cuenten con una toma de uso común. En la práctica, esta acción colectiva garantiza la transparencia, justicia y equidad. Es importante que durante el diseño de la toma, se analice la diversidad de fuentes y la capacidad de la obra de responder (o sea funcional) a las diferentes fuentes, en lugar de concebir a la obra como captadora de “agua”, o unir las fuentes de agua como un sistema de riego.

En los casos que se requiere el nombramiento de un cargo para el control de la toma, las características del tomero son las siguientes:

² Este criterio es válido no solamente para tomas tirolasas sino para cualquier tipo de toma con características sencillas.

³ La necesidad de contar con un encargado es preciso para cualquier tipo de toma, no es exclusiva de la toma tirolasa

El Tomero, Nombramiento y Funciones

El nombramiento del tomero se da a través de la organización de regantes. Cuando la organización es para riego, los dirigentes nombran al tomero pero en caso de no existir una organización formal de riego, los usuarios son los encargados de nombrar a un responsable del control del agua, como ocurría en los antiguos sistemas de mitha (sistema de riego matriz en base al caudal básico del río). A diferencia de las directivas de las organizaciones de regantes que se renuevan constantemente, el cargo de tomero se mantiene porque no es parte de la directiva. Respecto a sus funciones, el tomero deberá informar regularmente a la directiva de la organización y los usuarios las actividades que desarrolla y los conflictos que surgen, entre otros.

Requisitos que Condicionan la Elección del Tomero

El tomero debe residir en el lugar de trabajo para garantizar su continuidad. Por lo general, tanto la organización como los usuarios no permiten el reemplazo del tomero, excepto en casos de abuso de sus funciones. Tiene derecho a permisos en caso de enfermedades, viajes obligados o muerte de familiares. Se procura mantener al tomero en sus funciones el mayor tiempo posible debido a la experiencia adquirida. En casos de reemplazo, la persona elegida deberá tener conocimientos sobre el sistema.

El tomero deberá conocer los turnos de riego, gozar de la confianza de los usuarios, estar dispuesto a trabajar de acuerdo a las normas y acuerdos del sistema, y tener la capacidad para resolver conflictos (se constató que muchos tomeros fueron ex jueces de agua).

Respecto a su remuneración, en algunos sistemas es pagado por la organización de usuarios, como en el caso de Kora Tiquipaya. Sin embargo, existen otras formas de reconocimiento o retribución, como la dotación de alimentos (papa, hortalizas, maíz y otros), merienda y chicha en el momento de la entrega de agua.

La labor del tomero está en función a la disponibilidad de agua. En época de lluvias no es necesario el desempeño de sus funciones, excepto cuando el agua del río disminuye y es necesario regar por turnos. En época de estiaje, su labor es permanente cuando el caudal básico del río requiere una distribución organizada.

Formación y Experiencia

El proceso de aprendizaje para la operación y distribución de agua se basa en ensayos de prueba y error. Son pocos los casos de visitas organizadas a otros sistemas para conocer e intercambiar experiencias sobre la gestión de agua e infraestructura. Los entrevistados mencionaron que el logro del manejo de la obra es también el resultado de una serie de sugerencias de los usuarios.

En el proceso de cambio de una toma rústica a una toma mejorada, las instituciones que intervinieron en los casos estudiados, no percibieron la importancia de formar tomeros ni de capacitar a los usuarios sobre el uso de la obra. Además, en la última etapa de construcción, las empresas hicieron una “retirada apresurada” sin tomar en cuenta recomendaciones y cuidados respecto a la obra ejecutada. De igual manera, las instituciones promotoras ocupadas en formular proyectos no contemplan la necesidad de formación de los tomeros.

Distancia de la Obra de Toma y Requerimientos de Atención

La distancia entre el sitio de la toma y la zona de riego genera una mayor o menor actividad de la organización. Las tomas distantes de la zona de riego demandan más esfuerzo de la organización, como gastos de transporte en el caso de comunidades alejadas, contratación de tomero permanente o vigilantes eventuales que garanticen el funcionamiento de la obra.

Por el contrario, cuando la toma se halla próxima a la zona de riego, el control y vigilancia es más fácil, y disminuye el esfuerzo de la organización.

Requerimientos Adicionales Para la Capacidad de Gestión

Para generar una mayor capacidad de gestión en la organización se observó la necesidad de que en los sistemas que requieren de tomeros se construyan casetas de control para facilitar sus actividades y brindarle comodidad, puesto que debe permanecer día y noche en el sitio de la obra.

Asimismo, la accesibilidad al sitio de la toma a través de un camino facilita el trabajo de mantenimiento de la obra construida y sus posteriores mejoras.

Algunos dirigentes, como los de Apote y Tiquipaya, mencionaron que están tramitando el tendido de una línea telefónica hasta la caseta del tomero que facilitará la comunicación con los dirigentes y usuarios.

Por otra parte, se constató la necesidad de que los tomeros cuenten con un registro hídrico organizado (fechas, caudales, nombres turnados etc.). También con un registro de aportes de mano de obra y dinero destinados al mantenimiento, información que podría servir para futuros proyectos de mejoramiento o para la evaluación de los sistemas mejorados.

2.2.2 Relaciones entre Diseño, Construcción y Mantenimiento de Tomas Tirolesas

El uso continuo de la obra de toma, con el transcurso del tiempo, provoca deterioros. Por esta razón, el objetivo del mantenimiento es conservar las estructuras, los equipos y los medios conexos de un sistema para prolongar su vida útil y reducir costos.

El diseño y características constructivas de la obra afectan directamente las actividades de mantenimiento. A continuación, se presenta de qué manera las características de la obra demandan tareas imprevistas de mantenimiento y adecuación por parte de los usuarios. Luego, los requerimientos propios del mantenimiento relacionados con la toma tirolesa. Y para concluir, las actividades relacionadas con el mantenimiento del tipo de toma estudiada.

Actividades Imprevistas de Mantenimiento

Para analizar las actividades imprevistas de mantenimiento es necesario conocer las causas que aceleran el deterioro de la toma tirolesa. Los resultados de los casos estudiados muestran lo siguiente:

- **Diseño Inadecuado:** Esta característica dificulta el mantenimiento apropiado. Por ejemplo, imposibilidad de ingreso de personal para la limpieza de la galería colectora. Por esta razón, el mantenimiento se constituye en una ardua tarea, como ocurre en la toma de Millu Mayu (Tiraque), en la cual los usuarios tienen que sacar las piedras y tepes, a través de la bocatoma (punto de unión entre la galería y el canal), con un azadón sujetado al final de un palo.

Lo indicado muestra un diseño que no contempla las posibilidades de mantenimiento. En obras diseñadas para captar un caudal alto, con el objetivo de facilitar el mantenimiento, la bocatoma podría ser dimensionada de manera que permita el ingreso de una persona para la limpieza de la galería. En caso de que el caudal de diseño sea menor y la galería pequeña, una buena alternativa es que la rejilla contenga módulos móviles de aproximadamente un metro. Esta alternativa también es válida para el primer caso.

- **Ubicación de la Obra:** Este aspecto está estrechamente relacionado con las posteriores actividades de mantenimiento. Una buena ubicación como la toma de Millu Mayu demanda menor actividad de mantenimiento. Por el contrario, tomas ubicadas en lugares susceptibles de ser afectadas, como Toralapa, requieren mayores actividades de mantenimiento e inversión económica de los usuarios, que si no tienen la capacidad para desarrollar estas actividades, las tomas podrían ser destruidas.

Asimismo, los casos estudiados muestran que además de los aspectos técnicos que deciden la ubicación de la toma, existen también los aspectos ligados a la jurisdicción territorial. En el caso de

la toma Kora Tiquipaya, la elección de su ubicación ha sido influida por la comunidad de cabecera de la zona de riego, que reafirmó la ubicación de la toma rústica.

- **Calidad de la Obra:** Si bien este aspecto es subjetivo debido a la verificación constructiva durante la ejecución o evaluación minuciosa en la etapa de funcionamiento, es un aspecto determinante que repercute en los costos de mantenimiento. En algunos casos, la mala calidad de la obra puede inclusive derivar en su destrucción.

La calidad de la obra tiene que ver no solamente con la dosificación y las especificaciones de calidad de materiales, sino también con la capacidad y experiencia constructiva.

- **Obra Incompleta:** se refiere a que durante la fase de ejecución no se ha logrado construir la obra a plenitud, como en el caso de las tomas de Kora Tiquipaya y Apote, que no cuentan con un colchón disipador de energía que permita aminorar la velocidad del agua para evitar el socavamiento del lecho del río aguas abajo de la obra. Ante esta falencia, en el caso de Kora Tiquipaya, los usuarios han construido gaviones con elevada inversión en mano de obra y dinero. Sin embargo, las obras construidas por iniciativa propia, se realizaron sin criterio técnico y consecuentemente, tienen poca duración. Aspecto que genera la necesidad de reforzar y renovar el material de manera constante.
- **Obras de Protección tanto Aguas Arriba como Aguas Abajo:** se observó que en la toma de Apote, el curso del agua se orientó hacia el margen izquierdo de la toma tirolesa, lo que provocó la caída del muro encauzador del agua y el ensanchamiento de la ribera del río. En ausencia de este muro, los usuarios se ven obligados a encauzar el agua a través de una toma inestable y rústica (piedras, tepes, barro) para lograr el ingreso del agua a la rejilla, lo que demanda trabajos adicionales para posibilitar la captación de agua.

Por otra parte, se evidenció que en los sistemas visitados no se realizaron trabajos para disminuir la velocidad del agua en el río. La construcción de gaviones en el lecho del río, aguas arriba de la obra de toma, permitiría la modificación de la pendiente y consecuentemente, disminuiría la velocidad del agua evitando la destrucción de la toma, como ocurrió en el caso de Toralapa, Apote, Kora Tiquipaya y Laimiña.

Aunque las obras de protección son parte del sistema de captación, los casos muestran que son muy escasas, posiblemente debido a su elevado costo o a que los diseñadores consideran la importancia de su construcción.

- **Manejo de Cuenca:** Por lo general, en el diseño de las obras no se contempla aspectos relacionados con el manejo de cuenca. En los casos estudiados, existen sólo dos con intento de manejo de cuenca. En sí, no es un trabajo integral, sino más bien el control de determinados sectores frágiles que durante la temporada de lluvias sufren derrumbes. Este material es luego arrastrado por el agua del río, ocasionando el ingreso de sedimentos a la galería y el desgaste de la obra.

En el caso de Apote, en la cuenca de aportación, se están realizando trabajos parciales para controlar la erosión del suelo en los sectores frágiles. Los trabajos son ejecutados en combinación con una institución de desarrollo PROMIC. En las áreas de aportación de las diversas quebradas, el PROMIC junto a los usuarios identificaron los sitios vulnerables a la erosión, y adoptaron medidas de conservación. Por ejemplo, en laderas deleznable se está realizando el control de aguas de escorrentía mediante canales colectores y plantación de árboles nativos y adaptados que se mantengan por un largo período de tiempo.

En Tiquipaya, los usuarios mencionaron que los problemas de arrastre de material pétreo y sedimentos que deterioran a la toma, son consecuencia de la falta de control de la cuenca aportante. Para ello, acordaron labores en coordinación con el municipio con el objetivo de efectuar forestaciones extensivas.

Otro problema identificado por los usuarios, especialmente de los sistemas ubicados cerca a los centros poblados, es la extracción de agregados del lecho del río destinada a la construcción. Como efecto de esta actividad que no está controlada ni normada, la obra de toma es afectada por los materiales sueltos que son arrastrados por el agua del río. Incluso su efecto es mayor cuando se afecta el curso del río.

Lo presentado permite concluir que para el diseño y la fase de funcionamiento es importante que se entiendan los fenómenos físicos que causan el deterioro de las obras, así como las medidas más efectivas para minimizar o eliminar estas causas, lo que demandará la preparación de un plan de mantenimiento.

Actividades Previstas de Mantenimiento

Para las actividades de mantenimiento se requiere de equipo técnico, recursos económicos y humanos, y conocimiento y habilidad que permitan el funcionamiento adecuado de la obra.

En todos los casos, se ha constatado que las actividades de mantenimiento están principalmente relacionadas con la limpieza, constituyéndose en actividades rutinarias. También existen actividades aisladas de reconstrucción y adecuación con el objetivo de preservar la obra y brindarle mayor funcionalidad.

Los casos estudiados muestran la manera en la que los usuarios encaran las actividades de mantenimiento en las condiciones actuales para posibilitar el funcionamiento de la obra de toma tirolesa.

- **Mano de Obra**

Para realizar labores de limpieza, la práctica común es utilizar mano de obra propia los sistemas de riego tienen disponible. En los casos estudiados, se ha observado que no requieren la contratación de mano de obra externa al sistema. La participación de los usuarios en el mantenimiento es obligatoria para mantener sus derechos al agua.

Es importante mencionar que la limpieza de la toma no siempre es realizada por las mismas personas, ya que se cuenta con grupos de intervención rotativa. Esto posibilita que todos estén capacitados para responder a este requerimiento.

Cuando se organiza una actividad de mantenimiento del sistema de riego, por lo general comienza a partir de la toma. Las autoridades del sistema deciden de acuerdo a la magnitud del trabajo, el número de personas que desarrollarán esta actividad y el resto de los usuarios se ocupará en las otras obras que conforman el sistema de riego (canales, obras de arte, otros).

- **Capacidad y Habilidad**

La capacidad ligada al conocimiento y habilidad para mantener la toma construida por los usuarios es un requerimiento que debe ser analizado durante el proceso de diseño de la obra. Aspecto que preparará a los usuarios para conocer las necesidades de la obra. Además, este análisis permite que los técnicos verifiquen si las características de la obra permitirán o facilitarán las posibilidades de mantenimiento.

Parte del conocimiento para el cuidado y mantenimiento de los sistemas de riego mejorados es el de proporcionar a los usuarios un ejemplar de los documentos del proyecto, de manera que sirva de base para futuros trabajos de mantenimiento, pues a través de este documento se conocerán las características de diseño de la obra.

Los casos estudiados muestran que durante el proceso de diseño no se ha tomado en cuenta lo indicado. En este sentido, cuando se presentan daños mayores en las obras, los usuarios no tienen los conocimientos para encarar los trabajos, y finalmente hacen ensayos malogrados. Por ejemplo, en la toma de Laimiña, la rejilla destruida fue reparada por los usuarios en una opor-

tunidad, pero fue nuevamente destruida en la siguiente llegada de agua. Más adelante, no fue reparada nuevamente y la galería colectora de agua fue rellenada con piedra y cemento. De esta manera, se cuenta con una toma rústica lateral que se empalma con la bocatoma de ingreso al canal mejorado debido a que la obra construida fue anulada.

La toma de Toralapa, tras el cierre de actividades del Proyecto de Riego Inter Valles (PRIV), no recibió trabajos de reparación de daños, lo que ocasionó su deterioro paulatino, y actualmente se tiene una obra destruida. Para la captación de agua, se aprovecha el azud construido, reforzado con piedras para derivar el agua hacia el canal. En este caso, está proyectada la construcción de una obra de toma aguas arriba de la actual.

Existen también iniciativas de los usuarios que han logrado buenos resultados, como en el caso de Apote. En el desarenador se abrió un vertedor lateral para evacuar el agua turbia de la toma, lo que permitió un mejor funcionamiento del sistema. En la toma Laimiña, en el lugar en el que debería estar ubicado el colchón disipador, cada año los usuarios refuerzan este lugar con piedra y cemento para prevenir que el lecho del río se socave y evitar que los restos de la toma tirolesa, sobre la cual está su toma rústica, sean destruidos.

Por otro lado, la falta de conocimiento de los usuarios sobre cálculos de requerimientos de material para la reparación de una obra, causa gastos innecesarios de los usuarios. Por ejemplo, en Apote, un cálculo errado de requerimientos ha ocasionado la compra de material excesivo. Se ha observado que los usuarios tienen dificultades para calcular la cantidad de mallas requeridas para la construcción de gaviones de protección de la toma.

Para concluir, es necesario indicar que en sistemas de riego en los que existen personas alfabetas con capacidad de registro, como en los casos de Tiquipaya, Apote y Millu Mayu, sería útil un libro de registros para desarrollar los trabajos de mantenimiento y posteriores diseños, en el que se tome en cuenta crecidas, caudales de ingreso a la toma y problemas de mantenimiento, además de las dificultades durante la construcción y la forma de resolución.

- **Materiales y Equipo de Mantenimiento**

Los sistemas de riego investigados no tienen requerimientos continuos para efectuar reparaciones; por tanto, no es necesario que cuenten con equipo adicional como mezcladora de agregados, doblador de fierros, equipo para soldar y otros.

Cuando el requerimiento es mayor o específico, optan por pagar los servicios de externos, como sucedió con el traslado de maquinaria pesada para reforzar con piedras grandes los taludes de la toma Toralapa o la contratación de un soldador para reparar la rejilla de la toma Laimiña de Pocomana. Estos requerimientos demandan aportes económicos de los usuarios que deben ser previstos en el proceso de definición del mantenimiento. Además, es importante que los usuarios conozcan donde pueden recurrir cuando tienen necesidades técnicas para mantener su toma.

