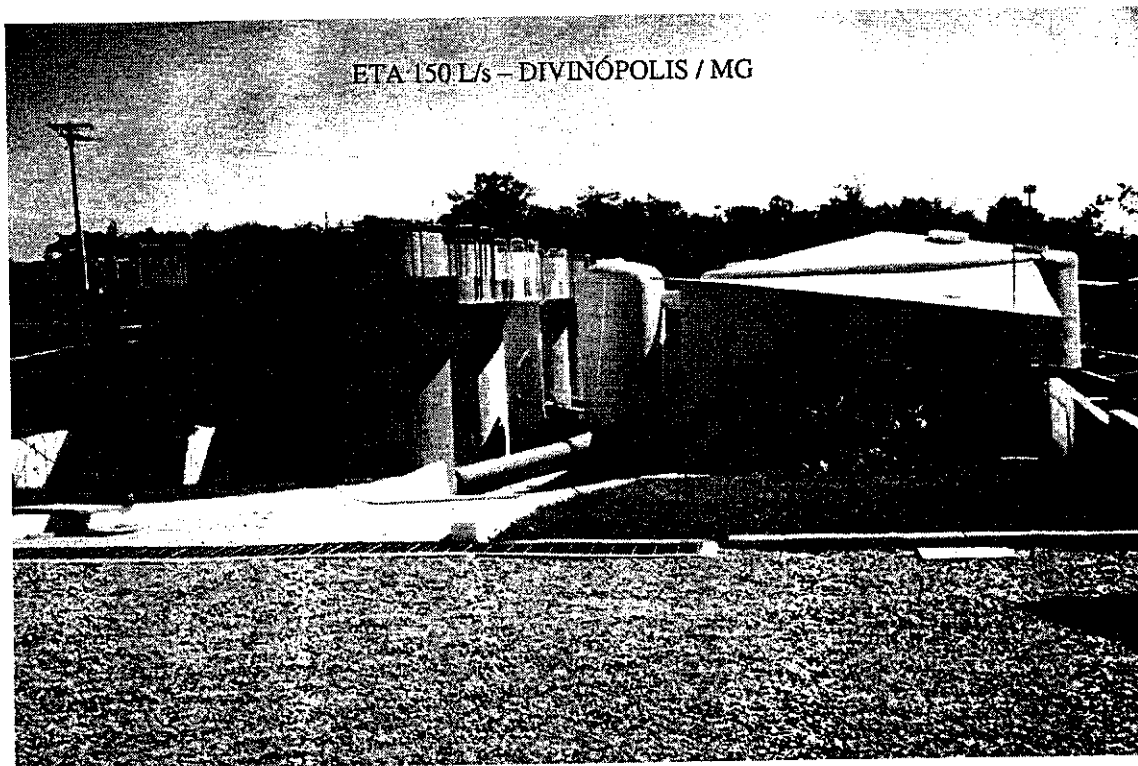


DISEÑO, MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCTIVOS COM FERROCEMENTO PARA AGUA Y SANEAMIENTO

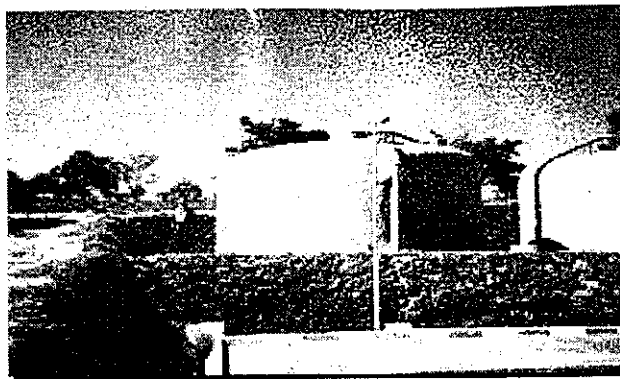
Eng. Civil Sávio Nunes Bonifácio



RESUMEN

El ferrocemento es un material con el que es posible obtener estructuras económicas y de construcción sencilla. Al haber sido puesto a prueba por "Companhia de Saneamento de Minas Gerais- COPASA ", ya que con ese material ha construído depósitos de 250 litros (para agua domiciliaria) hasta 500 m³ y Estaciones de Tratamiento de Agua con capacidades de 3, 5, 8, 12, 18, 24, 33 y 150 l/s, insertados en el programa de saneamiento rural, se ha podido alcanzar el objetivo punta que es la mejora de la calidad de vida del hombre campesino.

