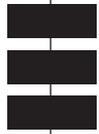


El ferrocemento: una opción tecnológica para la construcción de tanques de almacenamiento de agua



La experiencia del Proyecto SANBASUR
en la innovación para el saneamiento rural



El ferrocemento: una opción tecnológica para la construcción de tanques de almacenamiento de agua

Esta es una publicación coeditada por SANBASUR y el Programa de Agua y Saneamiento administrado por el Banco Mundial. Ha sido posible gracias al apoyo de las siguientes instituciones:

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)

Beatrice Meyer, Directora Residente
Cesarina Quintana, Oficial de Programa

Av. Salaverry 3242, San Isidro-Lima 27, Perú

Oficina AGUASAN-COSUDE

Francisco Soto, Asesor Sectorial

Los Halcones 277, Urb. Corpac, San Isidro, Lima 27

Proyecto de Saneamiento Básico de la Sierra Sur (SANBASUR)

Ediltrudis León Farías, Directora
Herberth Pacheco de la Jara
Jorge Loayza Alfaro
Nancy Málaga Carrasco
Nay Ruth Yépez, Consultora participante en la sistematización

Av. de la Cultura 1028-B 4to. Piso - Cusco
Telf. (084)222173 - 242582
Correo electrónico: postmast@sanbasur.org.pe
www.sanbasur.org.pe

**Programa de Agua y Saneamiento
Región América Latina y el Caribe**

Francois Brikke, Director Regional
Iris Marmanillo, Coordinadora de Perú
Oscar Castillo, Especialista en Desarrollo Comunitario e Institucional
Beatriz Schippner, Especialista Regional en Comunicaciones
Luciana Mendoza, Asistente de Comunicaciones

Oficina del Banco Mundial en Lima
Av. Álvarez Calderón 185, piso 7, San Isidro, Lima 27, Perú
Telf. (51-1) 6150685. Fax 6150689
<http://www.wsp.org>

Lima, julio de 2007

Diseño y diagramación: Ana María Origone
Impresión: LEDEL SAC.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido, citando la fuente.

≡ Índice

Presentación	5
Resumen ejecutivo	6
1.- Antecedentes	7
1.1. La estrategia de innovación tecnológica del Proyecto SANBASUR	7
1.2. El ferrocemento como una opción tecnológica con potencialidades	8
2.- La experiencia: Aplicación del ferrocemento al saneamiento rural	10
2.1.-Primera etapa: Comprensión de la tecnología y elaboración de la propuesta	10
2.2. Segunda etapa: Experiencia piloto de aplicación	11
2.3.-Tercera etapa: Implementación integral (masificación)	12
2.4.-Cuarta etapa: Capacitación y transferencia de la tecnología	13
3.- El modelo de innovación aplicado	15
3.1. La cultura de la innovación	15
3.2. Factores de soporte institucional	16
4.- Resultados	17
4.1. Sostenibilidad	17
4.2. Replicabilidad	19
4.3. Transferencia	19
5.- Logros y dificultades	20
5.1. Logros sociales	20
5.2. Logros técnicos	20
5.3. Dificultades y limitaciones	20
6.-Lecciones aprendidas	22
6.1. Lecciones generales	22
6.2. Lecciones técnicas	22
7.- Conclusiones	24
8.- Recomendaciones	25
Anexos	
Anexo 1- Materiales constitutivos del ferrocemento	26
Anexo 2 - Procedimiento de construcción de los tanques de ferrocemento	27
Anexo 3 - Planos tipo de un reservorio de 10 m ³	29
Anexo 4 - Reservorios construidos por el Proyecto SANBASUR – Período 1998-2005	31

Acrónimos y abreviaturas

AINCO	Asociación de Integración Comunal
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
CTAR	Consejo Transitorio de Administración Regional
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
EPILAS	Escuela Piloto de Acreditación en Agua y Saneamiento
FONCODES	Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social
FCVPS	Fondo Contravalor Perú Suiza
JASS	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
MINSA	Ministerio de Salud
OMSABAR	Oficina Municipal de Saneamiento Ambiental Básico Rural
OPS	Oficina Panamericana de la Salud
WSP	Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROANDE	Centro para la Promoción y Desarrollo Andino
SANBASUR	Proyecto de Saneamiento Básico en la Sierra Sur.
SENCICO	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción
UNSAAC	Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Presentación

Uno de los mayores esfuerzos de los países de la Región Andina es mantener y expandir la cobertura de los servicios de agua y saneamiento rural, pero el uso de tecnologías convencionales limita la atención de las demandas de agua de las comunidades. Por esta razón, nuestra propuesta es promover la aplicación y la utilización de tecnologías innovadoras, como el ferrocemento, por su incidencia en la disminución de los costos de inversión y la garantía en la racionalización del uso de los recursos.

Durante su intervención en la Sierra Sur del Perú, el Proyecto SANBASUR se ha identificado por asumir un rol facilitador y promotor en la gestión del saneamiento ambiental, aplicando innovaciones, tanto en los procesos de gestión como en los tecnológicos, para ofrecer mejores servicios en saneamiento rural.

El presente documento expone la experiencia de trabajo con el ferrocemento –tecnología poco difundida en nuestro medio– que consiste en una delgada placa de mortero de cemento reforzado con acero de pequeño diámetro, aplicado en la construcción de reservorios

de agua potable en las comunidades rurales en la Región Cusco. Los factores positivos de su aplicación se traducen en: ahorro de tiempo (mayor rapidez en la construcción en comparación con métodos tradicionales); ahorro de dinero (los materiales son más económicos que los tradicionales) y generación de empleo local (ingenieros, maestros de obra y operarios).

Esperamos que la difusión de este documento motive y promueva el trabajo de las instituciones regionales, tanto públicas como privadas, en el uso del ferrocemento como una tecnología apropiada para la construcción de estructuras de almacenamiento de agua, ya que satisface las necesidades de la población por su fácil manejo y además, en la actualidad, se está incrementando el número de profesionales y personal técnico con conocimiento y experiencia de trabajo en el uso de este material.

Lic. Hugo Gonzales Sayán

Presidente del Gobierno Regional Cusco

≡ Resumen ejecutivo

El objetivo del presente documento es difundir la experiencia en la aplicación del ferrocemento como tecnología apropiada para la construcción de tanques de almacenamiento de agua en zonas rurales, desarrollada por el Proyecto SANBASUR en la Región Cusco, entre los años 1998 y 2006. Está dirigido, en especial, a las instituciones y al personal técnico involucrados en la gestión del saneamiento básico.

El primer acápite incluye información general sobre la estrategia implementada por el Proyecto SANBASUR. El segundo acápite presenta las diferentes etapas del proceso de apropiación y aplicación de la tecnología del ferrocemento en la construcción de tanques de almacenamiento de agua en la región. Se describen

aquí cuatro etapas: comprensión de la tecnología y elaboración de la propuesta, experiencia piloto, implementación integral (masificación), y capacitación y transferencia de la tecnología.

El tercer acápite presenta las características del modelo institucional desarrollado por el Proyecto SANBASUR, y las secciones siguientes recogen los resultados, lecciones aprendidas, conclusiones y recomendaciones.

Este documento tiene por finalidad motivar a las instituciones de los sectores público y privado interesadas en mejorar el desempeño técnico, económico y social de las experiencias de saneamiento rural, a explorar y desarrollar la tecnología del ferrocemento.

1. Antecedentes

1.1. La estrategia de innovación tecnológica del Proyecto SANBASUR

El Proyecto SANBASUR es una iniciativa de cooperación bilateral entre los gobiernos de la Confederación Suiza y Perú, que se ejecuta en la Región Cusco desde 1996, y promueve, con especial atención, la innovación tecnológica para asegurar la sostenibilidad de las inversiones en saneamiento rural, y la gestión orientada al uso eficiente de los recursos humanos, técnicos y económicos disponibles.

El enfoque de la innovación implementado consideró dos aspectos:

- Innovación tecnológica: Mediante el uso del ferrocemento, que es una tecnología aplicable a la construcción de tanques de agua y utiliza materiales de fácil acceso para los usuarios, adecuando los productos existentes en el mercado nacional al uso en el sector rural, debido a su menor costo.
- Innovación en los métodos de gestión para su sostenibilidad a largo plazo, con la participación de las comunidades (nivel micro) en el proceso y las actividades que se desarrollan a nivel distrital/provincial y regional (nivel meso) –a través de la elaboración de un plan de integración.

Ambos aspectos fueron desarrollados en la intervención integral sobre saneamiento¹, comprometiéndolo la participación de diversos actores en la región: 1) Las familias usuarias y sus organizaciones comunales en el rol de

coejecutoras, cofinanciadoras, usuarias, y responsables de la gestión y uso de los sistemas de saneamiento; 2) los gobiernos locales, el gobierno regional, el sector salud y el sector educación, en su función de formular políticas, proporcionar el marco legal para la implementación del proyecto, y tomar decisiones sobre los fondos de la inversión social; 3) las ONG y los Gobiernos Locales, como socios coejecutores del sistema, encargados del seguimiento del Sistema Intra Domiciliario (SID); 4) la Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco (UNSAAC), como instancia clave en la formación de profesionales y técnicos, y 5) los órganos desconcentrados de los sectores salud y educación, como encargados de la vigilancia de la calidad del agua, y de la educación sanitaria y ambiental de la población.

En un contexto más amplio, aún falta integrar a un mayor número de instituciones en el uso del ferrocemento, para la construcción de tanques de almacenamiento de agua, ya que actualmente sólo lo utilizan el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES) y el Centro para la Promoción y Desarrollo Andino (PROANDE) en Andahuaylas, entre otras instituciones.

En el país, se puede observar el uso de ferrocemento en las experiencias de FONCODES, en la construcción de tanques de agua en Cusco, y la del Proyecto SANBASUR, que adapta la experiencia al entorno ambiental, social y económico de la región en la que actúa, con el objetivo de proveer tecnologías sencillas para los servicios de saneamiento rural sostenibles con un costo menor

¹ Conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública cuyo objetivo es alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua; aguas residuales, excretas y residuos sólidos, y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación. Tiene por finalidad la promoción y el mejoramiento de condiciones de vida urbana y rural.

de inversión, asegurando la calidad, incrementando la cobertura en el servicio, y estableciendo alianzas entre el gobierno regional, los gobiernos locales y las ONG.