- **Costos Prioritarios de Mantenimiento**

Con la construcción de la toma tirolesa, en los sistemas investigados han disminuido los aportes de mano de obra, pero ha surgido el requerimiento de aportes económicos.

Con frecuencia, existe la tendencia de recomendar la creación de fondos de reserva o emergencia para afrontar los problemas de mantenimiento. En los sistemas de Tiraque y Tiquipaya, que cuentan con comités y una organización mayor que aglutina a los comités, se hicieron intentos de recaudar fondos de sus afiliados a través de cuotas anuales y mensuales, iniciativa que no logró continuidad. Posteriormente, cada comité decidió pedir y administrar los aportes de sus usuarios de acuerdo a los requerimientos del momento, basándose en las prioridades de las actividades propuestas.

Debido a la lejanía de los sistemas de riego de los centros poblados, los costos de los materiales son mayores, ya que son necesarios gastos de transporte de material y viáticos para los encargados de la compra. Además, esta condición imposibilita poder responder a la emergencia de forma inmediata.

Actividades de Mantenimiento

Las actividades de mantenimiento para la presente investigación están relacionadas con métodos, técnicas y prácticas, labores adicionales de protección a la toma, y por último, tipos de mantenimiento.

- **Métodos, Técnicas y Prácticas**

Durante la temporada de lluvias, las riadas arrastran material pétreo y sedimentos en suspensión, lo que origina los mayores requerimientos de mantenimiento. La limpieza de la toma es encarada por los usuarios de manera separada según las partes que la componen.

La Rejilla. Con las riadas, las piedras de menor tamaño ingresan a través de la rejilla y las de mayor tamaño son arrastradas por la fuerza del agua. Pero existen piedras que se quedan atascadas entre las barras de la rejilla y para sacarlas los usuarios utilizan cincel y combo.

La Galería. Cuando queda colmatada de sedimentos, la limpieza se realiza con el agua del río. Se conduce el agua hacia el lado del empalme de la toma con el canal de salida y la fuerza del agua al ingresar a través de la rejilla remueve el sedimento de la galería. Al mismo tiempo, los usuarios ayudan a remover el sedimento con palos. Mientras limpian, vierten agua por el ancho de la rejilla y evacúan el agua con lodo a través del canal.

En el primer tramo de la toma de Apote, se ha construido un vertedor lateral para evacuar el agua barrosa al río, en cambio en las tomas de Tiquipaya y Millu Mayu el sedimento removido ingresa al canal de conducción.

No obstante, en la galería permanecen piedras y basura que no pueden ser removidas por la fuerza del agua, razón por la que los usuarios se ven obligados a extraer estos restos mediante azadones amarrados al extremo de un palo. En todos los casos, se observó que no existen facilidades para la limpieza de la galería.

Otros Componentes. Cuando se realiza la limpieza de la toma son también atendidos otros componentes del sistema de captación, como el vaciado de sedimentos del desarenador, el pintado de compuertas y el engrase de los vástagos de las compuertas.

Labores Adicionales en el Área Circundante a la Toma: en los casos en que existe amenaza a la estabilidad y seguridad de la obra por desbordes del río, los usuarios encauzan el agua a unos 100 a 150 m aguas arriba de la obra de toma para que ingrese directamente a las rejillas, apartando además todas las piedras que obstruyen el cauce.

- **Tipos de Mantenimiento**

La literatura indica que existen diferentes tipos de mantenimiento: rutinario, preventivo y de emergencia. En este marco conceptual, los técnicos suelen plantear las futuras actividades de mantenimiento de la obra mejorada. Analizando los casos estudiados, en los sistemas campesinos se realizan el mantenimiento rutinario y de emergencia, y sólo en algunos casos la reconstrucción.

Cada año, luego del periodo de lluvias, se realizan las labores de limpieza total, tanto de la toma como del resto de la infraestructura, constituyéndose en una actividad rutinaria y a la vez determinante para asegurar la captación. En esta época, el uso del agua cambia de una modalidad de entrega por libre demanda a turnos establecidos de acuerdo a derechos de uso.

Durante la temporada de lluvias, en la toma no se efectúan labores de limpieza total, solo se hacen trabajos de emergencia tanto parciales como ocasionales por iniciativa de personas o grupos que

tienen necesidad de uso de agua a causa de la ausencia de precipitaciones pluviales. También se realizan trabajos de emergencia debido a llegadas imprevistas de caudales altos ocasionados por lluvias en la cuenca.

En general, las imprevistas llegadas de agua son un riesgo para cualquier trabajo de limpieza porque las riadas arrastran material que dificulta la limpieza total y permanente de la toma. Por lo tanto, los usuarios realizan este trabajo pasada la temporada de lluvias, cuando el agua aclara cristalina y es de menor caudal.

Los sistemas que cuentan con fuentes provenientes de lagunas o presas (Tiquipaya, Tiraque, Apote), hacen una segunda limpieza de la toma entre junio o julio para iniciar las sucesivas largadas de los reservorios.

Finalmente, durante los cambios de turno, los usuarios limpian los sedimentos, piedras y basura para captar el agua en mejores condiciones y verificar su cuantía, lo que permite incrementar la captación.

2.2.3 Diseño, Construcción y Operación de Tomas Tirolesas

Antes de presentar los resultados de la interrelación entre diseño, construcción y operación, es necesario indicar que en la propuesta ingenieril, existe la tendencia a la elaboración de un manual de operación ligado al manual de mantenimiento. En el manual de operación, se indican las actividades que debe realizar el personal encargado de la operación de la infraestructura. En los casos estudiados, sólo la asociación de Tiraque cuenta con un manual de operación y mantenimiento, el cual no es utilizado. Por lo que se concluye que debido a la simplicidad de las obras, no es necesaria la elaboración de un manual de operación.

En este acápite, se mostrará que el diseño y la construcción de una buena toma tirolesa permite establecer ventajas respecto a una toma rústica. No obstante, para hacer funcional la obra, se necesitan tareas adicionales y personal que las ejecute, como se describirá posteriormente. Asimismo, presenta la relación que existe entre la operación de la obra y las prácticas de producción agrícola. Por último, se describirá la distribución o reparto de agua como una actividad inmediata a la operación.

- **Facilidades de la Toma Tirolesa**

Manejo Sencillo: Una obra bien concebida y construida permite ser manejada tanto por el encargado de operación como por los usuarios.

Reducción de Jornales y Alivio de Fatigosas Faenas: Las tomas rústicas requieren bastante inversión de mano de obra en la reconstrucción de la toma y también en la operación.

Recojo del Agua Simple y Reducción de Mano de Obra: Con la construcción de la toma se han simplificado las tareas relacionadas con la captación de agua. En la situación con toma rústica, cada usuario solía recoger su agua con su correspondiente herramienta (azadón, pala, otros) para reforzar la toma y cerrar las filtraciones. Con la toma tirolesa se logró que usuarios acudan a la toma sin herramientas. De esta manera, se ha reducido considerablemente el aporte de mano de obra para la operación de la toma.

Mayor Capacidad de Captación: Una toma rústica, por sus características constructivas, requiere de un permanente reforzamiento con piedras, grama y plásticos para lograr una mejor captación, sin embargo, siempre hay fuga de agua. Con la construcción de las tomas ha mejorado la eficiencia de captación.

Seguridad de Captación: Una toma tirolesa correctamente construida garantiza la seguridad de captación de agua en cualquier época. Asimismo, se reduce la inversión de la reconstrucción permanente de la toma e inclusive la no disponibilidad de agua por la destrucción de la toma en

épocas de crecida. La reconstrucción de la toma demanda tareas adicionales como convocar a la gente y organizar el trabajo.

Reducción en la Vigilancia: Con la toma tirolesa disminuyen las actividades de vigilancia. Con una toma rústica, el usuario de turno tenía la permanente preocupación de que la toma sea destruida por quienes intentasen robar agua. Esto, especialmente en sistemas ubicados en áreas de crecimiento de la población agrícola y urbana como Tiquipaya y Apote, lo que causa una fuerte presión sobre el funcionamiento de la toma.

Los usuarios ubicados al final del sistema perciben mayores ventajas con la construcción de la toma, debido a que la vigilancia de la toma rústica les significaba un trabajo intensivo, sacrificado y costoso. Los usuarios ubicados en los sectores cercanos a la bocatoma se benefician en menor grado de la obra porque con la toma construida se dificultan el aprovechamiento de las filtraciones y los robos de agua.

- **Técnicas y Prácticas para el Funcionamiento de la Obra**

Los casos estudiados muestran que la toma no puede operar de manera automática, sino que precisa de prácticas adicionales que faciliten su funcionamiento. Por ejemplo, en el caso de la toma Kora Tiquipaya, es necesario el reencauce del río, desde 100 a 150 m arriba de la obra para que el agua ingrese directamente a las rejillas de la toma tirolesa. A medida que se reencausa el río se despejan las piedras que obstruyen el cauce.

En el mismo caso, cuando el río transporta mucha agua, desde más o menos 120 m arriba de la toma, los usuarios suelen fraccionar en 4 o 5 partes el caudal para poder controlar el flujo torrencioso que representa un flujo único. Los caudales fraccionados se encauzan hacia la tirolesa para distribuir el agua en todo el ancho de la toma a manera de regadera. Cuando hay poca agua, concentran su curso hacia un punto de ingreso a la rejilla.

Finalmente, es frecuente la limpieza de las rejillas de las tomas, para quitar las piedras que se atascan entre las barras de las rejillas, lo que mejora el ingreso de agua en la toma. A la vez, cuando el caudal disminuye, los usuarios suelen bloquear el extremo final de la rejilla con el objetivo de captar más agua.

- **Operación de la Obra y Prácticas Agrícolas**

Es evidente que la toma de agua opera en relación con las prácticas agrícolas, respondiendo al requerimiento de caudales altos en los periodos de riego, de preparación del suelo y caudales para el riego de los cultivos. Consecuentemente, el caudal de diseño de la toma, con frecuencia, está determinado por los caudales de preparación del suelo, de manera que permita realizar las prácticas de empanto.

Períodos para Riego de Preparación: De los casos estudiados, los sistemas ubicados en alturas como Tiraque (toma Millu Mayu), Toralapa y Laimiña (Pocona), por sus condiciones climáticas, cuentan principalmente con cultivos de papa. La preparación de los suelos para este cultivo se realizan entre los meses de mayo y junio. Esta práctica requiere de una primera limpieza para habilitar la toma.

Antes de la construcción de las tomas tirolesas estudiadas, el lameo era práctica de zonas como Toralapa y Tiquipaya. Esta práctica consiste en utilizar las aguas turbias de las riadas o avenidas de los ríos para llevar sedimentos a las parcelas con la finalidad de mejorar el terreno. Con la construcción de la obra de toma, se abolió esa práctica porque la fricción de las partículas en el canal revestido provocaba su deterioro. Por lo tanto, el lameo no era se constituyó en una práctica generalizada de los distintos sistemas, ya que los usuarios consideran que el tipo de sedimento influye de acuerdo a sus componentes químicos, por lo que algunos coinciden en que el lameo era una práctica muy conveniente, mientras otros opinan que era nocivo para los suelos y cultivos.

Período de Riego para Producción: La operación de la toma está condicionada por las necesidades de riego de los cultivos. Las mayores necesidades generalmente se presentan en época seca, pero también existen necesidades en época de lluvia, especialmente durante los “veranillos”. Desde la situación del usuario, la combinación y acceso a varias fuentes de agua (Tiquipaya y Apote) permite la coexistencia de diferentes sistemas de producción, desde la producción parcelaria para autoconsumo familiar, hasta la producción industrial como lechería y floricultura.

Es importante indicar que a partir de la construcción de la obra de toma se ha asegurado la posibilidad de captación del agua disponible y como consecuencia ha permitido la intensificación del uso de la tierra, lo que ha afianzado la producción en los sectores alejados, ya que asegura la captación de una o varias fuentes a la vez.

Sin embargo, se presenta un cambio paulatino de los cultivos (Tiquipaya y Apote) que cuentan con mayor orientación al mercado y mayor intensidad de cultivos, lo que cambia la frecuencia de requerimiento de riego. Mientras que en los sistemas de producción de Tiraque, la implementación de la obra ha logrado introducir en el mercado algunos productos como la arveja.

Formas de Distribución de Agua

Las formas de distribución están relacionadas con la disponibilidad de agua de la fuente y los requerimientos de los usuarios.

Demanda Libre: Durante la época de lluvias cualquier persona puede captar y utilizar el agua, incluso aquellas que no cuentan con derechos al uso de agua. Lo que significa que la toma para su uso no sólo se circunscribe a usuarios con derechos al agua.

Por Turno: En la época en que disminuye el caudal de la fuente, la entrega de agua es realizada por turnos y sólo reciben los que tienen derechos al agua.

En los sistemas en los que se traslapan caudales de diversas fuentes, es necesaria la participación del tomero para poder repartir los caudales correspondientes a cada sistema. Para ello, el tomero cuenta con técnicas para lograr la división del agua en ausencia de aforadores⁴. Su técnica consiste en marcar en el talud del canal, el tirante del agua existente antes del ingreso a una nueva fuente. En el caso de Kora Tiquipaya, es dificultoso realizar marcas porque el canal de ingreso en su primer tramo cuenta con mucha pendiente, que junto a elevados caudales provoca bastante turbulencia y no permite un fácil reconocimiento de las marcas.

En la época de turnos, en los sistemas con aguas traslapadas, la entrega de agua o el cambio de turno se realiza en la misma toma. Con frecuencia, los cambios se realizan a las 6 de la mañana y a las 6 de la tarde, lo que las constituye en horas de referencia.

En los casos en que no se traslapan aguas en la toma, como Laimiña y Millu Mayu, los cambios de turno se desarrollan dentro del área de riego.

2.2.4 Diseño y Construcción de Tomas Tirolesas y Derechos al Agua

En la mayoría de los casos estudiados, las obras de toma han sido construidas bajo una modalidad⁵ diferente a la promovida actualmente⁶. Lo que a continuación se presenta tiene elementos que corresponden a los casos investigados, pero también se recurrió a la experiencia.

⁴ Los aforadores RBC son fáciles en su construcción y son de lectura directa, situación que favorece su construcción en sistemas campesinos.

⁵ Toda la infraestructura era diseñada y financiada por las entidades promotoras.

⁶ Actualmente, se está promoviendo la participación de los usuarios en la toma de decisiones sobre el mejoramiento de sus sistemas.

Creación y Reafirmación de Derechos al Agua

La relación entre diseño y construcción de la obra de toma y derechos al agua se establece sobre todo en la etapa de preinversión (elaboración del documento del proyecto) y en la construcción. En estas etapas, se define la relación entre aporte de mano de obra/dinero y derechos al agua, como en el caso de Kora Tiquipaya. Inclusive en aquellos sistemas en los cuales no hubo aporte de los usuarios, la construcción de la toma ha generado nuevos derechos, reafirmado derechos existentes y excluido otros.

Cuando existe la necesidad del aporte de mano de obra/dinero de los usuarios, como en el caso de los nuevos proyectos, surgen dudas respecto a la cuantificación de su participación en dos niveles: Dentro del sistema, definiendo cuanto aporta cada uno y cuanto es su derecho. El otro nivel está relacionado con su aporte como “contraparte comunal”⁷, lo que provoca dos dilemas:

1. Si conviene la participación como mano de obra comunal sujeta a los ritmos de las actividades de la comunidad (épocas de siembra, días de feria, otros) y la calidad de mano de obra.
2. Si conviene que su aporte sea en efectivo y la empresa contrate la mano de obra requerida.

En el aporte de mano de obra comunal, cuando no se especifican los aspectos en los que deberán intervenir los usuarios, crea confusión y conflictos con la empresa constructora, ya que esta situación de desconocimiento podría ser aprovechada para obtener mano extra respecto a lo establecido en la propuesta del proyecto.

Ambas situaciones tienen ventajas y desventajas que deben ser analizadas con la ayuda de los técnicos, con el objetivo de que los usuarios tomen una decisión en función a su situación.

Derechos y Obligaciones con la Infraestructura

Al contar con una obra mejorada, se establecen nuevos acuerdos para responder a los requerimientos de mantener funcionando la obra. Es decir, que se crean o establecen nuevas responsabilidades principalmente en las actividades de mantenimiento. El aporte de mano de obra o dinero está estrechamente relacionado con los derechos adquiridos; sin embargo, existen sistemas en los cuales todos aportan por igual aunque tengan derechos diferenciados.

Derechos de Uso de Agua (arriba y abajo)

La construcción de una obra de toma, afecta directamente a las tomas ubicadas aguas abajo, porque una obra rústica tiene fugas de agua que alimentan otros sistemas. La finalidad de una obra de toma es captar la mayor cantidad de agua. El cumplimiento de este objetivo puede satisfacer las necesidades de los usuarios que se benefician con la obra u ocasionar conflictos con los usuarios de los sistemas ubicados aguas abajo de la toma, a causa del cambio en la disponibilidad de agua.

En el caso de que la obra a ser mejorada se encuentre aguas abajo de otras tomas, se debe analizar la influencia que puedan tener estas tomas sobre la disponibilidad de agua y los acuerdos existentes sobre los usos del agua en la cuenca para establecer nuevos acuerdos.