Con o desarrollo de proyectos de reactores anaerobios de flujo ascendiente, filtros anaerobios e lecho secante el ferrocemento passó a ser utilizado en el tratamiento mas complejo de saneamiento. Las primeras Estaciones de Tratamiento de Excretas - ETE, fueran inauguradas em 1997. Estas ETE's son proyectadas em modulos de 1000 a 4000 habitantes, con caudal hasta 30 L/s. La eficiencia del reactor está em media de 80% de reducción de DBO.



ETE 30 L/s – BETIM / MG

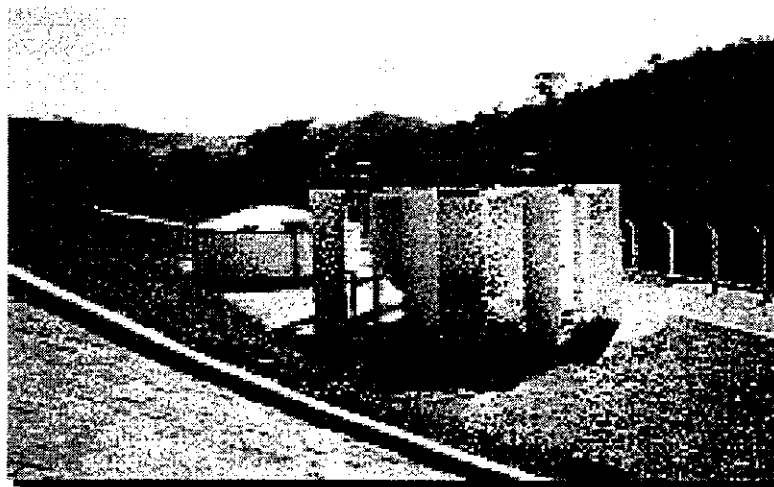
La simplicidad de construcción con el ferrocemento permite que la comunidad esté involucrada en el proceso, especialmente durante la etapa de construcción, cuando se hace efectiva la transferencia de su tecnología a la comunidad beneficiada.

Los enlaces son de tubería PVC blanco tipo alcantarilla, revestida en ferrocemento con espesor de 1,5 cm.

El armazón está compuesto de acero CA-60 y tela hexagonal tejida en tamiz con apertura de 12,5 mm e hilo 24 BWG dispuesto en tres camadas, siendo adaptado el recubrimiento de 1 cm de espesor.

El mortero se preparará con mezcla 1:2 (cemento y arena lavada mediana) y factor agua/cemento igual a 0,5, con la aplicación que nos enseñaron los cubanos, de conformidad a 10 que se extrajo del "Guía para el diseño y construcción de elementos de ferrocemento" del Dr. Ing. Hugo Wainshtok Rivas.

El diseño, materiales y los procedimientos de constructivos de este proyecto se van a ver en el trabajo que vamos a presentar, cuando se pretende colocar nuestra contribución al ferrocemento para agua e saneamiento.



ETA 5 L/s – PADRE PINTO / MG

1. INTRODUCCION

1.1. HISTORIAL:

El ferrocemento tuvo su primeira patente en 1855, atribuída al francés Joseph Louis Lambot. En su descripción consta que se trataba de "un perfeccionado material de construcción a ser usado como sustituto de la madera en construcciones navales y arquitectónicas y también para finalidades domésticas, donde la humedad deve ser evitada". Con ese material Lambot hizo tiestos para plantas, reservorios de agua y pequenos barcos. Durante casi cien anos, poco se llegó a construir con el ferrocemento: pequenas embarcaciones y artefactos de menor importancia, salvo la (honrosa) excepción de la impermeabilización de la primera cúpula geodésica construída en 1922 en Jena, al este de Alemania.