1.2. El ferrocemento como una opción tecnológica con potencialidades

El ferrocemento es un material similar al concreto reforzado, que consiste en una capa de mortero de cemento de espesor delgado, reforzado con malla de alambre o de un emparrillado de acero de diámetro pequeño, debidamente ligados para obtener una estructura rígida.

Es una alternativa económica de construcción que responde satisfactoriamente a las exigencias técnicas de tanques de almacenamiento de agua.

Aplicación del ferrocemento en el mundo y América Latina

El origen del ferrocemento se remonta al año 1848 ², cuando el francés Joseph Louis Lambot construyó varios botes de remos, maceteros y asientos con un material al



Año	País	Principales acontecimientos
1848	Francia	Descubrimiento del Ferciment por Joseph Louis Lambot, quien construyó varios botes de remo, maceteros, asientos y otros artículos.
1852		Patentado en 1852 ³ .
1845	Italia	Pier Luigi Nervi desarrolló el producto descubierto por Lambot, estableciendo las características preliminares del ferrocemento ⁴ .
1977	Estados Unidos	El American Concrete Institute (ACI) establece el Comité 549 sobre ferrocemento, para revisar el estado actual de la tecnología y formular un reglamento de práctica para este material.

² Carrasco, Victor, "Ferrocemento, proyectos y aplicaciones", 2003.

³ "Mi intención es un producto nuevo que puede reemplazar la madera (en pisos, recipientes para agua, maceteros, etc.) la cual está sujeta a daños por el agua y la humedad. La base del nuevo material es una malla metálica de alambre o de varilla interconectada para formar un emparrillado flexible. Moldeo esta malla en forma similar al artículo que quiero crear, después utilizo cemento hidráulico o una breá bituminosa o una mezcla para rellenar las juntas."

⁴ Obtenido después de una serie de pruebas al haber observado que, el reforzamiento del concreto con capas de malla de alambre daba lugar a un material con características mecánicas de un material homogéneo equivalente, con gran resistencia al impacto. en base al cual Nervi diseñó y construyó diferentes techumbres que se conservan hasta nuestros días, como modelos racionales y estéticos del diseño estructural.

que denominó "Ferciment", que fue usado posteriormente en Holanda y Estados Unidos.

En el siglo XX, a principios de los años cuarenta, el ingeniero italiano Pier Luigi Nervi recurrió a la idea original de Lambot, observando que, al reforzar el concreto con capas de mallas de alambre, se obtenía un material que presentaba características mecánicas de gran resistencia al impacto.

En los últimos cincuenta años se ha intensificado y extendido el uso de esta tecnología, especialmente en

países en desarrollo como Bangladesh, China, Cuba, India, Indonesia, Malasia, Pakistán, Filipinas, Tailandia y Vietnam. Su aplicación en América, Asia y Oceanía ha demostrado el éxito de esta iniciativa y una tendencia favorable de uso y aplicación. Actualmente el ferrocemento, material versátil de construcción, está encontrando mayores aplicaciones, mostrando un proceso de evolución favorable en la construcción de depósitos, silos, reservorios, piscinas, canales, techumbres, edificaciones, viviendas, barcos, estructuras marinas, mobiliarios, entre otros.

Estrategias en la intervención integral del Proyecto SANBASUR

Respuesta a la demanda
La intervención del proyecto se genera a partir de la demanda expresada por las instituciones (a nivel meso), la comunidad y las familias (a nivel micro), contribuyendo a la apropiación de los servicios solicitados.
Rol facilitador del equipo técnico
Orientado al desarrollo de capacidades, sin reemplazar a los actores locales en el ejercicio de sus roles y funciones relativos al saneamiento ambiental básico, promoviendo así el fortalecimiento institucional.
Alianzas estratégicas y participación de la población
Se establecieron alianzas con actores y aliados estratégicos, en los diferentes niveles de intervención territorial con la perspectiva de desarrollar un sistema de organización y funcionamiento que integrara los niveles local, distrital, provincial y regional, comprometiendo la participación activa y comprometida de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales involucradas en el saneamiento ambiental, y de las organizaciones de base comunitaria.
Intervención integral para el saneamiento ambiental básico rural
Desarrollando los componentes: infraestructura (diseño adecuado y calidad de las obras); social (promoción, capacitación y educación, para la autogestión y apropiación de los servicios); ambiental (conservación de la oferta hídrica y reducción del impacto ambiental), e institucional (soporte y participación interinstitucional posterior a la intervención, para mantener la calidad de los servicios y afianzar las conductas saludables de las familias usuarias).

2. La experiencia: aplicación del ferrocemento al saneamiento rural

El Proyecto SANBASUR inició sus actividades el año 1996, apoyando la construcción de sistemas de abastecimiento de agua para comunidades rurales con un enfoque de intervención integral. El proyecto incorporó el ferrocemento en su propuesta técnica como una tecnología apropiada para la construcción de tanques de almacenamiento de agua para poblaciones rurales. La experiencia se realizó entre los años 1998 y 2006, con la participación de las familias de comunidades campesinas de doce provincias de la Región Cusco.

El ámbito de intervención del proyecto presentaba características favorables debido a que los recursos hídricos del subsuelo afloran en forma de manantiales que sirven de fuentes de abastecimiento de agua potable para la población rural, lo que permitió diseñar sistemas de abastecimiento por gravedad y sin plantas de tratamiento de agua. Éstas han sido las características de la mayoría de los sistemas construidos, en los que los reservorios se han constituido en estructuras destinadas al almacenamiento de agua, regulación de la presión y adecuado caudal en las tuberías en las horas de máximo consumo, a fin de tener un servicio continuo e ininterrumpido.

Las estructuras se diseñaban como reservorios apoyados –ubicados en las partes altas de la zona– aprovechando la topografía natural para dotar de una presión conveniente a la red de distribución. El material utilizado para la construcción era generalmente concreto armado.

La experiencia del Proyecto SANBASUR se inició en respuesta a la necesidad de optimizar los costos y los procesos en la construcción de reservorios de agua, identificando tecnologías apropiadas, con ventajas competitivas potenciales frente a otras opciones más convencionales utilizadas en el medio rural (concreto armado).

La aplicación de la tecnología del ferrocemento a la construcción de tanques de almacenamiento de agua se desarrolló en cuatro etapas: i) comprensión de la tecnología y elaboración de la propuesta; ii) experiencia piloto; iii) implementación a nivel de las intervenciones integrales, y iv) transferencia.

2.1. Primera etapa: Comprensión de la tecnología y elaboración de la propuesta

En abril de 1998 se realizó, en Lima, el “Taller Regional sobre Tecnologías Adecuadas en Saneamiento Básico para el ámbito Rural”, con el auspicio del Programa de Agua y Saneamiento administrado por el Banco Mundial, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), donde se presentaron experiencias de trabajo con diversas opciones tecnológicas referidas a la problemática del agua y saneamiento en América Latina. En dicho taller, el Ing. Carlos Ibarra, de nacionalidad ecuatoriana, presentó la construcción de tanques para el almacenamiento de agua potable utilizando ferrocemento, presentando las siguientes ventajas técnicas, económicas y sociales:

- Facilidad del proceso constructivo con ferrocemento, cuya matriz (integrada por materiales frágiles) se refuerza con fibras metálicas a través de un compuesto formado por cemento y arena.
- Versatilidad de aplicación en productos de cualquier tamaño y forma. Amplia capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas y a las costumbres tradicionales de cada zona de intervención.

- Sencillez de las técnicas de construcción, de fácil aprendizaje y adaptación a sistemas de autoayuda y participación de los usuarios en el proceso de construcción –lo que, además, facilita su apropiación.
- Menor costo, por el uso de materiales más baratos y accesibles (se puede encontrar todos los materiales en la zona, a excepción de la malla de alambre, que puede ser sustituida por un tejido hecho a mano).
- Consistencia en el tiempo, de igual duración que el concreto armado.
- Fácil manejo, limpieza y mantenimiento.

El mismo año, FONCODES organizó un taller de capacitación, en Lima, donde se presentó el documento Técnico NO-03-NT-Proyecto WASHED, producido por el Ing. Remington Pin Silva, sobre el uso del ferrocemento. Además, FONCODES construyó cuatro reservorios de agua en el departamento de Cusco, como experiencia piloto.

El Proyecto SANBASUR inició entonces la prospección tecnológica para identificar el grado de desarrollo de esta tecnología y analizar los escenarios de sustitución del concreto armado, recopilando datos relevantes sobre costos, versatilidad, niveles de confianza, importancia de la tecnología en relación a otras, velocidad previsible de construcción, características de la población y sectores que demandan el servicio, preferencias en el uso, conocimientos técnicos de la población y posible evolución, y el contexto socio económico del ámbito geográfico de disseminación.

En base a esta información, y visitas de campo a los tanques construidos por FONCODES en Cusco, el Proyecto SANBASUR decidió ejecutar una experiencia piloto en su ámbito de intervención.

2.2. Segunda etapa: Experiencia piloto de aplicación

Se desarrollaron los siguientes procesos:

a) Aplicación piloto. En coordinación con las instituciones con las que el Proyecto SANBASUR ejecutaba sus intervenciones, en el año 1998, se acordó que la ejecutora sería la ONG Visión Mundial, por el nivel de compromiso e interés de su personal técnico. De manera conjunta se identificó a la comunidad de Jucuyre –en el distrito de Combapata, Provincia de Canchis– como ámbito para desarrollar la experiencia piloto, por ser una comunidad representativa, con las siguientes características:

- Carencia de un sistema de abastecimiento de agua.
- Demanda de la población y solicitud de apoyo para el financiamiento de un sistema de agua y saneamiento.
- Buen nivel organizativo comunal.
- Topografía y características socioculturales representativas de las comunidades alto andinas de la Región.
- Fácil acceso para efectos de monitoreo y seguimiento.
- Interés del gobierno local.
- Ubicación en el ámbito de trabajo de Visión Mundial.

El aspecto más saltante de la primera experiencia fue el nivel de desconfianza, tanto de la población como de los maestros de obra encargados de la ejecución, por dos motivos: i) el pequeño espesor de las paredes del reservorio (5 cm.), comparado con el concreto armado que usualmente puede variar de 10 a 20 cm., creó dudas sobre su resistencia, y, ii) el proceso de construcción, ya que en las estructuras de concreto armado se necesita un armazón de madera que hace las veces de encofrado en ambas caras de la pared del reservorio. En el caso del ferrocemento únicamente se encofró la pared interior y se utilizó refuerzo metálico de pequeño diámetro en combinación con mallas de gallinero, situación que causó cierto desconcierto y preocupación en algunos maestros de obra.