Otras Actividades de Gestión en torno a la Obra

En los sistemas que cuentan con una toma común, además de las actividades de operación, distribución y mantenimiento, la toma genera relaciones interpersonales y se constituye en un importante punto de encuentro en el que confluyen las siguientes actividades:

La toma como punto de partida para el inicio de turnos de riego de aguas de la presa: Cuando se efectúa la apertura de las presas, acuden a la toma los dirigentes y jueces de agua con la finalidad de

⁷ Cada institución establece la modalidad de aporte local de contraparte, en el caso del FDC-PRONAR es 20 % del total del costo de las obras.

recibir y organizar la distribución. Cuando el caudal del agua se estabiliza, se disponen a cronometrar el momento de la llegada del agua para luego confeccionar un rol de turnos de acuerdo a los derechos de uso de agua.

Movilización de usuarios para recojo del agua: El grupo al que le corresponde regar acude a la toma para recibir el agua y conducirla hasta su comunidad. En el cambio de turno, suele intervenir el tomero y en su ausencia, el cambio se hace entre usuarios.

La toma como lugar de flujo de información: Debido a la sucesiva presencia de dirigentes, jueces de agua, tomeros de las comunidades y grupos, en la toma se genera bastante información conocida por el tomero, referente a cambios de turno, tiempo de riego, fechas de turnos, sectores de riego, fechas de largadas, venta de turnos, etc. De esta manera, el tomero se constituye en un informante clave sobre la distribución de agua.

Transacciones en torno al agua: En la toma se dilucidan muchos intereses en torno al agua como su compra y venta, transferencias y canjes de turnos, etc. En la toma, los turnos que no son reclamados son susceptibles a la venta.

3

CAPÍTULO

CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Varios de los conceptos expresados en el presente capítulo, han sido extractados de las publicaciones “Planning of Water and Hydropower Intake Structures”, GTZ (1989); “Diseño Hidráulico”, Sviatoslav Krochin (1978); “Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool”, Communication 26, Laboratoire de Constructions Hydrauliques – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (2006), y de otras publicaciones sobre el tema, así como de la experiencia obtenida en el diseño y construcción de Tomas Tirolesas en Bolivia.

3.1. Criterios Generales de Diseño de Tomas

En general, la función de una toma de agua es derivar aguas de un canal natural o artificial hacia una estructura de conducción con un propósito determinado, que puede ser riego, agua potable o generación de energía. La toma requiere de una estructura de salida del agua captada y muchas veces de una estructura de control del escurrimiento del río. Las tomas tirolesas combinan la toma y la estructura de control en una sola obra.

Los componentes de una toma deben estar dispuestos de manera que se cumplan los siguientes requerimientos básicos:

1. La construcción de una toma debe realizarse de manera que la captación del agua se asegure en cualquier régimen del curso de agua, aún en periodos de baja descarga. Debe captar un caudal en lo posible poco variable para las distintas descargas del río, constituyéndose en un mecanismo de regulación.
2. Debe operar adecuadamente durante crecidas, y proporcionar seguridad a las estructuras, objetos y personas.
3. La construcción debe tener un costo moderado y permitir una fácil operación y mantenimiento.
4. El agua derivada, en lo posible debe estar libre de material sólido, a fin de prevenir la sedimentación en el canal. Para esto, el sitio de ubicación de la toma debe ser cuidadosamente seleccionado, de manera que la mayor cantidad posible de sedimento permanezca en el río.

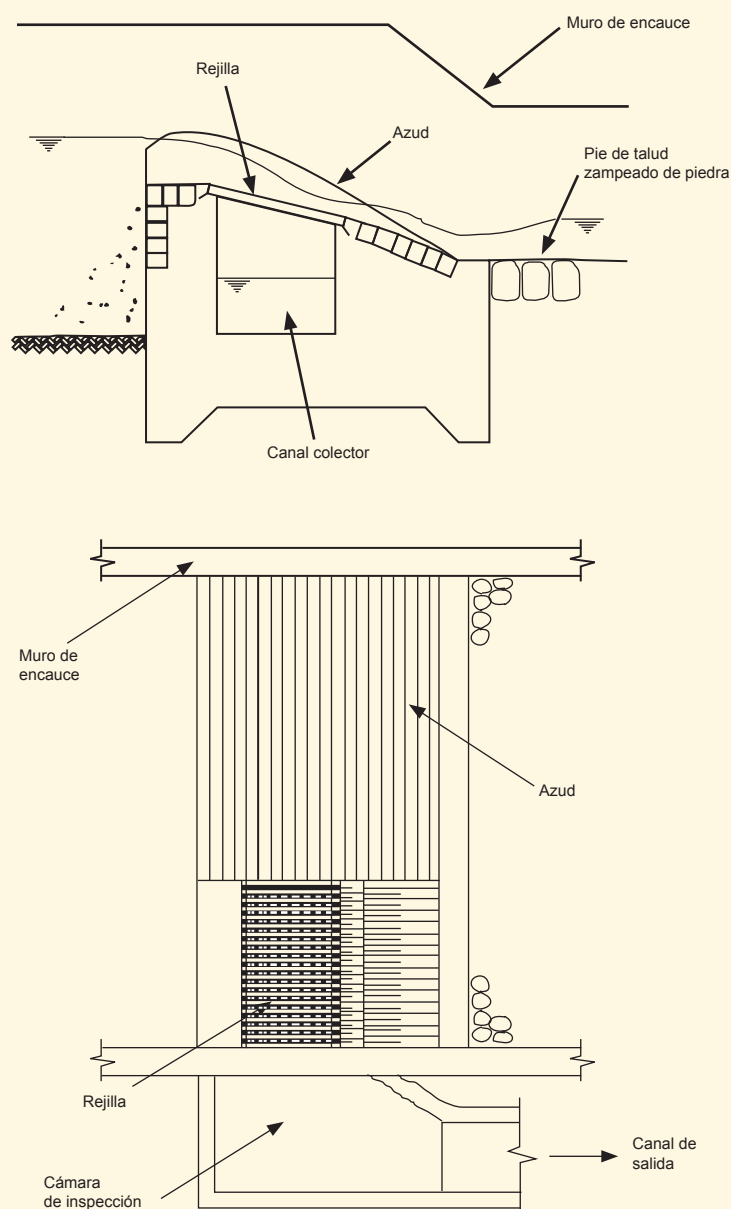
5. El material sólido que se deposite aguas arriba de la estructura de captación debería ser evacuado por el agua remanente en el río o por el lavado intermitente.

A partir de estas consideraciones se presenta la importancia del sitio de ubicación de la toma como la selección del tipo de toma.

3.2. Descripción de la Toma Tirolesa

Una toma tirolesa, llamada también toma de fondo, consiste en un canal construido transversalmente en el lecho del río del que se captará el agua. En la parte superior, se encuentra cubierta por una rejilla ubicada con cierta inclinación en la dirección del flujo, por la cual ingresa el agua que se desea captar. Los principales componentes de una toma tirolesa se presentan en la figura 7.

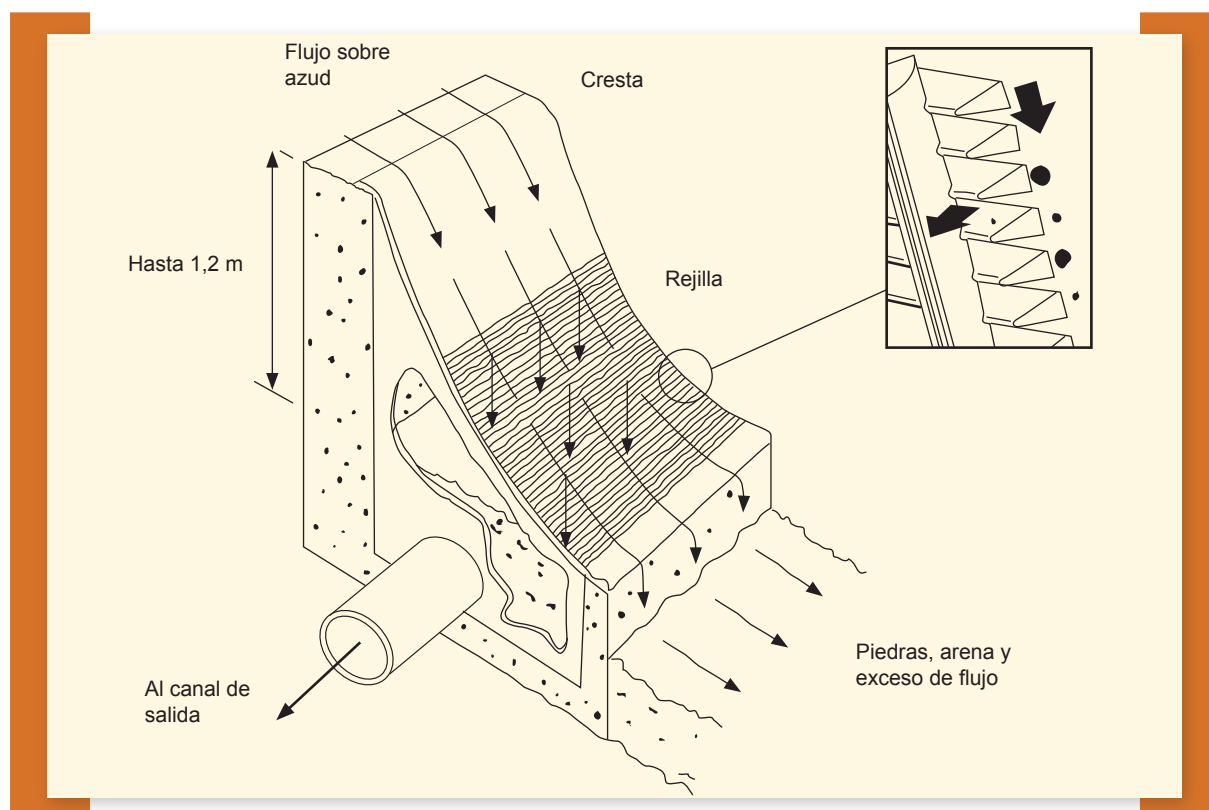
Figura N° 7. Partes de una toma tirolesa



Las barras de la rejilla se encuentran alineadas en dirección de la corriente e inclinadas en dirección de aguas abajo, con el objetivo de que el material de arrastre del río pase hacia aguas abajo. Las partículas del material de arrastre más pequeñas que la separación entre barras, ingresan con el agua al canal colector, de donde deben ser separadas por medio de un desarenador.

Recientes investigaciones (Laboratoire de Constructions Hydrauliques Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2006) han determinado que rejillas colocadas sobre la cara de aguas abajo de un azud, en sentido transversal al flujo, evitan el ingreso de material fino con un mínimo de obstrucción y necesidad de limpieza. La rejilla se instala sobre la cara de aguas abajo, siguiendo el perfil de escurrimiento del azud, tal como se muestra en la Figura 8. El diseño de este tipo de rejilla no será analizado en el presente estudio.

Figura N° 8. Esquema de toma tirolesa con barras de rejilla transversales al flujo*



*Fuente: INP Grenoble, ENSHMG – BEDUIN Project (2005)

Normalmente, la rejilla se ubica en el tramo central del azud, con inclinaciones variables desde 10° hasta 45° con respecto a la horizontal. En la mayoría de los casos analizados, tales como las tomas de Kora Tiquipaya, Apote, Titiri y Toralapa Alta, las rejillas tienen una inclinación de 2,5 H:1V ($21,8^\circ$) con un buen funcionamiento en lo que respecta a su captación. La rejilla de la toma tirolesa de Millu Mayu tiene un talud de 2H:1V ($26,6^\circ$) y capta las aguas satisfactoriamente.

La determinación de la inclinación de la rejilla es muy importante debido a que es necesario facilitar el paso del sedimento sobre la rejilla y esto depende de las características de dicho material. Por lo que se ha podido observar, inclinaciones de rejilla iguales o mayores a los 22° son adecuadas para las características de los ríos en Bolivia; sin embargo, la bibliografía recomienda inclinaciones hasta de 45° para facilitar el paso del transporte sólido de fondo y evitar la obstrucción de la rejilla.

La rejilla está formada por barras de hierro cuya sección transversal puede adoptar diferentes formas. Las más comunes son las de sección rectangular o trapezoidal con la base mayor hacia arriba en forma de T, o rieles de ferrocarril, como se han utilizado en las tomas de Millu Mayu, Toralapa Alta y Laimiña.

En el caso de la toma de Titiri, se han utilizado rieles decauville, en Kora Tiquipaya y Apote se han utilizado barras de hierro.

Por lo general, los rieles de ferrocarril han dado buenos resultados debido a que son resistentes al impacto de pedrones y a la corrosión. El espaciamiento entre barras, en los casos investigados, varía de 0,05 a 0,12 m. En Laimiña, el espaciamiento es de 0,12 m, Titiri 0,10 m, Kora Tiquipaya y Apote 0,08 m, Millu Mayu y Toralapa Alta 0,05 m. Las referencias bibliográficas sugieren de 0,02 a 0,06 m de separación. En las tomas analizadas se ha observado que una abertura entre barras de 0,05 m capta el agua correctamente, pero ingresa mucho sedimento grueso. Normalmente el porcentaje de la superficie que queda obstruida por la grava que se incrusta entre las rejillas está en el orden del 15 al 20%.

En algunas ocasiones, se presenta un trabamamiento de piedras entre las barras, que obstaculiza el ingreso del agua y es difícil de quitar. Se ha observado que los rieles decauville con la parte superior redondeada, evitan la traba de las piedras, tal como se observa en la toma de Titiri, que cuenta con una rejilla de este tipo. Cuando se utilizan rieles normales de ferrocarril, se deben colocar con la parte angosta hacia arriba. Las barras se sujetan en sus bordes a un marco. Si la longitud es grande, se colocan perfiles o arriostres intermedios de apoyo. Los apoyos extremos de la rejilla deben ir fuertemente anclados al hormigón de la toma.

Desde el punto de vista práctico, es aconsejable que el ancho de la rejilla no supere los 1,25 m. Si se requiere captar mayor caudal, será necesario ampliar el largo de la rejilla transversal al río.

3.3. Criterios Constructivos

Para la construcción de una toma tirolesa se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La toma requiere de un cuerpo masivo de concreto debido a los fuertes esfuerzos que soporta.
- Es conveniente que el ángulo de inclinación de la rejilla varíe entre 22° y 45°.
- Las barras deben ser estructuralmente resistentes al paso de las piedras que transporta el río.
- Debe existir un suficiente borde libre entre la superficie del agua en el canal colector y la rejilla, como mínimo el 25% de la máxima profundidad de agua en el canal.
- El canal colector debe tener suficiente pendiente como para poder evacuar todo el material sólido que ingrese por la rejilla.

En el diseño de una toma tirolesa, se debe tener en cuenta que se puede captar el flujo total del río hasta que se alcance el límite de capacidad de la rejilla. Si esta capacidad es más grande que la descarga más baja, ingresará todo el caudal del río. Si el flujo del río es mayor que la capacidad de la rejilla, caso que se presenta en crecidas, el agua que no es captada pasará a lo largo de la rejilla. Esta característica muestra que las crecidas pueden ser evacuadas con mayor seguridad por una toma tirolesa que por una presa derivadora con compuertas fijas de limpieza.

En la decisión del tipo de toma deben ser consideradas las condiciones locales, que se encuentran particularmente influenciadas por la morfología del río y la topografía. A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas de ambas tomas:

- Tanto las tomas laterales como las tomas tirolesas requieren de un desarenador.
- Una toma lateral requiere necesariamente de un azud para asegurar el ingreso de agua, mientras que la toma tirolesa capta toda el agua que pasa por encima hasta la capacidad de ingreso de agua por la rejilla.
- Las tomas laterales son más favorables en el caso de ríos con baja pendiente, menor a 1%, mien-

tras que las tomas tirolesas son más favorables en el caso de ríos con pendientes mayores al 1%.

- En el caso de ríos de cauce recto, es más favorable una toma tirolesa, mientras que en ríos con curvas, es más favorable la toma lateral, siempre que la bocatoma se ubique en el codo exterior.
- En el caso de ríos con alta cantidad de material en suspensión, es más favorable la toma lateral combinada con un buen desarenador.
- En el caso de ríos con alta concentración de sedimentos de fondo, es más adecuada la toma tirolesa, siempre que se cuente con un buen desarenador para la eliminación del sedimento que ingrese por la rejilla.

En las tomas tirolesas analizadas en Bolivia, se han observado las siguientes desventajas, además de las presentadas anteriormente:

- La reja se colmata con facilidad con el material flotante menudo del río, como hojas y hierbas.
- Requieren de una pendiente mínima del río, en general mayor al 3% para que sea posible la construcción de un desarenador dentro de límites económicos.

Además de lo presentado, los casos investigados muestran que se deben tomar en cuenta otros aspectos complementarios al diseño y construcción y relacionados a los factores de riesgo y adaptabilidad de la obra y a la capacidad de gestión de los usuarios.

3.4. Elección del Sitio de la Obra de Toma

La elección de la ubicación de una obra de toma tiene gran importancia en el funcionamiento y comportamiento de la estructura hidráulica, la cual depende de las características topográficas y geomorfológicas del río, así como de la cantidad de agua que se desea captar para satisfacer las necesidades del proyecto.