En 1943, el ingeniero italiano Pier Lougi Nervi retomó la técnica de construcción con estudios experimentales del profesor Guido Oberti, de la Escuela Politécnica de Milán. Fueron entonces construídas grandes obras que permitieron la divulgación de la idea en el mundo.

En Brasil y a partir de 1960, la Escuela de Ingeniería de São Carlos empezó a estudiar el material, y allí se formó el denominado "Grupo de São Carlos", en el que se destacarían los profesores Dante A. O. Martinelli y João Bento de Hanai. Los estudios allí conducidos enfocaron la utilización industrial de ese tipo de material, denominándolo "Argamasa Armada".

En 1982 la Universidad Federal del Ceará comenzó el "Proyecto Ferrocemento", a través del profesor Alexandre Diógenes, explorando su construcción artesanal, con buena divulgación por el interior del país. Ese proyecto duró hasta 1988, y dejó semillas importantes para los estudiosos del tema como por ejemplo senda documentación escrita, interesantes concepciones de reservorios, silos, y muchos otros.

1.2. DESENVOLVIMIENTO DEL FERROCEMENTO EN COPASA

La idea de la utilización del ferrocemento en la COPASA MG surgió al final de 1990, através de contactos mantenidos con la oficina de la Asociación Brasileira de Cemento Portland - ABCP - en Belo Horizonte, en búsqueda de soluciones alternativas para los diversos problemas de Ingeniería de estructura correlacionadaos con saneamiento.

Algunas acciones fueron por aquel entonces impartidas al objeto de llevar al conocimiento de los diversos sectores de la empresa la idea del ferrocemento.

La primera oportunidad que hubo de probar dentro de la empresa la utilización del ferrocemento surgió a finales del año 1991, en la localidad de Sá Fortes, situada en el municipio de Antônio Carlos, estado de Minas Gerais. A través de um convenio con COPASA, la municipalidad se hizo cargo de la ejecución de un reservorio de cien mil litros.



**CAIXA D'ÁGUA DOMICILIAR
250 LITROS**

Otra aplicación de esa técnica que tuvo gran éxito fue la construcción en enero de 1992 de más de ciento cincuenta reservorios domiciliarios de agua con capacidad para doscientos cincuenta litros, destinados a la comunidad de Nova Esperança, distrito de Montes Claros, estado de Minas Gerais, beneficiada por el Piloto del Programa Nacional de Saneamiento Rural - PPNSR. El trabajo de construcción se entregó a manos de la misma comunidad, después de breve adiestramiento conducido por la COPASA y resultó en reservorios de muy buena calidad y bajo costo. Al efecto, se transformó el centro comunitario en verdadera industria de reservorios, que después de terminados, eran transportados por los futuros usuarios a bordo de carritos de mano e instalados en sus residencias de las maneras más diversas. Para ese fin, se utilizaban desde cimientos de mampostería hasta puntales de madera dotados de crucetas de sostenimiento, también de madera, en sus extremidades superiores.

Las estaciones de tratamiento de agua de ferrocemento son resultado de la fusión del desenvolvimiento de COPASA en proyectos de ETA' s (Estaciones de Tratamiento de Agua), especialmente del profesor Marcos Rocha y de la tecnología del ferrocemento, estudiada y experimentada por el autor. Factibiliza la obtención de estructuras económicas y de construcción bastante sencilla.

Durante el Programa de Aparcería en Saneamiento Rural (1994), coordinado por el ingeniero José Maurício Resende, tuvimos la oportunidad de probar la construcción de diversas de estas unidades en el interior del Estado, obteniendo éxito en todas ellas. Estaciones de tratamiento de agua para tres litros por segundo, cinco litros por segundo, ocho litros por segundo y doce litros por segundo fueron construídas durante este programa, utilizando mano de obra de la municipalidad y la tecnología de la COPASA, repasada por el autor.