Culminada la construcción del reservorio, las dudas de algunos comuneros se mantenían, pero la mayoría de pobladores se mostró convencido de que su reservorio iba a funcionar bien, lo que se pudo comprobar cuando se llenó de agua el tanque y no se evidenciaron puntos de fuga, sólo un ligero humedecimiento de un lado de la pared que desapareció a los pocos días.

b) Estrategias aplicadas en el proceso. Las estrategias de trabajo implementadas en la experiencia piloto fueron las mismas que se aplican en las intervenciones integrales. El ejecutor de la intervención es un tercero, en este caso Visión Mundial, encargado de los aspectos de infraestructura y del componente social, mientras que el Proyecto SANBASUR asume un rol facilitador y promotor, mediante el cofinanciamiento de la inversión y las acciones de supervisión. En este caso, se brindó mayor acompañamiento a la construcción del reservorio de 10 m³.

Durante la construcción del reservorio se organizó trabajos de faena colectiva con participación de miembros de la comunidad, hombres y mujeres, en labores como el lavado del material fino, acarreo de materiales pétreos, pañeteo de las paredes y curado de la estructura. Este aspecto fue identificado posteriormente como un factor importante que facilitó la familiarización con esta técnica.

El equipo encargado de la construcción estuvo formado por un ingeniero residente, un maestro de obra y dos operarios. El ingeniero residente fue la única persona que contaba con información sobre el procedimiento de construcción –y fue acompañado y supervisado durante todo el proceso por personal técnico de SANBASUR. Los maestros de obra y operarios no tenían capacitación previa en los procedimientos con este material y su capacitación se realizó directamente, durante la ejecución de la obra en campo. En el acompañamiento y seguimiento técnico se aplicó un control de calidad minucioso, tanto a los materiales como a los procedimientos de construcción, con pruebas de campo y de laboratorio, siguiendo las normas establecidas. El seguimiento se efectuó antes, durante y después de la obra en aspectos técnicos y sociales, con el objetivo de recoger información que diera el soporte necesario para la toma de decisiones sobre la masificación.

Los resultados obtenidos en la construcción del primer tanque de agua con ferrocemento fueron alentadores porque indicaban una disminución de 25% en el costo de inversión al compararlo con una estructura de concreto armado convencional. De acuerdo a los maestros de

obra, los procedimientos de construcción se facilitaron por su fácil manejo. Esto dio mayor confianza e impulso a la necesidad de seguir optimizando esta opción tecnológica para la construcción de reservorios de agua.

En el mes de mayo de 1999, en coordinación con Visión Mundial, se ejecutó la segunda experiencia en la Comunidad de Huancco –distrito de Lamay, Provincia de Calca– con la construcción de un segundo reservorio de ferrocemento de 5 m³, experiencia que también fue satisfactoria. Se decidió, entonces, dar un tiempo para observar el comportamiento de los dos reservorios construidos.

Pocos meses después se realizó el “Taller de Intercambio de Experiencias en Tecnologías Apropriadas en Agua”, en la ciudad del Cusco, entre el 4 y 7 de agosto de 1999, organizado por el Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial (WSP), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y el Proyecto SANBASUR –con el propósito de difundir los resultados del uso del ferrocemento y otras tecnologías en agua y saneamiento. El evento incluyó la presentación de las experiencias de PROANDE en Andahuaylas, las del Ing. Carlos Ibarra en Ecuador, y las dos experiencias del Proyecto SANBASUR utilizando ferrocemento.

Como parte del evento, se construyeron dos tanques con ferrocemento de 5m³ y 10m³, como demostración, incorporando la experiencia del Ing. Ibarra, mejorando y optimizando los procedimientos constructivos y la concepción del diseño estructural de los tanques.

2.3. Tercera etapa: Implementación integral (masificación)

Esta etapa se desarrolla a partir del año 2000 hasta la fecha. El modelo de difusión aplicado ha sido el de cascada, en dos fases. La primera, del año 2000 al 2003, en la que la difusión de la innovación es relativamente restringida y se aplica a sistemas de saneamiento ambiental básico rural cofinanciados por COSUDE y el Gobierno Regional Cusco. En la segunda fase, del año 2004 hasta la fecha, se trabaja más en la difusión y se utiliza la tecnología en todas las obras

ejecutadas por el Proyecto SANBASUR en alianza con los gobiernos locales y comunidades participantes. La aplicación adquiere una rutina regular. En esta etapa se desarrolla la tecnología del ferrocemento disponiendo de recursos humanos especializados en el manejo y aplicación.

El año 2001 se reinicia la experiencia en zonas rurales con la construcción de un tanque de 25 m³ en el centro poblado de Harin –distrito y provincia de Calca– con Visión Mundial como ejecutora; y nueve reservorios pequeños, de 1 a 5 m³ de capacidad, en la comunidad de Machaca (Distrito de Ccatca, Provincia de Quispicanchi, Región Cusco), con

participación de la ONG Asociación de Integración Comunal (AINCO), incorporando en todos los casos las lecciones aprendidas de las experiencias anteriores y optimizando los procesos de construcción.

En los años 2002 y 2003 se incorporaron progresivamente nuevas instituciones ejecutoras, y muchas construyen tanques de abastecimiento de agua de ferrocemento. A partir del año 2004 se toma la decisión de incluir la construcción de reservorios de ferrocemento como opción tecnológica a nivel de expedientes técnicos, generalizando su aplicación en todos los proyectos ejecutados a través de SANBASUR.

Fecha	Taller	Organización	Personas capacitadas
09 -10 mayo 2002	“Taller de Ferrocemento”	Proyecto SANBASUR	12 ingenieros residentes y 28 maestros y operarios
02 -03 julio 2003	“Tecnología del ferrocemento aplicada a tanques de almacenamiento de agua”	Proyecto SANBASUR	09 ingenieros residentes y 20 maestros y operarios
12 -13 julio 2004	“Ferrocemento como opción tecnológica y procesos constructivos en intervenciones en saneamiento básico”	Proyecto SANBASUR	08 ingenieros residentes y 25 maestros y operarios
20 – 23 octubre 2005	“Opciones tecnológicas y procedimientos constructivos en saneamiento básico rural”	Proyecto SANBASUR	11 ingenieros residentes y 22 maestros y operarios

2.4. Cuarta etapa: Capacitación y transferencia de la tecnología

En esta etapa, el Proyecto SANBASUR transfirió la tecnología validada a aliados y contrapartes –gobiernos locales y organizaciones no gubernamentales, ejecutoras de intervenciones integrales– contribuyendo al desarrollo de competencias y procesos operativos. Además, participó en una serie de eventos para difundir la tecnología y los resultados obtenidos. Las iniciativas y actividades incluyeron:

- a. Generar competencias técnicas en el personal encargado de la ejecución de los proyectos de agua y saneamiento a través de capacitaciones demostrativas.

Una de las limitaciones identificadas para promover el ferrocemento fue el desconocimiento de la tecnología, que generaba inseguridad en los profesionales y

constructores, por lo que fue necesario desarrollar espacios de formación técnica aplicada, transfiriendo conocimientos a los equipos responsables de la ejecución de sistemas de agua y saneamiento. Se realizó talleres anuales de capacitación con la participación de supervisores, residentes de obra, maestros de obra, operarios y promotores.

- b. Producción de documentación técnica especializada con el fin de facilitar los procesos operativos e incorporar expedientes técnicos (planos tipo y presupuestos de reservorios, entre otros) que contribuyan al conocimiento del ferrocemento. Es importante resaltar en este aspecto, la difusión de información especializada (fundamentos, especificaciones técnicas y criterios de diseño) que realiza el CEPIS, que está ayudando a documentar el trabajo con este material.

- c. Contribuir a la investigación aplicada en la región, a través del apoyo al desarrollo de un tema de investigación a nivel de tesis de pregrado de dos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- d. La difusión trascendió los espacios de ejecución y aumentó el perfil institucional del Proyecto SANBASUR, participando en eventos locales y nacionales en los que compartió la experiencia de trabajo con ferrocemento, motivando el interés de las instituciones involucradas en el sector.

Fecha	Evento	Organización	Observaciones
16 -20 noviembre 1999	XII Congreso Nacional de Ingenieros Civiles. Huánuco – Perú.	Colegio de Ingenieros del Perú.	Ponencia presentada por SANBASUR, respecto a su experiencia con el ferrocemento.
11 -13 febrero 2003	Taller de Ferrocemento Lima – Perú.	PNUD/ Banco Mundial, COSUDE, OPS, CEPIS, GTZ, SEDAPAL.	Presentación de la experiencia de trabajo de SANBASUR con ferrocemento.
15 mayo 2003	Tecnología de ferrocemento. Cajamarca – Perú.	Diplomado en agua y saneamiento EPILAS, Universidad Nacional de Cajamarca, CARE, COSUDE.	Curso dictado en la especialidad de ingeniería en el diplomado EPILAS.
05 junio 2004	Experiencia de trabajo con ferrocemento Cusco – Perú.	Curso de pre-grado facultad de Ingeniería Civil UNSAAC.	Charla informativa dirigida a estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil – Curso de construcciones I.
05 – 06 agosto 2005	Ciclo de Conferencias magistrales. ACI – Cusco. Cusco – Perú.	Capítulo de estudiantes del American Concrete Institute – Cusco.	Presentación del tema “Tecnología de ferrocemento aplicada a tanques de abastecimiento de agua”.
27 -28 octubre 2005	Taller: “Divulgación de opciones tecnológicas en saneamiento ambiental básico rural” Cusco – Perú.	CEPIS , Proyecto SANBASUR.	Presentación de la experiencia del trabajo con ferrocemento.
3 – 4 noviembre 2005	Taller: “Tecnologías en saneamiento básico rural – Ferrocemento” Quillabamba – Cusco.	Municipalidad Provincial de La Convención.	Curso de capacitación dirigido a profesionales y personal técnico en La Convención.