Para la selección del sitio de ubicación de la toma tirolesa, se consideran los siguientes aspectos:

Pendiente del Río

Las tomas tirolesas analizadas en el presente estudio han sido emplazadas en ríos con pendientes longitudinales del orden del 3% al 10%. La medición de las pendientes de los ríos en las tomas analizadas muestra los siguientes resultados.

Cuadro N° 1. Pendientes del río en tomas investigadas

Toma	Pendiente %
Toralapa Alta	5
Kora Tiquipaya	8
Millu Mayu	10
Laimiña	5
Apote	9
Titiri	3

Estas pendientes se encuentran dentro de los rangos recomendados por la literatura citada al comienzo del capítulo, principalmente la publicación GTZ (1989), de la cual se ha extractado la siguiente información:

Cuadro N° 2. Funcionamiento de las tomas tirolesas según la pendiente del río*

Pendiente del río	Funcionamiento de la Toma Tirolesa
Pendiente muy grande ($S > 10\%$) a grande ($10\% > S > 1\%$)	Muy favorable. Funcionamiento adecuado con muy poco mantenimiento.
Pendiente media ($1\% > S > 0,01\%$)	Desfavorable. La carga fina de arrastre cae en el canal colector y puede causar grandes depósitos aluviales y funcionamiento dificultoso de las instalaciones de limpieza.
Pendiente baja ($0,01\% > S > 0,001\%$)	Desfavorable bajo toda circunstancia.

* Tomado de GTZ (1989)

En las tomas tirolesas investigadas, la falta de análisis del comportamiento y control de la pendiente del río, por lo menos hasta 100 m aguas abajo de la toma, y las obras para la disipación de energía, son los factores que no han sido tomados en cuenta en el diseño. Las pendientes altas requieren de un tratamiento cuidadoso del perfil longitudinal del curso del río o torrente mediante la pendiente de compensación.

Caudal Sólido del Río

Todos los ríos transportan material sólido, ya sea en forma de material en suspensión o como transporte de fondo. En el caso de las tomas analizadas en Bolivia, se ha analizado que una alta concentración de material sólido en suspensión no es apropiada para una toma tirolesa. Tal es el caso de las cuencas del Kora Tiquipaya y de Apote, que tienen una gran cantidad de caudal sólido tanto de fondo como en suspensión y se mueve constantemente en procesos de deposición y erosión, aspecto que compromete el buen funcionamiento de la toma. Por el contrario, una baja concentración de material sólido es muy apropiada, tal es el caso en las tomas de Titiri, Laimiña y Millu Mayu.

Por otra parte, cuando los sedimentos transportados son gruesos, pueden generar abrasión, lo que influye en la vida útil de los diferentes componentes estructurales de la obra. En cambio, si el transporte de fondo es fino y puede ingresar por la rejilla, existen restricciones en función a las facilidades para su control.

Todas las tomas estudiadas tienen un transporte mixto, es decir una mezcla entre transporte grueso, mediano y fino, en menor magnitud en las tomas que están ubicadas en ríos con pendientes iguales o mayores al 5%, como las de Toralapa y Laimiña. Por lo tanto, existe una directa relación con la pendiente del curso del torrente. La obra de toma de Titiri cuenta con aguas claras debido a que su cuenca está protegida con vegetación y el área de captación tiene un alto porcentaje de roca.

Curso del Río

El curso del río tiene una importancia relevante al decidir la ubicación de la obra de toma. Tal como se indicó anteriormente, los cursos rectos de río son favorables para el paso uniforme del agua por la rejilla, aspecto que ha sido tomado en cuenta en la mayoría de los casos estudiados, excepto en las tomas de Toralapa Alta y Laimiña. En el primer caso, un afloramiento rocoso, ubicado en un tramo recto, tuvo un comportamiento de muro deflector que concentra las aguas hacia la rejilla y socava su estructura. En el segundo caso, la toma se ubicó a pocos metros de la salida de una curva, donde se pudo observar una concentración del flujo en el lugar de la ubicación de la rejilla, es decir, en el margen derecho, aspecto que influyó en el colapso de la obra.

Terreno de Fundación

El tipo de material del terreno de fundación es muy importante para la estabilidad de una toma en un río. En general se diferencian los tipos de control de basamento rocoso y de lecho aluvial. En el caso

de tomas tirolesas, se recomienda que se encuentren fundadas en roca. En el caso de las tomas analizadas, se verificó que las tomas de Laimiña y Toralapa Alta están ubicadas en un basamento rocoso y no presentan problemas de fundación, mientras que las de Apote, Kora Tiquipaya, Millu Mayu y Titiri se ubican en lechos aluviales de material grueso, donde se han presentado serios problemas de socavación que en algunos casos han ocasionado el colapso de la obra. En este sentido, se requieren obras de control de la erosión del lecho del torrente correctamente diseñadas.

Manejo de Cuencas

El manejo integral de la cuenca (MIC), donde se va a diseñar un proyecto de aprovechamiento de recursos hídricos que incluya una toma tirolesa, debe ser analizado en base a la importancia y el impacto que tiene el proyecto en su área de influencia. Microsistemas con área regada de 2 a 10 ha y pequeños sistemas de riego con un área de 10 a 100 ha, en general no requieren de un MIC. Los sistemas medianos con un área de riego de 100 a 500 ha y los sistemas grandes mayores a 500 ha deben incorporar en su presupuesto el estudio del MIC.

El Programa de Manejo Integral de Cuencas (PROMIC) ha adaptado para Bolivia la metodología desarrollada por el International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (1994) para realizar el diagnóstico biofísico de una cuenca. El mismo consiste en asignar grados de riesgo y pesos a una serie de mapas temáticos (de uso del suelo, de erosión, de geología, de geomorfología y de pendientes), de cuyo traslape (overlap) se obtiene el diagnóstico biofísico de la cuenca y puede definirse la forma de intervención.

El diagnóstico biofísico permitirá identificar las zonas de intervención prioritaria (zonas con deslizamientos activos e inactivos y diferentes tipos de erosión activa y potencial), con el objetivo de conocer problemas de deterioro de la cuenca y los problemas erosivos de mayor relevancia.

En el caso de Bolivia, estos aspectos no han sido considerados en forma particular en ninguna de las cuencas hidrográficas analizadas. Tan solo en el caso de las cuencas de Apote y Kora Tiquipaya existen estudios por parte del PROMIC que no han tenido continuidad y no han dado como resultado la construcción de obras de control.

Otros Estudios

Luego de decidir la ubicación de la obra de toma en base a la topografía, geomorfología y las necesidades de caudal de captación, se realiza el cálculo de máximas crecidas para un tiempo de recurrencia, que en general se acepta de 100 años, información con la que se diseña el azud y la estabilidad del lecho del río donde estará ubicada la toma.

Un primer análisis corresponde al comportamiento del lecho del río con la construcción de un azud en toda la sección transversal para determinar la protección de la obra de toma y otras obras necesarias que garanticen su buen funcionamiento.

Paralelamente, es necesario un diagnóstico general del comportamiento de la cuenca y sus potenciales riesgos, además de realizar estudios para determinar el arrastre de sedimentos, su granulometría, e investigar la conformación y potencia del lecho del río, y la ubicación del bed rock.

3.5. Criterios de Diseño Hidráulico

3.5.1 Diseño de la Rejilla

Una toma tirolesa deben tener las dimensiones necesarias para poder captar toda el agua requerida por el proyecto. Según la literatura consultada, el cálculo de las dimensiones de la rejilla se basa en la fórmula general de vertedores, cuyos coeficientes varían en función de la forma de la rejilla, separación entre barras, pérdidas de carga, régimen del flujo de llegada y caudal de diseño

$$Q = \frac{2}{3} * c * \mu * B * L * \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal a ser captado por la toma tirolesa (m³/s)

c = Coeficiente de la rejilla

μ = Coeficiente de descarga de la rejilla

B = Ancho de la toma tirolesa en metros

L = Longitud de toma de la rejilla en metros

h = Profundidad del agua en el borde superior de la rejilla

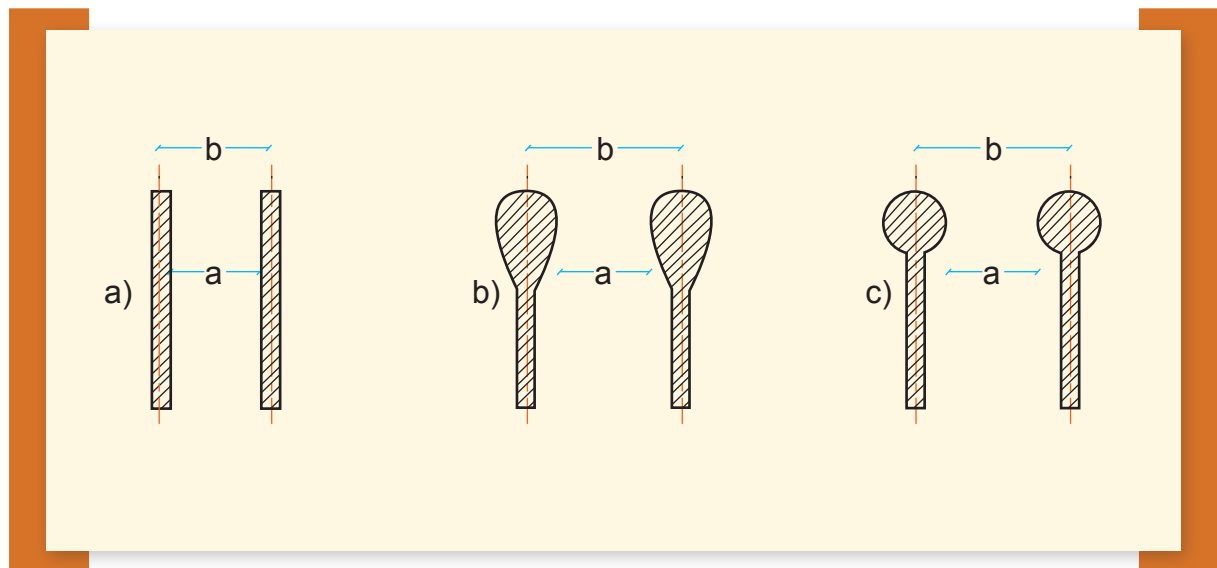
g = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

Se da a continuación la forma de obtención de estos parámetros.

Coeficiente de Rejilla C

Su valor depende de la abertura entre barras adyacentes (a) y del espacio entre los ejes de cada barra (b), según se muestra en la Figura 9. Además depende del ángulo de inclinación de la rejilla β.

Figura N° 9. Relación entre las dimensiones “a” y “b” de una rejilla



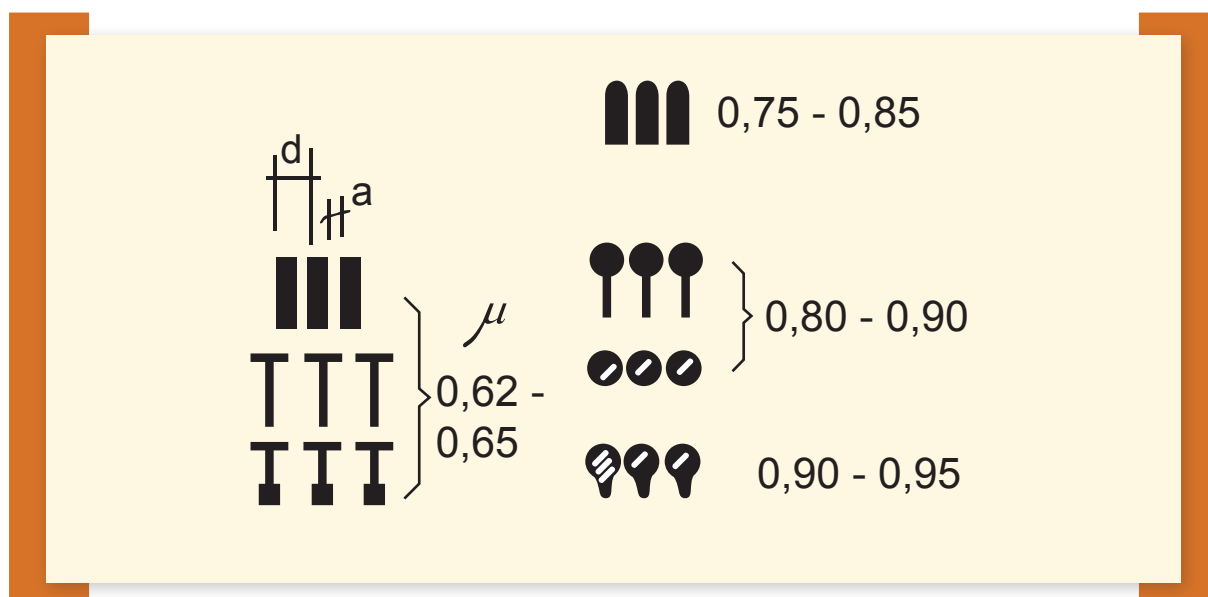
Se calcula con la siguiente fórmula:

$$c = 0,6 * \frac{a}{b} * (\cos \beta)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

Donde β es el ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal, en grados.

Coeficiente de descarga para la rejilla μ

Este coeficiente depende de la forma de las barras de la rejilla y varía desde 0,62 para barras rectangulares rectas, hasta 0,95 para barras ovaladas, según se muestra en la figura 10.

Figura N° 10. Valores del coeficiente de contracción de la rejilla μ^* 

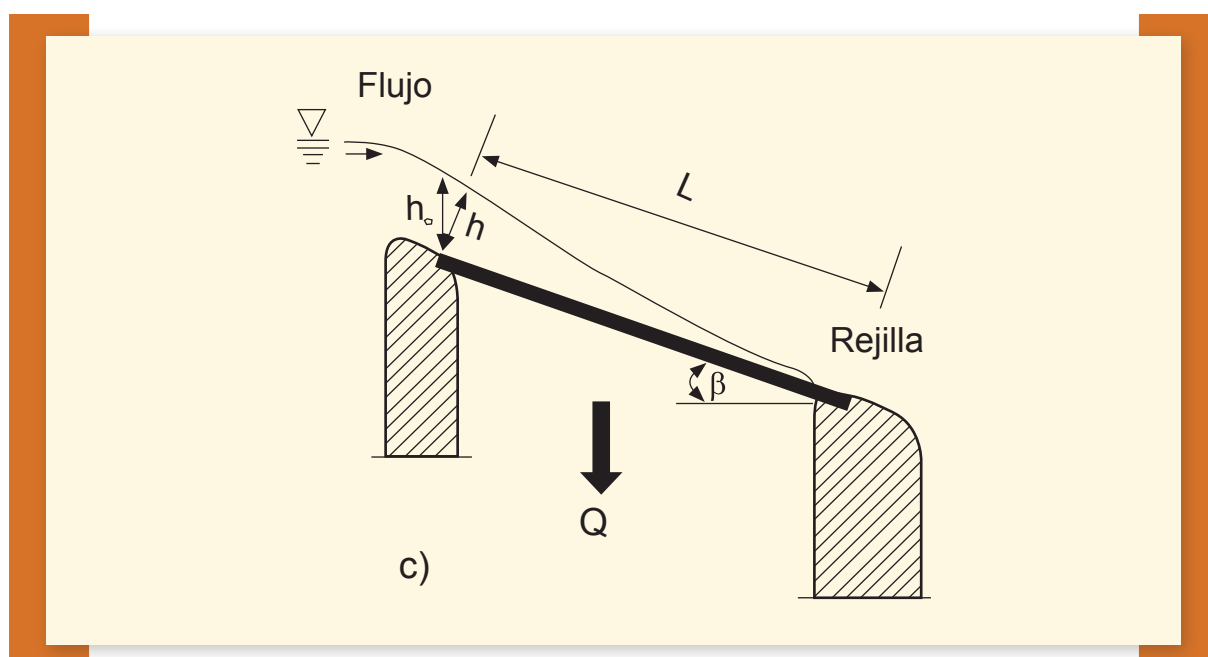
*Fuente: GTZ (1989)

Profundidad del Agua en el Borde Superior de la Rejilla h

Se acepta que la profundidad del agua en el borde superior de la rejilla " h ", medida en sentido perpendicular a la rejilla, se da en función de la profundidad crítica " h_{cr} " que se presenta al momento de ingresar el agua por la rejilla. En este sentido, el flujo de aproximación a la toma tirolesa debe ser en lo posible flujo subcrítico, uniforme, libre de turbulencias y bien distribuido. Se presenta en la Figura 11 las características del flujo de entrada del agua por la rejilla, donde se señala el valor de h y h_{cr} .

Algunos autores recomiendan que se construya un cuenco amortiguador aguas arriba del azud de la toma tirolesa, ello a fin de asegurar que el agua ingrese a la rejilla en régimen subcrítico y uniformemente distribuido en todo el largo de la rejilla.

