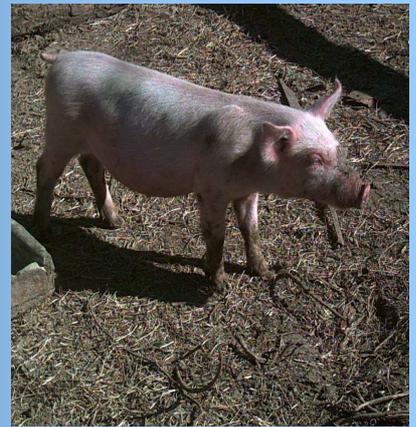




PROYECTO DE EXTENSIÓN

Facultad de Ingeniería - Centro Nacional de Rehabilitación



USO RACIONAL DEL AGUA

Y

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE EXCRETAS DE SUINOS

2008



Equipo técnico

**Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.**

Jefe de proyecto :

Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira

Bach. Javier Marrero



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

Introducción

El presente proyecto se concreta luego de obtener financiación, mediante concurso de propuestas, a través del Fondo Central de Extensión de la Facultad de Ingeniería. Este tipo de proyectos tiene como objetivo diferenciador el intercambio directo de saberes entre la Universidad y el medio. Por parte de la Universidad el equipo de trabajo cuenta con docentes de Facultad de Ingeniería del área hidráulica / ambiental y del Centro Nacional de Rehabilitación (CNR) del área social y técnica (sociólogos, psicólogos y educadores de diversas áreas); participan también en el desarrollo del proyecto los internos del CNR.

En particular se plantea como meta lograr la integración, en todo el desarrollo del proyecto, de los tres fines de la Universidad: la extensión, la investigación y la enseñanza. Extensión, en el sentido de brindar y obtener conocimiento en forma integral, no sólo en lo que refiere al proyecto, sino también en el aspecto vivencial desde una y otra parte. Investigación, para generar conocimiento original integrado al contexto. Enseñanza, planteada para alcanzar que todas las partes de forma articulada logren la comprensión de los proyectos y del contexto en donde se desarrolla.

El CNR es un recinto carcelario que trabaja actualmente con 110 internos aproximadamente y tiene como objetivo la escolarización y formación de los mismos; también brinda una oportunidad laboral al egreso. De esta manera se propende a una adecuada reinserción social de los reclusos, en muchos casos exitosa.

El CNR se ubica en Cno. Carlos A. López s/n entre Av. Garzón y Camino Pororó, en el predio que antes ocupaba el Hospital Psiquiátrico Musto, en el barrio Ferrocarril, en la jurisdicción Centro Comunal Zonal N° 13. Todo el terreno donde se encuentra el recinto pertenece a la cuenca del Arroyo Pantanoso.

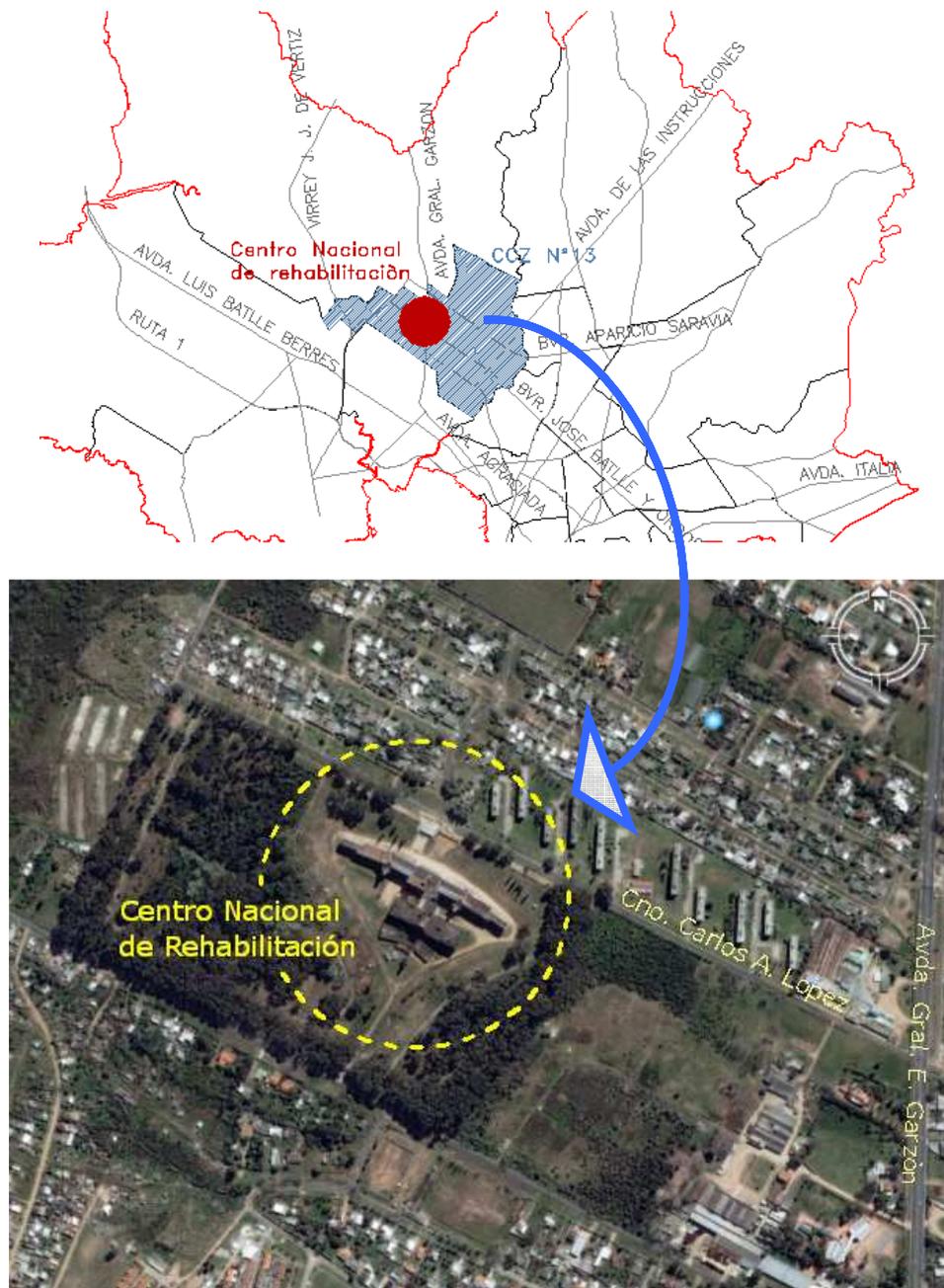


Ilustración 1 - Ubicación del CNR

Los objetivos del presente proyecto se presentan a continuación:

1. Dentro del recinto penitenciario existe un pequeño criadero de cerdos, el cual forma parte del programa de formación de los reclusos. Mediante este proyecto se procura la mejora sanitaria de un recinto en el que se generan excretas de cerdo. Este recinto tiene dimensiones reducidas, ya que es una parte del patio del penal. El estiércol generado actualmente es depositado sin ningún tratamiento en el terreno, lo cual implica un importante riesgo sanitario

asociado. Como agravante, la población del CNR reside permanentemente en el predio, encontrándose en constante interacción con el mencionado riesgo sanitario.

2. Se planteó por parte del CNR la problemática del excesivo consumo de agua de la institución. En primera instancia se planteó la búsqueda de fuentes alternativas al agua de OSE. Luego de un estudio de los sistemas de conducción de agua potable del edificio y de una caracterización del consumo en la institución, se identificaron rubros con excesivo consumo de agua. Se modifica entonces el objetivo del presente proyecto; planteándose la elaboración de un programa de uso racional de agua.



Equipo técnico

Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

Jefe de proyecto :

Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira

Bach. Javier Marrero



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

ÍNDICE

1.	Introducción	5
1.1.	Cultura del agua.....	5
1.2.	Uso eficiente del agua	6
2.	Algunas definiciones	9
2.1.	Dotación	9
2.2.	Curva de consumo.....	10
2.3.	Pérdidas y su cuantificación.	10
2.3.1.	Pérdidas en canillas.....	12
2.3.2.	Pérdidas en la conexión a la red.....	12
2.3.3.	Pérdidas en cisternas.....	13
2.3.4.	Pérdidas en Tanques elevados.....	14
2.4.	Distribución de la dotación doméstica	14
3.	Intervención en la institución	16
3.1.	Descripción de la metodología utilizada	16
3.2.	Relevamiento Realizado.	17
3.2.1.	Consumo mensual de agua potable en la institución.	17
3.2.2.	Curva de consumo horario	19
4.	Descripción de las instalaciones.	24
5.	Determinación de la dotación.....	27
5.1.	Dotación relevada para el CNR	27
5.2.	Comparación de la dotación para el CNR con otras instituciones	28
5.2.1.	Caracterización del consumo.....	32
6.	Diagnóstico.....	42
7.	Reducción del volumen de agua utilizado para evacuación de las excretas.....	47
7.1.	Descripción del sistema actual	47
7.2.	Descripción de otros sistemas de evacuación de excretas.....	49
7.2.1.	Cisternas convencionales.	49
7.2.2.	Mingitorios.	51
8.	Control de pérdidas	52
9.	Reducción de la presión en el sistema.....	54
10.	Hábitos de uso	56
11.	Conclusiones.....	58
12.	Bibliografía	62

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Uso racional de agua.....	7
Ilustración 2 - Consumo de agua por persona	9
Ilustración 3 - Curva consumo agua potable.....	11
Ilustración 4 - Conexión de la red intradomiciliaria a la pública.....	13
Ilustración 5 - Válvula flotador de cisterna	14
Ilustración 6 - Consumos domésticos habituales.....	15
Ilustración 7 - Consumo agua potable 2006 - 2007	18
Ilustración 8 - Consumo agua potable 2006-2007	19
Ilustración 9 - Contador de OSE	21
Ilustración 10 - Curva de consumo horario	21
Ilustración 11 - Comportamiento consumo horario	23
Ilustración 12 - Ubicación de los locales húmedos en ala oeste y zona central.....	24
Ilustración 13 - Imágenes de los baños y cocina del CNR	25
Ilustración 14 - Esquema de la instalación sanitaria interna.....	26
Ilustración 15 - Dotación: Comparación con respecto a un centro de reclusión común.....	29
Ilustración 16 - Dotación: Comparación con respecto a habitantes en diferentes contextos.	30
Ilustración 17 - Dotación: Comparación con respecto a centros educativos y viviendas transitorias.	31
Ilustración 18 - Quintas y Jardines	35
Ilustración 19 - Comparación entre caudal relevado y caudal recomendado.....	36
Ilustración 20 - Pérdida de carga por metro de tubería para un mismo caudal.....	37
Ilustración 21 - Caudal erogado por las duchas.....	39
Ilustración 22 - Caudal erogado por uso del inodoro.	40
Ilustración 23 - Volumen mensual consumido por las diferentes actividades	42
Ilustración 24 - Consumo: Actividades productivas	43
Ilustración 25 - Consumo: Actividades domésticas.....	44
Ilustración 26 - Volúmenes de consumo doméstico.....	45
Ilustración 27 - Válvula de descarga	47
Ilustración 28 - Funcionamiento de la válvula de descarga.....	48
Ilustración 29 - Consumo de agua: válvulas de descarga y cisternas	50
Ilustración 30 - Colocación de cisterna	51
Ilustración 31 - Consumos de los diferentes sistemas de limpieza de inodoros	52
Ilustración 32 - Válvulas reductoras de presión	55
Ilustración 33 - Tubería de bajada a los inodoros	55
Ilustración 34 - Disminución del consumo debido a una reducción de presión.	56
Ilustración 35 - Disminución del consumo debido a cambios de hábitos de uso.....	56
Ilustración 36 – Comparación de consumos medios mensuales	60
Ilustración 37 - Consumo medio mensual.....	61

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 - Costo del agua	6
Tabla 2 - Desperdicio de agua en acciones domésticas	8
Tabla 3 - Cuantificación de pérdidas en canillas	12
Tabla 4 Lectura desde el 28 marzo 2008 al 29 marzo 2008.....	20
Tabla 5 Lectura desde el 8 abril 2008 al 9 abril 2008	21
Tabla 6 - Cálculo de la dotación.....	28
Tabla 7 - Dotación: Comparación con respecto a la dotación de una localidad mediana	31
Tabla 8 - Consumo de agua: Fábrica de pastas	33
Tabla 9 - Consumo de agua: Criadero de cerdos	34
Tabla 10 Consumo de agua: Quintas y jardines	34
Tabla 11 - Consumo de agua: Limpieza del edificio	35
Tabla 12 - Caudales relevados	36
Tabla 13 - Agua utilizada en la cocina	38
Tabla 14 - Hábitos de aseo personal	38
Tabla 15 - Consumo de agua: Aseo personal.....	39
Tabla 16 - Consumo de agua: limpieza de inodoros.....	40
Tabla 17 - Consumo de agua: funcionarios	41
Tabla 18 - Dotación correspondiente a funcionarios.....	41
Tabla 19 - Consumo mensual de agua en la institución	43
Tabla 20 – Actividades consumidoras de agua	46
Tabla 21 – Ahorro de agua por instalación de cisternas.....	49
Tabla 22 - Elementos necesarios para la modificación de la instalación	50
Tabla 23 – Consumo de agua: válvulas de descarga y mingitorios.....	51
Tabla 24 - Consumo de agua utilizando mingitorios y cisternas.....	52
Tabla 25 - Formato para registro consumo horario.....	53
Tabla 26 - Efecto de las intervenciones planteadas sobre el consumo de agua.....	58
Tabla 27 - Efecto de las intervenciones planteadas sobre la dotación.....	58

1. Introducción

1.1. Cultura del agua

Nuestro organismo necesita aproximadamente 2 L/día; de lo contrario no puede realizar adecuadamente procesos biológicos imprescindibles para la vida. Se puede considerar entonces el derecho al agua como un derecho equivalente al derecho a la vida, ya que es una necesidad humana.

Éste es uno de los tantos motivos por lo que tradicionalmente, el agua ha sido considerada como un recurso de “propiedad común”, abundante y accesible a todos por igual, con precios bajos o nulos por la obtención de la misma.

Esto beneficia económicamente al desarrollo de diversas actividades; el agua es un insumo imprescindible para la agricultura, ganadería e industria. La disponibilidad de agua en calidad adecuada es motor de desarrollo.

La sanidad de las ciudades y hogares se relaciona estrechamente con la disponibilidad y calidad del agua. La prevención de enfermedades se encuentra fuertemente relacionada con la higiene, por ende con la disponibilidad de agua en calidad adecuada. Cada día mueren en el mundo más de 25 mil personas, a causa de enfermedades transmitidas por aguas contaminadas, [1].

La gran disponibilidad de agua en nuestro país ha determinado patrones de consumo ineficientes, uso de volúmenes de agua que exceden notoriamente el razonable y/o necesario, lo que resulta en un derroche tanto de agua no tratada como de agua potable.

Cuando el precio de un recurso es muy bajo o se aleja de su costo real, se utiliza sin tomar en cuenta la cantidad usada ni la conservación de las fuentes. Se utiliza agua en exceso y en particular se utiliza agua de calidad potable en volúmenes y actividades para las que no es necesaria, como riego o arrastre para la evacuación de excretas. Hay entonces un problema de valoración del insumo agua: se lo considera muchas veces como un recurso barato o gratis; su costo es lo suficientemente bajo como para tener la percepción de que su derroche no incide en la economía.

El establecimiento de las ciudades lejanas a los ríos y la contaminación de las fuentes de agua cercanas a las mismas ha hecho que el agua se deba conducir desde ríos o fuentes cada vez más lejanas, utilizando para esto energía eléctrica o combustibles de origen fósil. En el caso particular del agua consumida en Montevideo la misma proviene de Aguas Corrientes, a orillas del Río Santa Lucía; esto implica que cada litro de agua consumida se traslade aproximadamente 50 km para llegar al usuario. El traslado del agua a través de cañerías es muy sensible a pérdidas en las mismas; en nuestro país se tiene pérdidas de agua en las cañerías de aproximadamente el 50 % del agua que llega al usuario; esto aumenta el costo de cada litro de agua consumido, ya que por cada litro se paga además medio litro de agua que se pierde en el camino.

El aumento en la contaminación de las fuentes de agua potable, hace que la potabilización de las mismas sea cada vez más compleja y cara. Las anteriores razones hacen que el agua adquiera un valor económico. El agua no es un bien común al que todos tienen derecho, sino un producto con cierto costo, que se vende y se paga. Esta nueva dimensión económica del agua se ha incorporado a las comúnmente manejadas: ecológica, social y política.

La Tabla 1 muestra diferentes costos que se deben ejecutar previamente a que el agua llegue a los domicilios, [2].

	Inversión (U\$S / m ³) mín. – máx.	Operación y mantenimiento (U\$S / m ³) mín. – máx.
Captación de agua bruta	0.50 – 3.00	0.50 – 3.00
Potabilización	0.10 – 0.50	0.02 – 0.30
Distribución	0.60 – 0.90	0.30 – 0.50

Tabla 1 - Costo del agua

La valoración del recurso es una herramienta para la gestión del mismo. Se debe incorporar la valoración del agua a la educación como un proceso de creación de capacidad de acción en actividades de conservación. Si se valora el agua como un recurso precioso y se tiene además conocimientos de técnicas de conservación, la probabilidad de que éstas se utilicen se incrementa.

Se pueden utilizar instrumentos económicos para cambiar el comportamiento en el uso de agua hacia una manera más eficiente. Si no es posible la valoración del agua a través del pago de la misma, se deben encontrar otras formas de valoración del recurso; se debe al menos utilizar herramientas de cuantificación del uso del recurso.

En Uruguay se han tenido experiencias en grupos humanos que no tienen herramientas educativas en valoración del agua y al mismo tiempo no tienen una cuantificación económica del costo del agua, ya que no pagan ninguna tarifa: *“Según un estudio hecho, en los lugares donde están conectados irregularmente, se gasta el doble de agua, de lo que debería consumirse.”*¹

1.2. Uso eficiente del agua

El agua se utiliza en numerosas actividades domésticas, agrícolas, industriales etc., a fin de alcanzar múltiples objetivos.

Algunos ejemplos de uso del agua en el ámbito doméstico: se utiliza agua en el lavado de manos a fin de higienizarlas, se bebe agua a fin de aplacar la sed, se utiliza agua a fin de evacuar las excretas, etc.

El uso eficiente del agua implica que para realizar determinada acción se utilice la misma de manera racional, sin detrimento en la calidad del objetivo a cumplir, pero sin desperdicio del insumo agua.

¹ [3] Carlos Colacce, Director de OSE en entrevista con diario La República.