≡ 3. El modelo de innovación aplicado

3.1. La cultura de la innovación

El Proyecto SANBASUR ha promovido una cultura de innovación institucional en cadena, con creatividad y capacidad de aprendizaje, en su apuesta por incorporar nuevas tecnologías al desarrollo de sistemas de agua para los sectores rurales más pobres de la Región Cusco. Para ello ha implementado estrategias y acciones concretas que modelaron el diseño de la oferta de esta tecnología, teniendo en cuenta las potencialidades socioeconómicas y técnicas para su masificación en el entorno rural nacional. Las características de este modelo son:

- La tecnología es considerada como una herramienta con potencialidades que se aplica para lograr eficiencia social (de fácil adaptación y uso para las familias campesinas), económica (permite abaratar costos) y técnica (minimizar los riesgos técnicos en el corto, mediano y largo plazo) en cualquier fase del proceso.
- La investigación aplicada se desarrolla sobre aspectos técnicos que no se pueden resolver con los conocimientos e información existentes a nivel institucional, razón por la cual se necesita ampliar la base de conocimientos.
- El Proyecto SANBASUR ha recopilado una base de conocimientos a la que acude para resolver los problemas que se presentan al innovar.
- La introducción de la tecnología es progresiva, asegurando la retroalimentación del equipo técnico que monitorea la experiencia al interior del Proyecto SANBASUR, entre éste y los aliados estratégicos (gobiernos locales y ONG), incluyendo a los receptores de la tecnología (directivos y miembros de las Juntas Adminis-

tradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), residentes, supervisores y maestros de obra).

- La nueva tecnología tiene compatibilidad con la tecnología preexistente, ya que algunos componentes de la tecnología anterior seguirán siendo válidos, y pueden ser adaptados y mejorados en el futuro.
- Existe un proceso de control de los costos y adecuación de una estrategia de reducción de riesgos, principalmente de orden técnico (en los procesos de encofrado, empastado etc., para evitar rajaduras o fisuras que pudieran comprometer la estructura en el mediano y largo plazo) y social (cuidando que la tecnología sea de fácil aplicación y manejo para su mantenimiento, y que sea aceptada por los usuarios). Este proceso retroalimenta el proceso de refinamiento o ajuste de componentes y procedimientos.
- El proceso de refinamiento de los componentes y procedimientos críticos detectados se realizó en la fase piloto, pero continúa en la aplicación masificada, trabajando en forma conjunta con los aliados estratégicos.

La innovación de tanques de ferrocemento se ha desarrollado en el marco de un modelo incremental en cascada por tratarse de una tecnología aún inmadura en la región, aplicándose los siguientes procesos: i) comprensión de la tecnología del ferrocemento, para desarrollar el conocimiento en cooperación con los receptores de la misma; ii) facilitar la implementación de proyectos pilotos en los que se obtuvo la experiencia adecuada en desarrollos controlados y adecuados a nuestra realidad; iii) aplicación de la tecnología inicial ampliada; y, iv) transferencia de tecnología y conocimientos.

3.2. Factores de soporte institucional

La propuesta tecnológica desarrollada ha contado con el soporte institucional, humano y operativo, que se describe a continuación:

- a. **Soporte institucional**, con políticas y estrategias institucionales que respaldan las iniciativas y procesos de innovación en gestión y tecnología.
- b. **Apoyo técnico pertinente**, facilitado por el acceso del Proyecto SANBASUR a innovaciones tecnológicas apropiadas en saneamiento ambiental básico, actualizadas a nivel nacional e internacional y con potencialidad de ser replicadas en los sectores excluidos de la sierra sur del Perú, generando competencias a nivel institucional y en el equipo de profesionales, técnicos y maestros de obra, para desarrollar productos a ser incorporados en su trabajo.
- c. **Equipo humano conformado por profesionales especializados**, que ha permitido la incorporación de tecnologías apropiadas en respuesta a las necesidades identificadas como oportunidades.

El proceso de adecuación estuvo monitoreado y acompañado por un equipo que opera en el Proyecto SANBASUR, y que constituye un soporte humano básico en las diferentes etapas de desarrollo de la experiencia: diseño del plan de acción, aplicación piloto y diseminación.

- d. **Acciones de monitoreo, seguimiento, control y evaluación de los procesos** de la tecnología en sus diferentes etapas –incluso en el proceso de diseminación ampliada– a cargo del equipo, lo que ha permitido hacer ajustes en los procesos y procedimientos constructivos.
- e. **Recursos comprometidos en el desarrollo de la experiencia**: i) humanos, se ha capacitado y conformado un staff de profesionales, técnicos y maestros de obra especializados en el manejo y aplicación del ferrocemento en tanques para el abastecimiento de agua; ii) financieros, a través del cofinanciamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), el Gobierno Regional Cusco, el Ministerio de Salud, los gobiernos locales, las poblaciones beneficiadas y algunas ONG.

4. Resultados

La cobertura de los sistemas de saneamiento con tanques de ferrocemento, por política institucional y por efectos de la adopción tecnológica de los aliados estratégicos de

la Región Cusco, ha sido progresiva desde el año 2001, cuando se construyeron 10 tanques. A la fecha se cuenta con 128 reservorios.



4.1. Sostenibilidad de los sistemas y materiales

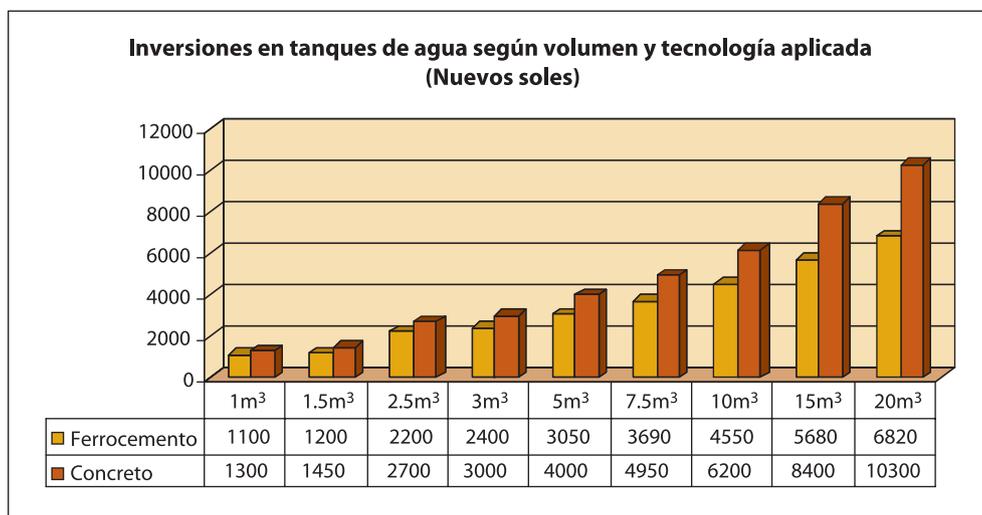
La innovación del ferrocemento en tanques de abastecimiento de agua es una opción adaptada para beneficiar a la población rural en situación de pobreza y extrema pobreza, que tiene altos niveles de sostenibilidad técnica, económica, social y ambiental.

Desde el punto de vista técnico, es una innovación de construcción, operación y mantenimiento sencilla, con un alto nivel de vida útil. Su tiempo de uso en buenas condiciones es de aproximadamente 20 años, con presencia eventual de fisuras y rajaduras que pueden ser fácilmente identificadas y controladas a través de intervenciones oportunas de limpieza y mantenimiento –antes de que puedan comprometer la estructura física del tanque.

El diseño y proceso constructivo de los tanques ha sido adecuado: 100% de los tanques instalados están en operación, y solo 5% de los tanques evaluados –3 de 61, ubicados en la comunidad de Machaca, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchis– presenta algún tipo de fisura, exudación o filtración, que no comprometen la estructura física en el corto plazo⁵. Sin embargo, si no se toman las previsiones del caso, en el mediano y largo plazo podrían comprometer la estructura.

Desde el punto de vista económico es una tecnología que ofrece ventajas comparativas frente al concreto armado, en inversión, participación de la mano de obra local y financiamiento externo. La inversión en un tanque de ferrocemento es menor a la que demanda un tanque de concreto armado. La tendencia de los costos es más

⁵ Al corte de la sistematización las JASS central y de los cuatro sectores de la comunidad de Machaca, estaban en coordinación con la OMSABAR de Urcos para la reparación y pintado de sus reservorios.

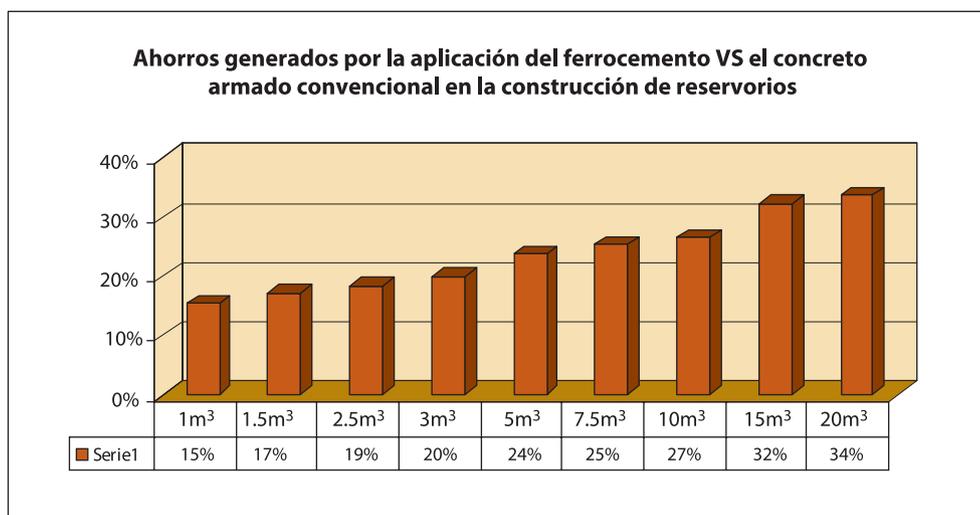


favorable en relación al volumen, como se puede apreciar en el gráfico precedente.

Genera también ahorros crecientes proporcionales a la capacidad instalada del tanque, de manera que el ahorro aumenta si el tanque tiene mayor capacidad. Por ejemplo, se estima un ahorro no menor al 15% en la inversión de la construcción de un tanque de ferrocemento de 1 m³, y de hasta 34% en un tanque de 20 m³ –en comparación a un tanque similar de concreto armado.

Implica también, en consecuencia, mayor eficiencia en las inversiones que podrían ser destinadas a una mayor cobertura de los sectores más pobres de la región, desprovistos de sistemas de abastecimiento de agua.

Incide favorablemente en el medio ambiente por un menor nivel de contaminación, dado que la tecnología genera pocos desechos y elementos contaminantes del medio ambiente frente a la alternativa del concreto armado (el cemento mismo, bolsas), menos materiales a



ser reciclados, madera en el uso del encofrado, agregados pétreos etc.