Figura N° 11. Parámetros del diseño hidráulico de la rejilla*



*Fuente: Communication 26, LCH-EPF Lausanne (2006)

Según el Laboratorio de Construcciones Hidráulicas de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (2006), el valor de “h” se obtiene con la siguiente fórmula:

$$h = k_c * h_{cr} \quad (3)$$

El valor de k_c se conoce con los nombres de “factor de reducción” o “factor de corrección” y puede ser obtenido de la siguiente expresión:

$$2 * \cos \beta * (k_c)^3 - 3 * (k_c)^2 + 1 = 0 \quad (4)$$

La ecuación (4) puede ser resuelta utilizando la herramienta Función Objetivo de Excel. También es posible obtener el valor de k_c del Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3. Valores del factor de corrección por inclinación de rejilla

ángulo β	k_c	ángulo β	k_c
0°	1,000	14°	0,879
2°	0,980	16°	0,865
4°	0,961	18°	0,851
6°	0,944	20°	0,837
8°	0,927	22°	0,825
10°	0,910	24°	0,812
12°	0,894	26°	0,800

Para ángulos β de inclinación de la rejilla iguales o mayores a 30°, el valor de k_c puede también calcularse con la expresión simplificada:

$$k_c = 0,88 * \cos \beta \quad (5)$$

Como es sabido, el valor del tirante crítico se obtiene con la expresión:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g * B^2}} \quad (6)$$

Los términos de la ecuación (6) ya fueron definidos anteriormente.

Longitud de la Rejilla L

La longitud de la rejilla se mide en sentido de su pendiente, tal como se muestra en la Figura 4. Algunos autores recomiendan que el ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal no sea mayor a 26°, mientras que otros autores indican que es preferible que varíe entre 30° y 45° a fin de evitar al máximo el ingreso de material grueso al canal colector, así como su obstrucción por ramas y basura. Este último criterio es, aparentemente, el más adecuado para el diseño de las tomas tirolesas.

Sin embargo, en ambos casos se recomienda que la longitud calculada de la rejilla sea incrementada en un 20% para contrarrestar potenciales obstrucciones.

$$L_{adoptada} = 1,20 * L_{calculada} \quad (7)$$

El autor Sviatoslav Krochin (1978) recomienda que la longitud de la proyección horizontal de la rejilla no sea mayor a 1,25 metros y que su escuadría sea lo suficientemente resistente para resistir el paso de grandes pedrones.

El método de diseño de la rejilla propuesto por Krochin (1978) se basa, también, en la ecuación de Bernoulli y en la ecuación general de vertedores aunque utiliza otras fórmulas y factores para la obtención de los coeficientes de la rejilla y agrupa los términos de $2/3$ y Raíz de $(2g)$ en un solo coeficiente. Además, utiliza la longitud horizontal de la rejilla en lugar de la longitud inclinada.

Se presenta en el Anexo 1 la aplicación de este método al diseño de la rejilla de una toma tirolesa, junto con las fórmulas y coeficientes utilizados.

A continuación, se presenta la aplicación del método propuesto por GTZ (1989) al diseño de la rejilla.

Ejemplo de Diseño de Rejilla según GTZ (1989)

Mediante una toma tirolesa se desea captar un caudal de $Q = 300$ l/s que proviene de un embalse situado 10 km aguas arriba. En época de estiaje no existe agua en el río y debe ser captado todo el caudal. El cauce tiene un ancho de 30 metros en el sitio seleccionado para la construcción de la toma y una pendiente media del 3%. Se tiene como condición que el azud se sobre-eleve como máximo 10 cm por encima del borde superior de la rejilla. Diseñar la rejilla y calcular el caudal de ingreso máximo para una crecida de $Q_{\text{máx.}} = 20$ m³/s.

1. **Rejilla.** Material de construcción: según disponibilidad en el mercado, se define la construcción de una rejilla de pletina de hierro, de $\frac{1}{2}$ " de espesor x 4" de altura.

Se adopta una separación entre pletinas de: $a = 2$ cm

Distancia entre ejes de pletinas: $2 + 1,27$ $b = 3,27$ cm $\approx 3,3$ cm

2. Según las recomendaciones de la literatura, se adopta un ángulo de inclinación de $\beta = 30^\circ$ para la rejilla.
3. Con la fórmula del tirante crítico, ecuación (6), se ensaya una longitud de rejilla Ben procura de que el tirante crítico sea de 6 a 7 cm de altura, de manera que la altura de la línea de energía sea de 10 cm, aproximadamente, como condición de diseño.

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g * B^2}} = h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{0,3^2}{9,81 * 6^2}} = 0,0634 \text{ m}$$

$$E_{\text{min}} = 3/2 h_{\text{crit}} = 0,095 \text{ m}$$

De este modo, con una longitud de rejilla $B = 6,0$ m se cumple la condición de diseño de $H < 10$ cm.

4. Coeficiente de rejilla c , viene dado por la ecuación (2):

$$c = 0,6 * \frac{a}{b} * (\cos \beta)^{\frac{3}{2}} = c = 0,6 * \frac{0,02}{0,033} * (\cos 30)^{\frac{3}{2}} = 0,296$$

5. Coeficiente de descarga μ

Para rejilla de sección rectangular (de Figura 3): $\mu = 0,62$

6. Profundidad del agua en el borde superior de la rejilla h . Ecuación (5)

$$k_c = 0,88 \cdot \cos \beta = 0,88 \cdot \cos 30^\circ = 0,762$$

$$h = k_c \cdot h_{cr} = 0,762 \cdot 0,0634 = 0,048 \text{ m}$$

7. Cálculo del ancho de la rejilla L

De la ecuación (1):

$$L = \frac{3Q}{2 \cdot c \cdot \mu \cdot B \cdot \sqrt{2gh}} =$$

$$L = \frac{3 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,296 \cdot 0,62 \cdot 6,0 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,048}} = 0,42 \text{ m}$$

8. Longitud adoptada

$$L_{\text{adoptada}} = 1,20 \cdot L_{\text{calculada}} = 1,2 \cdot 0,42 = 0,504 \text{ m}$$

Se adopta $L = 0,50 \text{ m}$

9. Verificación del ingreso máximo de agua

- Altura de agua sobre el azud para la crecida máxima. De la fórmula simplificada de vertedores:

$$H = \left(\frac{Q}{C \cdot L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left(\frac{20}{1,7 \cdot 30} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,536 \text{ m}$$

- Tirante crítico: $h_{cr} = 2/3 \cdot H = 0,357 \text{ m}$

- Altura de entrada de agua por la rejilla h

$$h = k_c \cdot h_{cr} = 0,762 \cdot 0,357 = 0,272 \text{ m}$$

- Caudal máximo de entrada de agua por la rejilla Q_{max}

Aplicando la ecuación (1):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot c \cdot \mu \cdot B \cdot L \cdot \sqrt{2gh} \quad (1)$$

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0,296 \cdot 0,62 \cdot 6,0 \cdot 0,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,272} = 0,848 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal con el que debe diseñarse el aliviadero lateral de la toma.

3.5.2 Diseño del Canal Colector

El canal colector tiene la función de recibir y transportar el caudal que ingresa por la rejilla, así como el material sólido que logra pasar a través de ella; por tanto, la sección transversal del canal colector debe ser dimensionada para evacuar el caudal de diseño de la toma. Según S. Krochin (1978), es recomendable que la velocidad inicial del agua sea de 1,0 m/s al entrar en el canal colector y de 2,0 a 3,0 m/s al salir para garantizar que las piedras y arena que han pasado por la rejilla sean evacuadas hacia el desarenador. Este aspecto ha sido tomado en cuenta en todas las tomas analizadas.

Respecto a la sección transversal del canal se ha observado que esta puede ser trapezoidal o rectangular.

- En la publicación GTZ (1989), se recomienda tener en cuenta los siguientes principios para el diseño del canal colector.
- El ancho del canal debe corresponder con la longitud L de la rejilla Viene dado por la fórmula:

$$B_{\text{canal}} = L \cdot \cos \beta \quad (8)$$

Donde β es el ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal.

- La profundidad o tirante de agua en el canal debería ser aproximadamente igual al ancho del canal: $d \approx B_{\text{canal}}$
- El canal debe tener un bordo libre de aproximadamente $0,25d$ hasta el extremo superior de la rejilla. Si el agua no puede ser evacuada de acuerdo a estas recomendaciones, se debe aumentar ya sea la pendiente del canal o la profundidad del agua.
- La pendiente del canal debería ser por lo menos del 3% a fin de dar al agua la fuerza tractiva necesaria para mover del canal colector el material sólido que entre por la rejilla. Para este propósito es necesaria una alta velocidad del agua, lo que depende de la pendiente del canal colector

Ejemplo de diseño del canal colector según publicación GTZ (1989)

Se aplica al ejemplo de cálculo de la rejilla.

Datos: Caudal de diseño $Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Pendiente del canal (adoptada): $S = 3\%$

Material de construcción: hormigón ciclópeo

Debido a la alta turbulencia del flujo y al ingreso de material grueso por la rejilla, se adopta una rugosidad alta. $n = 0,025$

1. Base del canal B_{canal} .

Se adopta sección rectangular. Según fórmula (8):

$$B_{\text{canal}} = 0,50 \cdot \cos 30^\circ = 0,433 \text{ m}$$

Por razones constructivas se adopta ancho de canal $B_{\text{canal}} = 0,50 \text{ m}$.

2. Tirante de agua en el canal d

A lo largo de la rejilla el caudal se incrementa linealmente y alcanza su máximo valor al final del canal. Para simplificar los cálculos, se usa la sección transversal final para el dimensionamiento del canal.

El tirante d se obtiene aplicando el software Hcanales.

$$d = 0,32 \text{ m}$$

$$v = 1,87 \text{ m/s}$$

$$\text{Froude } F = 1,06$$

El flujo en el canal es ligeramente supercrítico. El agua debe desembocar en una cámara de menor cota que no produzca un remanso hacia el canal colector.

3. Altura del canal

$$H = 1,25 d = 0,40 \text{ m}$$

Altura de canal que se adopta en el extremo inferior del canal.

En el extremo superior, según la pendiente adoptada del 3%, el canal estará 0,18 m por encima de la cota de salida, pero manteniendo las mismas dimensiones.

Diseño del Canal Colector según S. Krochin (1978) (Método de Zamarin)

El flujo de agua en el canal colector que queda bajo la rejilla tiene un caudal variable. La longitud total B del canal colector se divide en partes iguales y el caudal en cada punto se determina por la fórmula:

$$Q_x = \frac{Q_d}{B} * x \quad (9)$$

donde:

x = Distancia desde el comienzo del canal colector (m)

Con el objeto de que el material de arrastre que pasa por la rejilla pueda ser evacuado, la velocidad promedio en el canal colector debe ser como mínimo:

$$V_{prom} \geq 3 * \sqrt{g * s} \quad (10)$$

Donde s es el tamaño del grano que puede pasar a través de las rejillas, o sea, igual a la separación entre rejillas.

Para que esta condición se cumpla se toma, generalmente, como velocidad al inicio del canal, $V_o = 1,0$ m/s y al final V_f de 2,0 a 3,0 m/s.

La velocidad en cada punto se determina con la fórmula:

$$V_x = \frac{V_f - V_o}{B} * x + V_o \quad (11)$$

La relación entre el caudal y la velocidad determina el área, con la cual se determina el tirante necesario para cada punto del canal colector.

Se asume que la energía del agua que cae a través de la rejilla se disipa en la mezcla turbulenta que se encuentra en el canal colector, es por ello que el coeficiente de Manning se toma alto, de 0,025 a 0,045; en consideración de las pérdidas adicionales que se producen por el flujo espiral y altamente turbulento en el canal colector.

Con la ecuación de Bernoulli se determina las cotas de agua en el canal colector.

$$\frac{V_1^2}{2 * g} + d_1 = \frac{V_2^2}{2 * g} + d_2 + S * x \quad (12)$$

Ejemplo de Diseño de Canal Colector según Krochin (1978)

1. Para el cálculo de la rejilla se aplica la fórmula (9):

$$Q_x = \frac{0,3}{6} * x = 0,05 x$$

2. Para este cálculo, se adopta la división de la galería en 3 partes:

$$\Delta x = 2,0 \text{ m}$$

3. La velocidad promedio recomendada en la galería se obtiene aplicando la fórmula (10)

$$V_{prom} \geq 3 * \sqrt{9,81 * 0,02} = 1,33 \text{ m/s}$$

Según recomendación se adopta:

- Velocidad inicial $V_o = 1,0 \text{ m/s}$
 - Velocidad final $V_f = 2,0 \text{ m/s}$
4. Con los valores obtenidos anteriormente y aplicando las ecuaciones de continuidad Bernoulli y Manning, se calculan las velocidades, tirantes, pérdidas de carga y línea de energía en el canal colector.

La ecuación de continuidad es:

$$Q = A * V \quad (13)$$

La ecuación de Bernoulli es la ecuación (12)

Ecuación de Manning:

$$S = \frac{h_f}{L} = \left(\frac{V * n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (14)$$

5. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de la línea de energía en el canal colector

x	Q	V	A=Q/V	d = A/Lcanal	P	R	(R) ^{2/3}	S energía	hf	Σhf	V ² /2g
0,00	0	1,00	0,00	0,00	0,5	0,000	0,000	0	0,000	0,0000	0,051
2,00	0,1	1,33	0,08	0,15	0,8	0,094	0,206	0,026	0,052	0,0522	0,091
4,00	0,2	1,67	0,12	0,24	0,98	0,122	0,247	0,029	0,057	0,1093	0,142
6,00	0,3	2,00	0,15	0,30	1,1	0,136	0,265	0,036	0,071	0,1805	0,204

Número de Froude en la sección 6:
$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} = \frac{2,0}{\sqrt{9,81 \cdot 0,3}} = 1,17 > 1,0$$

El flujo es ligeramente supercrítico, por lo que se debe independizar el flujo del canal colector respecto del flujo que se genera en el tanque de salida.

Las alturas totales de la línea de energía se estiman en la Tabla 5.

Tabla 5. Alturas totales de la línea de energía en el canal

x	d+Σhf+v ² /2g	Cotas canal
0,00	0,051	0,524
2,00	0,293	0,282
4,00	0,439	0,136
6,00	0,575	0

Las cotas se han obtenido considerando la cota de salida del canal igual a 0,0. Según recomienda Krochin (1978), a estas cotas se suma una altura de seguridad equivalente al 15% por encima de la altura de la línea de energía.

Análisis Comparativo

Para un canal de la misma base B_{canal} = 0,50 m, y que capta el mismo caudal, el método GTZ (1989) da un tirante a la salida de 0,32 m, mientras que el método Krochin (1978) da un tirante de 0,30 m, valores muy similares. Por seguridad, GTZ recomienda incrementar el tirante en un 20%, mientras que Krochin recomienda tomar el tirante de la línea de energía con un 15% adicional a este valor como altura de seguridad, entonces la altura del canal según Krochin es mucho más alta que la que se obtiene al aplicar el método GTZ.

3.5.3 Diseño del Azud

El agua del río que no es captada por la toma tirolesa se vierte por encima del azud construido en el lecho del río. Es por ello que, con la finalidad de aumentar su coeficiente de descarga, el azud debe tener, en lo posible, un perfil hidrodinámico. Un elemento que se ha reconocido en la totalidad de las obras investigadas. Usualmente, este perfil se diseña con coordenadas de perfil Creager, o una caída inclinada,

La altura máxima del azud sobre la cota superior de la rejilla debe ser pequeña. En los casos de las tomas de Millu Mayu y Toralapa Alta esta medida oscila entre 0,2 m a 0,5 m, en el caso del Kora Tiquipaya es de 0 m. También es importante considerar que la estructura del azud debe conformar un solo cuerpo con la rejilla, para que las piedras pasen fácilmente por encima del azud, evitándose, de este modo, la construcción de una compuerta de limpieza de sedimentos como en el caso de una presa derivadora.

Cálculo de Estabilidad

Al igual que en el caso de cualquier muro de gravedad construido en el lecho de un río, la estabilidad del azud y de la presa derivadora deben ser verificadas al volcamiento, deslizamiento y asentamiento.

Al analizar las tomas tirolesas, en general, se consideran los dos primeros casos, ya que el tercer caso solo se analiza cuando el suelo de sustentación tiene poca resistencia. En el caso de las zonas de estudio de Bolivia, la capacidad portante de los lechos aluviales tiende a ser mayor a 1 kg/cm^2 .

Las solicitaciones que deben tomarse en cuenta son el peso propio, peso del agua, empuje del agua, empuje del material aluvial tanto de aguas arriba como de aguas abajo, y principalmente la subpresión.

3.6. Componentes Complementarios

Entre los componentes complementarios y necesarios para el funcionamiento de una toma tirolesa se encuentran los siguientes.

Cámara de Inspección

Con el propósito de dar mantenimiento y realizar la limpieza del canal colector, es necesario construir una cámara de inspección a la salida del canal, de manera que la dimensión perpendicular del canal sobresalga como mínimo 0,50 m en cada lado del mismo. Su ancho debe ser, como mínimo, de 1,0 m y su profundidad debe permitir que se independice el flujo del canal colector del nivel del agua en la cámara. Estas dimensiones permiten que una persona con herramienta pueda trabajar sin dificultad el realizar la limpieza respectiva. Entre las tomas analizadas, este elemento solo se ha respetado en la toma del Kora Tiquipaya. En las demás tomas no se incluyó la cámara colectora y existen serios problemas para realizar la limpieza del canal colector.