En muchas actividades el aumento de la cantidad de agua utilizada implica un aumento en la calidad de la acción desarrollada. Se identifica muchas veces el aumento en el consumo de agua con un aumento en la calidad de vida. La relación volumen de agua utilizado/calidad del producto decrece a medida que se utiliza mayor volumen de agua. Una vez determinada la cantidad de agua necesaria para alcanzar determinada calidad o confort en una actividad, carece de sentido incrementar el volumen de agua utilizado en la misma, ya que este incremento no cumple ningún objetivo; puede considerarse una forma de derroche. Lo que produce confort no es el consumo de determinados volúmenes de agua, sino los servicios que el agua proporciona. Un desafío de los consumidores de agua debe ser lograr estos servicios utilizando volúmenes de agua menores.

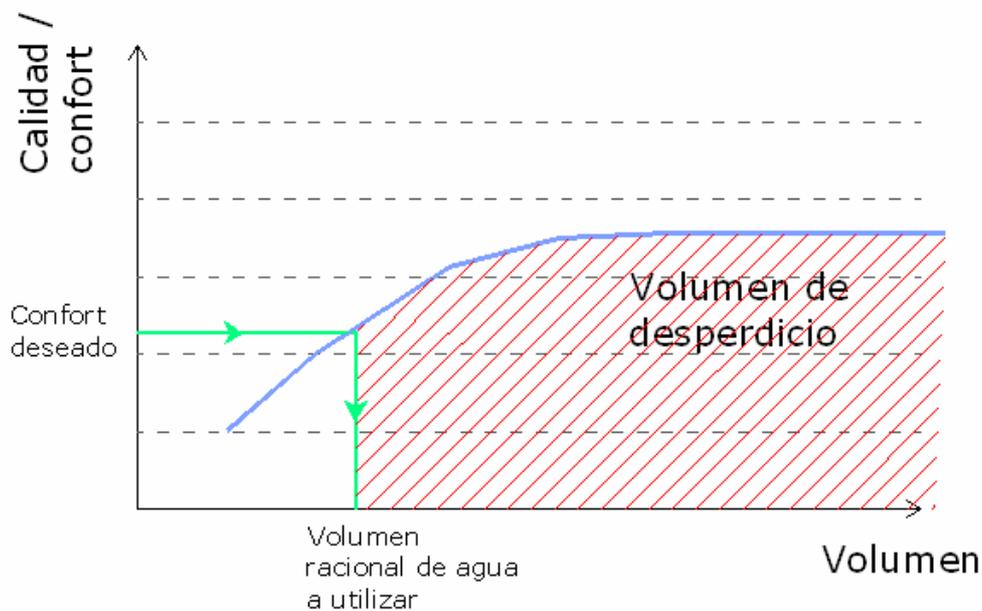


Ilustración 1 - Uso racional de agua

El desperdicio de agua comprende todo uso en el que para realizar una determinada acción se consume más agua que la necesaria para realizarlo con el adecuado confort.

Un ejemplo de lo anterior correspondiente al ámbito doméstico es el agua utilizada para el aseo personal. Se puede realizar el aseo personal utilizando 5 litros de agua, un balde, si se utilizan 30 litros se realizará una limpieza mucho más exhaustiva, si se utilizan 100 L se realizará una limpieza un poco más exhaustiva que si se utilizan 30, pero si se utilizan 1000 L seguramente no se realizará una limpieza mejor que si utilizaran 100. El incremento de la limpieza no es proporcional al incremento de volumen de agua.

Diariamente se desperdicia una cantidad muy significativa de agua en acciones domésticas. La Tabla 2 muestra una cuantificación de volúmenes diarios desperdiciados en acciones domésticas habituales, [4].

Acción	L / día
Lavado de manos	7
Cepillado de dientes	18
Afeitado de la barba	75
Lavado de platos	112

Tabla 2 - Desperdicio de agua en acciones domésticas

Existen algunas medidas que tienden a minimizar el desperdicio de agua y por lo tanto maximizar la conservación:

1. Reducir la cantidad de agua extraída de las fuentes de suministro de agua
2. Reducir el consumo de agua
3. Reducir las pérdidas de agua
4. Aumentar la eficiencia en el uso de agua
5. Aumentar el reciclaje y reuso de agua
6. Evitar la contaminación del agua.

A medida que se incrementa la escasez de agua a nivel mundial, la conservación y el uso sustentable del recurso comienzan a estar en las agendas de los tomadores de decisión a nivel internacional, y aumenta la cantidad de dinero que se destina a la conservación del recurso.

En 1996, en el Acta de Aguas Limpias de los Estados Unidos, se reconoció el valor estratégico de implantar programas de conservación del agua. El uso eficiente del agua, puede generar beneficios ambientales, en la salud pública y beneficios económicos, [5].

2. Algunas definiciones

2.1. Dotación

Se define “dotación” como el consumo o necesidad medio anual de agua por habitante por día. La dotación no sólo considera el consumo que la persona realiza por sí misma, sino también un consumo implícito determinado por que la persona viva inserta en determinada infraestructura ciudadana o urbana. Existe cierto gasto de agua producido en escuelas, liceos, clubes, lavado de ferias, mercados, riego de parques, limpieza de calles, edificios públicos, colectores, etc. La dotación depende entonces de las características y nivel socioeconómico de la persona y del área urbana en la que vive.

La dotación depende de los recursos económicos de los hogares. En hogares de mayores recursos utilizan habitualmente aparatos y tecnologías que consumen mayor cantidad de agua, tales como lavarropas, lavaplatos, piscinas, jacuzzi, riego de jardines. En hogares de menores recursos en los que no se tiene acceso a aparatos de gran consumo o en los que la tarifa de agua es un gran gasto respecto al ingreso del hogar, se consume menos cantidad de agua.

La dotación depende de los hábitos de consumo de los diferentes grupos sociales. Esto se observa en muchas ciudades del interior del país, las que comparativamente con Montevideo tienen hábitos de consumo más moderados.

La Ilustración 2 muestra la dotación de agua potable para diferentes contextos económicos y sociales. Excepto el dato proveniente de EEUU, los datos graficados corresponden a estimaciones de consumo diario por persona realizadas en viviendas de Uruguay.

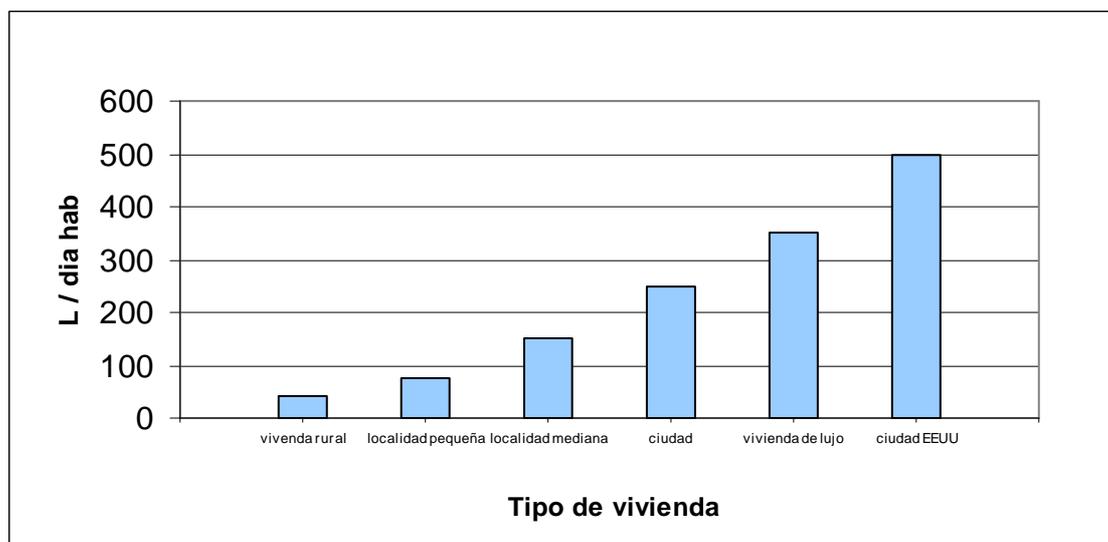


Ilustración 2 - Consumo de agua por persona

2.2. Curva de consumo

Para el caso de consumo doméstico, se observa que las diferentes actividades consumidoras de agua se distribuyen de manera característica a lo largo del día. Muchas tienen horarios usuales o probables, por ejemplo la elaboración de las comidas, que sucede en horas cercanas al mediodía y al caer la tarde. Si se realiza una gráfica del volumen de agua utilizado por hora en un domicilio (o población principalmente domiciliaria), se observa una variación a lo largo del día que tiene habitualmente la siguiente característica:

- Se produce un pico de consumo entre las 11 - 14 horas. Este aumento temporal del consumo se debe al agua usada en preparar alimentos destinados al almuerzo.
- Se produce un pico de consumo, menor que el anterior, entre las 18 - 20 horas. Este aumento se debe a la preparación de la cena.
- Se observa un menor consumo durante la noche. El volumen de agua efectivamente consumido durante la noche es sensiblemente menor al volumen de agua consumido durante el día. Este consumo se debe a recarga de tanques elevados, consumos nocturnos y pérdidas. Debido a características hidráulicas de la red, cuando se tiene una pérdida el caudal vertido por ésta aumenta durante la noche.

Entonces, si el consumo que registra el contador durante la noche es elevado, se puede prever la existencia de alguna pérdida de agua.

Es habitual considerar que el pico de consumo que sucede a mediodía es 1.5 veces el consumo medio diario, mientras que el caudal base es habitualmente 0.7 - 0.8 veces el consumo medio diario.

La Ilustración 3 muestra la variación del consumo en un día de la semana para Itaim Paulista, un barrio predominantemente residencial de San Pablo [6].

2.3. Pérdidas y su cuantificación.

Se denomina pérdida de agua a toda salida de agua de la red pública o intradomiciliaria que se realice de manera incontrolada y / o sin un fin determinado. Las pérdidas de agua se hallan habitualmente asociadas al inadecuado diseño o insuficiente mantenimiento de la instalación sanitaria de los edificios.

En general las pérdidas de agua ocurren por los siguientes factores:

- Derrames: Ocurren cuando hay fugas en el sistema de abastecimiento. Un ejemplo de derrames son las fugas por rotura en cañerías, tanques, o canillas.
- Mal desempeño del sistema: Es frecuente encontrar artefactos que funcionan inadecuadamente; válvulas de descarga de inodoro que vierten agua en

exceso, válvulas de cierre de cisternas convencionales que no cierran en forma hermética, etc.

- Negligencia del usuario. Muchas veces la red se encuentra en condiciones pero el usuario no la utiliza adecuadamente. Un ejemplo habitual es dejar una canilla mal cerrada.

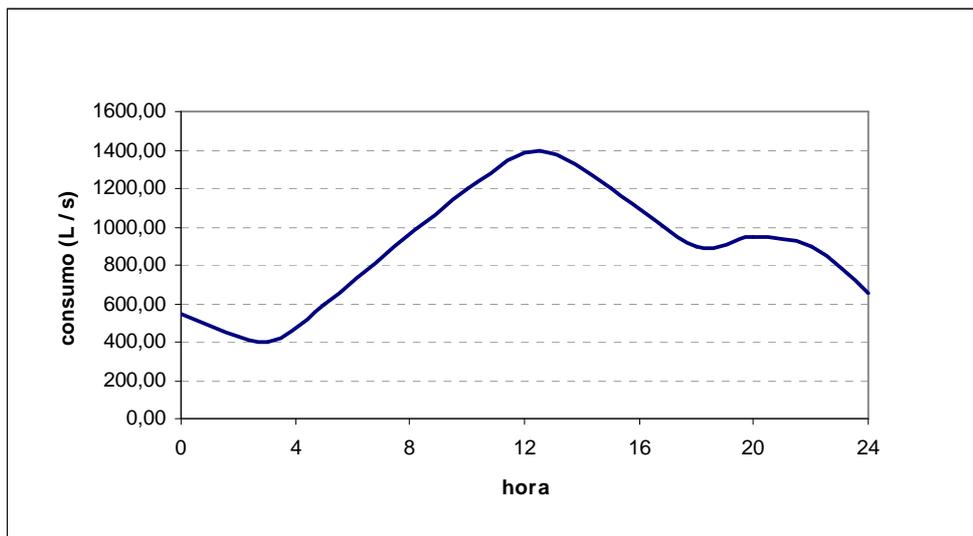


Ilustración 3 - Curva consumo agua potable

Entre las pérdidas más frecuentes se encuentran las que ocurren en canillas, cisternas de inodoros y tanques elevados.

Las pérdidas de agua pueden ser visibles o invisibles al consumidor. Se define como pérdida visible a aquella en la que es posible visualizar el vertido directamente por el ojo humano.

Como indicaciones indirectas de pérdidas no visibles se encuentran los ruidos, la existencia de manchas de humedad en las paredes, hongos o agua estancada. En los edificios en altura, con tanques elevados para distribución, una indicación de la pérdida de agua es que la bomba que eleva el agua al tanque se encuentre continuamente prendida o se observe una entrada de agua constante a los tanques elevados.

Otra indicación indirecta de la existencia de pérdidas es la forma de la curva de consumo de agua potable. A lo largo del día las actividades consumidoras de agua no suceden de la misma manera. En particular, en instituciones como el CNR el consumo durante la noche debería ser pequeño o nulo. Si se observan altos consumos durante la noche es esperable que el mismo se deba a pérdidas. Durante la noche disminuye el caudal utilizado por todos los usuarios de la red; esto hace que aumente la presión tanto en la red interna de los edificios como en la red pública de OSE. Si se tiene entonces una rotura o una canilla mal cerrada el caudal vertido durante la noche será mayor que en el vertido por pérdidas en el día, cuando las presiones son menores.

2.3.1. Pérdidas en canillas

Las pérdidas en las canillas suceden usualmente por dos motivos:

- Negligencia por parte del usuario.
- Válvulas en mal estado.

La negligencia en el uso comprende por ejemplo, un mal cierre de las canillas luego de utilizadas; esto conlleva a un goteo continuo de la misma. Otro tipo de “mal uso” es no cerrar la canilla cuando no se necesita agua.

Muchas actividades no consumen agua a lo largo de toda su duración, sino solamente en intervalos de tiempo pequeños; la duración total de la actividad consumidora de agua es mayor que la de los períodos en que efectivamente se utiliza el agua. El suministro de agua es necesario en ciertos momentos, si se produce a lo largo del tiempo total que dura la actividad se desperdicia parte del agua suministrada. Un ejemplo frecuente y doméstico de lo anterior es el lavado de los dientes: esta actividad es consumidora de agua, pero no es necesario el suministro de agua a lo largo de toda la duración de la misma.

Interiormente la canilla tiene un vástago o aguja que al cerrar la válvula se asienta en una goma o material flexible, usualmente llamado “cuerito”. Es frecuente que al envejecer y endurecerse el cuerito, el vástago no se asiente correctamente y la válvula no cierre.

La Tabla 3 cuantifica las pérdidas de agua en canillas domiciliarias funcionando a presiones usuales debido al cierre inadecuado de las mismas.

Vertimiento	Frecuencia de goteo	Pérdida diaria
Goteo lento	Hasta 40 gotas / min.	6 – 10 L / día
Goteo medio	Entre 40 – 80 gotas / min.	10 – 20 L / día
Goteo rápido	Entre 80 – 120 gotas / min.	20 – 32 L / día
Goteo muy rápido	Imposible de contar	> 32 L / día
Filete diámetro aprox. 2 mm	Imposible de contar	>114 L / día
Filete diámetro aprox. 4 mm	Imposible de contar	> 333 L / día

Tabla 3 - Cuantificación de pérdidas en canillas [7]

2.3.2. Pérdidas en la conexión a la red

Es de importancia tener una conexión a la red en buenas condiciones. Las pérdidas en este tramo de tubería son frecuentes; la Guía CONAFOVI (México) [2] estima que el 73 % de las fugas intradomiciliarias ocurren en la conexión, del total del volumen vertido por pérdidas domiciliarias el 68 % se vierte en la conexión de la red intradomiciliaria a la red pública.

Este tramo presenta además una presión alta en relación al resto de la red intradomiciliaria, por lo que la existencia de una rotura en la conexión implica una pérdida de mayor caudal que una rotura de iguales dimensiones en otro lugar.

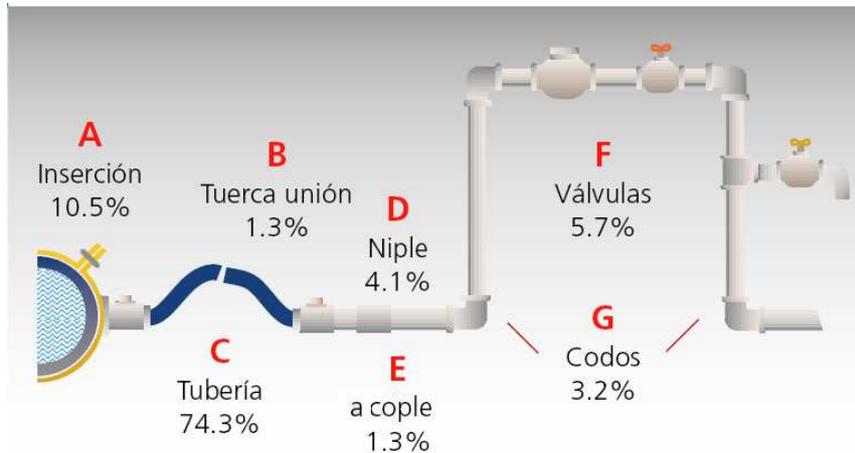


Ilustración 4 - Conexión de la red intradomiciliaria a la red pública

2.3.3. Pérdidas en cisternas

Las pérdidas de agua en cisternas pueden significar volúmenes importantes. Las cisternas que se encuentran en el mercado no tienen usualmente sistemas de cierre robustos, por lo que son artefactos muy susceptibles de pérdidas. Un estudio realizado en Brasil concluyó que este artefacto es responsable de aproximadamente el 35 % del volumen de pérdidas de agua en edificios [8]. Si bien los porcentajes que plantean este estudio y la Guía CONAFOV [2] no son compatibles entre sí, lo que se puede ver claramente es que las pérdidas de mayor magnitud a nivel doméstico ocurren en la conexión y en la cisterna del inodoro.

Para ejemplificar la magnitud que puede significar la pérdida en una cisterna se presentan las siguientes cuantificaciones de caudal de pérdida en cisternas:

- Un estudio realizado en 1993 cuantifica la pérdida en cisternas como 189 L/día [9].
- En cuanto a la frecuencia, en un estudio realizado en Porto Alegre sobre 200 viviendas familiares, se observaron pérdidas en el 30 % de las cisternas [8].

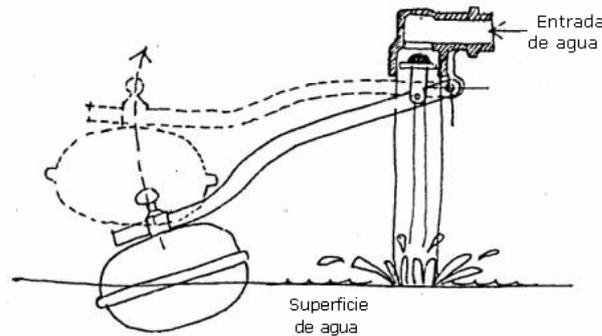


Ilustración 5 - Válvula flotador de cisterna

2.3.4. Pérdidas en Tanques elevados

Otro tipo de pérdida menos frecuente que las anteriores, pero que usualmente implica un gran volumen de agua, son las pérdidas en los tanques elevados de los edificios debido a roturas en la válvula de cierre del mismo.