Los factores que influyen en la sostenibilidad son:

- a. Generación de competencias técnicas para diferentes niveles de adiestramiento y manejo de la innovación. Competencias técnicas básicas en la mano de obra local que colaboró en el proceso constructivo –especialmente de los miembros de las JASS que participaron como peones– y competencias más especializadas en la mano de obra intermedia –como los maestros de obra y el equipo de profesionales que ha acompañado el desarrollo y masificación de la innovación, complementando la cartera de opciones tecnológicas manejadas y aplicadas. Por ejemplo: los maestros de obra están aplicando esta innovación en la implementación de techumbres, casetas de letrina, piscinas, losas de entrepiso, edificaciones en general, etc.
- b. Institucionalmente, las autoridades locales están comprometidas y convencidas de los beneficios económicos y técnicos de esta tecnología, incluyendo a los alcaldes, regidores, personal de la Oficina Municipal de Saneamiento Ambiental Básico Rural (OMSABAR), y personal técnico especializado.
- c. El proceso de apropiación y satisfacción del usuario ha sido facilitado por su participación en la construcción de los tanques.
- d. Promoción del desarrollo coordinado con los agentes descentralizados del Ministerio de Salud (MINSA) y las OMSABAR, que se encargan de la supervisión del control de la calidad del agua, y con los directivos de las JASS, que se encargan de coordinar periódicamente la limpieza y mantenimiento del tanque y cloración del agua.
- e. Confiabilidad del servicio, que conjuntamente con los otros elementos constitutivos del sistema de abastecimiento de agua, proporcionan agua de forma continua a la comunidad.

- f. En el mediano y largo plazo, su sostenibilidad dependerá absolutamente de la capacidad de organización de los beneficiarios para los servicios de mantenimiento mensual, y de la capacidad y voluntad de pago para cubrir los gastos de resane y fisuras, exudaciones y filtraciones que se pudieran presentar en los tanques. Estos costos (materiales y servicios) deben ser cubiertos con los aportes de los usuarios.

4.2. Replicabilidad

El uso del ferrocemento ha sido adoptado por aliados estratégicos después de comprobar sus ventajas. Entre ellos se encuentra Visión Mundial, que viene replicando esta innovación en sus ámbitos de intervención, y los gobiernos locales de Santa Ana, Echarati y Quispicanchis, que utilizan esta tecnología en los sistemas de saneamiento ambiental básico implementados por cuenta propia y con sus recursos en las comunidades campesinas. También se ha identificado que los maestros de obra capacitados están aplicando el ferrocemento en sus trabajos particulares.

4.3. Transferencia

Considerando las ventajas descritas –que han reforzado los procesos de credibilidad, especialmente en los ámbitos de intervención– es posible transferir esta innovación a zonas rurales, a través de los gobiernos locales y ONG involucradas en el saneamiento rural.

La transferencia está supeditada a que el gobierno local haya fortalecido el área técnica –la OMSABAR– y a contar con un equipo motivado y capacitado en el manejo y aplicación del ferrocemento, que disponga de documentación técnica (planos, presupuestos, especificaciones técnicas). De igual manera, es importante contar con maestros capacitados y con experiencia, ya que muchas veces se desestima trabajar con ferrocemento porque no existen maestros entendidos en esta tecnología en la localidad.

≡ 5. Logros y dificultades

5.1. Logros sociales

- a. Las comunidades se están familiarizando con esta tecnología para la construcción de sus servicios de agua potable por su versatilidad, y tienen una participación activa, tanto en el proceso de construcción como en el mantenimiento.
- b. Tres gobiernos locales y una ONG han adoptado y están aplicando esta opción tecnológica en la construcción de sus sistemas de agua potable; también la han aplicado a otros usos.
- c. Se cuenta con personal calificado, que incluye a profesionales y maestros de obra, capacitado en el manejo y aplicación de esta tecnología.

En el desarrollo de la propuesta, se ha ampliado los conocimientos y manejo de tecnologías alternativas de un equipo formado por 60 personas –incluyendo profesionales, técnicos y maestros de obra– que han sido capacitadas durante el proceso de adopción, aplicación piloto y masificación de la innovación.

- d. El ferrocemento ya no es una opción tecnológica desconocida; las iniciativas del Proyecto SANBASUR y su participación en diversos eventos regionales y nacionales están contribuyendo a su difusión y conocimiento.

5.2. Logros técnicos

- a. Desde la experiencia piloto se han incorporado modificaciones que facilitan un proceso de construcción que no requiere mano de obra muy especializada, permitiendo que la transferencia de la tecnología sea rápida.

- b. La construcción de reservorios de ferrocemento ha permitido optimizar las inversiones en materiales y mano de obra, en comparación con el concreto armado. Genera ahorros en: i) materiales –se requiere entre 50 a 60% menos de arena para construir un tanque de ferrocemento en comparación al de concreto, y el costo es menor en encofrados y otros insumos; ii) menor tiempo de aporte de mano de obra– la población es consciente de que tiene que trabajar menos para construir su reservorio, debido a que la cantidad de materiales a transportar es menor. Esto es especialmente favorable para comunidades en las que la distancia entre la obra y el lugar de abastecimiento es significativa y el acarreo se realiza a mano o lomo de bestia.
- c. Los reservorios son estructuras livianas. Por su poco espesor y consiguiente menor peso, transmiten menos carga al suelo, evitando problemas de estabilidad en las cimentaciones.
- d. En la medida en que se ha masificado la tecnología, los maestros de obra han diversificado y desarrollado nuevos productos vinculados al sistema de saneamiento local. Esos productos están logrando aceptación en las familias campesinas, como la construcción de bateas a nivel domiciliario, casetas de letrinas, techumbres en módulos sanitarios. El ferrocemento también se está aplicando en cámaras distribuidoras de caudales, revestido de canales, piscinas y edificaciones.

5.3. Dificultades y limitaciones

Los puntos críticos de riesgo detectados, y que deben ser controlados porque inciden en la sostenibilidad de la infraestructura en el mediano y largo plazo, son:

- a. En la mayoría de casos observados, la organización comunal y el liderazgo de las JASS, que fueron fundamentales en el proceso de ejecución, disminuyen gradualmente después de la transferencia de la obra, debido a que la población ya disfruta del beneficio y tiende a descuidar las acciones de operación y mantenimiento.
- b. El cambio periódico de las personas involucradas y comprometidas con el saneamiento, a nivel comunal y distrital –personal de salud, directivas de la JASS, etc.– que son reemplazadas por personas que muchas veces no están capacitadas, o que desconocen la importancia del saneamiento ambiental básico a nivel familiar y comunitario. Esto implica un trabajo permanente de promoción, información y capacitación de los nuevos actores.
- c. Uno de los factores que han limitado la aplicación masiva del ferrocemento es que, a pesar de los logros alcanzados, aún persiste en los profesionales y mano de obra calificada cierta inseguridad en la aplicación de la tecnología, debido a la falta de conocimientos sobre el diseño, construcción y comportamiento de los tanques de ferrocemento, y a su poca experiencia práctica.
- d. Si bien existe una propuesta de normatividad elaborada y propuesta por el CEPIS, aún no tiene reconocimiento oficial. Muchas instituciones, especialmente en el sector público, tienen limitaciones para experimentar con una tecnología que no está normada legalmente en el país. Las iniciativas y experiencias en la región y en el país aún son aisladas, lo que no favorece la mayor promoción de esta tecnología.
- e. Se ha identificado que la carencia de mano de obra calificada y la escasa oferta de profesionales que manejen la tecnología del ferrocemento es un factor significativo, a pesar de que el Proyecto SANBASUR previó la formación y el reciclaje de un equipo técnico dentro de la institución y en los aliados estratégicos. Esta necesidad es aún más sentida en los gobiernos locales, que han iniciado fuertes procesos de diseminación de la innovación por cuenta propia, como en Echarati y Santa Ana. Se requiere mayor difusión de esta opción tecnológica, especialmente a través de instituciones como la universidad (UNSAAC), y centros especializados de capacitación técnica como el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), en el uso del ferrocemento, y en la capacitación a trabajadores de construcción civil.
- f. En relación con los materiales, algunas veces la arena no es de buena calidad y tiene que ser transportada de lugares aledaños a la zona de intervención. El enmallado (mallas electro soldadas) no siempre se encuentra en el mercado regional y debe ser construido a mano. Esto implica mayor costo por el transporte del material, en el primer caso, y por la necesidad de mano de obra que se encargue de la confección, en el segundo. Se debe señalar también que la aparición de fisuras y exudaciones en algunos reservorios causaron preocupación en cuanto a la durabilidad de estas estructuras en el tiempo, en zonas de fríos severos y heladas.

≡ 6. Lecciones aprendidas

6.1. Lecciones generales

- a. Por ser una tecnología desconocida, la construcción de los primeros tanques de agua con ferrocemento en zonas rurales generó dudas que fueron superadas cuando las comunidades y los técnicos pudieron observar los resultados en éstas estructuras. Un aspecto que influyó en la aceptación es que estos tanques son circulares, y la aprobación es mayor porque es considerado un diseño moderno por la comunidad.
- b. El aporte de mano de obra no calificada y materiales locales, la participación de la comunidad en el proceso de construcción del tanque de ferrocemento, y la menor inversión de tiempo y esfuerzo en el transporte de materiales y en la construcción misma, son factores que facilitan la apropiación de la infraestructura y la satisfacción de los usuarios.
- c. La capacitación práctica que incluye la construcción de reservorios demostrativos, motiva y facilita el proceso de aprendizaje del constructor, dándole mayor confianza en el proceso de aplicación de esta opción tecnológica.
- d. El rol del Proyecto SANBASUR como agente de promoción, difusión y adaptación del ferrocemento, facilitó el proceso de adopción de la tecnología e impulsó la demanda de tanques de agua, dando sostenibilidad a la introducción de esta tecnología en el corto plazo. La capacidad de esta innovación tecnológica, adaptada por el Proyecto SANBASUR a los requerimientos del saneamiento ambiental básico rural, permitió mayores niveles de eficiencia. Los factores estructurales y la capacidad de un equipo huma-

no con iniciativa para la innovación optimizaron los recursos institucionales y locales.

- e. A medida que la comunidad comprueba la eficacia y funcionamiento de los tanques de ferrocemento y los técnicos adquieren mayor confianza y experiencia en su aplicación, se genera mayor demanda. Las estrategias de intervención integral, como los factores económicos y técnicos –reducción de costos, facilidad del proceso constructivo, el capital humano familiarizado en la construcción, entre otros– contribuyen al éxito de la experiencia.