Muros de Encauce y Disipación de Energía

Los muros de encauce tienen la función de encauzar el río hacia la toma tirolesa y azud, protegiendo de esta manera la cámara de control y demás estructuras situadas aguas abajo de la toma. Asimismo, en caso de que la obra no haya sido fundada en roca, aguas abajo se requiere la construcción de muros transversales al cauce, que actúen como caídas y disipen la energía cinética del río. Entre las obras investigadas, exceptuando la toma de Titiri, se han presentado problemas de socavamiento basal y colapsos de las estructuras, tal el caso de la toma de Toralapa Alta. Esta situación se presenta en cuanto que no existen estructuras de control y corrección de torrentes.

Canal de Salida

Es el canal que recibe las aguas del canal colector y las lleva al desarenador, su longitud depende de las condiciones topográficas, principalmente de la pendiente y características del río. En el caso de las tomas del Kora Tiquipaya y Apote, los desarenadores están a pocos metros del canal colector: en los casos de Millu Mayu, Toralapa Alta, Laimiña y Titiri, existe un promedio de 25 m de longitud de canal colector. En todos los casos el canal de salida debe mantener las velocidades mayores o iguales a 2,0 m/s para poder arrastrar los sedimentos al desarenador.

En general, como un criterio de diseño, se sostiene que la longitud del canal de salida debe ser lo mas corta posible debido a que el arrastre de sedimentos la solera sufre un desgaste prematuro; sin embargo, todo depende de las condiciones topográficas.

Desarenador

Un desarenador es imprescindible en la salida de la toma tirolesa, a fin de evitar que la grava y arena que ingresa por la rejilla pase a los canales de conducción y los colmate, además de ocasionar el rápido

desgaste de la solera y muros de los canales. Se ubica entre el canal colector y el canal de aducción y tiene la función de retener y evacuar todos los sedimentos que ingresan por la obra de toma.

Es importante tomar en cuenta que el diámetro de las partículas que son arrastradas hacia el desarenador, lo que depende directamente de las aberturas de la rejilla, está en el orden de 0,02 a 0,05 m, pudiendo ingresar toda la gama de azolves de estas dimensiones que contiene el río.

Los desarenadores de Laimiña, Millu Mayu, Toralapa Alta y Titiri son muy parecidos en su concepción, a partir del canal de salida presentan una zona de transición divergente, con un ángulo de 12° a 15°, para luego entrar a la cámara de sedimentación y al final de ésta existe un desfogue con compuerta de control. En general, estas obras tienen un adecuado funcionamiento.

Respecto al desarenador de Apote, se ha observado que entra directamente a la cámara de sedimentación sin una transición. En esta obra también se ha podido notar que parte de los sedimentos se quedan en la parte inicial de la cámara, lo cual dificulta su evacuación.

El desarenador de la toma de Kora Tiquipaya es diferente a los anteriores, está basado bajo el concepto de mantener una velocidad continua del agua por el canal de aproximación de modo que sea evacuada directamente por el desfogue, entre tanto que los azolves en suspensión son evacuados por un vertedero lateral.

Se incluye en el Anexo 2 el Capítulo 15, denominado Desarenadores, de la publicación del Programa Nacional de Riego PRONAR "Obras de Riego para Zonas Montañosas" (2004). En este texto se presenta en forma detallada la descripción y ubicación de un desarenador, sus diferentes componentes, todos los fundamentos del diseño hidráulico y un ejemplo de cálculo.

3.7 Factores de Riesgo

Crecidas

Este elemento tiene una importancia significativa en la duración y el funcionamiento de las obras de toma. No obstante, pese a la investigación realizada, muy poco se ha podido conocer sobre los cálculos efectuados para la determinación de máximas crecidas y sus tiempos de recurrencia. Solo en los casos de Millu Mayu, Kora Tiquipaya y Titiri se tiene alguna idea de los valores determinados para las crecidas extraordinarias. En estos casos se han usado para el diseño crecidas con un período de retorno de 25 años de tiempo de recurrencia, aspecto que tiene que ver con el costo de la obra.

En general, las obras han sufrido fuertes deterioros, fundamentalmente, en su sistema de disipación de energía, lo cual está en directa relación con las crecidas ya que los caudales presentaron mucho mayores a los calculados. Un caso interesante es el de la toma de Laimiña, en la cual la rejilla ha sido arrancada por la fuerza del río y arrastrada 300 m aguas abajo.

Arrastre de Sedimentos

Este aspecto está en directa relación con el comportamiento de la cuenca, las zonas potenciales erosionables, el comportamiento hidrológico, las pendientes de los tributarios y el torrente principal. Sobre esto se ha observado que las tomas tirolesas se encuentran ubicadas en torrentes con fuerte pendiente y susceptibles a producir erosión.

Con el objeto de minimizar los riesgos, el proceso ideal de construcción de una obra de toma supone realizar el estudio integral de la cuenca de aporte e intervenir ésta de acuerdo a las diferentes alternativas técnicas comparadas con la factibilidad económica, para poder minimizar los riesgos. Sin embargo, este criterio es prácticamente imposible de aplicar en la región debido a que los costos son altísimos e inviabilizarían cualquier proyecto. Prácticamente en todas las obras estudiadas existe el problema de arrastre de sedimentos, fundamentalmente en la época de lluvias, cuando se presentan crecidas intempestivas que cubren con sedimentos la obra de toma o desvían el curso del río, incrementándose

los costos de mantenimiento. Ante la escases de recursos económicos, la forma más adecuada de paliar este problema es construir obras de control del torrente en pequeños tramos aguas arriba y abajo de la obra de toma.

Caudales Mínimos

Se ha observado que en tomas ubicadas en ríos con fuerte pendiente, como en los casos de las tomas Kora Tiquipaya y Apote, existe una gran cantidad de sedimentos que tienen un comportamiento muy variable en los períodos de sedimentación y erosión debido a que se forman en el cauce del río islas de sedimentos y pequeños canales. Cuando las rejillas de las tomas se encuentran ubicadas parcialmente en la sección del torrente, es difícil controlar el flujo hacia este sector, por lo que se requiere de mantenimiento continuo, aspecto que se observa con mucha frecuencia en tiempo de estiaje donde los caudales son mínimos y se requiere captar la mayor cantidad de agua. Por este motivo, se puede asegurar que para garantizar el aprovechamiento de caudales mínimos es necesaria la construcción de obras de control del cauce del río.

3.8. Características Constructivas de la Toma

Una de las ausencias más importantes que se ha podido percibir en la construcción de las obras tirolesas analizadas se advierte en la falta de obras de control del torrente. Esta característica se presenta aún a pesar de la necesidad de controlar la pendiente del torrente para evitar que las obras de disipación colapsen. En las tomas de Apote y Kora Tiquipaya ya se ha generado esta situación y únicamente en el caso de la toma de Laimiña, donde existe una cama de piedras, no se corre este riesgo.

En algunos casos, entre ellos las tomas de Kora Tiquipaya y Apote, se han utilizado muros transversales de gaviones como estructuras de disipación, los cuales son fácilmente destrozados por el golpe de las piedras. Las estructuras de tomas tirolesas no pueden ser construidas solo en un tramo de la sección transversal del torrente, sino que deben cruzar completamente la sección transversal del río con el azud ya que en caso contrario el río escurre hacia el lugar más débil, concentrando su flujo, tal como sucedió en la toma de Apote.

Debido a que los torrentes en la época de crecidas arrastran una gran cantidad de piedras de gran diámetro no es recomendable la utilización de gaviones; sin embargo, en caso de utilizarse este material debe ser protegido por troncos en la zona de impacto o ser recubiertos por una capa de hormigón.

La caja del canal colector donde se recibe el agua que ingresa por la rejilla debe construirse de hormigón, preferiblemente armado, con la armadura de esta estructura soldada y trabada al marco de la rejilla. Es recomendable que la rejilla sea construida con rieles, puesto que en la práctica este material ha dado un excelente resultado. En este caso, el marco debe ser de un mínimo de 0,15 m por 0,15 m en perfil angular donde la riel debe ir soldada. En todos los casos, los travesaños de la rejilla deben ir soldados al marco macizo de hierro angular.

En la medida de las posibilidades el azud debe tener en su cresta (cimacio) hormigón armado o ser recubierto con piedra dura, ya que el hormigón ciclópeo sufre un desgaste muy acelerado. Se debe tener mucho cuidado con la dosificación.

Los muros de encauce deben ser como mínimo de hormigón ciclópeo y estar diseñados y construidos con una cimentación sólida para evitar problemas de socavación y de abrasión.

3.9. Criterios de Gestión de Agua que Orientan el Diseño y Construcción

La capacidad de operar y mantener un sistema de riego es posiblemente el factor determinante de mayor importancia en el diseño de sistemas de riego en zonas montañosas. La determinación de las habilidades de mantener la infraestructura debe considerarse cuando se selecciona una alternativa de obra de toma entre las muchas opciones de diseño. Esto significa que seleccionar la estructura correcta

no es suficiente para mantener el riego sino se establecen claramente los acuerdos, normas y reglas para la gestión del sistema de riego mejorado.

La evaluación de la adaptabilidad del “diseño de la infraestructura y gestión” a la capacidad de gestión de la organización beneficiaria puede realizarse a través del análisis los siguientes criterios:

Comprensión. Un sistema de riego es comprensible cuando todos los usuarios (hombres, mujeres, niños, ancianos) entienden el funcionamiento de la infraestructura y la gestión del sistema de riego. Es, entonces, necesario que todos comprendan y asuman las bases para la asignación de agua de modo que, todos participen en la operación/distribución del agua y adicionalmente en el mantenimiento de la infraestructura.

En los casos de las tomas tirolesas analizadas es necesario separar los casos que presentan la captación de agua de una sola fuente y los casos que presentan la captación de agua desde varias fuentes que ingresan al río aguas arriba de la toma. En el primer caso, como ocurre en Laimiña, por la simplicidad de la obra, su funcionamiento es comprensible para todos los usuarios, aunque el grado de comprensión es variable. Son los dirigentes, jueces de agua y los usuarios que recogen este recurso los que comprenden mejor el funcionamiento de la obra, esto se debe a su mayor relacionamiento con la obra.

En el segundo caso (Kora Tiquipaya y Apote), la comprensión tiene más limitaciones por las actividades que demanda captar simultáneamente diferentes fuentes, separar cada fuente, conocer y controlar los turnos, etc. Estos aspectos hacen que el conocimiento se concentre en los que tienen inmediata relación con la toma. Esto significa que mientras el tomero, el juez de agua y los dirigentes tienen una buena comprensión del sistema de riego, el resto de los usuarios tiene sólo un conocimiento limitado.

El hecho de que se concentre el conocimiento en algunos puede derivar en situaciones de concentración de poder y abuso; por consiguiente, es bueno que durante el diseño se establezcan mecanismos de control social para el aprovechamiento y mantenimiento del sistema.

Minimización de Conflictos. Se entiende como la capacidad para evitar conflictos en la gestión campesina de los sistemas de riego. La infraestructura de este tipo de sistemas contribuye a aplicar este criterio, tal como indica Vermillion citado por Yoder (1989), los agricultores prefieren minimizar la división de canales y los niveles dentro de la jerarquía de las redes. En Bolivia, por ejemplo, existe la práctica de la construcción de canales en forma radial, de manera que la distribución también sea transparente y evite la necesidad de aplicar mediciones de flujo.

En el caso de la toma tirolesa de Kora Tiquipaya⁸, que capta aguas de diversas fuentes, si bien con la toma tirolesa única han desaparecido los trabajos de reconstrucción de cada una de las tomas rústicas, existen algunos problemas relacionados con el reparto de agua por la ausencia de aforadores. Estos problemas se podían haber evitado en el diseño y construcción de la obra mediante la implementación de aforadores que hubiesen permitido un funcionamiento más comprensible del sistema.

Equidad. Se entiende por equidad en relación con la infraestructura, la que se presenta cuando la infraestructura existente permite hacer uso de los derechos de agua en iguales condiciones para todos los usuarios. Al ser la toma una obra de beneficio común, con la construcción debe mantenerse este principio excepto cuando no se haya tomado en cuenta a determinados grupos de usuarios. En general, esta situación de equidad no se dio en ninguno de los casos estudiados.

También es importante considerar la distribución de las responsabilidades de mantenimiento de las obras en función al beneficio que tiene cada uno, pues, esto permitirá la equidad en el sistema mejorado. En este proceso de definición de los criterios de equidad también es imprescindible tomar en cuenta las percepciones y definiciones de los propios campesinos.

8 Antes de la construcción de la toma tirolesa, cada fuente de agua tenía su propia toma rústica

Capacidad de Uso y Control. Se entiende como la aptitud de la gente para hacerse cargo de la tecnología introducida. La aplicación de este criterio requiere la consideración de nociones referidas a la organización, conocimiento y recursos económicos de las organizaciones beneficiarias.

Las deficiencias o limitaciones relacionadas en el mantenimiento de las obras de toma tirolesas limitan la capacidad de control, tal como se ha indicado en un capítulo anterior. Esta limitación hace que la obra se vaya deteriorando paulatinamente hasta que queda destruida, como ocurrió en las tomas de Toralapa y Laimiña. En el caso de Kora Tiquipaya el control que ejercen los usuarios para mantener la obra se basa en la regla de prueba y error (colocación de gaviones, reforzamiento con tierra y piedra), lo que puede derivar en el colapso de la obra puesto que las prácticas que realizan son principalmente medidas paliativas. Una obra bien construida aumenta las posibilidades de control y permite disminuir las inversiones de mano de obra y dinero destinadas a las actividades paliativas.

En los casos de Toralapa y Laimiña, el mantenimiento de las tomas ha rebasado la capacidad de los usuarios sin que estos pudieran evitar la destrucción de las mismas. El cambio de una toma rústica a una toma tirolesa ha demandado requerimientos mayores a las capacidades existentes, llegando en el caso de Toralapa a la solicitud de una nueva intervención por no contar con los recursos suficientes.

Lo indicado permite concluir que la introducción de una obra de toma puede crear dependencia económica y dependencia de conocimiento. De cualquier manera, la dependencia económica es ineludible, tarde o temprano los usuarios tendrán que hacer un aporte económico para el mantenimiento. Lo importante es que esos aportes sean bien utilizados, para lo que es indispensable que los usuarios tengan un adecuado conocimiento sobre el sistema de riego. Esto significa que no es suficiente la dotación de un manual de mantenimiento sino, adicionalmente, una preparación práctica a todos los usuarios.

Flexibilidad. La flexibilidad se entiende como la capacidad de la red física del sistema de riego para responder a las necesidades cambiantes de agua de los usuarios. En el caso de las tomas estudiadas, en general, responden a las necesidades de los usuarios, aunque con la Toma Tirolesa ya no es posible realizar la práctica del lameo.

El diseño físico o de infraestructura es flexible cuando permite captar flujos altos y bajos. En los casos estudiados, en épocas de crecidas los canales colectores de las tomas se colmatan y se dificulta el uso del agua. Al contrario, en época de escasez de agua la obra requiere de labores adicionales para encauzar el flujo hacia la toma.

Funcionalidad. La funcionalidad de una obra está relacionada con el cumplimiento del objetivo para el cual fue construida. Una toma puede tener el objetivo de captar mayor cantidad de agua, disminuir la mano de obra invertida en la reconstrucción periódica de tomas rústicas, asegurar la disponibilidad de agua en época seca y de lluvias, reducir la vigilancia y otros. propósitos que también pueden estar combinados.

En el caso de las tomas de Millu Mayu y Kora Tiquipaya se puede indicar que las tomas cumplen con su función. Es así que los usuarios aceptan la obra porque ha permitido la reducción de mano de obra en la reconstrucción de las tomas rústicas ; se asegura la captación de agua disponible y se reduce la necesidad de vigilancia. Contrariamente, en los casos de Toralapa y Laimiña, las obras de toma al estar inhabilitadas no están cumpliendo con su función, aunque en sus inicios pudieron cumplir con los fines para las que fueron construidas.

Por las condiciones climáticas de Bolivia, en el período de lluvias existe la necesidad de complementar con riego los requerimientos hídricos de algunos cultivos; sin embargo, existe la idea generalizada de que en este período no se requiere de riego sin considerarse que es justamente en este periodo que las áreas cultivadas son generalmente mayores a las de la época seca, razón por la cual también hay requerimientos de riego. Es en este sentido que se asume que la obra de toma debe ser funcional para responder a las necesidades de época de lluvias y de época seca.

Los casos investigados muestran que en la época seca existen fechas indicativas de siembra y cosecha. Fechas que son determinantes de oportunidad de riego durante el desarrollo de los cultivos con el objetivo de que la producción se acomode a los requerimientos del mercado, a la diversificación de productos de consumo para la familia, a la reducción de riesgos (heladas) y otros. Este análisis permite observar que la obra de toma deberá responder a estos requerimientos para ser funcional.

Sostenibilidad. Se entiende como la habilidad de movilizar recursos propios de los usuarios (conocimiento, dinero, mano de obra, material) para responder a la necesidad permanente de continuar operando y manteniendo el sistema de riego mejorado. Difiere del concepto de durabilidad de la obra.

El aporte económico por usuario es menor cuando el número de usuarios de un sistema es mayor y, por el contrario, cuando el número de usuarios es menor los aportes económicos son mayores; estaleciéndose una lógica que puede definir el nivel de dificultad que se deben atender según los requerimientos de la obra.