Para estas estaciones de tratamiento de agua, la estructura se compuso de armazón de acero CA - 60 de diámetro 4,2 mm y de tela hexagonal trenzada en tamiz de 12,5 mm de alambre n° 24 BWG, dispuesta en tres camadas. El cemento utilizado es el común encontrado en el mercado local. La arena, industrializada o lavada de río, exenta de polvo y sobretodo, de materia orgánica, pasada por el tamizado ABNT 2,4 mm. La argamasa es preparada en la mezcla 1:2 (cemento:arena lavada) y factor agua/cemento igual a 0,5, siendo aplicada en dos camadas, una primera sobre la tela y una segunda haciendo el acabado.

Las canalizaciones de la ETA son en PVC tipo alcantarilla DN 100, 150, 200 y 300 mm revestidas de ferrocemento.

Los depósitos recibieron pintura interior a base de epoxi y exterior a base de látex. Los filtros son del tipo convencional de COPASA, autolavables o con reservorio elevado para retrolavado, compuestos de arena y carbón antracito, en acuerdo al proyecto patrón de la empresa.

Estas estaciones construídas de esa manera presentaron gran economía utilizando mano de obra de la municipalidad y un costo en torno de un tercio del costo de la ETA de misma capacidad en fibra de vidrio o metálica, que a su vez, son bastante más baratas que las de hormigón armado.

También se construyeron reservorios con capacidad de cinco a quinientos metros cúbicos. Los reservorios presentaron excelente solución, no solo para pequeñas comunidades sino que también para la empresa de saneamiento, con la posibilidad de atender a todo el Estado con estos proyectos.

2. ESTACION DE TRATAMIENTO DE AGUA EN FERROCEMENTO

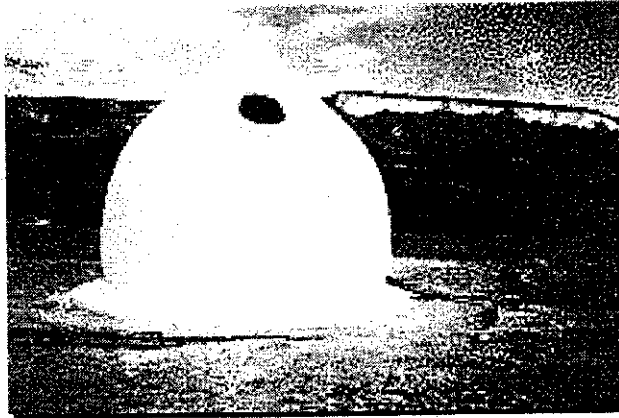
2.1. ASPECTOS ESTRUCTURALES

2.1.1. FORMAS

El ferrocemento es un material que posibilita la construcción artesanal de paredes con espesor reducido. Para tanto, la forma geométrica ideal es la de doble curvatura, al igual que la cáscara del huevo, cura gran resistencia a acción de esfuerzos externos resulta en la figura ilustrativa más característica.

Por esta razón, la estación de tratamiento de agua que construye en la actualidad COPASA tiene formas siempre redondeadas, de modo a obtenerse distribución de esfuerzos en la estructura y economía de cementoy herraje, además de la sencillez constructiva.

Se debe subrayar que las formas y dimensiones de las diversas unidades de la estación de tratamiento de agua posibilitan su construcción sin necesitar de los encofrados tradicionales en obras de hormigón armado y de argamasa armada. Así siendo, se consigue un razonable plus de economía en la obra de ferrocemento.



RESERVATÓRIO 75 m³ - ITAOBIM /MG

2.1.2. ARMAZON

Para la construcción de una estación de tratamiento de ferrocemento optamos por armazón con barras de acero (hilo 3.4 a 6.3mm) o varias capas de tela soldada, más tres capas de tela hexagonal trenzada tamiz de 12,5 mm e hilo n° 24 BWG.