6.2. Lecciones técnicas

- a. La selección (tamizado) y lavado del agregado que se utiliza en la construcción de los reservorios permite eliminar las impurezas que contiene, previniendo las fisuras en las paredes⁶ y evitando perjudicar de manera significativa la estructura.
- b. Es necesario trabajar utilizando el encofrado en la cara interna del tanque –tomando las previsiones del caso para evitar el movimiento– hasta que se tenga mayor experiencia y se pueda prescindir del mismo. Trabajar con encofrado por una cara permite lograr una estructura de mejor calidad, que se evidencia en: i) mayor seguridad y confianza del constructor en el proceso; ii) mayor control en la verticalidad de las paredes y en la forma geométrica circular de la estructura; iii) mayor presión al momento de efectuar el pañeteo y tarrajeo final; iv) paredes protegidas por un lado ante efectos ambientales u otros; y, v) menor exposición del área, que implica menor pérdida de humedad en la edad temprana del

⁶ Los reservorios en los que no se tuvo el cuidado de lavar el agregado antes de la fabricación del mortero, presentan mayor cantidad de grietas y fisuras (comunidad de Machaca).

mortero (72 horas), generando menores fisuras por secado (contracción).

En la experiencia del proyecto, al adquirir mayor práctica en la construcción, se dejó de utilizar encofrado en las paredes de los tanques. Sin embargo, se presentó un problema colateral al momento del empastado, ya que muchas veces las paredes del reservorio no tenían un soporte adecuado que impidiera el movimiento al momento del pañeteo, y se producían microfisuras que se incrementarían a lo largo de la vida útil del reservorio. El grado de incidencia está en relación al movimiento que pudiera presentar el armazón metálico, y al grado de adherencia entre el refuerzo y la misma mezcla (que debe ser pasta seca).

- c. Utilizar mezcla seca para el vaciado. A medida que se incrementa el agua en un mortero o mezcla de concreto, la resistencia disminuye. En el caso del ferrocemento, es imprescindible que la relación agua/cemento en el mortero sea mínima. Éste es un aspecto en el que los residentes y supervisores deben tener mucho cuidado, ya que por facilidad constructiva, los maestros tienden a agregar mayor cantidad de agua y hacen que la mezcla sea muy fluida, disminuyendo su adherencia al armazón metálico y afectando las propiedades de resistencia del mortero.
- d. El curado; es decir, la adición de agua al mortero fresco, debe ser adecuada. Este procedimiento se debe realizar de manera muy cuidadosa y continua, en las paredes internas y externas de la estructura, hasta que el mortero frague (7 días). Se deben tomar las previsiones del caso y garantizar un adecuado curado por lo menos durante los tres primeros días, caso contrario se recomienda no trabajar con ferrocemento.

Al inicio, los maestros de obra y técnicos curaban llenando la estructura de agua y regando a la vez por el exterior, lo que implicó ocupar personal a tiempo completo y mayor dedicación de la mano de obra no calificada. Ante ello, se optó por cubrir la estructura con

una frazada húmeda. En otros casos, se llegó a tecnificar el procedimiento de curado utilizando un tubo de PVC, cribado en la misma obra, conectado las 24 horas del día a la línea de conducción a manera de aspersor, haciendo un curado permanente y automatizado

- e. Evitar la incidencia del clima en los reservorios de ferrocemento, protegiendo la estructura de la exposición a cambios bruscos de temperatura, especialmente en zonas altas con fríos extremos o heladas en la noche y sol muy fuerte durante el día. Este comportamiento climático lleva, de manera muy frecuente, a que la estructura del tanque de almacenamiento se dilate en el día y se contraiga en la noche afectando su estructura.⁷

Si se trabaja en lugares con condiciones climáticas extremas (frío y heladas), se debe prever una capa de refuerzo adicional de malla de gallinero e incrementar el espesor de las paredes (1 cm. más de lo especificado en los planos), para evitar la aparición de fisuras. Además, es recomendable dar protección adecuada al reservorio, mediante un cerco (de piedra o adobe preferentemente) para aislar la estructura de las condiciones atmosféricas extremas.

- f. La tapa de cubierta del reservorio debe tener bruña. Usualmente, el vaciado de la pared y la losa del reservorio se realizan en momentos diferentes, por lo que en la unión de ambos se tiene una "junta de construcción", en la que con el tiempo se presenta una fisura. Por esta razón es necesaria la ejecución de una bruña en este lugar, con el fin de que la fisura se ubique en este punto y no comprometa la losa o las paredes del reservorio. En los casos en los que no se coloca la bruña, se construye la losa con un ligero volado que sobresale de las paredes del reservorio (losa tipo hongo). Si se construye un reservorio de capacidad mayor a 25m³, en el que se prevé instalar un sistema de cloración por goteo, es necesario considerar una columna interior en la parte central de la estructura, que sirva de soporte al depósito para la solución madre.

⁷ En los reservorios evaluados, se observó que los más afectados han sido los reservorios ubicados en zonas muy frías, en comparación a aquellos ubicados en zonas cálidas.

≡ 7. Conclusiones

1. El proceso de construcción, validación y difusión de tanques de agua de ferrocemento en la Región Cusco ha sido exitoso. Sin embargo, la transferencia está en su fase inicial, y la sostenibilidad dependerá del compromiso y del rol que las agencias financieras e instituciones públicas o privadas y sus equipos de profesionales asuman para promover y aplicar la tecnología.
2. Las políticas, estrategias y metodología de trabajo del Proyecto SANBASUR han contribuido a una gestión social y tecnológica para la buena marcha, sostenibilidad y transferencia del proyecto.
3. La población beneficiaria participó en todo el proceso –desde la identificación, pasando por el diseño, hasta la evaluación final– contando además con la participación de organismos gubernamentales (organismos desconcentrados del MINSA), gobiernos locales y organismos no gubernamentales que trabajan en las zonas de intervención.
4. El monitoreo, seguimiento, control y evaluación han permitido la revisión y ajuste permanente de los procedimientos diseñados y de su aplicación en todo el proceso de desarrollo, validación y diseminación de la tecnología, minimizando los riesgos.

8. Recomendaciones

1. Promover eventos de intercambio de experiencias con participación de expertos nacionales e internacionales, de instituciones públicas y privadas (académicas, centros de capacitación), que contribuyan al mejor manejo y aplicación del ferrocemento y su promoción.
2. Impulsar el reconocimiento del ferrocemento en el país, en alianza con los colegios profesionales y las universidades, para lo cual es necesario validar las propuestas existentes y elaborar la documentación técnica.
3. Continuar con los procesos de seguimiento, documentación y difusión de las lecciones aprendidas en la construcción de los tanques con ferrocemento, como un mecanismo de intercambio y consolidación de experiencias.
4. Mantener las estrategias de monitoreo, control y evaluación implementadas en las diferentes etapas de la experiencia, con la finalidad de identificar oportunamente los aspectos críticos en la diseminación de la innovación y tomar medidas de ajuste y/o previsión para controlar o evitar la incidencia de los factores técnicos o climatológicos. Además, es necesario tener en cuenta la disponibilidad y accesibilidad de recursos humanos (mano de obra especializada y técnica), materiales, el mantenimiento preventivo y la reparación oportuna, para evitar incurrir en mayores costos en materiales y mano de obra, y ampliar el periodo de vida útil de la infraestructura.

Anexo 1

Materiales constitutivos del ferrocemento

▪ **El cemento.** Debe cumplir con las especificaciones ASTM C 150-85a, ASTM C 595-85, o una norma equivalente. El cemento debe estar fresco, tener consistencia uniforme y estar libre de materias ajenas. Se debe guardar en condiciones secas.

▪ **El agregado fino.** Es el agregado más común usado en el ferrocemento. Debe estar limpio, duro, fuerte, libre de las impurezas orgánicas y relativamente libre de limos y arcilla. Debe estar inerte con respecto a otros materiales usados. La arena debe ser graduada con una fineza que pase el 100% del cedazo normal N° 8.

Algunas recomendaciones deseables para el agregado fino:

El tamaño del cedazo	El paso por ciento
No. 8	80-100
No. 16	50-85
No. 30	25-60
No. 50	10-30
No. 100	2-10

▪ **El agua.** Debe estar fresca y libre de cualquier solución orgánica y dañina para las propiedades del mortero. El agua salada no es aceptable, pero se puede usar agua con cloro.

▪ **Mortero de ferrocemento.** Es la mezcla homogénea compuesta por cemento Pórtland, arena y agua, pudiendo eventualmente contener aditivos que mejoren sus

cualidades. El peso específico de esta mezcla no debe ser menor de 1800 Kg./cm³. La relación agua/cemento en peso máxima admitida es de 0.40 para arenas de grano redondeado, y 0.50 para arenas de grano anguloso. Para las aplicaciones comunes de ferrocemento, la relación arena/cemento en peso varía de 1.0 a 3.0.

▪ **Malla de refuerzo.** Uno de los componentes esenciales del ferrocemento es la malla de alambre. Es de diferentes tipos y está disponible en varias presentaciones. Consiste en alambres delgados, tejidos o soldados en una malla, pero el requisito principal es que se debe manejar fácilmente y ser bastante flexible para ser doblada alrededor de las esquinas. La función de la malla de alambre y refuerzo, en un primer momento, es proporcionar la forma y apoyar el mortero en su estado fresco. En el estado endurecido, su función es absorber las tensiones en la estructura que el mortero sólo no sería capaz de resistir y evitar el agrietamiento.

La conducta mecánica del ferrocemento es muy dependiente del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la malla y refuerzo.

▪ **Acero de armazón.** Está formado por barras lisas o corrugadas que forman el esqueleto o armazón de la estructura de pequeño diámetro. El diámetro de las barras y alambres complementarios no debe ser mayor que ¼ del espesor de la pieza de ferrocemento, ni mayor de 10mm. Tampoco debe ocupar, en conjunto, más de la mitad del espesor del elemento.

Anexo 2

Procedimiento de construcción de los tanques de ferrocemento

▪ Cimentación

Luego de seleccionar un lugar adecuado para su instalación, de preferencia un lugar con una capacidad de carga admisible mayor a 1.50 Kg./cm², se procede a:

- ✓ Replantear el reservorio, excavar y vaciar la zanja de cimentación.
- ✓ Ubicar el punto de desagüe del tanque (sumidero).
- ✓ Colocar un empedrado si el terreno no es muy recomendable o la estructura es muy grande, pudiendo prescindir de éste en reservorios pequeños o cuando el terreno es confiable.
- ✓ Replantear y colocar la malla y el acero de refuerzo en la losa de fondo.