En los casos de edificios en altura, la presión de la red pública no es suficiente para que se alcancen presiones adecuadas en los pisos superiores. Es por esto que los mismos cuentan con un sistema de bombeo a un tanque elevado, usualmente ubicado en la azotea, y una distribución por gravedad desde el mismo a los diferentes apartamentos del edificio. El tanque elevado es llenado mediante una bomba. El sistema de control de prendido y apagado de la bomba depende del nivel de agua en el tanque. El funcionamiento del sistema implica que si hay pérdidas en el tanque, desciende el nivel de agua y la bomba comienza a recargar el tanque. Un ejemplo de cuantificación de pérdidas en tanques elevados se considera 10000 L/día, 300 m³/mes [10].

2.4. Distribución de la dotación doméstica

El volumen de agua potable consumido diariamente por una persona se utiliza en diferentes actividades. La siguiente gráfica muestra una distribución de consumo para una familia de capacidad económica media alta, con un consumo diario de 220 L/hab-día.

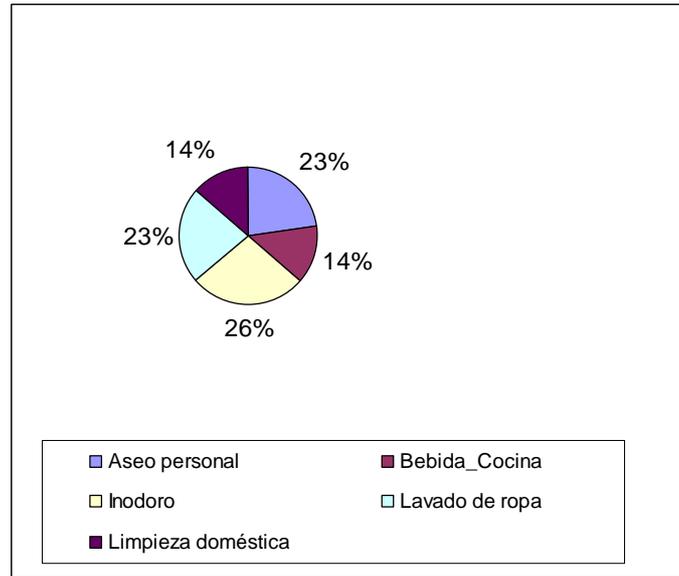


Ilustración 6 - Consumos domésticos habituales [11]

Se observa que las actividades con mayor consumo de agua potable domiciliario son la evacuación de excretas, el aseo personal, y el lavado de ropa. Las medidas reductoras de consumo que se realicen sobre estas actividades tendrán un mayor impacto en volumen de agua consumido. Esta distribución cambia dependiendo de la capacidad económica de la persona, ya que a mayor nivel económico se accede a aparatos que gastan mayor volumen de agua. Una persona con lavarropas tendrá un mayor consumo de agua para lavado de su ropa, que una persona que lave a mano.

La siguiente tabla muestra una cuantificación del desglose del consumo doméstico por actividad [11].

Actividad	Consumo mínimo (L / día)	%	Consumo máximo (L / día)	%
Aseo personal	19	25,0	50	22,7
Bebida, cocina	4	5,3	30	13,6
Inodoro	20	26,3	60	27,3
Lavado de ropa	23	30,2	50	22,7
Limpieza doméstica	10	13,2	30	13,7
Total	76	100%	220	100%

3. Intervención en la institución

3.1. Descripción de la metodología utilizada

La gestión del agua en una institución se debe realizar en cada caso a partir del análisis de la demanda y oferta de agua, en función de los usuarios y actividades consumidoras, y de acuerdo a la posibilidad técnica y económica que tenga la institución.

Se debe considerar una gestión particular para cada institución, no transferible directamente u homologable a otra. Por esto, es imprescindible el conocimiento de las características de consumo propias de cada institución.

Las medidas de reducción en el consumo de agua no significan una disminución de la calidad de vida o confort de los internos.

El trabajo que se realiza se apoya en la metodología PURA, Programa de Uso Racional de Agua. Estos programas dan una sistematización de las intervenciones a realizar en la institución.

Se considera que existen importantes motivaciones para llevar a cabo una gestión eficiente del recurso agua en esta institución:

1. Ahorro generado por la reducción del consumo de agua. Este ahorro se produce tanto por el cambio de hábitos de consumo como por el cambio en el funcionamiento de la instalación.
2. Ahorro generado por la reducción del consumo de energía. El agua proveniente de la red de OSE se bombea hacia un tanque elevado, por lo que el ahorro en el consumo produciría un ahorro de energía en el bombeo de agua. El CNR tiene calderas de calentamiento de agua, por lo que una reducción del uso de agua caliente reduciría el combustible consumido por las calderas.
3. Ahorro generado en la tarifa de saneamiento. Esta tarifa es proporcional al consumo de agua potable medido por OSE, una reducción en la cantidad de agua potable consumida, conlleva una reducción en la tarifa de saneamiento.
4. Reducción de costos operacionales y de mantenimiento de la red de agua.
5. Mejora de la imagen de la institución frente a la sociedad. Esta institución trabaja para la sociedad y es costeada por la sociedad. El uso medido de recursos, que en última instancia son pagos por la sociedad toda, se considera una acción que tiende a mejorar la imagen de la institución.

Se pueden identificar cuatro etapas o acciones sucesivas que componen la metodología PURA y que se ejecutaron en el CNR. Las mismas se enumeran a continuación:

1. Relevamiento.

En esta instancia se tomaron datos a fin de caracterizar y cuantificar el uso de agua en la institución. Se considera necesario conocer el consumo de agua dentro de la institución para:

- Identificar las actividades que implican consumo de agua.
- Identificar qué actividades consumen porcentualmente mayor cantidad de agua respecto al consumo total.
- Identificar cuáles de estas actividades tienen volúmenes de consumo asimilables a normales o usuales, y cuáles volúmenes excesivos.
- Identificación de pérdidas.

A partir de lo anterior se identifica un grupo de actividades consumidoras de agua en las que es prioritaria la intervención. Éstas son las actividades que tienen alto peso en el volumen total de agua consumida y al mismo tiempo utilizan un volumen de agua excesivo, lo que hace sospechar que puede estar habiendo desperdicio del líquido.

2. Diagnóstico.

Se presenta la información relevada de forma organizada, utilizando una metodología que permite la fácil comparación de datos, sean los mismos cuantificables o no.

3. Plan de intervenciones.

Se explicita un conjunto de posibles acciones a realizar en la institución que tiendan a reducir el consumo de agua potable y que se consideran potencialmente exitosas. Se realiza una estimación del ahorro esperado mediante las mismas.

4. Evaluación de las intervenciones.

Se evalúa el efecto generado por las intervenciones realizadas, a través de un monitoreo a lo largo del tiempo. Es importante que la gestión de consumo de agua no elabore solamente metodologías de reducción de consumo, sino también la manera de cuantificar el impacto y la eficiencia de las mismas.

3.2. Relevamiento Realizado.

3.2.1. Consumo mensual de agua potable en la institución.

Se obtuvieron los consumos mensuales históricos que registran las tarifas de OSE para el período comprendido entre octubre 2006 y setiembre 2007. Se trata, por lo tanto, de los consumos medidos en el contador de la institución.

La Ilustración 7 muestra el consumo mensual de agua potable registrado en dicho período.

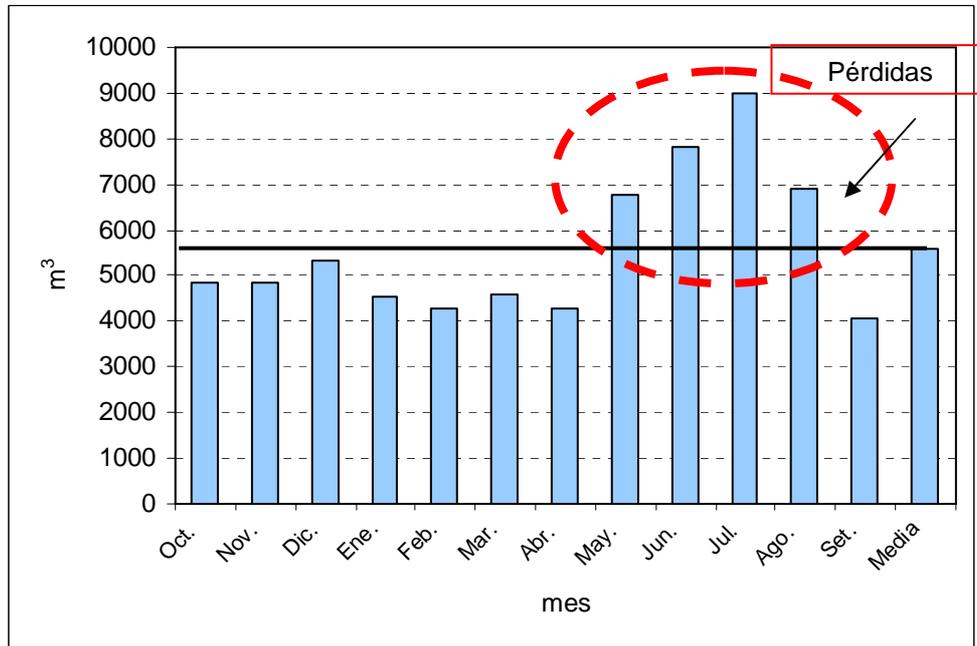


Ilustración 7 - Consumo agua potable 2006 - 2007

De estos datos resulta que el consumo medio mensual de agua potable observado es de 5604 m^3 . Se observa un pico de consumo registrado en el período mayo – agosto. Este pico de consumo corresponde a una pérdida ubicada cercana al contador de agua. Esta pérdida se identificó y reparó; luego de reparada, se observa un regreso al volumen de consumo mensual normal o promedio.

La gráfica da una idea del volumen de pérdida que conlleva una rotura en la instalación sanitaria interna. El volumen de pérdidas registrado durante los 4 meses de existencia de la fuga se estima de 12.133 m^3 , lo que corresponde al consumo de agua realizado por la institución en poco menos de 3 meses.

Para estimar el consumo de agua potable promedio mensual en la institución, se realizó un promedio del consumo registrado en el período 2006 - 2007 sin tener en cuenta los meses en que se registraron pérdidas. La Ilustración 8 muestra el descenso en el valor medio de volumen mensual consumido al reparar la pérdida en la instalación.

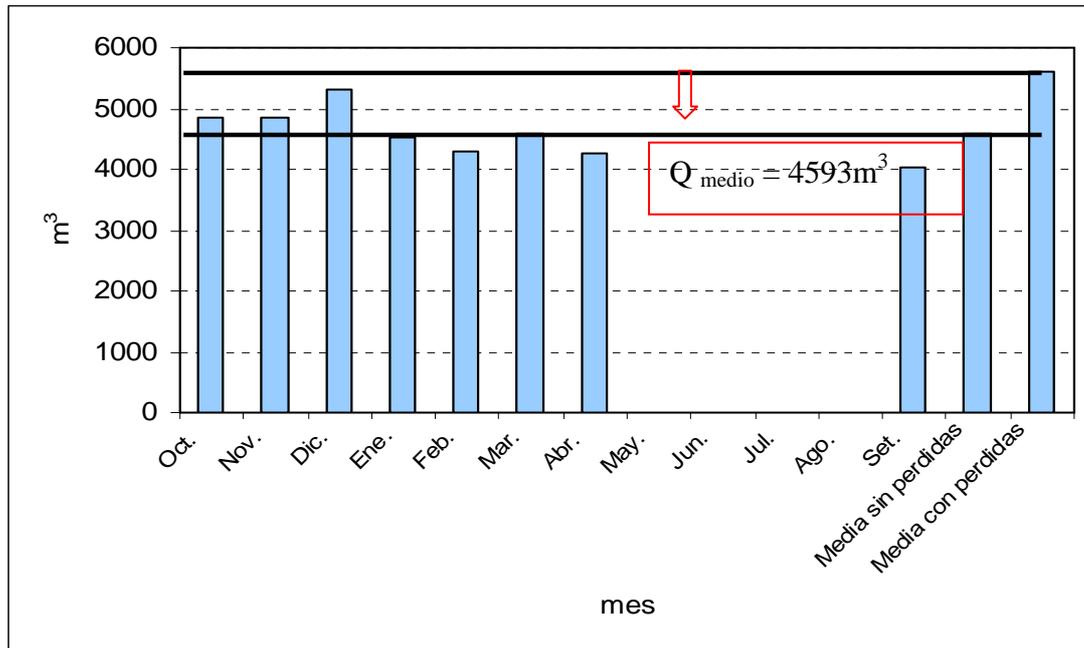


Ilustración 8 - Consumo agua potable 2006-2007

3.2.2. Curva de consumo horario

A solicitud del equipo de Facultad de Ingeniería, los funcionarios del CNR realizaron un relevamiento de la variación horaria del consumo en la institución. Utilizando estos datos, se trazó la curva de consumo horario de la institución.

El relevamiento fue realizado por parte de la guardia perimetral a lo largo de dos días: 28 – 29 de marzo y 8 - 9 de abril. Cada una hora la guardia registró la lectura del contador, que indica el volumen de agua acumulado que ingresa a la institución. La Ilustración 9 muestra el nicho donde se ubica el contador en cuestión y la ubicación del mismo en el predio.

Las Tabla 4 y Tabla 5 muestran las lecturas realizadas en el contador, y el volumen consumido por hora resultante.

Hora inicial	Lectura volumen (m3)	Hora final	Lectura volumen (m3)
10	88303	10,46	88303
12	88309	11,53	88309
14	88333	14,33	88334
15	88338	15,4	88338
16	88342	16,47	88342
18	88354,5	18,32	88354,5
19	88365	19,32	88365
21	88372	31,05	88372
22	88373	22,05	88373
23	88378	23,06	88378
0	88383	0,02	88383
1	88385	1,05	88385
2	88386	2,05	88386
3	88387	3,05	88387
4	88394	4,02	88395
5	88397	5	88397
6	88399	6,02	88401
7	88401	7,02	88403
8	88412	8,05	88412
9	88416	9,05	88416
10	88420	10,05	88420
11	88426	11,05	88426

Tabla 4 - Lectura desde el 28 marzo 2008 al 29 marzo 2008

Hora inicial	Lectura volumen (m3)
18	89748
19	89752
20	89760
21	89769
22	89773
23	89776
24	89778
1	89786
2	89793
3	89796
4	89798
5	89802
6	89805
7	89808
8	89810
9	89818
10	89828
11	89832
12	89838
13	89846

14	89857
15	89866
16	89869

Tabla 5 - Lectura desde el 8 abril 2008 al 9 abril 2008



Ubicación

Nicho

Ilustración 9 - Contador de OSE

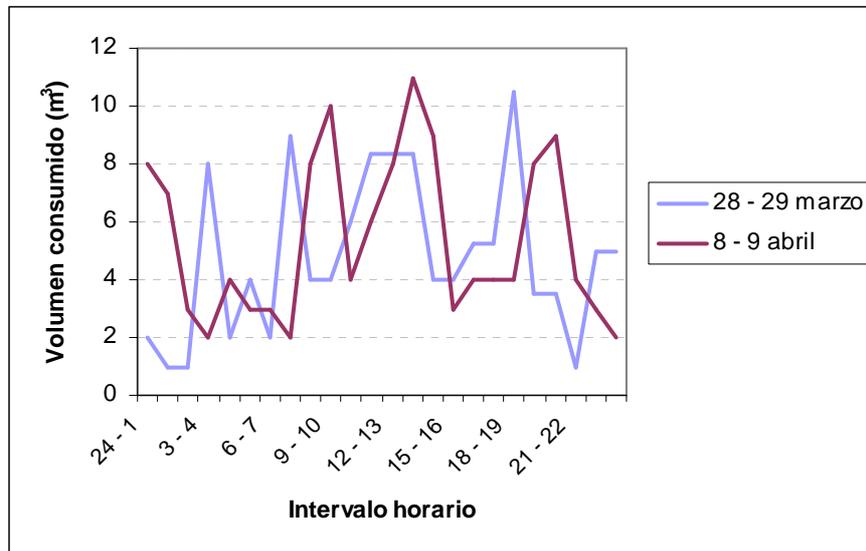


Ilustración 10 - Curva de consumo horario

En la Ilustración 10 se pueden observar cuatro picos en el transcurso de las 24 horas:

- Existe un pico de consumo entre las 7 y 9 horas. El mismo puede corresponder a duchas tomadas en la mañana.

- Existe otro pico de consumo entre las 12 y 14 horas. El mismo puede corresponder a la preparación de la comida, lavado de la vajilla, etc.
- Existe un tercer pico de consumo entre las 18 y 20 horas. El mismo puede corresponder a duchas luego de la jornada laboral y a la preparación de la cena.
- Existe un cuarto pico de consumo en las primeras horas de la madrugada. Éste puede deberse a una recarga del tanque inferior.

El edificio del CNR tiene un sistema de abastecimiento indirecto. El agua de la red se conduce hacia un tanque inferior (Ilustración 14), desde el que es bombeada hacia un tanque elevado y posteriormente distribuida al edificio.

Tanto el tanque superior como el tanque inferior tienen dispositivos de control que indican el nivel de agua en los mismos. El bombeo desde el tanque inferior al superior se produce cuando el tanque superior, luego de distribuir agua al edificio, se encuentra vacío, y el tanque inferior se encuentra lleno. Luego de producido el bombeo desde el tanque inferior al superior el tanque superior se encuentra lleno y el inferior vacío, por lo que el tanque inferior comienza a llenarse con agua de OSE.

El pico de consumo que sucede en las primeras horas de la madrugada se puede deber entonces a una recarga del tanque inferior. Otro motivo por el cual se puede producir este pico es debido a un aumento en la presión de la red de OSE y un aumento en las pérdidas que se producen en la red interna al CNR. Debido al menor consumo de agua que sucede durante la noche aumenta la presión en la red pública de OSE, red externa al CNR. La presión en la red de OSE es prácticamente la misma que en el tramo desde el contador hasta el tanque inferior; si existiese una pérdida en la red en el tramo desde la conexión hasta el tanque inferior aumentaría entonces el caudal vertido por la pérdida.

La siguiente gráfica muestra la variación del consumo horario respecto a la franja de curvas de consumo horario relevada en la Región Metropolitana de San Pablo, RMSP [6] en un área residencial. Según la misma fuente, el comportamiento típico para la mayoría de los sectores es que el caudal mínimo ocurra aproximadamente a las 3 de la mañana, el caudal máximo aproximadamente a las 12, y el caudal medio sea coincidente con el consumo en el período entre las 7 y las 8, o entre las 18 y las 22 horas.