Utilizamos los parámetros característicos del ferrocemento internacional, o sea, la fracción de volumen del armazón y su superficie específica. La disposición de estas capas atienden al mismo tiempo los esfuerzos solicitantes de tracción en la pared cilíndrica y los parámetros característicos del ferrocemento. En acuerdo a los cálculos, la superficie específica, incluidas las capas de telas soldadas, alcanzaba de 0,8 a 1,0 cm² por cm³, lo que nos hizo añadir también tres capas de tela hexagonal trenzada por la cara interior de los depósitos, alcanzando así 1,9 cm² por cm³, dentro de los patrones internacionales de ferrocemento.

Para el armazón de estas telas se utilizaron tablas que orientaban el aplomo y la forma de la estructura. Estas tablas se retiran después de la primera masa.

ARMAZON MANUAL

ARMAZON CON TELAS SOLDADAS



La arena utilizada en el ferrocemento tendrá que ser lavada, de río o en la propia obra, o arena industrializada, debiendo pasar cien por cien en el tamiz 2,4 mm. Sus granos tendrán que ser resistentes y exentos de polvo, impurezas y sobretodo, de materia orgánica.

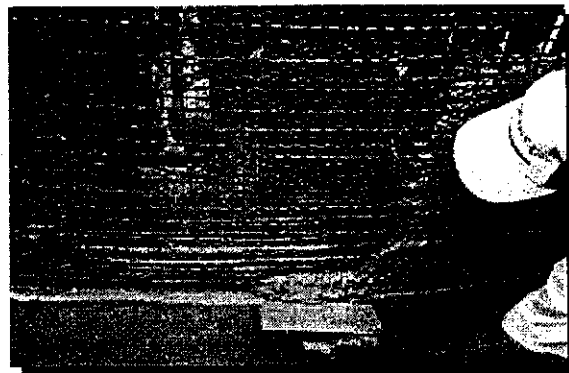
El cemento de preferencia es el tipo de altoshornos CP 111 32 o cemento común compuesto CP II 32 Mpa.

La argamasa deberá ser preparada en la proporción volumétrica 1:2 (cemento: arena lavada) y factor agua cemento igual a 0,5.

ARGAMASADO MANUAL



ARGAMASADO CON CAJA VIBRATORIA



Por lo que respecta a la aplicación de la argamasa, utilizamos diversas maneras, siendo que la que más se destacó fue la caja vibratoria - tecnología cubana extraída del “Guía para el diseño y construcción de elementos de ferrocemento”, o sea, una caja metálica asociada a un vibrador de inmersión, atada a una polea en los andamios por encima del armazón y alimentada de argamasa continuamente. Este tipo de argamasado produce excelente resultado, incluso reduciendo el factor agua cemento para 0,4; una consistencia buena con “slump” bajo y completo envolvimiento del armazón por la masa.

También se utilizó el vaciado manual, o sea, una primera masa sobre la tela hexagonal y una segunda del otro lado rellenando los huecos, aunque debido a la gran cantidad de tela, el mejor resultado se obtuvo con la utilización de la caja vibratoria.

Por lo que se refiere al recubrimiento, subrayamos que de acuerdo con nuestra experiencia en la construcción, utilizamos recubrimientos en tomo de 1,0 cm, que se han portado muy bien, no solo por la inexistencia de grietas a posteriori sino que también por la facilidad de utilizar mano de obra inexperte.

La utilización de la tela soldada nos ha facilitado incluso la reducción de este recubrimiento para 0,5 cm, atendiendo a las orientaciones internacionales.

2.1.4. FUNDACION

Se proyectaron dos tipos de fundación para ETA, de donde se indicó una capa de grava de quince centímetros y sobre ella, una capa de cuarenta centímetros en la proporción 1:20,

utilizando tierra local, arena y cemento. También se indicó la fundación en balasto de hormigón pobre con espesor de 10 cm, apisonado sobre dren de grava.