Empedrado y colocación de piso

▪ Encofrado de pared y techo

El encofrado se coloca solamente en una cara, dependiendo del lugar en el que se desea empezar el pañeteo interior y/o exterior a las paredes del reservorio, y podrá ser de cualquier material (madera, acero, planchas de tripal, calamina etc.). También es posible prescindir del encofrado para abaratar costos. Cuando se trabaja sin encofrado, se recomienda que el refuerzo metálico no tenga movimientos al momento de pañetear las paredes; y el vaciado de la losa de piso se debe realizar junto con la construcción de las paredes. Una vez pañeteadas las paredes, deben endurecer y tener la debida resistencia para construir el techo. El techo puede ser plano o abovedado, dependiendo del diseño.

- ✓ Se coloca una primera capa de refuerzo con una o más mallas hexagonales (malla de gallinero), debidamente tensada y con un traslape adecuado en las zonas de empalme. Esta capa va en contacto directo con



Estructura de madera para encofrado. Colocación del refuerzo

el encofrado, si es que se considera en el proceso constructivo.

- ✓ A continuación, se coloca el refuerzo diseñado, que se une con la malla que sale de la base del tanque, a fin de lograr un empalme adecuado entre la armadura de piso y pared. Los refuerzos van amarrados con

alambre Nº 18, los traslapes deberán ubicarse en diferentes sitios a fin de no provocar zonas críticas que puedan causar fallas en la estructura.

- ✓ Luego, se procede a colocar nuevamente una o más capas de malla de gallinero o electrosoldadas, siguiendo las mismas indicaciones de la primera capa. Este refuerzo se coloca para evitar las fisuras por secado.



Armado de refuerzo con encofrado



Armado de refuerzo sin encofrado

▪ Preparado y colocación de mortero

De acuerdo a las proporciones del diseño, se procede a obtener un mortero de consistencia seca que sea posible trabajar. El mortero se aplica a la cara exterior o interior del tanque; la mezcla debe penetrar todas las capas de refuerzo hasta el encofrado, debiendo quedar todo el refuerzo de acero y malla embebido de mortero. Una vez seco (puede ser el mismo día) se concluye con el revestido. Si se encofró –y de acuerdo a la dimensión del tanque– se debe esperar unas 48 horas (o menos) para desencofrar y proceder al pañeteo del lado interno o externo (dependiendo de con cuál se empezó). Se recomienda dar un acabado liso al interior del tanque, de preferencia con impermeabilizante.

A continuación, se ejecuta el acabado del piso, observando una pendiente mínima de 1% hacia el desagüe y ejecutando el chaflán en la junta piso-pared.

Luego de la prueba de estanqueidad, se procede al encofrado, colocación de refuerzo y vaciado de la losa del techo con un mortero de características similares al utilizado en la pared.



Forjado inicial con encofrado



Pañeteo sin encofrado

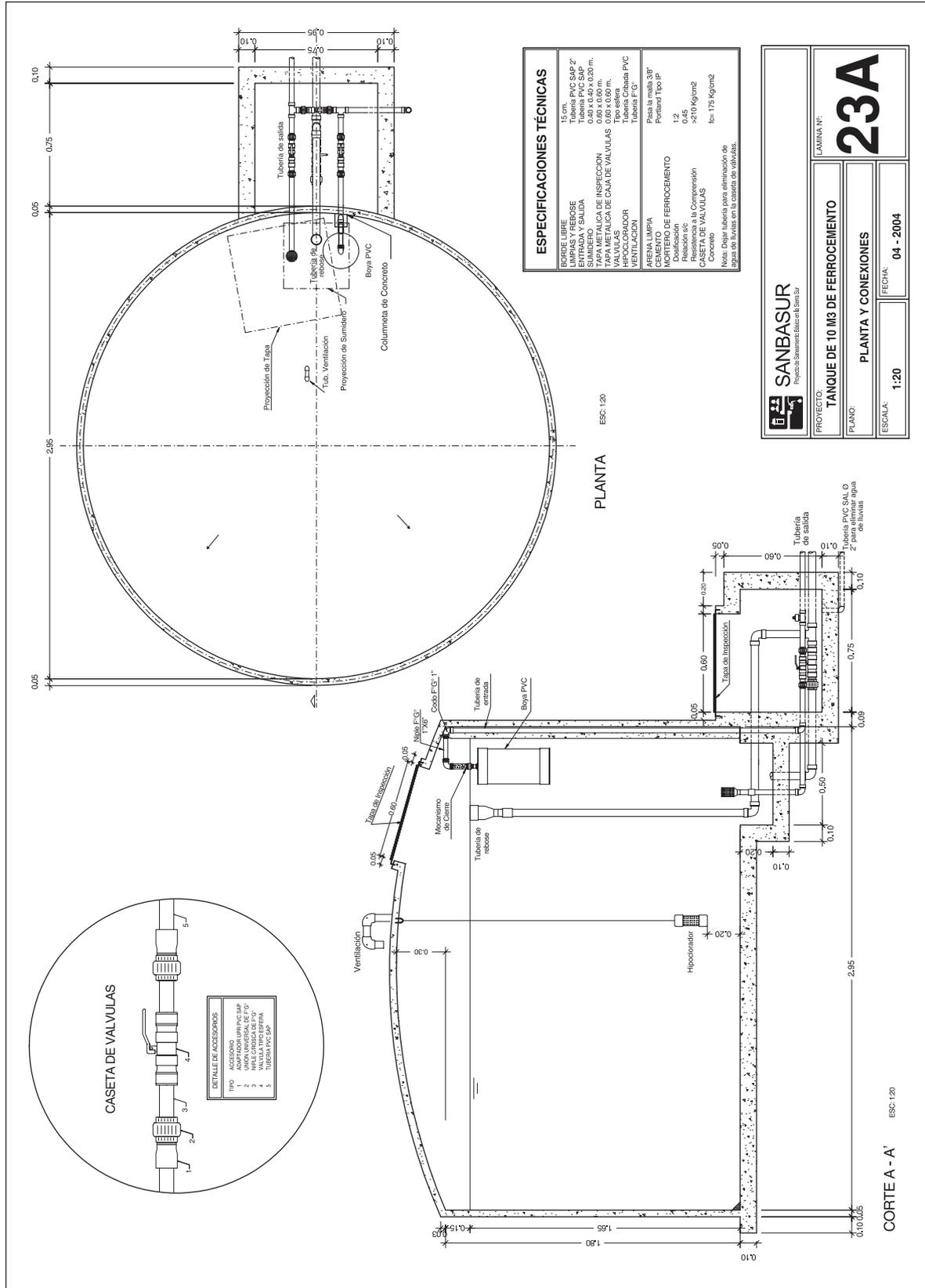
▪ Curado

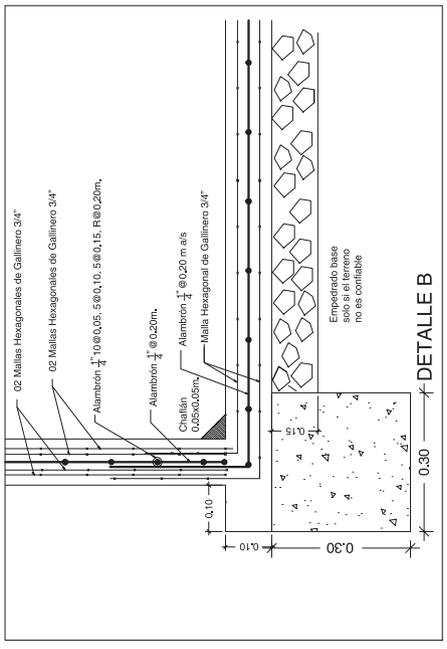
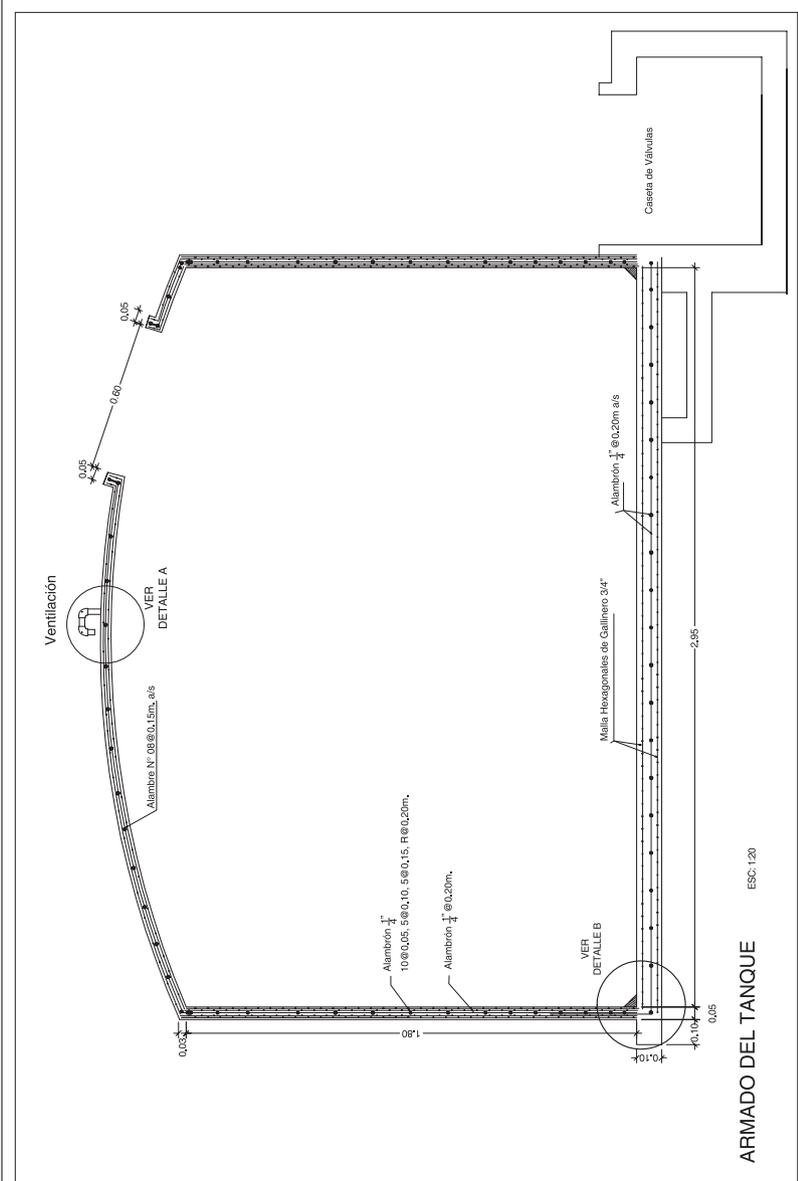
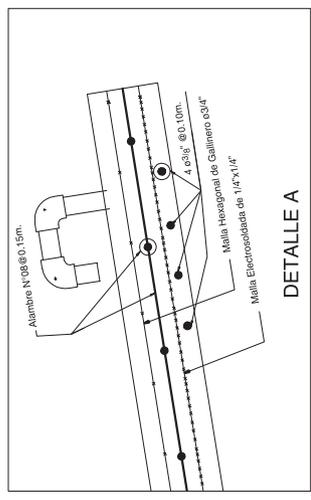
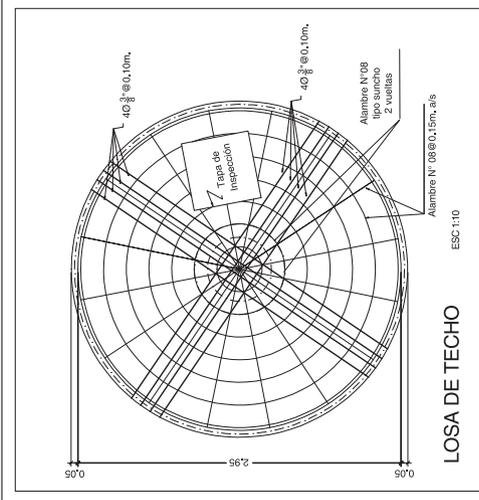
Es importante mantener un curado constante en las paredes del tanque (mínimo siete días). Se puede colocar un aditivo sellador o mantener el mortero permanentemente húmedo. De ser posible, es recomendable construir un techo provisional que proteja las paredes del sol y la lluvia durante el proceso de construcción.