Entre los casos analizados, Kora Tiquipaya y Millu Mayu son las tomas que tienen mayores posibilidades de ser sostenibles porque cuenta con una organización (Asociación de Regantes) que alberga a varios Comités y que a su vez cuentan con un gran número de afiliados. Este tipo de organizaciones tiene mayores posibilidades de relacionarse con instituciones como el municipio, ONGs y entidades financieras para obtener recursos y asistencia técnica que responda a cualquier requerimiento de la obra. Además, estas organizaciones cuentan con mayor aceptación o reconocimiento por el medio debido a la importancia que muestran del riego y por el número de usuarios que aglutina.

En los casos de organizaciones pequeñas todos los aspectos indicados en el párrafo anterior ocurren con menor intensidad, lo que repercute en las posibilidades de sostenibilidad. La sostenibilidad de un sistema también está afectada por las migraciones temporales, en cuanto que impiden que se cuente con mano de obra de manera inmediata; por lo general los jóvenes y personas de mediana edad tienden a migrar, quedando los niños, mujeres y ancianos. Esta situación obliga a que durante el diseño de la infraestructura se analicen las posibilidades de mantenimiento tomando en cuenta el tipo y disponibilidad de mano de obra o fuerza de trabajo. Asimismo, esta situación conlleva a que muchas veces las decisiones e intervención oportuna se posterguen hasta el retorno de los migrantes para tomar decisiones de manera conjunta, que muchas veces son a destiempo.

La sostenibilidad de la obra también está afectada por la diversidad de “usuarios” (propietario, partidario, jornalero). Así, la respuesta y grado de compromiso de un propietario será diferente a la de un jornalero, puesto que sus objetivos de participar en este trabajo son diferentes.

La participación de los usuarios durante el proceso de diseño contribuirá a la sostenibilidad de la obra. El usuario puede aportar con conocimiento de experiencias locales y conocimiento de su medio, por ejemplo dando información sobre el comportamiento del río en diferentes épocas del año. Por otra parte, en la etapa de ejecución la intervención de los usuarios con mano de obra permitirá que éstos tengan conocimiento del proceso constructivo y adquieran prácticas constructivas que luego facilitarán los trabajos de mantenimiento y/o reparaciones. Asimismo, la participación de los usuarios en la supervisión o seguimiento a las actividades de construcción contribuiría a asegurar la calidad de la obra, efectuar ajustes o cambios oportunos y adquirir conocimientos “técnicos” para poder mantener la obra.

Es recomendable que en la etapa de ejecución, se explique a los usuarios las características del proyecto y se efectúen prácticas sobre las actividades inherentes a la operación y mantenimiento de la obra, enfatizando los peligros o riesgos que podría correr la obra en caso de no aplicarse dichas prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

Acharya B.N. (1985) Design issues in farmer-managed irrigation systems: Experiences in the hills of Nepal. In Design Issues in farmer-managed irrigation systems. Edited by Yoder R. and Thurston J. IIMI Colombo, Sri Lanka.

Ankum P. (1995) Flow controlling irrigation and drainage. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and environmental Engineering (IHE) Delft, The Netherlands.

Archer. A first definition of design and related terms as part of the Royal College of Art "Design in General Education" projects.

Cuenca R. (1989) Irrigation system design. An engineering approach. Department of Agricultural Engineering, Oregon State University, New Jersey, USA.

Ford Foundation (1995) Hill irrigation Engineering, with special emphasis on planning, design and implementation of farmer hill systems. Institute of Engineering, Pulchowk Campus, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal. New Delhi, India.

García, E. (1991) Manual de pequeñas irrigaciones andinas. Documento de trabajo SNDC/COTESU 21. La Paz, Bolivia.

Guijt I. & Thompson J. (1994) Landscapes and livelihoods. Environmental and socio-economic dimensions of small-scale irrigation. Land Use Policy, Vol II number 4.

GTZ (1989). Helmut Lauterjung/Gangolf Schmidt. Planning of Water and Hydropower Intake Structures. Community Development Library. Germany.

Horst L. & Ubels J. (1993) Designing sustainable farmer-managed irrigation in Africa. In Irrigation Design in Africa. CTA- WAU. The Netherlands.

Horst L. (1987) Choice of irrigation structures: the paradox of operational flexibility. Proceedings of the Asian Regional Symposium on Irrigation Design for management.

Horst L. () Relación entre infraestructura técnica y gestión. Resumen en castellano de artículos sobre el tema escasez y distribución de agua de irrigación. ODI. UK.

Horst L. (1996). Irrigation water division technology in Indonesia. A case of ambivalent development. Wageningen Agricultural University. International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands.

Horst L. (1998) The dilemmas of water division. Considerations and Criteria for irrigation System Design. IWMI. Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Ibañez P. (1994). Control de erosión en obras hidráulicas. American Concrete Institute -. Universidad Nacional de Ingeniería.

Jurriens. and de Jong.(1994) Design and management. In Irrigation water management.

Kraatz, D. and Mahajan (1975). Small hydraulic structures Irrigation and drainage paper 26, FAO, Rome.

Krochin S. (1978). Diseño Hidráulico. Editorial de la Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Mohammadreza Andaroodi. Communication 26 (2006). Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool. Lausanne, Switzerland.

Levine G. (1998) Equity considerations in system design and in the allocation and distribution of water. In Searching for Equity. Edited by Boelens and Dávila. The Netherlands.

Mansen A. (?) Problemas en el manejo de quebradas. American Concrete Institute- Universidad Nacional de Ingeniería.

Meijer T. (1992) Three pitfalls in irrigation design. In Irrigation and Engineers. CIP. Amsterdam, The Netherlands.

Meijers T. (1990) The interaction between users and designer in the design process of a village irrigation system on the island of Ile à Morphil, in north Senegal. In Design for sustainable farmer-managed irrigation schemes in sub-Saharan Africa. WAU, The Netherlands.

Ng, Ph-Kok. (1987) Irrigation design: a conceptual framework. IIMI. In Irrigation design for management. Asian regional symposium. Kandy, Sri Lanka

Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (ENSHMG), Huber, D. (2005). BEDUIN Project. Grenoble, France.

Programa Nacional de Riego (PRONAR), Bottega, A y Hoogendam P. (2004). Obras de Riego para Zonas Montañosas. Cochabamba, Bolivia.

Smout R. and Ward R. (1987) Appropriate planning and design of hill irrigation schemes. Cambridge, United Kingdom.

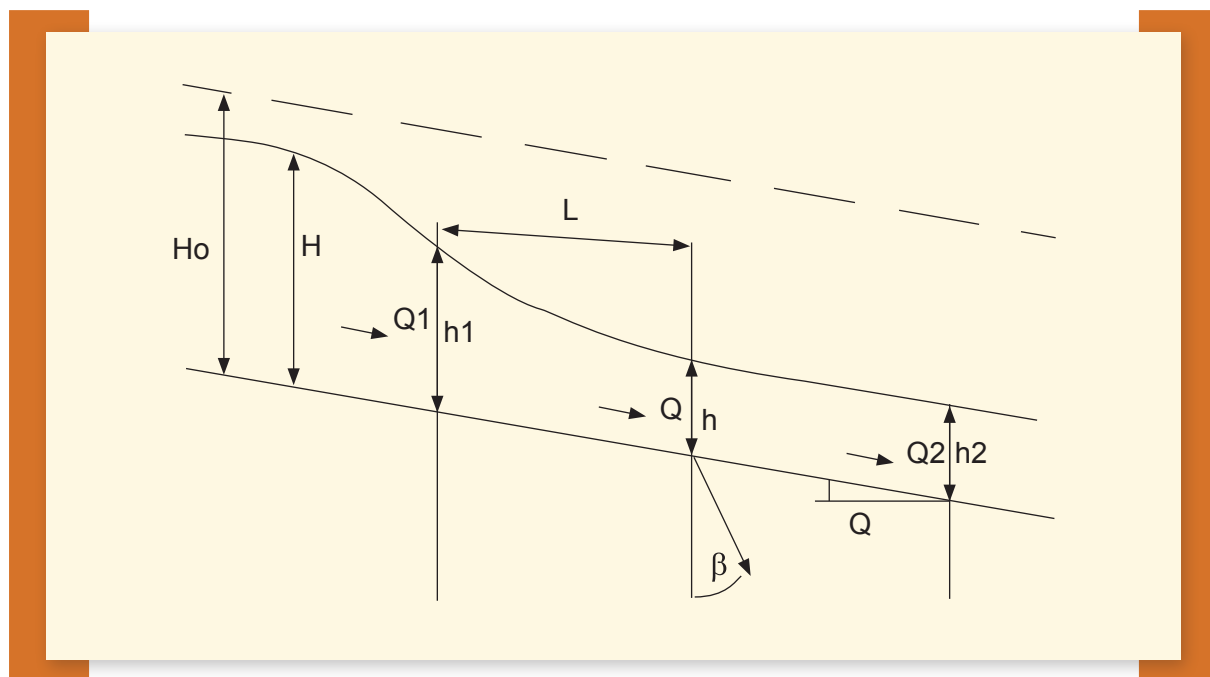
Yoder R. (1994) Designing Irrigation Structures for Mountainous Environments. IIMI, Colombo, Sri Lanka.

Yoder R. and Thurston J. (1989) Design Issues in Farmer-Managed Irrigation System. IIMI, Colombo, Sri Lanka, contenido

ANEXO 1

EJEMPLO DE CÁLCULO HIDRÁULICO DE TOMA TIROLESA

Toma Toralapa



Datos

$$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

El coeficiente K que reduce el área efectiva disponible para el caso del agua está dado por:

$$K = (1 - f) \frac{s}{s + t}$$

donde:

$f = 0,15$ Porcentaje de la superficie que queda obstruida por las arenas y grava que se incrustan entre las rejillas y que se toma de 15 – 30%

$s = 0,025$ Espaciamiento entre barrotes (m)

$t = 0,08$ Ancho de un barrote (m)

Reemplazando valores:

$$K = 0,202$$

El coeficiente de contracción C varía en función de la disponibilidad de los hierros de la rejilla. Su valor depende de la inclinación α de la rejilla con la horizontal y esta dado, por:

$$C = C_0 - 0.325i$$

$L = 1,2$ m Longitud transversal de la rejilla

$i = 0,36$ Pendiente de la rejilla (m/m). $i = \tan \alpha$ $\alpha = 20$ grados

$C_0 = 0,6$ para $e/s > 4$

$C_0 = 0,5$ para $e/s < 4$

De donde:

$$C = 0,383$$

Ancho de la rejilla:

$$b = \frac{0,313Q}{(CK)^{\frac{3}{2}} L^{\frac{3}{2}}}$$

Adoptamos $b = 3,0$ m longitud total de la rejilla

Cálculo de la altura de agua sobre la rejilla:

Se conoce que:

$$Q = 2,5 CKbL \sqrt{H_0}$$

De donde:

$$H_0 = \left(\frac{Q}{2,5 CKbL} \right)^2$$

$H_0 = 0,12$ m Carga de entrada de agua. La cresta del azud debe estar 0,2 m más alta a los lados de la rejilla.

ANEXO 2

DESARENADORES

15.1 Descripción y ubicación

Los desarenadores son estructuras hidráulicas que sirven para decantar el material sólido no deseable que lleva el agua de un canal. Ese material sólido no es deseable en un sistema de riego porque a partir de ciertas cantidades y tamaños de partículas en suspensión:

- Se depositaría en el fondo de los canales disminuyendo su sección reduciendo su capacidad de conducción. Esto obligaría a realizar tareas de mantenimiento regulares, lo que se traduce en elevados costos y produce molestosas interrupciones en el servicio del canal.
- Erosionaría las paredes de canales y en especial de tuberías de conducción y sifones invertidos (efecto de abrasión).
- Obstruiría tuberías de conducción, sifones invertidos, medidores y otras obras de arte.

La presencia de abundante material sólido en el agua de riego es una de las principales características de los sistemas de montaña. Tiene relación directa con la gran susceptibilidad a la erosión de los suelos andinos por la confluencia de factores como precipitaciones de alta intensidad, pendientes de terreno pronunciadas y sostenidas y la falta de cobertura vegetal. En consecuencia, el agua que escurre superficialmente lleva partículas sólidas a los ríos. Estos erosionan sus orillas y fondo y transportan este material hacia abajo. Este procedimiento es tanto más intenso cuanto mayor es la gradiente. El diámetro del material sólido arrastrado es aproximadamente proporcional a la sexta potencia de la velocidad del agua. El transporte de sedimentos es un proceso complejo, para simplificar su estudio se han dividido los sólidos, de cierta forma arbitraria, en sólidos que ruedan por el fondo y en sólidos en suspensión. Mientras que en ríos de llanura los arrastres de fondo generalmente no llegan al 10% de los suspendidos, en ríos de montaña pueden acercarse al 50% del total (Krochin, 1978).

La cantidad de sedimentos que pasa por unidad de tiempo se llama caudal sólido. Los sólidos presentes en ríos de montaña son grandes en tamaño como en todo flujo que escurre en las cabeceras de una cuenca. Las cantidades de material sólido llevados por un río se miden ya sea en $\text{m}^3/\text{año}$ por km^2 de cuenca, en gramos por m^3 de agua o en porcentaje del caudal. La última forma conviene más a los fines del cálculo de una obra de decantación. Para ríos que se originan en las montañas, un valor típico para una creciente puede ser 4% a 6% en volumen del caudal.

El desarenador más importante de un sistema de riego se ubica entre la obra de toma y el inicio del canal principal. La capacidad de transporte del canal aguas abajo del desarenador debería ser constante para

garantizar la no-decantación del material sólido que logra pasar hacia el canal. La mejor aproximación numérica para asegurar la conducción del material de arrastre es:

$$y^{1/2} \cdot S = \text{constante o no decreciente (Dahmen, 1994)}$$

y = tirante normal [m]

S = pendiente del canal [m/m]

Por seguridad, también es recomendable emplazar desarenadores adicionales al principal, inmediatamente antes de que el flujo ingrese en conducciones cerradas como tuberías, sifones invertidos y canales tapados o en estanques.

De acuerdo a su tipo de operación de limpieza, los desarenadores pueden ser:

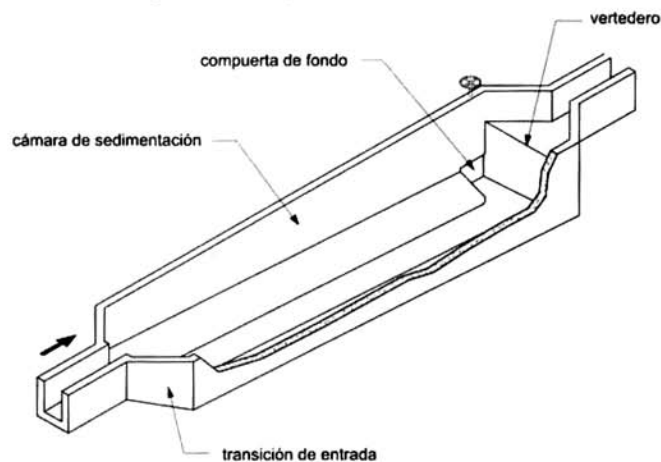
- De lavado continuo, cuando puede realizar la sedimentación y la evacuación del material sedimentado, simultáneamente.
- De lavado discontinuo o intermitente, cuando almacena el material sedimentado y luego lo expulsa, en una operación diferente. La operación de lavado se procura realizar en el menor tiempo posible para minimizar la pérdida de agua.
- De lavado enteramente manual. Cuando la operación de evacuación del material sedimentado no es efectuada por la operación de la estructura, sino por los usuarios.

En función de su velocidad de escurrimiento, los desarenadores pueden ser:

- De baja velocidad, normalmente $0.20 \text{ m/s} < v < 0.60 \text{ m/s}$.
- De alta velocidad, normalmente $1.00 \text{ m/s} < v < 1.50 \text{ m/s}$.

Los elementos que componen un desarenador son:

Figura 15.1: Componentes de un desarenador



1. Transición de entrada

Sirve para conducir de una manera gradual al agua que viene del canal hacia la cámara de sedimentación. Esta transición minimiza la formación de turbulencias que perjudican a la sedimentación. Para ello, se asegura que la transición tenga un ángulo de divergencia suave, no mayor de $12^{\circ}30'$.

2. Cámara de sedimentación

Es donde por aumento de la sección se logra una disminución de la velocidad del flujo, que hace que las partículas sólidas se precipiten al fondo. La forma de la sección transversal puede ser cualquiera aunque generalmente se escoge la trapecial por ser más eficiente y económica ya que concentra el material decantado en el centro, facilitando el trabajo de limpieza. La pendiente del fondo debe estar entre 2% y 6% para facilitar la evacuación de los materiales depositados.