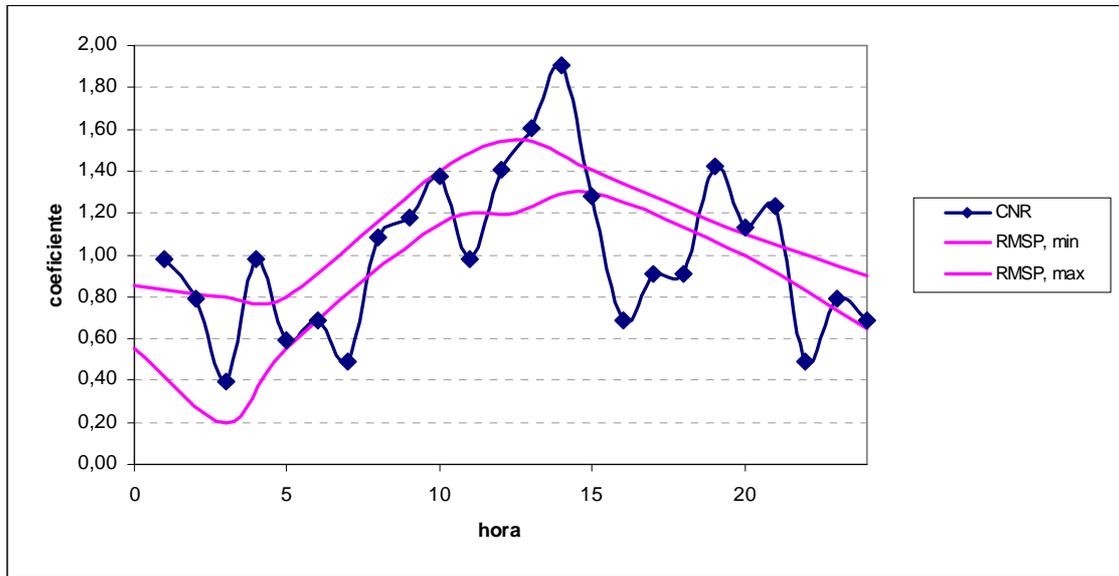


Ilustración 11 - Comportamiento consumo horario

Se observa que la curva de consumo horario relevada en el CNR es diferente a la franja en las que se encuentran las curvas de consumo horario características de un barrio residencial relevado en la RMSP.

Esto es esperable, debido a que:

- Algunas actividades que se realizan en el CNR no son actividades características de domicilios: criadero de cerdos, aserradero, quintas, etc.
- El consumo de agua desde la red de OSE no sucede al mismo tiempo que las actividades consumidoras de agua; el ingreso de agua de la red se da cuando se llena el tanque inferior.

4. Descripción de las instalaciones.

A lo largo de las visitas realizadas al CNR se relevó la ubicación, cantidad y condiciones de los baños del edificio.

El edificio consta de cinco plantas: planta baja, en la que se encuentran un gran hall, algunas oficinas y baños para el personal de las oficinas; los pisos uno al tres, que albergan las habitaciones de los internos; y el piso cuatro, en el que se localizan el comedor, cocina, salón de actos, y oficinas de la administración.

El edificio tiene dos alas simétricas (alas este y oeste), y un cuerpo central. Cada ala tiene seis baños, mientras que el cuerpo central tiene tres. En la siguiente figura se observa un esquema de las instalaciones y una ubicación aproximada de los locales húmedos por piso.

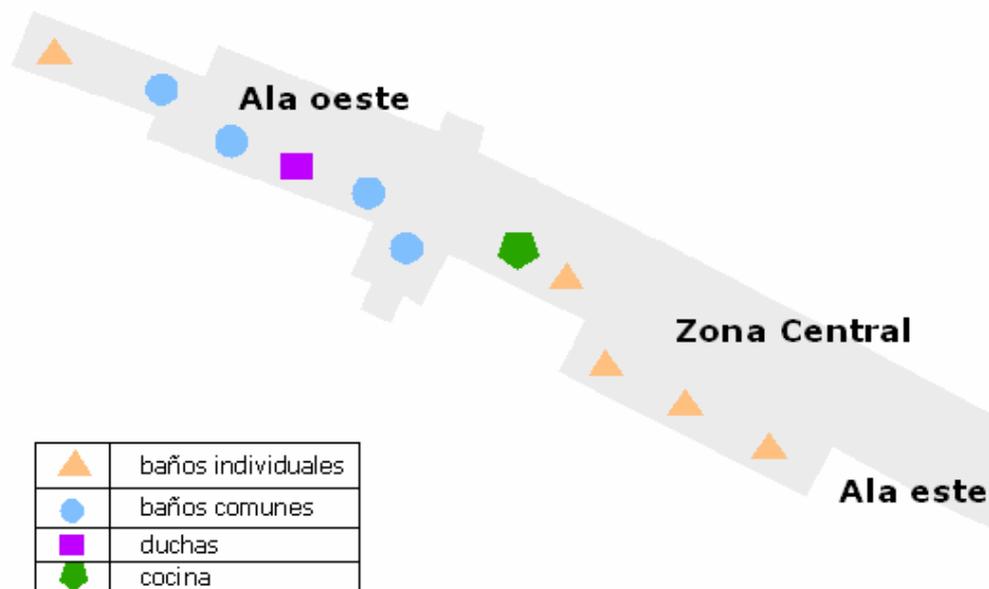


Ilustración 12 - Ubicación de los locales húmedos en ala oeste y zona central

En el CNR se identificaron los siguientes locales húmedos:

- Baños individuales de tipo social, destinados al uso de las visitas y educadores. Cada baño tiene un inodoro y un lavamanos.
- Baños comunes, destinados al uso por los internos. Estos baños tienen tres cubículos con inodoro, y dos lavamanos de uso común.
- Local de duchas. En éste se encuentran dos baños, cada uno con inodoro y lavamanos, 4 piletas comunes dedicadas al lavado de ropa, y 5 ducheros.
- Una tisanería, con tres piletas. Esta cocina es utilizada por los internos para calentar alguna colación entre comidas, pero no para preparar almuerzo ni

cena. En efecto, las comidas principales se preparan en común en la cocina de la institución.

Al momento de las visitas, los baños recorridos se encontraban en buen estado. Algunos de los accesorios se encontraban rotos; canillas en las que faltaba una parte a la tubería de descarga, duchas sin roseta, etc. En todos los casos las válvulas se encontraban funcionando correctamente. No se observaron pérdidas por roturas en los accesorios. En una canilla se observó una pérdida debido a que se encontraba mal cerrada.

Ninguno de los baños constaba con dispositivos ahorradores de caudal, solamente en uno de los grifos de los baños pertenecientes a los educadores se observó un aireador.

La Ilustración 13 muestra imágenes de los diferentes locales húmedos existentes en el CNR.



Ilustración 13 - Imágenes de los baños y cocina del CNR

La instalación sanitaria interna del CNR, así como muchas instalaciones de edificios en altura, no recibe agua directamente de la red. Para que el agua se distribuya con una adecuada presión en los pisos superiores, es bombeada hacia un tanque elevado y desde allí distribuida a los pisos inferiores. La Ilustración 14 muestra un esquema en corte de la instalación sanitaria interna del CNR. El agua proveniente de la red pública se conduce a un depósito inferior. Desde este depósito, el agua es bombeada hacia un tanque elevado. Desde el tanque elevado, el agua es distribuida por gravedad hacia las diferentes plantas del edificio.

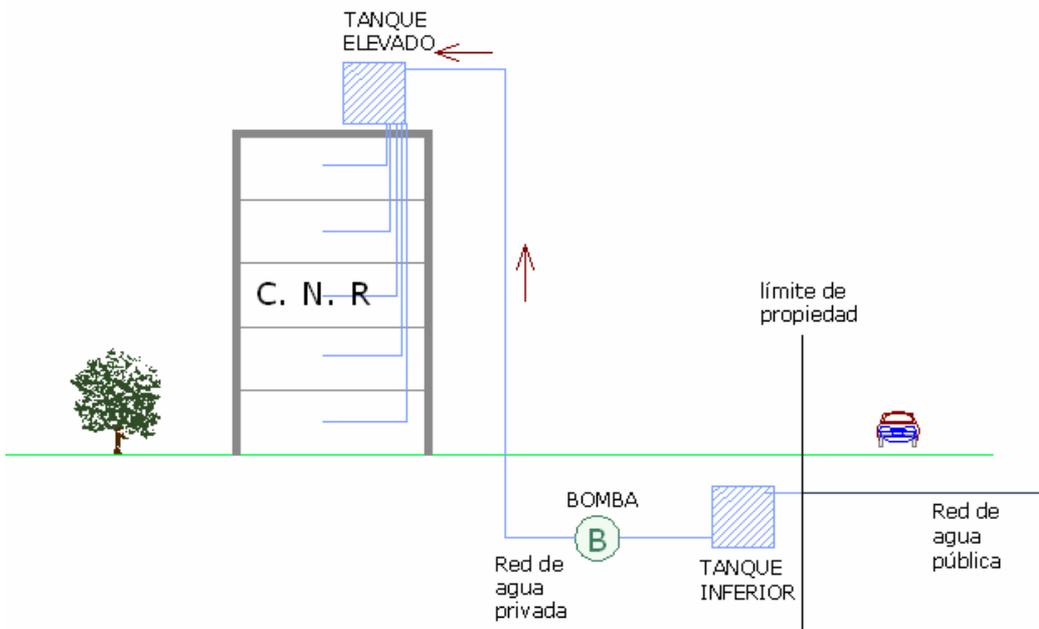


Ilustración 14 - Esquema de la instalación sanitaria interna

Es importante destacar que el edificio donde se ubica el CNR fue originalmente un hospital. Luego de cerrado el mismo se reconstruyó el edificio y se instaló el centro que funciona actualmente. Es por lo anterior que la instalación sanitaria interna tiene características correspondientes a edificios hospitalarios.

Los requerimientos de agua que demanda un hospital son mucho mayores que los correspondientes a un centro penitenciario. Un hospital que tiene restricciones en la disponibilidad de agua implica un alto riesgo para la vida de las personas que en él se albergan, por lo que la instalación sanitaria debe ser mucho más robusta y segura que la instalación de cualquier otro edificio. Esto se observa en el CNR, la instalación tiene diámetros grandes y se halla diseñada de manera robusta, de modo que una rotura en una tubería no implique el desabastecimiento del edificio ni de un piso entero.

Pérdidas en la instalación

Se encontró una pérdida en la instalación, en el tanque elevado. Este tanque tiene una válvula flotador que regula la entrada de agua. La misma se cierra cuando se alcanza el máximo nivel de agua permitido en el tanque. Esta válvula se encontraba fuera de funcionamiento, por lo que el tanque vertía continuamente por su rebalse.

5. Determinación de la dotación.

5.1. Dotación relevada para el CNR

Una vez determinado el volumen promedio mensual de agua consumida por la institución, se puede calcular la dotación característica de la misma. La dotación de una institución o actividad es el volumen de agua diario que se le asigna a alguna característica cuantificable de la institución y que caracteriza el tamaño de la misma, de manera que si la cantidad de esa característica aumenta, también aumente la magnitud de la institución o actividad de forma aproximadamente proporcional.

Al asignar la dotación a una característica proporcional al tamaño de la institución, se puede comparar dotaciones para instituciones de diferente tamaño.

Algunos ejemplos de dotaciones para instituciones:

- Escuelas: la dotación es el volumen de agua que se asigna a cada alumno.
- Restaurantes: es el volumen de agua asignado por mesa, o metro cuadrado de comedor, o comida elaborada.
- Hospitales: es el volumen de agua por cama.

En el caso de una institución de rehabilitación, se determina como dotación el volumen diario de agua asignada a cada interno, ya que son los usuarios de la institución.

La dotación no es el volumen de agua que consumen directamente los internos; la dotación incluye cierto volumen de pérdidas, volumen de agua consumida por los funcionarios, volumen consumido por actividades laborales, como fábrica de pastas, criadero de cerdos, etc. Se puede definir la dotación como el volumen de agua por interno que la institución consume para llevar a cabo su función.

La dotación incluye el volumen de agua que se consume en mantener la infraestructura en la que vive inserto el interno realizando todas las actividades y servicios de los que es usuario. En este caso, se define como servicios a las posibles actividades que el interno puede realizar en el CNR.

Entre estos servicios se encuentran los emprendimientos laborales que alberga la institución y forman parte del programa de reinserción social y laboral que se lleva a cabo y diferencia al CNR de otras instituciones penales del Uruguay. Incluidos están entonces en el volumen de agua asignada a la dotación de los internos los volúmenes de agua que consumen el aserradero, carpintería, quintas, jardines y criadero de cerdos.

Usualmente el consumo de los funcionarios se incluye en la dotación correspondiente a los usuarios. Por ejemplo, en hospitales, el consumo de los médicos, enfermeras, personal de limpieza se incluye en la dotación, es decir en el volumen de agua por cama. En escuelas, el consumo realizado por las maestras se incluye también en la dotación por alumno. En el caso del CNR hay 80 funcionarios y 110 internos. El peso del número de funcionarios en relación al de internos es alto, por lo que se espera que también el consumo de los funcionarios sea significativo en el total; por lo tanto, se

decide no incluirlo en la dotación asignada a cada interno. Se calcula el consumo correspondiente a los funcionarios en el subcapítulo 5.2.1. Se calcula la dotación por interno utilizando la siguiente tabla:

Volumen de agua mensual consumido por la institución	4593 m ³ / mes
Volumen de agua mensual asignado por los funcionarios	414 m ³ / mes
Volumen de agua mensual asignado a los internos	4179 m ³ / mes
Cantidad de internos	110
Volumen de agua diario asignado por interno	1266 L / día

Tabla 6 - Cálculo de la dotación

5.2. Comparación de la dotación para el CNR con otras instituciones

La dotación es un concepto que se puede utilizar para realizar comparaciones de consumo. Hay que ser cuidadoso al determinar qué comparaciones de consumo son válidas, ya que se pueden falsear los resultados e interpretaciones si se comparan números pertenecientes a instituciones con características y objetivos diferentes. Las comparaciones entre las dotaciones que siguen a continuación se realizan para determinar si el volumen de agua asignado por interno se encuentra dentro de un orden de valores razonable.

El CNR tiene características particulares que hacen que no sea una institución con una dotación comparable a la de un centro penal convencional. No se encontraron datos en la bibliografía para dotaciones de instituciones con características similares al CNR. Se decide entonces realizar comparaciones de dotación para varias instituciones y hogares de Uruguay.

Esta comparación sirve como indicativa de la gestión del recurso que se realiza; no son determinantes. Los valores de dotaciones que se presentan no tienen por qué ser valores esperables para el CNR.

La Ilustración 15 muestra una comparación del agua asignada por interno del CNR y una institución penal uruguaya [11].

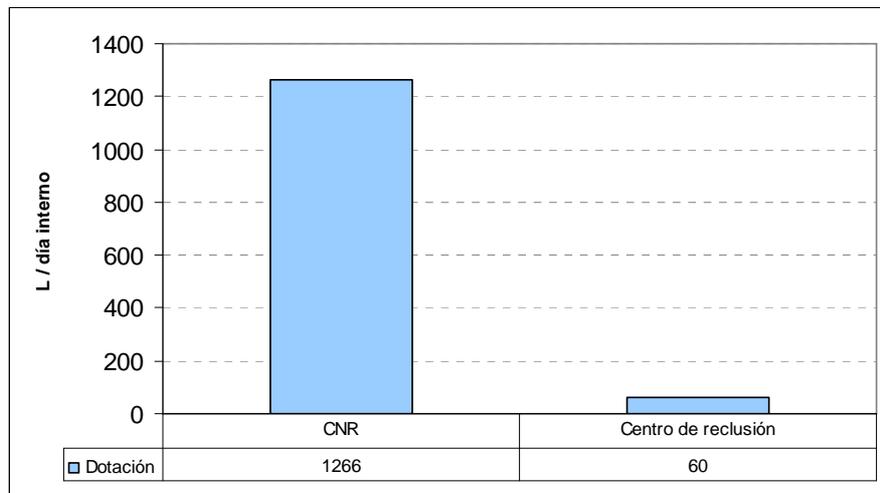


Ilustración 15 - Dotación: Comparación con respecto a un centro de reclusión común.

Sin duda esta gráfica muestra una asignación de volumen de agua por interno del CNR elevada en comparación a otros centros de reclusión.

Al analizar la anterior comparación se debe tener en cuenta:

- Existen actividades en el CNR que forman parte del proyecto de reinserción social que los internos realizan, tales como los emprendimientos productivos y laborales. Estos emprendimientos consumen agua potable y por lo tanto aumentan la dotación asignada a los internos. Estas actividades son diferenciadoras del CNR frente al resto de las instituciones penales y forman parte de los objetivos de la institución. En los siguientes capítulos se cuantificará el volumen de agua consumido por estas actividades.
- El CNR tiene como meta institucional que la calidad de vida y confort de los internos sea próxima a la que pueden tener en condiciones de libertad. Por esto, se considera más válida la comparación entre la dotación del CNR con la dotación de un hogar uruguayo que con otra institución carcelaria.

La Ilustración 16 muestra una comparación de la dotación asignada al CNR respecto a la dotación de personas viviendo en diferentes contextos. El volumen de agua que se asigna a los habitantes de diferentes lugares depende de las condiciones económicas, de infraestructura y costumbres del mismo. Salvo cuando se explicita lo contrario, los datos que se observan en la tabla corresponden a viviendas uruguayas.

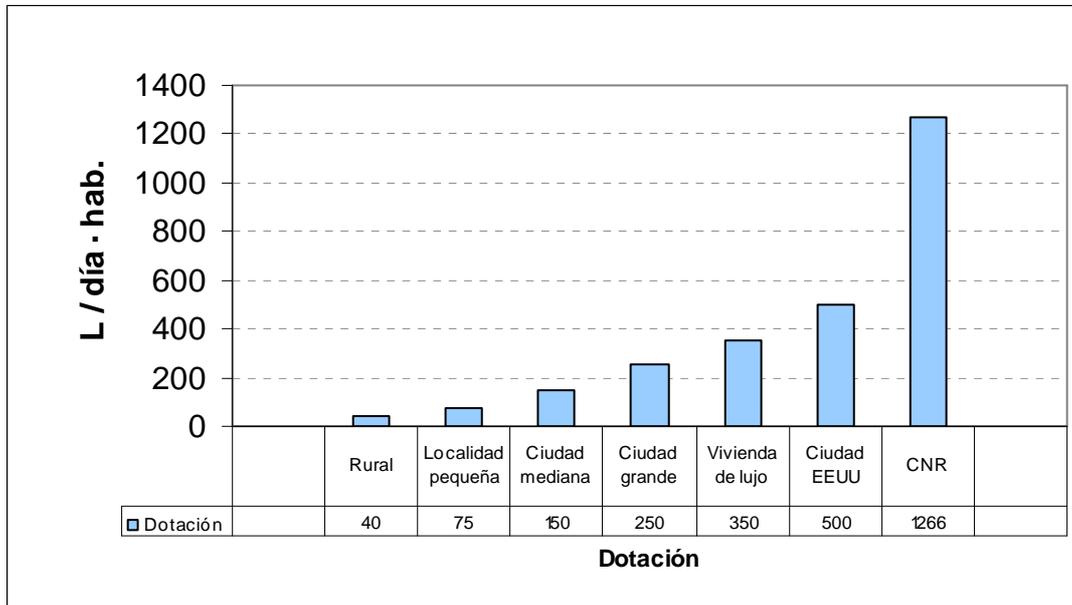


Ilustración 16 - Dotación: Comparación con respecto a habitantes en diferentes contextos.