Anexo 3

Planos tipo de un reservorio de 10 m³





ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

EMPALMES	30 cm.
Alambre N° 8	30 cm.
C3/8"	30 cm.
Malla hexagonal de 3/4"	30 cm.
TRASLAPES	30 cm.
Alambre N° 8	30 cm.
C3/8"	30 cm.
Malla Hexagonal de 3/4"	30 cm.
Malla electrosoldada 1/4"	10 cm.
REFUERZO HORIZONTAL	En espiral (tipo zuncho)
EMPEDRADO	Estará en función de las características y capacidad portante del suelo de fundación.

SANBASUR
Proyectos Sanitarios Básicos S.A. S.p.A.

PROYECTO: **TANQUE DE 10 M3 DE FERROCEMENTO**

PLANO: **ARMADO PARED, PISO Y LOSA DE TECHO**

ESCALA: **INDICADAS**

FECHA: **04 - 2004**

LÁMINA N°: **23B**

Anexo 4

Reservorios construidos por el Proyecto SANBASUR

Período 1998 – 2005

N°	Nombre de la intervención	Financiera	Año	Provincia	Distrito	Ejecutor	N° Reservorios	Observaciones
1	SAP Huancco	COSUDE	1998	Calca	Lamay	Visión Mundial	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
2	SAP Jucuyre	COSUDE	1998	Qanchis	Combapata	Visión Mundial	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
3	SAP Poroy	PAS / BM	1999	Cusco	Poroy	Sanbasur	1	Construido en un taller de capacitación 10 m ³
4	SAP Harín	COSUDE	2001	Calca	Calca	Visión Mundial	1	Reservorio de 20 m ³ de capacidad
5	SAP Machaca	FCVPS	2001	Quispicanchi	Catca	AINCO	9	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
6	SAP Sapato	COSUDE – CTAR	2002	Calca	Lamay	OZD Calca-Urubamba	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
7	SAP Kanamarca	COSUDE	2002	Espinar	Alto Pichigua	ADRA OFASA	2	Reservorio de 1.5m ³ y 3 m ³ de capacidad
8	SAP Calzada	COSUDE	2002	La Convención	Echarati	AINCO	2	Reservorio de 5m ³ y 10 m ³ de capacidad
9	SAP Ciriolo	COSUDE – CTAR	2002	La Convención	Echarati	OZD La Convención	3	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
10	SAP Lucmapampa	COSUDE	2002	La Convención	Sta. Teresa	AINCO	3	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
11	SAP Papelapata	CTAR	2002	La Convención	Echarati	Echarati	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
12	SAP Ivanqui	COSUDE Echarati	2002	La Convención	Echarati	Echarati	1	Reservorio de 20 m ³ de capacidad
13	SAP Ancayachi	COSUDE-Gob.Reg.	2003	Calca	Lares	OZD Calca	4	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
14	SAP Collapamayo	COSUDE-M.Dist.	2003	Espinar	Pichigua	ADRA OFASA	3	Reservorios entre 1,5m ³ , 2,5m ³ y 3m ³ de capacidad
15	SAP Titiruyoc Pintobamba	COSUDE-M.Dist.	2003	La Convención	Echarati	Echarati	2	Reservorios entre 3m ³ y 5m ³ de capacidad
16	SAP Ccochapampa	COSUDE-Gob.Reg. M.Dist	2003	La Convención	Echarati	OZD La Convención	4	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
17	SAP Amarillyoc-Tustuntiana-Zorrapata	COSUDE-M.Dist.	2003	La Convención	Huayopata	Huayopata	5	Reservorios entre 1m ³ , 3m ³ y 5m ³ de capacidad
18	SAP Mesada	COSUDE-Gob.Reg. M.Dist	2003	La Convención	Santa Teresa	OZD La Convención	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
19	SAP Naranjal	DIGESA	2003	La Convención	Vilcabamba	DESA	2	Reservorios entre 3m ³ y 5m ³ de capacidad
20	SAP Vilcabamba-Cedroni	COSUDE-Gob.Reg. M.Dist	2003	Paruro	Huanoquite	OZD Paruro	1	Reservorio de 3 m ³ de capacidad
21	SAP Hayuni	DIGESA - M.Dist.	2003	Quispicanchi	Quiquijana	DESA	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
22	SAP Huancara	COSUDE-M.Dist.	2003	Quispicanchi	Urcos	Quispicanchi	3	Reservorios entre 3m ³ , 5m ³ y 10m ³ de capacidad
23	SAP Santa Lucía	Gobierno Regional	2004	Acomayo	Pomacanchi	Pomacanchi	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
24	SAP Pacas CC Huancacalla	Gobierno Regional	2004	Anta	Chinchaypuuyo	Chinchaypuuyo	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
25	SAP Punaqueñeria, Añohuma, Umahuña	Gobierno Regional	2004	Canas	Yanaoca	Canas	2	Reservorio de 2,5m ³ , 3m ³ de capacidad.
26	SAP Nuevo Poblado Qoribeni	COSUDE	2004	La Convención	Echarati	Echarati	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
27	SAP Viracochasi	COSUDE	2004	La Convención	Echarati	Echarati	3	Reservorio de 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
28	SAP Huaynapata, Cangrejuyoc, Negro Huaruna	Gobierno Regional	2004	La Convención	Huayopata	Huayopata	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
29	SAP Isillyoc	Gobierno Regional	2004	La Convención	Santa Ana	La Convención	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
30	SAP San Cristobal	Gobierno Regional	2004	La Convención	Santa Ana	La Convención	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
31	SAP Molle Molle	Gobierno Regional	2004	Paruro	Huanoquite	Huanoquite	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
32	SAP Pasto Grande	Gobierno Regional	2004	Paucartambo	Challabamba	Challabamba	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
33	SAP Callipata CC Virgen Asunta	Gobierno Regional	2004	Paucartambo	Paucartambo	Paucartambo	6	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
34	SAP Chumpicancha	Gobierno Regional	2004	Quispicanchi	Catca	Catca	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
35	SAP Hatunhuaylla CC Pampachulla	COSUDE - Gob. Reg.	2004	Quispicanchi	Urcos	Quispicanchi	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
36	SAP Juscumsachay, Chapira CC Qorñamuro	COSUDE	2004	Quispicanchi	Rondocan	Rondocan	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
37	SAP Juan Velasco Alto Cucuchiray	COSUDE	2005	Acomayo	Rondocan	Rondocan	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
38	SAP Sumaru Amanuy	COSUDE	2005	Anta	Chinchaypuuyo	Chinchaypuuyo	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
39	SAP Ipal	COSUDE	2005	Calca	Yanatile	Yanatile	7	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
40	SAP Yomentoni	COSUDE	2005	La Convención	Echarati	Echarati	9	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
41	SAP Buena Vista - Bombohuactana	COSUDE	2005	La Convención	Quellouno	Quellouno	4	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 10m ³
42	SAP Huanca Huanca	COSUDE	2005	Paruro	Huanoquite	Huanoquite	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
43	SAP Uscamarca - Willoca	COSUDE	2005	Paucartambo	Challabamba	Challabamba	3	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
44	SAP Occotuan	COSUDE	2005	Urubamba	Chincheru	Chincheru	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
45	SAP Huerta	Gobierno Regional	2005	Anta	Anta	Anta	3	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
46	SAP Siusa	Gobierno Regional	2005	Calca	San Salvador	San Salvador	4	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
47	SAP Añouma - Umaha	Gobierno Regional	2005	Canas	Yanaoca	Yanaoca	4	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³ y 5m ³
48	SAP Pallacollo	Gobierno Regional	2005	Ganchis	Checacupe	Checacupe	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
49	SAP Conchacollo Alto	Gobierno Regional	2005	Chumbivilcas	Chamaca	Chamaca	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
50	SAP Mañicahui	Gobierno Regional	2005	Chumbivilcas	Llusco	Llusco	3	Reservorio de 1m ³ , 2,5m ³ , 3m ³
52	SAP Manki	Gobierno Regional	2005	Paruro	Paruro	Paruro	1	Reservorio de 5 m ³ de capacidad
53	SAP Chinchayhuasi	Gobierno Regional	2005	Paucartambo	Huancarani	Huancarani	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³
54	SAP Puente Inambari	Gobierno Regional	2005	Quispicanchi	Camanti	Camanti	1	Reservorio de 10 m ³ de capacidad
55	SAP Queyhuacocha	Gobierno Regional	2005	Urubamba	Maras	Maras	2	Reservorio de 3m ³ y 5m ³