2.1.5. INTERCONEXIONES

Para las interconexiones de la ETA se proyectó la utilización de tubos PVC blanco tipo alcantarilla DN 300 revestidos de ferrocemento. Estas interconexiones se ejecutarán una vez terminados los depósitos. Para este trabajo no olvidar de poner un refuerzo de herraje en ese local. Nuestra experiencia indica un perfecto empalme de una nueva camada de ferrocemento sobre la camada antigua.

PVC REVESTIDOS DE FERROCEMENTO



INTERCEPTORES EM TUBOS PVC REVESTIDOS CON FERROCEMENTO



2.2. ASPECTOS HIDRAULICOS

La estación de tratamiento de agua es del tipo clásico y contiene las siguientes unidades:

- cámara de recepción, medición de caudal y mezcla rápida;
- floculadores;
- decantadores;
- filtros;
- reservorio de contacto.

El agua bruta es inicialmente encaminada a una cámara de formato cilíndrico, en cuyo interior hay un medidor de caudal del tipo vertedero triangular. La mezcla rápida del coagulante/floculante es efetuada en la caída del agua del vertedero. En caso de ser necesario, alcalinizar previamente el agua bruta; la aplicación del alcalinizante puede hacerse aguas arriba del vertedero, junto a la canalización de recepción de agua bruta en la cámara.

A continuación, el agua coagulada se encamina al floculador, del tipo hidráulico de paredes divisorias horizontales y acto continuo, al decantador, de tipo convencional y de formato

circular, en planta, en el cual el agua floculada es distribuída y recogida alrededor de toda su circunferencia.

Los filtros son del tipo rápido descendente, cuyo lecho filtrante será doble, conteniendo antracito sobre arena. Se concibieron para que operen como sistema de razón declinante variable y autolavable (en esa concepción no hay necesidad de sistema independiente para el lavado del filtro más sucio: él se lava utilizando directamente el agua filtrada por los demás).

Las unidades siguientes son los reservorios de contacto y compensación que suponen una sola unidad, de formato cilíndrico, siendo separados internamente a través de pared de forma sinuosa, que ofrece a la estructura de ferrocemento mayor rigidez y mejor absorción de los esfuerzos.

Al agua filtrada se le añade cloro y se encamina hacia el reservorio de contacto, donde se le asegura el tiempo necesario a la desinfección del agua filtrada. En ese reservorio el agua recibe también la aplicación del ion fluor. A su salida, se le corrige su pH y queda lista para el consumo. Pasa a continuación al reservorio de compensación, de donde se bombea para el sistema distribuidor.

2.3. COSTO

La estación de tratamiento de agua en ferrocemento tiene el costo global de:

Descripción	Precio Unitario - Jul/00 (US\$)	
	Concreto	Ferrocemento
1. Q = 3,0 l/s	38.700,00	12.100,00
2. Q = 5,0 l/s	68.400,00	15.900,00
3. Q = 8,0 l/s	87.000,00	21.200,00
4. Q = 12,0 l/s	128.300,00	29.000,00

Preços com BDI incluso

A este valor se debe sumar la casa de química (laboratorio, recinto de depósito y estancos de preparación de los productos químicos), estaciones de peralte, gastos eventuales y gastos indirectos.

FERROCEMENTO por m ² (US\$)		REACTOR COPASA E = 6 a 8 cm			RESERV. COPASA E = 3 a 5 cm		
MATERIAL	UN	QUANT	PRECIO		QUANT	PRECIO	
			UNIT	TOTAL		UNIT	TOTAL
1 - Cimento CP - 32	sc	0,900	5,39	4,85	0,514	5,39	2,77
2 - Arena lavada	m ³	0,075	2,91	0,22	0,043	2,91	0,12
3 - Aço CA 60 - B Diam. 4,2 mm	ton			-			-
Tela soldada PB 196	m ²	3,630	1,95	7,06			
Tela soldada Q-138 (2,20 kg/m ²)	m ²				2,250	1,90	4,28
4 - Tela Hexagonal ½ " Fio n°24	m ²	3,100	1,15	3,56	3,100	1,15	3,56
5 - Arame negro recozido PG - 7-E	kg	0,060	1,15	0,07	0,060	1,15	0,07
SUB - TOTAL I				15,76			10,81
MÃO DE OBRA							
1 - Armador	h	0,871	1,19	1,03		1,19	-
2 - Pedreiro	h	4,356	0,95	4,13	9,067	0,95	8,60
3 - Servente	h	7,840	0,60	4,70		0,60	-
SUB - TOTAL II				9,87			8,60
TOTAL EM US\$ (18/03/2003)				25,63			19,41
TOTAL + BDI (40%)				35,89			27,18