Se observa que el CNR tiene una elevada asignación de agua potable respecto a habitantes en variados contextos sociales y económicos. Se observa que la dotación correspondiente al CNR es cuatro veces mayor que la correspondiente a una vivienda de lujo y aproximadamente seis veces mayor que la dotación de un habitante de Montevideo.

La Ilustración 17 muestra una comparación con respecto a instituciones con fines educativos y lugares de vivienda transitoria. Estas dotaciones tienen incluido el consumo realizado por los funcionarios de servicio, cocineros, funcionarios de limpieza, etc. La dotación indicada como "escuela" corresponde a una escuela con régimen de internado.

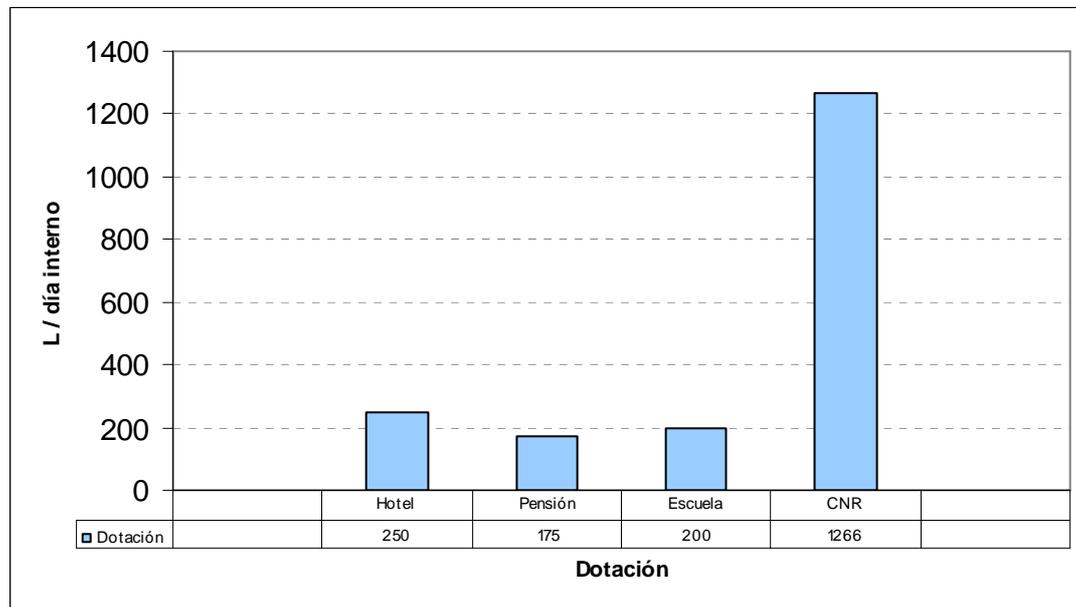


Ilustración 17 - Dotación: Comparación con respecto a centros educativos y viviendas transitorias.

La Tabla 7 muestra una comparación de las anteriores dotaciones con respecto al volumen de agua asignado por habitante a una localidad mediana en el interior del país. Se considera realizar dicha comparación ya que la institución se encuentra en Montevideo rural.

Ítem	Dotación (L / hab · día)	%
Rural	40	27
Localidad pequeña	75	50
Localidad mediana	150	100
Ciudad	250	167
Vivienda de lujo	350	233
Ciudad EEUU	500	333
Hotel	250	167
Pensión	175	117
Escuela	200	133
CNR	1266	844

Tabla 7 - Dotación: Comparación con respecto a la dotación de una localidad mediana

Observando los valores anteriores, se concluye que el orden del volumen de agua que la institución consume con respecto a la cantidad de internos es excesivo.

Ni la población de funcionarios ni las actividades consumidoras de agua que se realizan en el CNR justifican el alto consumo observado. Esto se fundamenta y cuantifica más adelante.

Se puede concluir que hay un uso ineficiente del recurso agua.

Las anteriores comparaciones brindan también información para determinar cuál es el volumen de agua deseable que se le debe asignar a cada interno dentro del CNR a lo largo de su estadía.

Al plantear esto se debe tener en cuenta que el objetivo de la presente planificación de reducción de consumo no realiza reducciones a través de penalizar y cesar actividades consumidoras de agua, sino la reducción a través del aumento de la eficiencia en el uso del agua en las diferentes actividades.

La institución se encuentra ubicada en los límites de Montevideo rural; los internos son principalmente habitantes de Montevideo. Se considera que la dotación correspondiente a un habitante de una ciudad mediana del interior del país puede ser una meta factible a la que la institución puede tender. Esto implica una reducción en ocho veces el volumen de consumo de agua actual.

5.2.1. Caracterización del consumo

Dentro del CNR coexisten múltiples actividades consumidoras de agua potable. Se realizó en una primera instancia un relevamiento de cuáles son estas actividades, y posteriormente se realizó una cuantificación del volumen de agua consumido por las mismas. Se tiene como objetivo identificar las actividades que consumen mayor volumen de agua y analizar si el uso se realiza de forma eficiente. Luego de esto, se compara el volumen consumido por actividad relevado en el CNR, con volúmenes estándares obtenidos de bibliografía y se determina si el mismo es adecuado a las condiciones de uso de la institución.

La cuantificación de los consumos que se realiza a continuación es una aproximación o estimación del valor real; no se debe considerar un valor exacto.

Dentro del CNR funcionan diversas actividades laborales en las que los internos trabajan como parte de un programa personal de reinserción laboral y social, que cada interno debe tener en el momento de ingreso a la institución. Desde la apertura de la institución se han instalado empresas privadas de diferentes rubros, las que contratan tanto internos como empleados externos al CNR para su funcionamiento.

Es de destacar que ninguna de estas actividades productivas independientes al CNR cuenta actualmente con un contador individual de agua potable; éste es uno de los motivos por lo que no es posible para el CNR cuantificar el consumo que realiza cada una de ellas.

Se realizó un relevamiento a fin de determinar las actividades consumidoras de agua, se identifican las siguientes, clasificándolas según el tipo de actividad:

- Actividades laborales consumidoras de agua:
 - Aserradero de madera
 - Carpintería
 - Criadero de cerdos
 - Fábrica de pastas
 - Quintas y jardines

- Actividades domésticas consumidoras de agua:
 - Limpieza de las instalaciones
 - Grifos de la cocina y baños
 - Aseo Personal
 - Evacuación de las excretas
- Otras
 - Consumo de los funcionarios de la institución

5.2.1.1. Actividades laborales

Fábrica de Pastas

En este emprendimiento se fabrican pastas frescas y secas para la venta fuera del CNR. Trabajan aproximadamente seis internos y tres empleados externos al CNR. El agua consumida se utiliza en la fabricación de alimentos y lavado de las instalaciones. Se considera una dotación de agua de lavado de 10 L/(m²-día), siendo el área de la fábrica de aproximadamente 32 m².

Se considera la actividad de la fábrica de pastas con un consumo de aproximadamente 800 L/día.

Actividad	Consumo (L/día)
Agua de lavado de Instalaciones	320
Agua utilizada por el proceso	500
Total	820

Tabla 8 - Consumo de agua: Fábrica de pastas

Criadero de cerdos

En el CNR funciona un criadero cerdos, que cuenta con una cantidad promedio de 60 cerdos adultos y 150 cerdos de cría, los cuales son vendidos como lechones sin previo engorde.

El criadero de cerdos consume agua para lavado de las instalaciones, lavado de los animales, preparación de la comida, y consumo de los animales.

Según bibliografía [12] el consumo diario de agua por cerdo es de 10 L/(animal-día). Se considera que los cerdos en cría tiene una ingesta de 5 L/(animal-día), la mitad de la correspondiente a los cerdos adultos.

El criadero consume agua para la limpieza de los animales e instalaciones. Se estima que el volumen diario de agua consumida en esta actividad es de 1350 L/día [13].

La Tabla 9 muestra el cálculo del volumen diario de agua consumido en esta actividad.

	Cantidad	Dotación Ingesta (L/día-animal)	Consumo diario (L/día)	Consumo limpieza (L/día)
Cerdos adultos	60	10	600	1350
Cerdos cría	150	5	750	
			Total (L/día)	2700

Tabla 9 - Consumo de agua: Criadero de cerdos [13]

Aserradero y carpintería

Esta actividad utiliza menor cantidad de agua para su funcionamiento que las restantes actividades productivas relevadas. Se utiliza agua para lavado de las instalaciones y maquinaria. Se consideró para esta actividad un volumen promedio de agua consumida de 200 L/día. En el aserrado trabajan aproximadamente cuatro internos, mientras que en la carpintería trabajan seis internos.

Quintas y Jardines

En el predio existen áreas destinadas a quintas y jardinería, con plantas cultivadas por los internos. La Ilustración 18 muestra la ubicación aproximada de las mismas. La Tabla 10 muestra el consumo de agua destinada a riego de las mismas.

	Área (m ²)	Dotación (L/día·m ²)	Consumo diario (m ³ /día)
Quintas y Jardines	2500	2	5

Tabla 10 Consumo de agua: Quintas y jardines



Ilustración 18 - Quintas y Jardines

5.2.1.2. Actividades domésticas

Limpieza del edificio

Se cuantifica el volumen de agua utilizado para limpieza de la edificación: dormitorios, pasillos, baños, cocina, salas comunes, etc. El volumen de consumo para limpieza es proporcional al área del edificio. Este edificio presenta 4 pisos y una planta baja, de aproximadamente 1500 m² cada una.

Ítem	
Área planta (m ²)	1500
Área total (m ²)	7500
Consumo (L/m ² ·día)	0,3
Total (L / día)	2300

Tabla 11 - Consumo de agua: Limpieza del edificio

Agua erogada por los grifos

Cada ala del CNR tiene grifos ubicados en los baños y cocinas que son utilizados por los internos para lavado de ropa, aseo y preparación de colaciones e infusiones entre comidas.

Durante una visita al CNR se relevó el caudal erogado por todos los grifos ubicados en el tercer nivel. El método de relevamiento fue la medición del tiempo que tardaba en llenarse un recipiente aforado. Mediante estos datos se obtuvo el caudal erogado por los grifos del establecimiento.

La Tabla 12 muestra el caudal erogado a partir de los datos obtenidos durante el relevamiento, para los grifos de baños y cocinas utilizados por los internos.

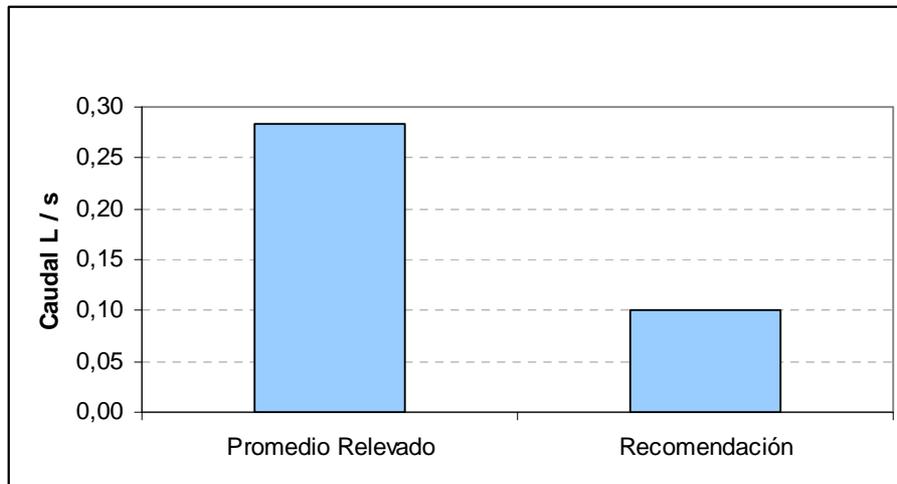


Ilustración 19 - Comparación entre caudal relevado y caudal recomendado

Baño N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Caudal (L / s)	0,30	0,28	0,32	0,27	0,30	0,32	0,27	0,31	0,15
Cocina N°	1	2	3						
Caudal (L / s)	0,28	0,31	0,29						

Tabla 12 - Caudales relevados

Se observa que la canilla perteneciente al baño N°9 evacua la mitad de caudal que las restantes. Esta canilla, perteneciente al baño de visitas, tiene un puntero reductor de caudal en buenas condiciones.

La Ilustración 19 muestra el promedio de todos los datos relevados y el caudal erogado por los grifos que usualmente presenta la bibliografía [11]. El caudal a erogar que se suele emplear a nivel de proyecto de instalaciones sanitarias internas es de 0.10 L/s.

El agua, antes de llegar a cada uno de los grifos, debe realizar un recorrido importante dentro del CNR. Desde la red el agua va a un pozo de bombeo desde el cual es bombeada hacia un tanque elevado, ubicado en la azotea. Desde este tanque el agua se distribuye hacia las diferentes plantas del edificio, Ilustración 14.

El agua al circular dentro de las tuberías pierde energía. Cuanto mayor es la rugosidad de la tubería y menor es el diámetro el flujo pierde mayor cantidad de energía por metro de recorrido. La Ilustración 20 da una idea de la pérdida de energía para diferentes diámetros de tubería.

Para un mismo caudal se graficó la energía que pierde el fluido por metro de recorrido para diferentes diámetros de tubería. Se observa que la pérdida de energía es muy sensible al diámetro de la tubería.

A mayor energía, mayor presión y caudal saldrá por los artefactos. A mayor presión en la tubería, mayor caudal erogará la misma. A mayor diámetro de la tubería de bajada, mayor presión habrá en los artefactos. Es importante que la instalación sanitaria interna tenga un diámetro tal que con la pérdida de energía que implica el recorrido por la tubería el agua llegue al grifo con una presión lo suficientemente alta como para ser adecuada para el funcionamiento, pero lo suficientemente baja como para que erogue un caudal razonablemente bajo.

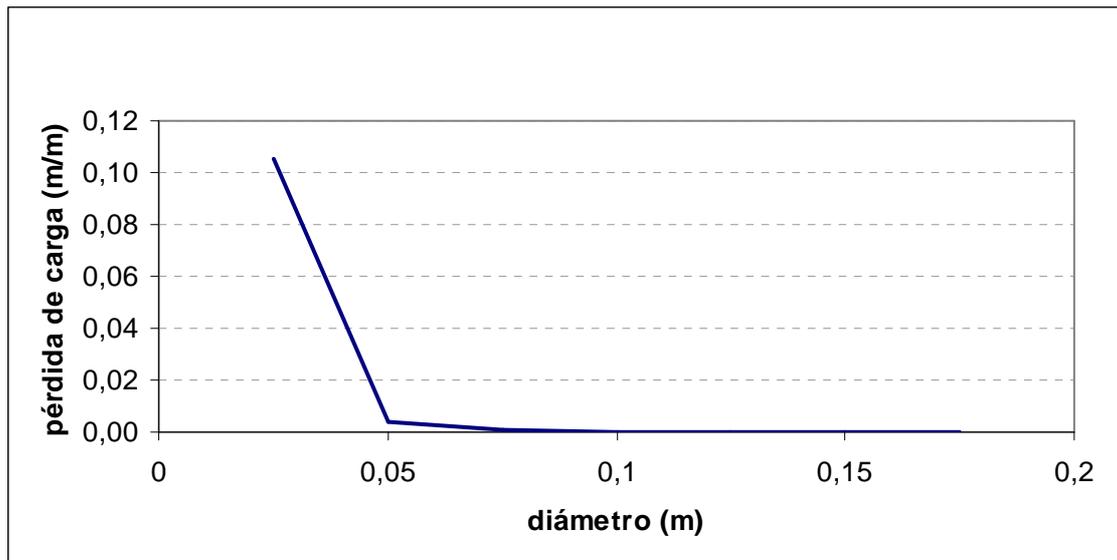


Ilustración 20 - Pérdida de carga por metro de tubería para un mismo caudal

Las instalaciones observadas en el CNR tienen diámetros mayores que los utilizados normalmente en edificios. Esto se debe a que originalmente el edificio fue concebido como un hospital. Por este motivo, tiene una instalación sanitaria adecuada a los requerimientos hospitalarios. Los hospitales no sólo tienen requerimientos de mayor caudal a erogar sino también de mayor seguridad en el abastecimiento. En efecto, la falta de agua en un hospital implica riesgos de salud altos, por lo que la instalación sanitaria debe estar dimensionada y construida en forma robusta para abastecer en todo momento.

Se considera [14] como agua erogada por los grifos la correspondiente a lavado de manos, dientes, afeitado, etc. Se considera que cada interno utiliza agua durante 4 minutos para realizar estas tareas.

$V_{lavado} = Q_{erogado} \times T = 0.3 L/s \times 4 \text{ min} = 72 L$, el volumen de agua mensual consumido por la institución resulta de $V_{mensual} = 72 L \times 30 \text{ días} \times 110 = 237600 L = 238 m^3$

Agua utilizada en la cocina.

Se utiliza agua para la elaboración de las comidas consumidas. Se realizó una estimación de la cantidad de agua utilizada en esta tarea, según se detalla en la Tabla 13.

Item	Cantidad
Personas	Funcionarios 15
	Internos 110
Cantidad de comidas diarias	3
Dotación (L/comida)	25
Consumo diario total (m ³)	9.4

Tabla 13 - Agua utilizada en la cocina

Aseo personal

Durante un relevamiento realizado en el CNR se midió el caudal erogado por las duchas. Se observó que las mismas erogan mayor caudal que el habitual. La Ilustración 21 muestra el caudal promedio erogado por las duchas relevadas y el caudal usualmente empleado para estos artefactos en el dimensionado de instalaciones sanitarias internas. En países con escasez de agua no es posible tener duchas que erogan un caudal tan elevado. En Méjico, por ejemplo, existen reglamentos de construcción que impiden instalar duchas que erogan un caudal mayor de 0.17 L/s; las duchas relevadas en el CNR erogan el doble de caudal.

Para evaluar el consumo de agua potable producido por la actividad aseo personal se preguntó a los internos sobre sus hábitos al respecto. La siguiente tabla resume las respuestas obtenidas.