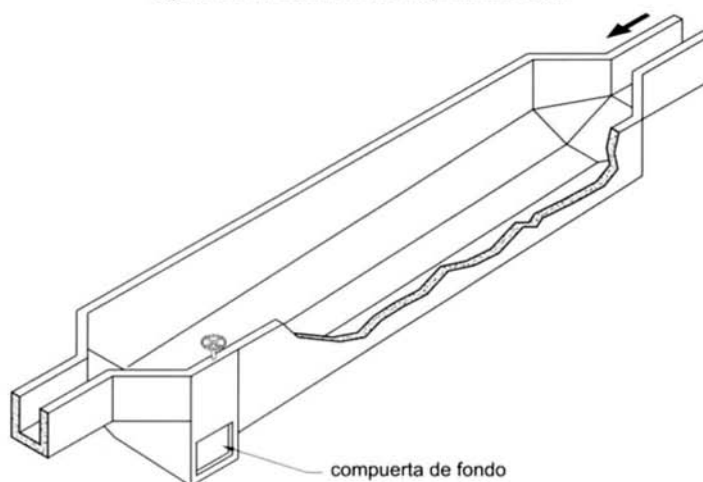
3. Vertedero

Se construye al final de la cámara de sedimentación para captar el agua limpia de las capas superiores y entregarla al canal. La velocidad del flujo a través del vertedero debe ser también limitada (hasta 1 m/s es aceptable) para no provocar turbulencia en la cámara de sedimentación. Para esa velocidad, la altura del agua sobre la cresta del vertedero no debería sobrepasar los 25 cm. Cuando la profundidad de la cámara de sedimentación es mayor que la del canal puede simplificarse el diseño simplemente disponiendo un escalón al final de la cámara de sedimentación, hasta alcanzar el nivel de solera del canal de salida.

4. Compuerta de fondo

Normalmente, los desarenadores también incluyen una compuerta de lavado y un canal directo por el cual se da servicio mientras se lava el desarenador abriendo la compuerta.

Figura 15.2: Posición de la compuerta de fondo



La compuerta de fondo no es siempre aplicable por las siguientes razones:

- Los canales en ladera de montaña se apoyan en terreno muy erosionable. La velocidad del agua que debería desalojar el material sedimentado es demasiado elevada (de 3 a 5 m/s) y podría ocasionar serios efectos erosivos sobre las laderas. Conducir esa agua hacia lugares menos susceptibles a la erosión, significa elevar considerablemente los costos de la estructura.
- La práctica del lavado de la cámara de sedimentación implica pérdida de agua. En muchos sistemas de riego no puede permitirse ese derroche, y menos aun en sistemas de turnos, donde un usuario en particular tendría que sacrificar su volumen de agua asignado para efectuar la limpieza en beneficio de todos. En consecuencia los usuarios prefieren limpiar el desarenador manualmente, por lo que la compuerta de fondo normalmente es prescindible.

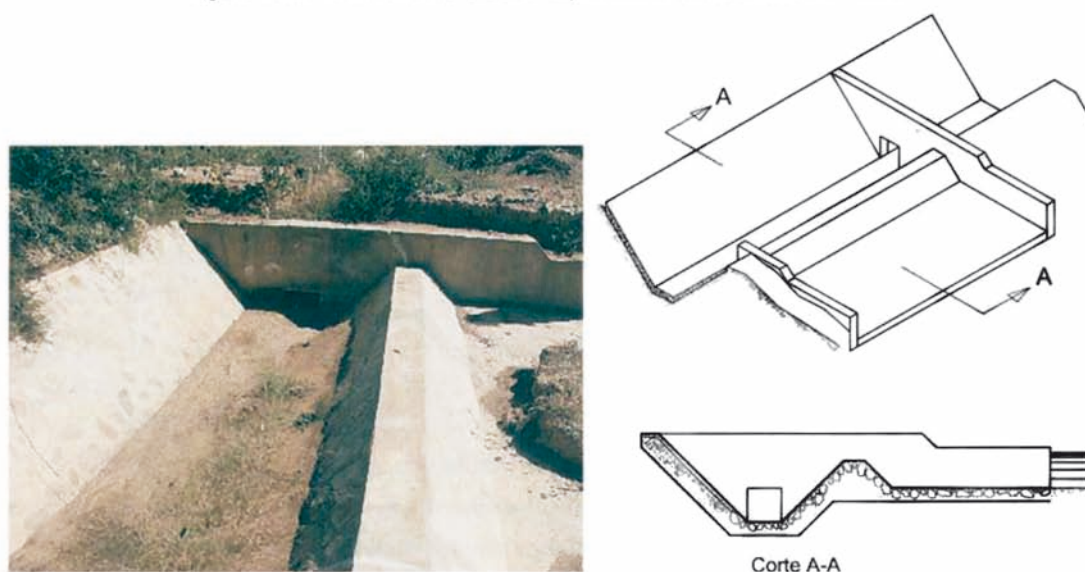
5. Vertedero de excedencias

El desarenador no puede funcionar con exceso de agua y turbulencias provocadas por el ingreso de un caudal superior al previsto en su diseño. El vertedero de excedencias puede construirse antes de la transición de entrada o se puede usar una de las paredes de la cámara de sedimentación como vertedero, descargando el caudal de exceso a un canal paralelo que conduzca de manera controlada el flujo que rebalse la capacidad de la cámara de sedimentación. La estructura combinada desarenador-vertedero de excedencias es práctica cuando las condiciones topográficas aseguran una descarga segura del caudal excedente.

Figura 15.3: Desarenador con vertedero que descarga hacia el cauce natural



Figura 15.4: Desarenador de sección trapecial con vertedero de excedencias



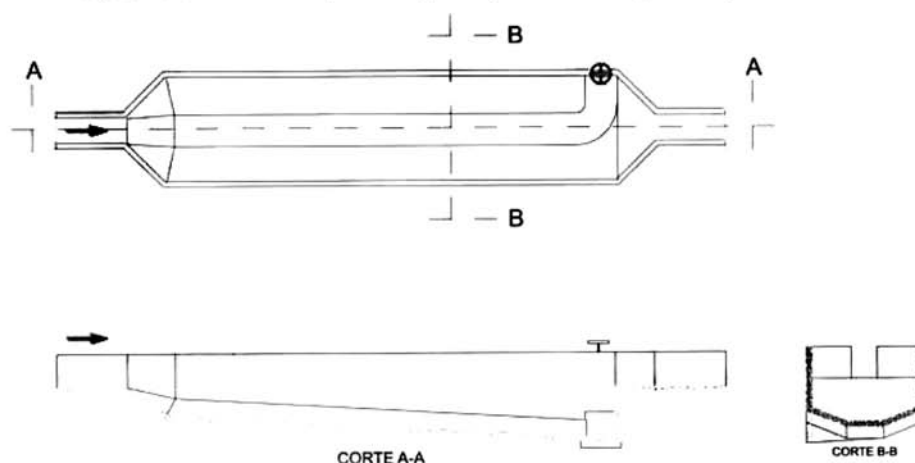
En los sistemas de montaña no siempre existe la posibilidad de disponer un canal paralelo para evacuar las excedencias por restricciones de la topografía y en vista de que la cámara de sedimentación ya es más ancha que el canal. Lo más recomendable es prever la descarga del caudal en exceso antes de que ingrese a la cámara hacia un colchón disipador y un canal hacia donde el escurrimiento no provoque daños. Las características y el cálculo del vertedero lateral se explican en el Capítulo 16, Vertederos laterales.

15.2 Diseño hidráulico

Los factores a tener en cuenta en el análisis y el diseño de un desarenador son:

- La temperatura del agua
- La viscosidad del agua
- El tamaño de las partículas de arena a remover
- La velocidad de sedimentación de la partícula
- El porcentaje de remoción deseado

Figura 15.5: Desarenador; vista en planta y en cortes longitudinal y transversal



Como dato se tiene el caudal de agua Q que viene de la toma o del canal. Para el diseño deben tenerse en cuenta consideraciones como:

- Las partículas se toman como distribuidas uniformemente.
 - El flujo alrededor de las partículas es laminar.
1. Se determina el diámetro de partículas a decantar. Los materiales en suspensión se clasifican según su tamaño de acuerdo a la siguiente tabla¹³.

Tabla 15.1: Clasificación de partículas

Material	Diámetro [mm]
Arcilla	0.00024 a 0.004
Limo	0.004 a 0.062
Arena	0.062 a 2
Grava	2 a 64

En general, las materias en suspensión se componen de partículas de diferentes tamaños de grano. En ríos de llanura y montañas de media altura, las partículas coloidales pueden abarcar un amplio rango granulométrico desde la fracción de limo hasta la fracción de arena, mientras que en los ríos de montaña con pendientes fuertes los tamaños de grano pueden llegar hasta 2 o 3 mm.

En los sistemas andinos de riego es tal la carga de sedimentos en el agua que las expectativas de eliminarlos no pueden ser muy ambiciosas teniendo en cuenta las limitaciones presupuestarias. Lo recomendable es diseñar un decantador de partículas con diámetros desde 1 mm. De todas maneras, un desarenador no podrá ser 100% efectivo y no hay un criterio exacto para la capacidad de transporte en el diseño de canales de riego que conducen agua recargada de sedimentos.

¹³ La clasificación de las partículas según su tamaño es arbitraria. Aquí se adopta una clasificación de sedimentos en embalses extraída de PRONAR, 2002.

La cantidad de materias en suspensión es expresada por la *concentración de materias en suspensión C* [kilogramos de materia en suspensión por metro cúbico de agua]. En general, las concentraciones de materias en suspensión son:

$C = 0.1$ a 1.0 kg/m^3 en ríos de terreno llano

$C = 2.0$ a 10 kg/m^3 en ríos y torrentes de montaña

Los valores de los ríos en Bolivia pueden ser superiores e inferiores, de acuerdo con las características de las cuencas (topografía, geología, vegetación natural, intensidad de uso de suelo, degradación de laderas, etc.)

2. Se determina la velocidad de escurrimiento v_d . La velocidad horizontal de la corriente no debe sobrepasar un valor máximo para que:

- La materia en suspensión pueda depositarse.
- las materias en suspensión ya depositadas no sean arrastradas nuevamente.
- las materias en el proceso de descenso no sean puestas nuevamente en flotación.
- se minimice con un flujo lo más laminar posible, la aparición de turbulencias.

Esta velocidad considerada como valor límite puede ser comparada con la 'velocidad crítica' conocida en las teorías del acarreo o sea del flujo de sólidos en suspensión. Según Camp, esta velocidad crítica es:

$$v_d = a \cdot \sqrt{D}$$

v_d = velocidad de escurrimiento [cm/s]

D = diámetro del grano a decantar [mm]

a = coeficiente que depende de D , según la Tabla 15.2

Tabla 15.2: Valores del coeficiente de decantación a

Diámetro D	Coeficiente a
$D < 0.1 \text{ mm}$	51
$0.1 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$	44
$D > 1 \text{ mm}$	36

Para un diámetro de partícula de 1 mm, por ejemplo, la velocidad recomendada por este criterio sería 36 cm/s ó 0.36 m/s.

3. Se determina el ancho de la cámara de sedimentación. Considerando las limitantes que opone la topografía de montaña, éste es un valor que muchas veces debe fijarse de antemano, de acuerdo con las posibilidades del lugar. Normalmente no es factible económicamente fijar un ancho de cámara muy distinto en exceso al ancho del canal, pero debe tratarse de usar el máximo ancho posible para no exigir una altura de cámara muy grande.

4. Se determina la altura de la cámara de sedimentación. Considerando que el material de sedimentación debe poder ser removido manualmente, la altura será un factor que determine el grado de dificultad de ese trabajo. Por ello, conviene fijarla en un valor no mayor a 1.20 m.

$$H = \frac{Q}{v_d \cdot B}, \text{ en el caso de sección rectangular}$$

H = altura de la cámara de sedimentación [m]

Q = caudal [m³/s]

v_d = velocidad de escurrimiento [m/s]

B = ancho de la cámara de sedimentación [m];

Por condiciones de pared y considerando la formación de líneas de corriente, es recomendable verificar la relación:

$$0.8 < \frac{B}{H} < 1.0$$

5. Se calcula la velocidad de sedimentación. La velocidad de sedimentación está en función principalmente del diámetro de la partícula debido a que el peso específico γ_s de las tierras minerales es prácticamente invariable: entre 2.60 y 2.65. La tabla de Arkhangelski expone las velocidades de sedimentación para varios diámetros de partícula (Krochin 1978):

Tabla 15.3: Velocidad de sedimentación según diámetro de partículas

D [mm]	v_s [cm/s]
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.440
2.00	15.290
3.00	19.250
5.00	24.900

Si por determinadas circunstancias se debe considerar al flujo como turbulento ($Re > 2000$), la fórmula para calcular la velocidad de sedimentación en tales condiciones es la expresión de Newton:

$$v_s = \sqrt{(\gamma_s - 1) \cdot \frac{4 \cdot g \cdot D}{3 \cdot c}}$$

v_s = velocidad de sedimentación [cm/s]

γ_s = peso específico de las partículas [g/cm³]

g = aceleración de la gravedad [m/s²]

D = diámetro de las partículas [cm]

c = coeficiente de resistencia de los granos; $c = 0.5$ para granos redondos

6. Se calcula el tiempo de retención. El tiempo que demorará la partícula en caer desde la superficie al fondo (el caso extremo) será:

$$t_s = \frac{H}{v_s}$$

t_s = tiempo de retención [s]

7. Se calcula la longitud de la cámara

$$L = K \cdot v_d \cdot t_s$$

L = longitud de la cámara [m]

K = coeficiente de seguridad

K es un coeficiente de seguridad usado en desarenadores de bajas velocidades para tomar en cuenta los efectos de la turbulencia y depende de la velocidad de escurrimiento de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15.4: Coeficientes de seguridad K

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0.20	1.25
0.30	1.50
0.50	2.00

8. Se calcula la transición de entrada. La transición debe ser hecha lo mejor posible considerando que la eficiencia de la sedimentación depende en gran medida de la laminaridad del flujo y de la uniformidad en la distribución de velocidades en la sección transversal. Para el cálculo de su longitud se puede utilizar el criterio de Hinds:

$$L_T = \frac{T_2 - T_1}{2 \cdot \tan(12.5^\circ)}$$

- L_T = longitud de la transición [m]
 T_2 = espejo de agua en la cámara de sedimentación [m]
 T_1 = espejo de agua en el canal de entrada [m]

15.2.1 Ejemplo de cálculo

Un canal rectangular de 0.6 m de ancho, transporta agua desde la toma con un caudal de 0.5 m³/s. Diseñar un desarenador para atrapar el material en suspensión que excede el diámetro de 1.5 mm.

1. El diámetro de la partícula más pequeña que se desea atrapar es 1.5 mm
2. La velocidad de escurrimiento V_d será igual a $36 \times \sqrt{1.5} = 44 \text{ cm/s} = 0.44 \text{ m/s}$
3. Se elige un ancho de cámara igual $B = 1.00 \text{ m}$
4. La altura de la cámara de sedimentación, cuya sección se ha decidido sea rectangular, será:

$$H = \frac{Q}{v_d \cdot B} = \frac{0.5}{0.44 \times 1.00} = 1.134 \text{ m, que redondeamos a } 1.15 \text{ m}$$

La relación B/H queda en $1.00/1.15 = 0.87$

5. La velocidad de sedimentación para el diámetro de 1.5mm es, de acuerdo a la tabla:

$$v_s = \frac{9.440 + 15.290}{2} = 12.365 \text{ cm/s} = 0.124 \text{ m/s}$$

6. El tiempo de retención será:

$$t_s = \frac{H}{v_s} = \frac{1.15}{0.124} = 9.30 \text{ s}$$

7. La cámara deberá tener entonces una longitud mínima de:

$$L = K \cdot v_d \cdot t_s = 1.875 \times 0.441 \times 9.30 = 7.69 \text{ m}$$

el valor de K ha sido tomado de la tabla, interpolando entre los valores de 0.30 y 0.50 de velocidad de flujo:

$$K = 1.5 + (0.441 - 3) \times \frac{2.0 - 1.5}{0.5 - 0.3} = 1.875$$

8. La transición de entrada tendrá una longitud mínima de:

$$L_{te} = \frac{1.00 - 0.60}{2 \cdot \tan(12.5^\circ)} = 0.902 \text{ m}$$

15.3 Situaciones que conviene evitar

- El desarenador, teniendo en cuenta la magnitud del caudal sólido que conducen las fuentes en los sistemas de montaña, es la estructura que necesita mayor frecuencia de limpieza. La falta de limpiezas regulares provoca su pronta inoperabilidad.

Figura 15.6: Desarenador inoperable por falta de limpieza



- En desarenadores con compuerta de fondo, debe evitarse que la descarga pueda provocar erosión a su paso hacia el cauce natural. Esa erosión normalmente perjudica también a la propia estructura, comprometiendo su estabilidad.
- En sistemas con captación directa de una fuente torrencial, como es el caso de los sistemas que aprovechan el agua que eventualmente corre por una quebrada para embalsarla en estanques o atajados, no tiene sentido práctico emplazar un desarenador inmediatamente después de la toma. La cantidad de material sólido que ingresa es capaz de copar la capacidad del desarenador en unas pocas horas. Es preferible en esos casos ahorrar en esa estructura y considerar al canal en su primer tramo como una primera trampa del material sólido que no debe ingresar en los estanques. Luego, antes de cada estanque deberá emplazarse un pequeño desarenador cuya manutención podrá ser mejor realizada por el usuario o grupo de usuarios que aprovechan ese estanque.