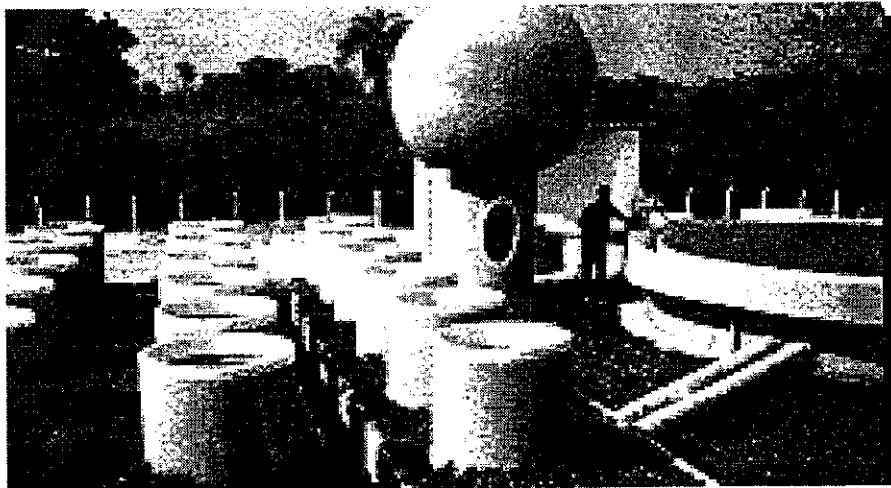
3. CONCLUSION

El ferrocemento se presenta como material de construcción promisor para las empresas de saneamiento, ya que en la ejecución de depósitos de grandes volúmenes sin uso de encofrados la utilización de la tela soldada aliada a tela hexagonal ha permitido rapidez en la construcción, economía en la mano de obra, mejor calidad estética y técnica del producto final, lo que está entusiasmando a todos los constructores.

A lo que sepamos, la estación de tratamiento de agua en ferrocemento para 150 l/s es un proyecto de dimensiones hasta entonces inusitadas.

Subrayamos que el costo de la estación de tratamiento de agua por lo general se sitúa a un tercio del costo de unidades similares. Con sus arquitecturas circulares, está permitiendo la estandarización de la construcción de diversas unidades en el Estado de Minas Gerais. Tenemos la primera unidad en operación hace ya diez años sin que presente cualquier ataque a la estructura de ferrocemento y distribuyendo agua de excelente calidad.

Esperamos con esto contribuir en la utilización del ferrocemento como tecnología apropiada en el tratamiento de agua.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- DIÓGENES, ALEXANDRE D., - Cartilla del ferrocemento artesanal - Universidad Federal del Ceará- Centro de Tecnología - Fortaleza/CE, 1987.
- HANAI, JOÃO BENTO DE, - Construcciones de argamasa armada: fundamentos tecnológicos para proyecto y construcción - São Paulo, PINI, 1992, 198 p.
- RIVAS, HUGO WAINSTOK, - Ferrocement swimming pools: a new and advantageous technique - Journal of ferrocement: vol.24, n° 2, April 1994.

- RIBEIRO/DE PAULA - GABRIEL DE OLIVEIRA/FEMANDO AMORIM, - Análisis estructural del reservorio tipo gota de agua de la COPASA MG - Departamento de Ingeniería de Estructuras - Escuela de Ingeniería de la UFMG, 1995.