Cantidad de días a la semana	Duchas por día	Duración (min)
2 días	1	20
2 días	1.5	20
3 días	2.5	20
Total : 7 días	Total : 12.5	Total : 4 horas 10 min

Tabla 14 - Hábitos de aseo personal

Se llega entonces a que los internos toman un promedio de 12.5 duchas semanales de 20 minutos de duración cada una, lo que implica 36 minutos al día en promedio bajo la ducha, o sea 4 horas y 10 minutos semanales bajo la ducha.

No sólo el caudal que erogan las duchas es alto, sino también lo es el tiempo que dedican los internos a ducharse.

El agua en el CNR se calienta mediante calderas funcionando a gasoil. El abastecimiento de combustible muchas veces es discontinuo, por lo que puede haber períodos en los que el calentamiento de agua es insuficiente o nulo. Los anteriores valores de permanencia bajo la ducha corresponden a períodos en que hay abastecimiento de agua caliente.

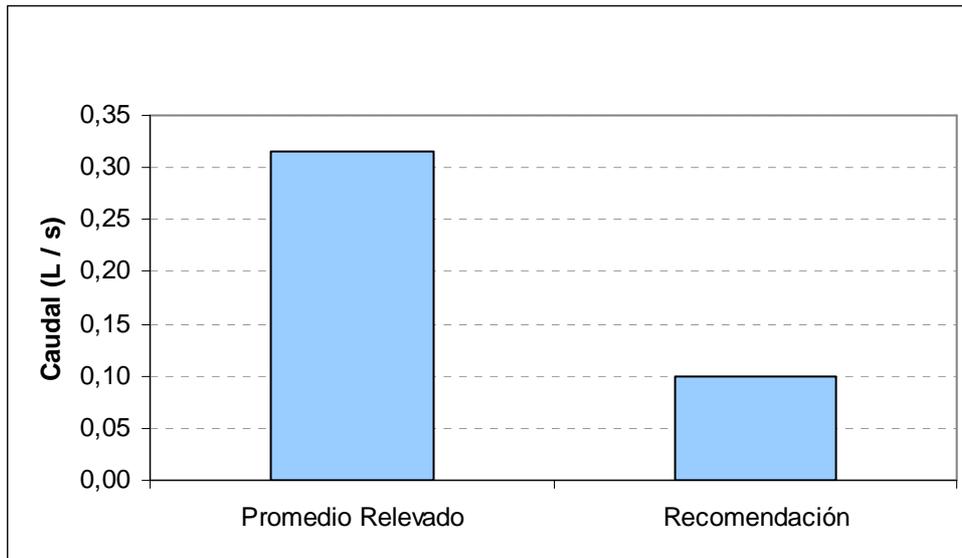


Ilustración 21 - Caudal erogado por las duchas

Utilizando los anteriores datos de permanencia semanal bajo la ducha se calcula el volumen de agua utilizado por interno en la actividad aseo personal.

Permanencia promedio diaria bajo la ducha: $T_{diario} = 35.7 \text{ min}$

Caudal erogado: $Q_{erogado} = 0.32 \text{ L/s}$. Al igual que en las canillas, este caudal es excesivo.

Volumen de agua consumido por día por interno: $V = Q_{erogado} \times T_{diario} = 678 \text{ L}$

Teniendo en cuenta que la cantidad de internos es 110, el volumen de agua mensual consumido por la institución resulta de $V_{mensual} = 678 \text{ L} \times 110 = 2236 \text{ m}^3$.

Resumen	
Volumen diario consumido por interno para aseo personal (L/día)	678
Volumen consumido por la institución para aseo personal de los internos (m^3/mes)	2236

Tabla 15 - Consumo de agua: Aseo personal.

Agua utilizada para la evacuación de excretas

En los baños del CNR no hay instaladas cisternas, sino válvulas de descarga. Estos artefactos son válvulas colocadas en la tubería, que cada vez que son accionadas se abren y descargan un gran caudal.

Este tipo de dispositivo eroga 4 veces más caudal que una cisterna común. Se utilizan en baños públicos con gran demanda de uso, centros comerciales, lugares de estudio, debido a que no necesitan un tiempo para acumulación de agua previo a la descarga.

Las válvulas de descarga o fluxómetros necesitan cañerías de llegada de mayores dimensiones que las utilizadas por una cisterna, para poder cumplir los requerimientos

de evacuación de mayor caudal. Si existe una rotura en la válvula de descarga o en la cañería el caudal de pedida por la misma es mucho mayor que en una cisterna. La Ilustración 22 muestra una relación entre estos volúmenes.

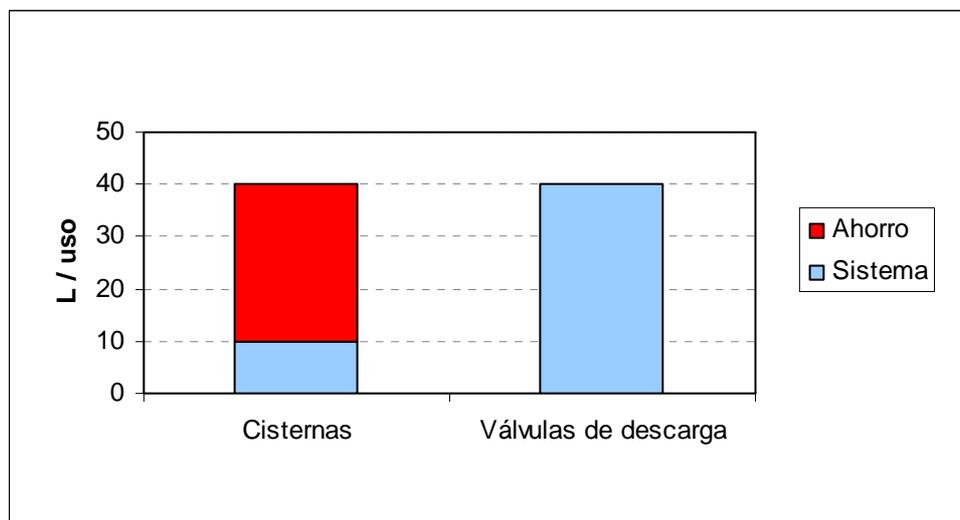


Ilustración 22 - Caudal erogado por uso del inodoro.

La Tabla 16 muestra una evaluación del consumo de agua en esta actividad.

Item	Cantidad
Volumen de descarga por uso	40 L/descarga
Cantidad de descargas diarias por interno	6 descargas/día
Volumen diario usado por interno	240 L/día
Volumen mensual consumido por interno	7.2 m ³
Cantidad de internos	110
Volumen mensual consumido por la institución	792 m ³

Tabla 16 - Consumo de agua: limpieza de inodoros

Funcionarios de la institución

Se realizó una estimación del agua consumida por los funcionarios que trabajan en la institución. Los mismos tienen diferentes regímenes horarios:

- Funcionarios viviendo fuera del CNR con jornadas de 8 a 12 horas: estos funcionarios trabajan dentro del local del CNR; son policías, educadores, administrativos.
- Funcionarios viviendo dentro del CNR, con permanencia las 24 horas dentro de la institución. La guardia policial perimetral usualmente proviene del interior del país y permanece por un período de tres meses en Montevideo. Estos funcionarios viven durante ese período de tiempo en la institución.
- Se calculó el volumen de agua consumida por los funcionarios para los anteriores regímenes horarios. La Tabla 17 muestra los valores de consumo resultantes para las categorías anteriormente nombradas.

Régimen horario	Dotación (L/persona-día)	Cantidad de funcionarios	Dotación (L/persona-día)
Jornada 8 – 12 horas	150	65	9.750
Residentes	270	15	4.050
Volumen consumido por los funcionarios (L/día)			13.800

Tabla 17 - Consumo de agua: funcionarios

Se adjudica a los funcionarios un consumo mayor respecto a otros funcionarios con regímenes horarios similares en otras instituciones, debido a que los artefactos en el CNR consumen mayor volumen de agua que el usual; esto se explica en los siguientes capítulos.

La Tabla 18 muestra las consideraciones de uso y valores de volumen de agua utilizado por artefacto mediante los cuales se llegó a los valores mostrados en Tabla 17. Es particularmente alto el volumen atribuido al consumo de agua por uso del inodoro, de 40 L/descarga debido a la existencia de válvulas de descarga, por lo que tiene un alto peso en la dotación asignada.

Ítem	Consumo (L/día)
Funcionarios con jornada de 8 y 12 horas	
Inodoro	120
Lavado de manos	30
DOTACIÓN (L/día-persona)	150
Funcionarios residentes	
Inodoro	200
Aseo	50
Lavado de ropa	20
DOTACIÓN (L/día-persona)	270

Tabla 18 - Dotación correspondiente a funcionarios

6. Diagnóstico

La Ilustración 23 muestra el volumen de agua consumido mensualmente por las diferentes actividades que se realizan en el CNR. En la parte inferior de la misma se encuentran los volúmenes mensuales consumidos por cada actividad.

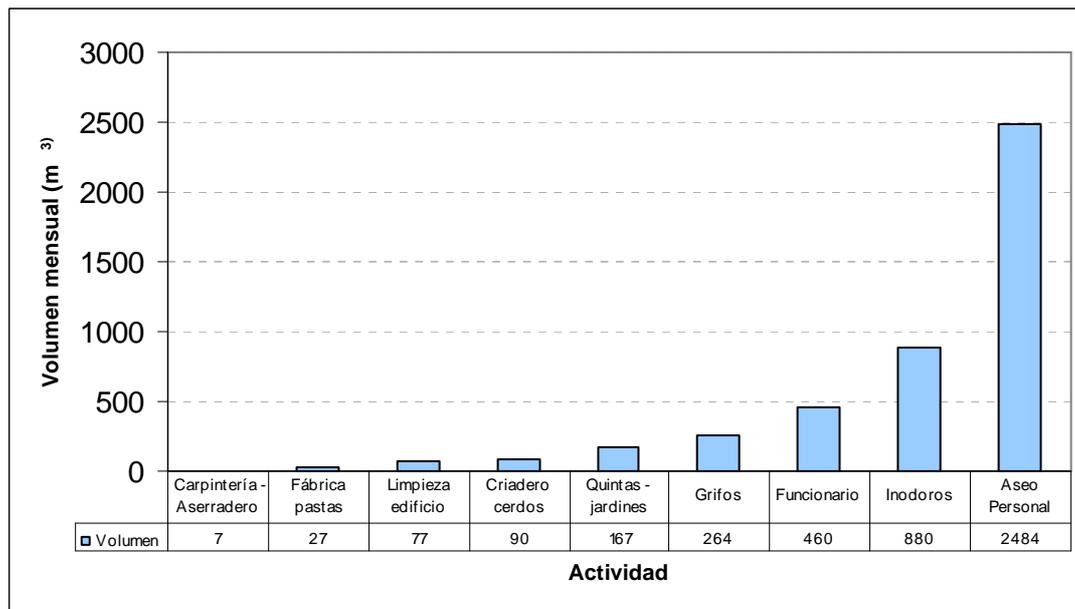


Ilustración 23 - Volumen mensual consumido por las diferentes actividades

La Tabla 19 indica el dinero que mensualmente el CNR paga por el consumo de agua de cada actividad. Para realizar esta ponderación de gasto se consideró el valor del metro cúbico de agua a 50 pesos uruguayos, 50 \$/m³, y el valor del dólar a 21 pesos uruguayos, 21 \$/US\$. En esta estimación no se tuvo en cuenta:

- Tarifa de saneamiento, aproximadamente el 7 % de la tarifa de OSE
- Consumo de combustible utilizado para elevar el agua hasta el tanque elevado de distribución.

Actividad	Consumo mensual de la institución				
	L/día	m ³ /mes	%	\$/mes	US\$/mes
Carpintería – Aserradero	200	6	0	300	14
Fábrica de pastas	820	25	1	1230	59
Limpieza del edificio	2300	69	2	3450	164
Criadero de cerdos	2700	81	2	4050	193
Quintas – jardines	5000	150	3	7500	357
Funcionarios	13800	414	10	20700	986
Grifos de cocina y baño	17295	519	12	25943	1235

Actividad	Consumo mensual de la institución				
	L/día	m ³ /mes	%	\$/mes	US\$/mes
Inodoros	26400	792	18	39600	1886
Aseo Personal	74534	2236	52	111801	5324
TOTAL	143049	4291	100	214574	10.218

Tabla 19 - Consumo mensual de agua en la institución

A partir de esos valores, relevados directamente algunos y estimados mediante bibliografía otros, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El consumo de las actividades productivas no es relevante frente a las actividades asimilables a domésticas.

Al inicio del proyecto se nos planteó por parte de los funcionarios del CNR que el alto consumo de agua era debido a las actividades productivas que se realizan en la institución; en particular, se consideraba que el criadero de cerdos consumía gran parte del volumen de agua proveniente de OSE. La Ilustración 24 muestra el consumo de las actividades productivas respecto al total, las mismas representan aproximadamente el 3 % del volumen total de agua consumido.

En consecuencia, se puede afirmar que las actividades productivas, que son en parte las principales responsables de la diferencia del “concepto de institución penal” que es el CNR frente a otras instituciones carcelarias del Uruguay, no son las responsables de la diferencia de consumo de agua potable existente.

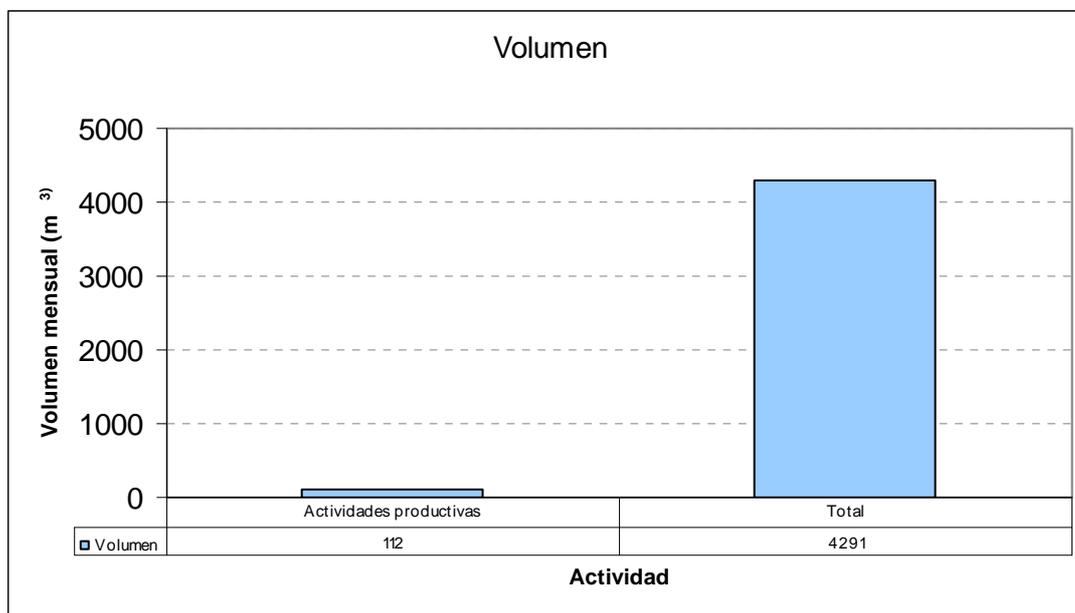


Ilustración 24 - Consumo: Actividades productivas

- Las actividades sobre las cuales se debe actuar a fin de reducir el consumo son las siguientes, en orden de importancia:
 1. Aseo Personal
 2. Inodoros
 3. Grifos
 4. Reducción y prevención de pérdidas

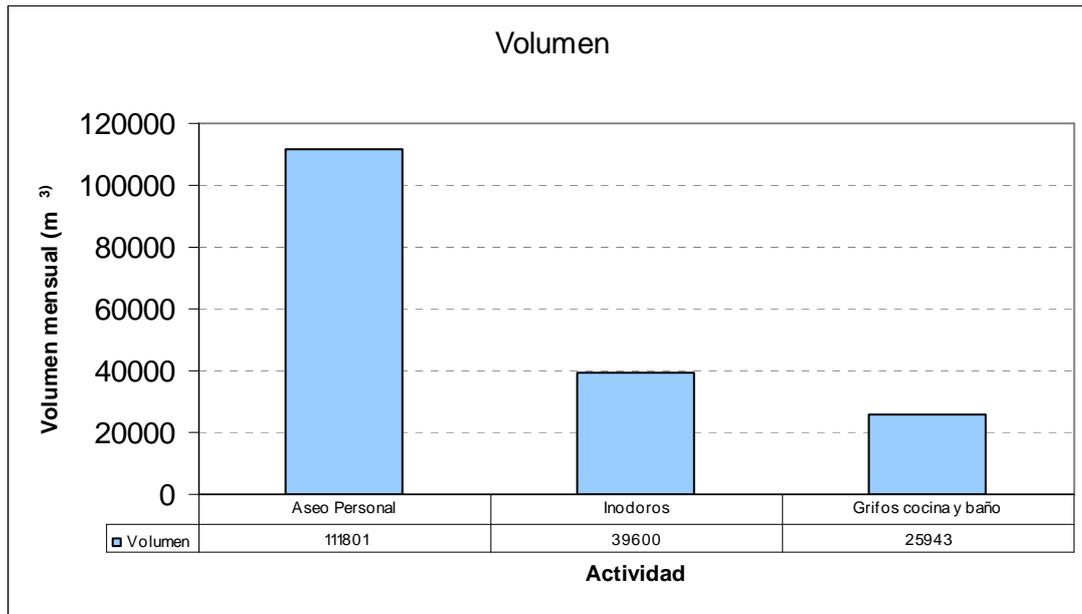


Ilustración 25 - Consumo: Actividades domésticas

En cuanto al consumo de los funcionarios no se considera que se deba actuar sobre ellos por los siguientes motivos:

- La cantidad de funcionarios que trabajan en el CNR responde a necesidades que no tienen relación con este proyecto.
- Los funcionarios del CNR utilizan artefactos con características similares a las de los que utilizan los internos. Por esto, cualquier intervención que se realice en los puntos 2 y 3 marcados anteriormente también redundarán en una reducción del consumo que realizan los funcionarios.

Se considera importante actuar para lograr una reducción y control de pérdidas.

La Ilustración 7 muestra la incidencia de la existencia de una rotura en la instalación que implique pérdida de agua. Se observa que el volumen de agua potable vertido por dicha rotura es el 25 % del agua consumida al año. El volumen de pérdidas registrado durante los 4 meses de existencia de la fuga se estima de 12.133 m³, esto es aproximadamente 29.000 US\$, o sea 606.650 \$.

- Las actividades domésticas son las responsables del mayor volumen de consumo.

La Ilustración 26 muestra los volúmenes de consumo de agua en actividades domésticas que se estimaron para los internos del CNR y el promedio que realiza una

familia en una ciudad del interior. Como agua evacuada por los grifos se considera el agua para bebida y cocina, 17 L/día-hab., y lavado de ropa, 37 L/día-hab.

Se observa un consumo de agua elevado en algunas actividades cotidianas, en comparación con los consumos de una familia.

La Ilustración 26 muestra una comparación del volumen de agua diario utilizado para diferentes actividades cotidianas por una familia de clase media y el volumen de agua utilizado por el CNR para las mismas actividades. En el ítem “grifos – piletas” se incluyen todos los picos de salida de agua para consumo directo de los internos en actividades que no son ni duchas ni limpieza de tazas de inodoro, es decir lavamanos, lavado de ropa, lavado de elementos personales de vajilla, etc.

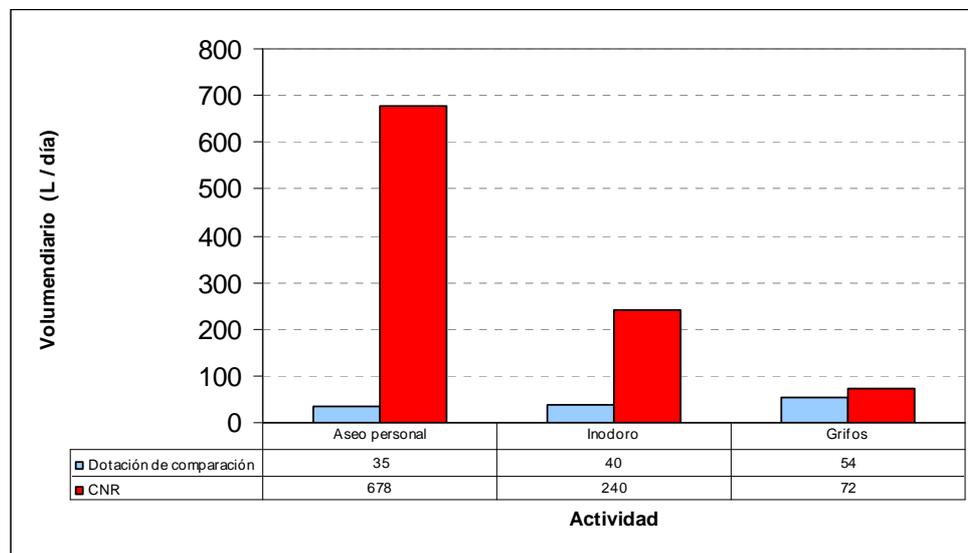


Ilustración 26 - Volúmenes de consumo doméstico

- Los internos deben ser partícipes de las medidas de reducción.

La siguiente tabla muestra la participación de los internos en las acciones que implican consumo de agua. Se observa que el 81.5 % del consumo se realiza por actividades de las que los internos son agentes responsables, en tanto sólo el 13 % corresponde a otros agentes.

Actividades consumidoras de agua	Agente consumidor directo	Volumen (m ³ /mes)
Actividades al servicio de los internos, realizadas por o junto a otras personas		526
	Funcionarios	414
	Actividades productivas	112
Actividades realizadas directamente por los internos		3547
	Aseo Personal	2236
	Inodoros	792
	Grifos	519
		219
	Limpieza del edificio	69
	Quintas - jardines	150
Total		4291 m³/mes

Tabla 20 – Actividades consumidoras de agua

7. Reducción del volumen de agua utilizado para evacuación de las excretas

7.1. Descripción del sistema actual

Actualmente los baños del CNR utilizan un sistema de evacuación de excretas mediante arrastre de las mismas con agua potable. Para lo anterior el agua se descarga a las tazas de los inodoros mediante válvulas de descarga. La Ilustración 27 muestra una válvula de descarga perteneciente al CNR, tal como la ve el usuario (izquierda), y una foto de catálogo en la que se ve el interior de la válvula (derecha).

Las válvulas de descarga o fluxómetros son válvulas de cierre automático que se instalan en la cañería de derivación de agua hacia el inodoro. Al abrirse la válvula, ésta deja pasar un gran volumen de agua en poco tiempo, por lo que se produce una intensa descarga. El volumen de descarga puede ser ajustado por el usuario mediante un tornillo de regulación. Este tipo de válvulas se emplea usualmente para la limpieza de inodoros y mingitorios.



Ilustración 27 - Válvula de descarga

Las válvulas en condición de reposo obturan la tubería, por lo que impiden el pasaje de agua. Cuando el usuario la activa apretando el botón de descarga, la válvula se abre y permite el pasaje de agua hacia el inodoro, tal como se observa en la Ilustración 28.

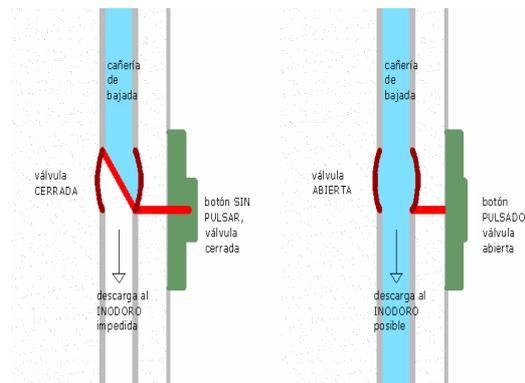


Ilustración 28 - Funcionamiento de la válvula de descarga.

Los inodoros que utilizan válvulas de descarga presentan ventajas frente a los sistemas clásicos de descarga mediante una cisterna:

- No es necesario el llenado de un reservorio previo al uso, en consecuencia no existen tiempos de espera entre usos; el sistema está listo para funcionar nuevamente a los pocos segundos de ser utilizado. Esto hace al sistema ventajoso para el uso en instituciones con picos de concurrencia a los baños, por ejemplo baños en locales públicos, escuelas, etc.
- Suprime los ruidos molestos que produce la cisterna al llenarse.
- Se consigue una limpieza exhaustiva del inodoro. Estos sistemas necesitan de elevada presión de agua, la que permite una descarga intensa en poco tiempo. Esto hace a las válvulas de descarga recomendables para edificios con requerimientos sanitarios exigentes, tales como hospitales.
- Las válvulas se encuentran empotradas, ocupan un espacio reducido y tienen pocas piezas expuestas al vandalismo.

Las anteriores ventajas son aplicables al contexto del CNR sólo en parte:

- No se considera necesario un sistema de descarga que funcione para altas demandas. El CNR tiene en cada ala 10 baños para uso de los internos, 4 baños con dos cubículos cada uno y dos cubículos con inodoro que se encuentran en la habitación de duchas. Cada ala alberga aproximadamente 30 internos; hay entonces un promedio de 3 personas por baño. Los baños no tienen una alta demanda de uso, por lo que no hay necesidad de un sistema con alta capacidad de recuperación.
- No se considera necesario un sistema de descarga que realice una limpieza tan exhaustiva. El CNR necesita una limpieza de intensidad similar a la de una vivienda domiciliaria. El edificio fue originalmente destinado a un hospital; de ahí el diseño y construcción de un sistema con características de limpieza más exhaustiva que las correspondientes a la función actual.

Las desventajas más relevantes que presenta el sistema son las siguientes:

- Utiliza mayor cantidad de agua por descarga frente a otros sistemas similares. Se puede suponer que este sistema utiliza aproximadamente 40 L/descarga, mientras que la cisterna convencional utiliza aproximadamente 10 L/descarga.

- Las válvulas se conectan a tuberías de gran diámetro, por lo que erogan gran caudal. Si la válvula de descarga no cierra adecuadamente, o se deja el botón pulsado durante demasiado tiempo o continuamente, se producen pérdidas de gran volumen.
- Las piezas son más caras que en las cisternas convencionales. En caso de rotura, el cambio de piezas implica un mayor gasto y no se consiguen en todas las ferreterías.

Este es un sistema robusto en cuanto a la interacción con el usuario, pero el funcionamiento del mismo es delicado y costoso, las piezas son caras y complejas, y requiere mano de obra calificada para su reparación.

Es importante que el sistema de evacuación de excretas no sea manipulado por los internos; el sistema de válvulas de descarga cumple este requerimiento. De cualquier manera, se observa que hay otros sistemas que cumplen con esta característica y son más adecuados al contexto.

Por todo lo anterior se considera que existen otros sistemas más económicos que las válvulas de descarga que cumplen con los requerimientos necesarios para el tipo de institución que es el CNR. Es recomendable entonces el cambio de las válvulas de descarga por otros medios más económicos, y si esto no fuera posible, la regulación de las válvulas para disminuir el caudal erogado por las mismas.

7.2. Descripción de otros sistemas de evacuación de excretas

7.2.1. Cisternas convencionales.

Una de las opciones que se consideran adecuadas para el CNR es la utilización de cisternas convencionales. Las cisternas convencionales utilizan aproximadamente 10 litros de agua por descarga, cuatro veces menos de agua por descarga que el sistema actualmente existente en el CNR.

El siguiente cuadro muestra una comparación entre el consumo de agua para el sistema actual y el sistema con cisterna convencional. La última columna muestra el ahorro que se puede obtener si se sustituyen todas las válvulas de descarga por cisternas.

	Válvula de descarga	Cisterna convencional	Ahorro
Volumen erogado por uso	40 L	10 L	30 L
Volumen diario erogado por interno	240 L	60 L	180 L
	6 descargas/día	6 descargas/día	
\$ mensual gastado por la institución	39.600	9.900	\$ 29.700

Tabla 21 – Ahorro de agua por instalación de cisternas

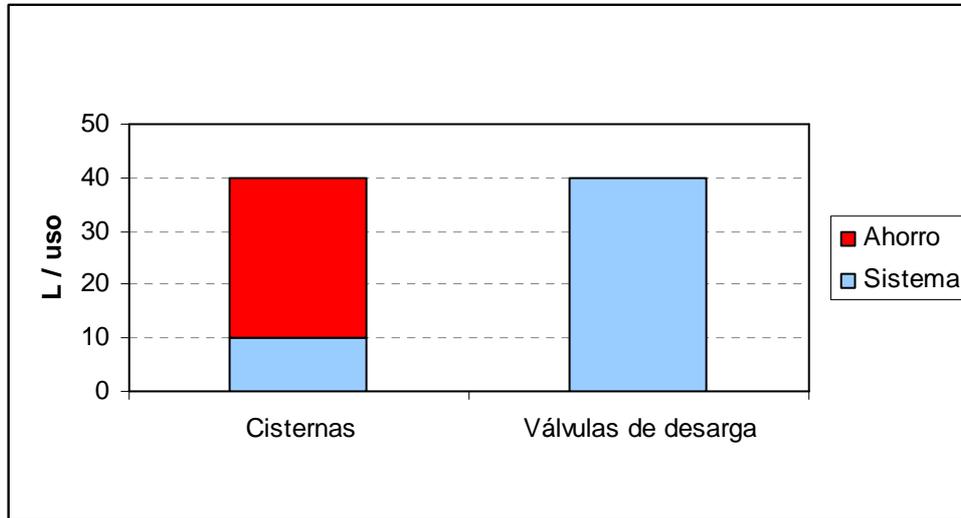


Ilustración 29 - Consumo de agua: válvulas de descarga y cisternas

Un cambio en el sistema de descarga implica la realización de obras de albañilería para modificar la instalación sanitaria interna. Se propone que la realización de las obras sea llevada a cabo por grupos de internos voluntarios dirigidos por el encargado de mantenimiento del CNR.

El CNR cuenta con un docente proveniente de la Universidad del Trabajo del Uruguay que dicta un curso de sanitaria para los internos. El cambio en la instalación sanitaria interna puede estar comprendido como parte de las tareas a realizarse en ese curso. A fin de facilitar las obras, la colocación de la cisterna y cañerías necesarias puede realizarse exterior a la pared.

La siguiente tabla muestra la cantidad de elementos a colocar para realizar el cambio.

Ítem	Conexión superior Cantidad	Conexión lateral Cantidad
Pieza PVC T 2"	2 unidades	2 unidades
Tapón de rosca 2"	2 unidades	2 unidades
Caño PVC 2"		1 m
Cisterna	1 unidad	1 unidad
Azulejos	20 unidades	20 unidades

Tabla 22 - Elementos necesarios para la modificación de la instalación

Las etapas para realizar las modificaciones son las siguientes:

1. Rotura de la pared para dejar las válvulas de descarga visibles.
2. Desmontar las válvulas de descarga.
3. Conectar los caños de abastecimiento y descarga de la cisterna a la instalación existente.
4. Reposición del azulejado.

La cisterna es un artefacto que queda más expuesto ante los internos que las válvulas de descarga, por lo que es más sensible a la rotura y manipulación por ellos. Se debe colocar la cisterna lo más elevado posible, a fin de imposibilitar o dificultar el acceso. Se debe realizar alguna instancia de explicación a los internos del proceso de cambio del equipamiento, para facilitar la aceptación por parte de los mismos y de esta manera disminuir la cantidad de posibles roturas.



Ilustración 30 - Colocación de cisterna

7.2.2. Mingitorios.

La población en el recinto es masculina, pero sin embargo no hay mingitorios en la institución: los baños cuentan únicamente con inodoros con válvulas de descarga. Se plantea como opción agregar un mingitorio por baño. El ahorro en la utilización de mingitorios se observa en las Tabla 23 y Tabla 24.

	Válvula de descarga	Mingitorios + válvula	Ahorro
Volumen erogado por uso	40 L	2 L mingitorio, 40 L válvula	
Volumen diario erogado por interno	240 L	88 L	152 L
	6 descargas/día	2 descargas de válvula + 4 descargas mingitorios	
\$ mensual gastado por la institución	39.600	14.520	\$ 25.080

Tabla 23 – Consumo de agua: válvulas de descarga y mingitorios

	Válvula de descarga	Mingitorios + cisternas	Ahorro
Volumen erogado por uso	40 L	2 L mingitorio, 10 L cisterna	
Volumen diario erogado por interno	240 L	28 L	212 L
	6 descargas/día	2 descargas de cisterna + 4 descargas de mingitorios	
\$ mensual gastado por la institución	39.600	4.620	\$ 34.980

Tabla 24 - Consumo de agua utilizando mingitorios y cisternas

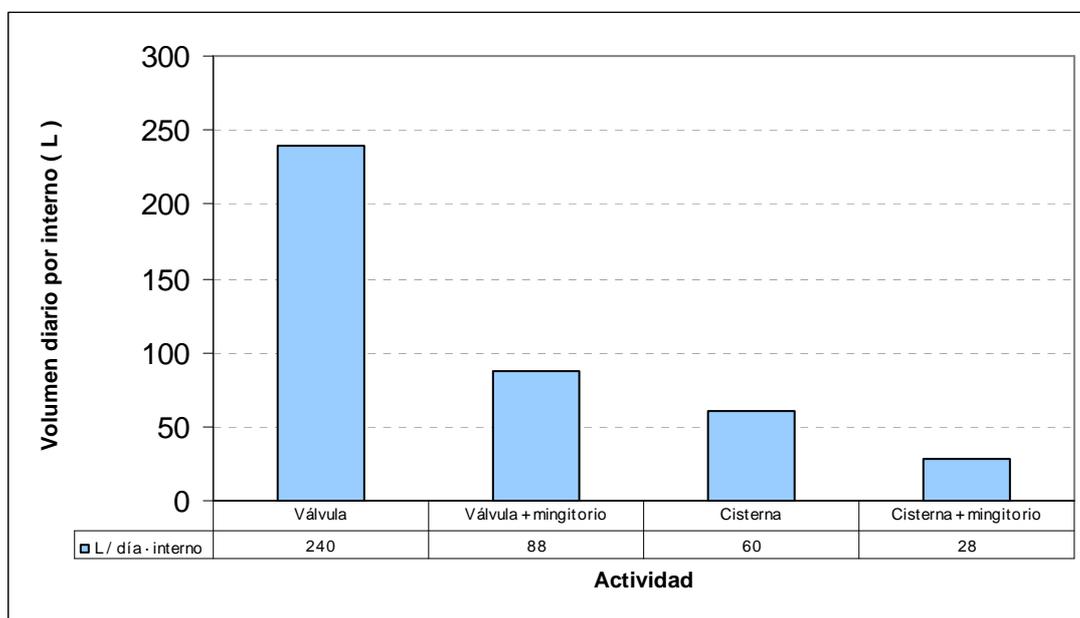


Ilustración 31 - Consumos de los diferentes sistemas de limpieza de inodoros

La colocación de mingitorios implica un cambio en la sanitaria interna del edificio. El mismo es similar al que implica la colocación de cisternas. Se debe conectar cada mingitorio a la instalación sanitaria interna utilizando una Te roscada.

8. Control de pérdidas

Se ha visto ya la alta incidencia de las pérdidas en el volumen de agua consumida. Para identificar la existencia de pérdidas de agua se pueden realizar mediciones periódicas del volumen de agua que ingresa al CNR. La medición adecuada a estos fines depende de:

- tener caudalímetros
- saber dónde y cuándo leer
- poder interpretar los datos registrados, realizar un historial de datos, contrastar datos, generar balances

La medición debe ser una tarea rutinaria y periódica. Cuanto más frecuente sean las mediciones, se actuará más rápidamente sobre las pérdidas.

Se proponen las siguientes mediciones:

- Seguimiento del consumo mensual histórico registrado por OSE.

Se propone realizar un seguimiento del volumen de agua consumido mes a mes, de manera de identificar meses con mayor consumo. Este control se puede realizar utilizando la factura de OSE y elaborando una tabla o gráfica (ejemplo: Ilustración 7). Esto da una idea global del consumo y no es una medida de reacción rápida.

- Medición del volumen de agua a lo largo del día.

Se propone realizar una vez al mes un seguimiento el volumen de agua consumido a lo largo del día. Se debe tener especial atención en la medición del consumo realizado durante la noche, ya que es un importante indicador de pérdidas.

La Tabla 25 es un modelo de tabla para registro del consumo horario. Esta tabla ya fue utilizada exitosamente por parte de la guardia perimetral para registrar el consumo.

Hora	Lectura de Volumen	Nombre	Observaciones

Tabla 25 - Formato para registro consumo horario

Para una mejor visualización, a partir de la tabla se puede realizar una gráfica del volumen consumido por hora (ejemplo: Ilustración 10).

- Recepción de información de pérdidas.

Es importante que exista una vigilancia e inspección de la instalación a fin de detectar pérdidas y realizar actividades de mantenimiento rápidamente. Para ello se considera que se debe alentar a los internos a identificar posibles puntos de pérdidas de agua, y ser receptivos con las denuncias y rápidos en las reparaciones del edificio.

- Se deben colocar medidores de manera de sectorizar el consumo.

Se considera prioritario la instalación en las siguientes diferentes zonas.

- Las tuberías que abastecen a las diferentes actividades productivas. Es imprescindible que las diferentes actividades cuenten con un medidor. De esta manera, se cuantifica el volumen de agua consumido y se identifican posibles excesos. Actualmente se planifica la instalación de

nuevas actividades productivas. Se propone la incorporación de medidores de caudal a las mismas. Se considera importante la caracterización y cuantificación del consumo de agua en el CNR.

- Las tuberías de bajada a las duchas. El peso que el volumen de agua consumido en las duchas tiene sobre el resto del edificio amerita la colocación de un medidor en la bajada de abastecimiento de los duchas.
- Las tuberías de bajada a los inodoros. El peso que el volumen de agua consumido en los inodoros tiene sobre el resto del edificio amerita la colocación de un medidor en la bajada de abastecimiento de los inodoros

De esta manera, se puede lograr una sectorización detallada del consumo de agua. Se aconseja la realización de balances, relacionando los datos medidos en cada sector con los datos medidos en el caudalímetro principal.

La Ilustración 33 muestra un esquema de las bajadas de agua hacia los inodoros.

9. Reducción de la presión en el sistema

Al aumentar la presión en la instalación sanitaria interna, aumenta el caudal erogado por las canillas. Se realizó una medición del caudal que erogan las canillas en el CNR y se observó que el mismo es elevado respecto a los valores usuales. Se realizó una aproximación de cálculo de la presión en la instalación sanitaria perteneciente al CNR, dando por resultado presiones altas en relación a las recomendadas. Esto se debe en parte al diámetro de las tuberías.

Se recomienda la colocación de válvulas reductoras de presión en la instalación. Estas válvulas funcionan en forma automática, produciendo una pérdida de carga en el flujo al obturar la tubería. Esta pérdida es introducida por un tornillo que acciona un resorte vinculado a la posición del obturador, Ilustración 32 [11]; dependiendo de la presión deseada aguas abajo, se regula la posición del obturador. A cierta presión comienza a funcionar la válvula, de modo que cuando este valor se supera aguas abajo de la válvula, el obturador comienza a cerrarse hasta que la presión aguas abajo alcance el límite prefijado.

Las válvulas reductoras de presión se colocan fácilmente realizando un corte de a tubería e insertando la válvula en él. La Ilustración 32 muestra el tamaño y porte de una válvula reductora .

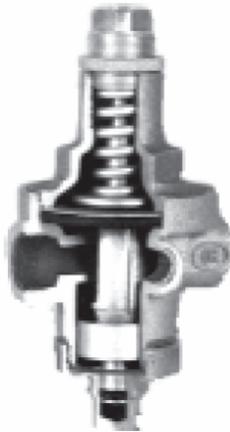


Ilustración 32 - Válvulas reductoras de presión

La Ilustración 33 muestra el lugar donde colocar la válvula reductora de presión para el caso de la bajada a los inodoros.

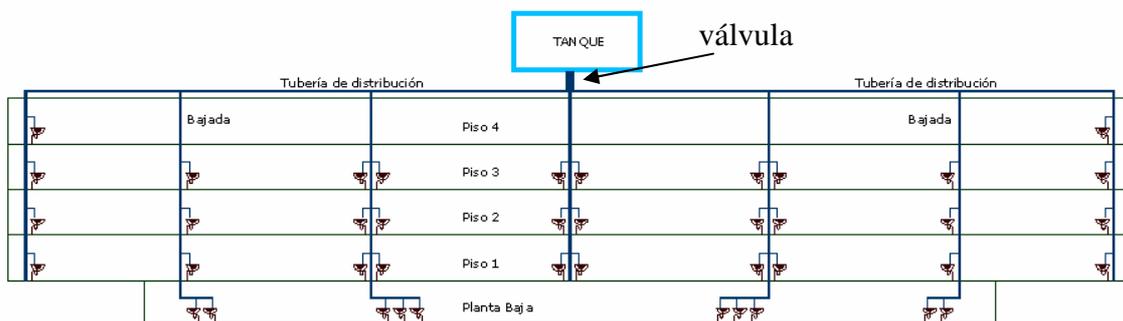


Ilustración 33 - Tubería de bajada a los inodoros

La colocación de válvulas reductoras de presión tendrá una alta incidencia en el consumo de la institución, ya que reducirá el caudal que erogan tanto las canillas como las duchas. Sólo con la colocación de las válvulas reductoras de presión se puede lograr una reducción del 60 % del volumen que actualmente erogan las duchas y los grifos. La Ilustración 34 muestra una estimación de esta reducción; en ella se ha considerado que el caudal en las duchas se logra reducir un 50 %.

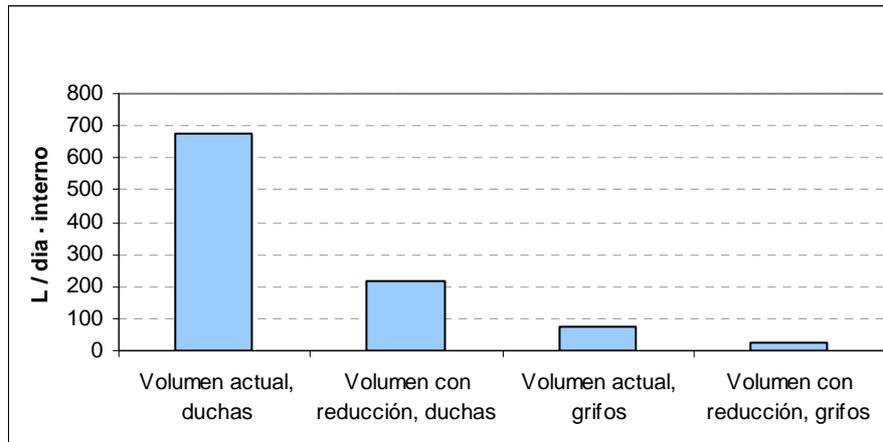


Ilustración 34 - Disminución del consumo debido a una reducción de presión.

10. Hábitos de uso

Se pretende que los internos realicen algunos cambios de hábitos en el uso de agua potable. Entre ellos, uno de los más importantes es la reducción del tiempo que los mismos pasan diariamente bajo la ducha. Actualmente el tiempo promedio diario bajo la ducha es de 36 minutos; si este tiempo se bajara a 20 minutos bajo la ducha, se podría estimar la siguiente reducción:

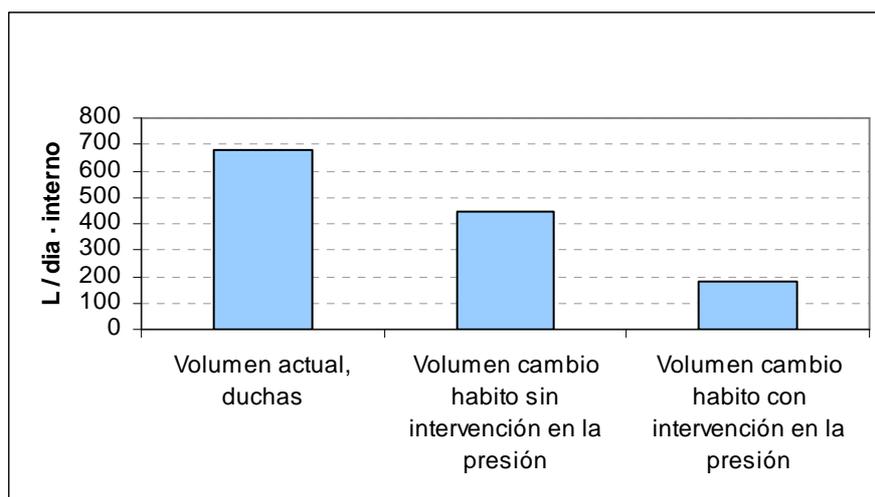


Ilustración 35 - Disminución del consumo debido a cambios de hábitos de uso

Se considera que la anterior disminución es compatible con el aseo personal y un adecuado nivel de confort.

Para lograr estos cambios de hábitos, es imprescindible la tarea de los educadores de la institución, colocación de cartelera de manera que los internos tomen este tema como prioritario. En relación a este objetivo, se realizó una charla en el CNR, en la que se presentaron algunos de los resultados aquí descritos.

11. Conclusiones

La Tabla 26 muestra un resumen de las diferentes intervenciones planteadas en los capítulos precedentes y el impacto en el consumo de agua que se espera tengan las mismas.

	Volumen medio mensual (m ³)	Costo medio mensual (\$)	%	Ahorro mensual (m ³)	Ahorro mensual (\$)
Consumo mensual medio actual	4.593	229.650	100	0	0
Colocación de cisternas en sustitución de válvulas de descarga	3.999	199.950	87	594	29.700
Colocación de mingitorios	4.091	204.570	89	502	25.080
Colocación de mingitorios y cisternas	3.893	194.670	85	700	34.980
Colocación de válvula reductora de presión	2.906	145.286	63	1.687	84.364
Cambio en los hábitos de uso	3.585	179.269	78	1.008	50.381
Colocación de válvula reductora y cambio de hábitos de uso	2.729	136.461	59	1.864	93.189
Colocación de mingitorios, cisternas, válvula reductora y cambio de hábitos	2.030	101.481	44	2.563	128.169

Tabla 26 - Efecto de las intervenciones planteadas sobre el consumo de agua

Estas intervenciones tienen diferentes impactos en la dotación asignada a cada interno. Las dotaciones resultantes por la implementación de las diferentes intervenciones se observan a continuación:

	Dotación (L/día-interno)	%
Consumo mensual medio	1266	100
Colocación de cisternas en sustitución de válvulas de descarga	1086	86
Colocación de mingitorios	1114	88
Colocación de mingitorios y cisternas	1054	83
Colocación de válvula reductora de presión	755	60
Cambio en los hábitos de uso	961	76
Colocación de válvula reductora y cambio de hábitos de uso	702	55
Colocación de mingitorios, cisternas, válvula reductora y cambio de hábitos	490	39

Tabla 27 - Efecto de las intervenciones planteadas sobre la dotación

Las Tablas 24 y 25 no consideran la reducción en las pérdidas que se produciría al tener un mejor control y monitoreo de la instalación sanitaria interna de la instalación, ya que la cuantificación de este impacto es muy imprecisa.

Las siguientes ilustraciones: Ilustración 36 e Ilustración 37, grafican el consumo medio mensual de agua en la institución que se puede prever si se realizan las anteriores intervenciones. La aplicación de las mismas se puede realizar de forma gradual, y no significan intervenciones de gran magnitud sobre la sanitaria interna.

Las medidas planteadas no afectan las actividades de reinserción laboral que se realizan en el CNR, tales como los talleres, el criadero de cerdos, etc.

Tampoco significan una reducción de la calidad de vida de los internos, sino solamente un uso más eficiente del agua.

Se plantean medidas que no implican alto costo y pueden ser realizadas por los internos.

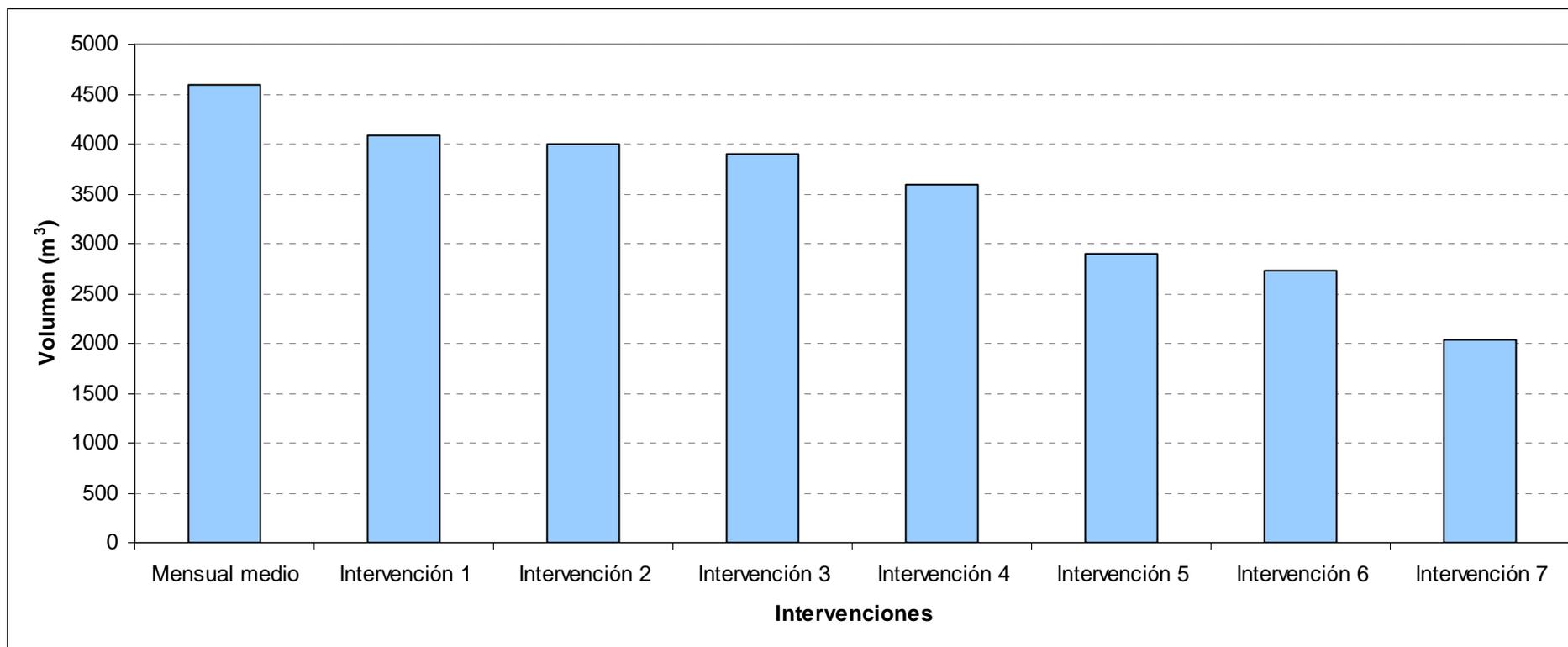


Ilustración 36 – Comparación de consumos medios mensuales

Intervención 1	Intervención 2	Intervención 3	Intervención 4	Intervención 5	Intervención 6	Intervención 7
Colocación de mingitorios	Colocación de cisternas en sustitución de válvulas de descarga	Colocación de mingitorios y cisternas	Cambio en los hábitos de uso	Colocación de válvula reductora de presión	Colocación de válvula reductora y cambio de hábitos de uso	Colocación de mingitorios, cisternas y válvula reductora, y cambio de hábitos

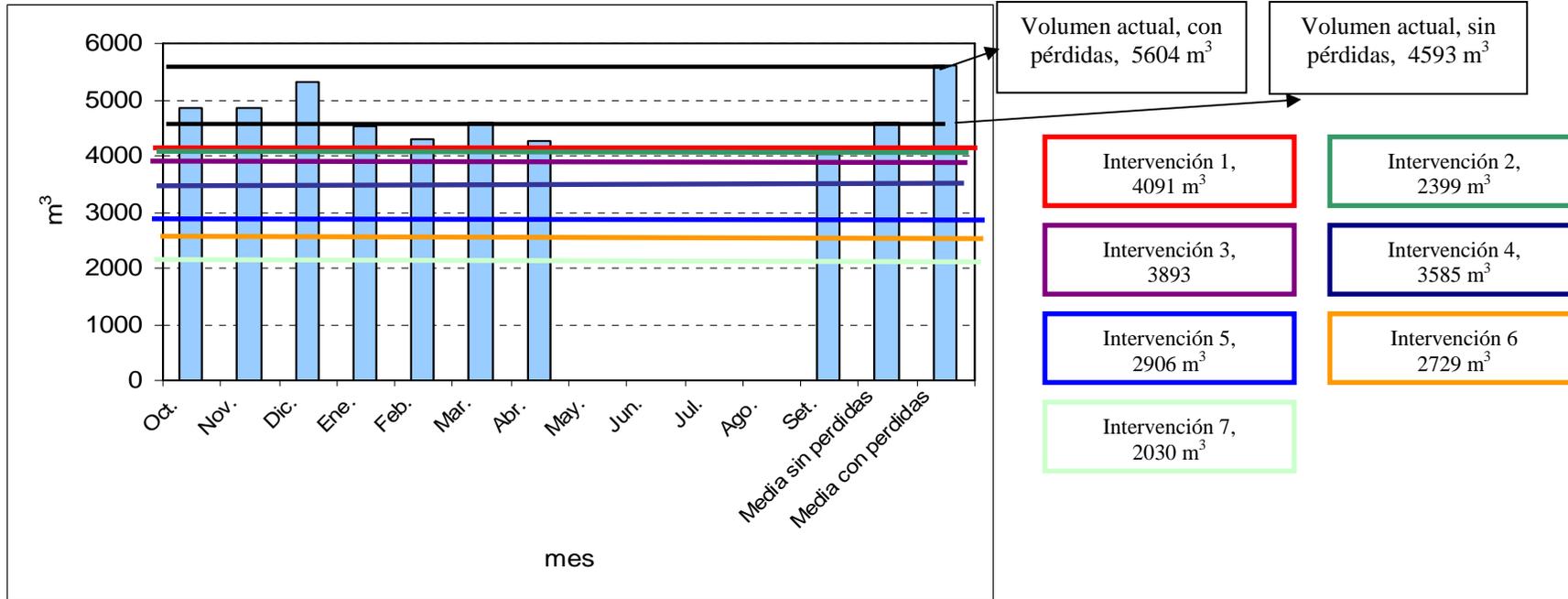


Ilustración 37 - Consumo medio mensual

12. Bibliografía

1. MTRO EDMUNDO CASTRO JIMÉNEZ, "Valor ecológico económico del agua", página www.imacmexico.org, disponible marzo 2008.
2. COMISION NACIONAL DE FOMENTO A LA VIVIENDA, "Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales" primera edición 2005, pp. 20.
3. LA REPÚBLICA, edición sábado 01 marzo, 2008, año 9 N° 2836.
4. <http://www.docol.com.br> disponible el 14 de abril de 2008.
5. EPA, "Clean Water Act", febrero 1998.
6. MILTON TOMOYUKI TSUTIYA, "Abastecimiento de Agua". 1ª edición, 2004. Departamento de Engenharia Hidráulica y Sanitaria, Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo.
7. OLIVEIRA, LUCIA HELENA. "Metodología para la implantación de programa racional de agua en edificios", 1999. Tese Doctorado em Engenharia- Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo 1999.
8. OLIVEIRA, LUCIA HELENA. "As bacias sanitárias e as perdas de agua nos edificios", Universidade Federal de Goias, Goias 2002.
9. VICKERS, AMY. "The energy policy act: assesing the impact on utilities". Journal AWA, 1993".
10. CAPORALI, SRGIO, "Calidad de los materials y su impacto en la red pública y en las instalaciones prediales", Lima, Perú. http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/caporali.html Disponible en marzo 2008
11. GONZALEZ ELIZABETH et al., Apuntes de Instalaciones Sanitarias Internas, Curso 2006.
12. PERALTA, J. M., et al.; "Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina", Ministerio de agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero; 2005.
13. ABEFASE, DÁVILA, VALBUENA, "Informe de Proyecto de fin de carrera, Ingeniería Civil Hidráulica Ambiental", 2008.
14. MARIO O BUENFIL, "Manual para el Uso Eficiente y Racional de Agua", México.
15. ARAUJO SAUTCHUK, CARLA. "Formulación de directrices para implantación de Programas de Conservación de agua en edificaciones", San Pablo, Brazil, 2004.
16. Programa para la sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en comunidades rurales II, Manual de Operación y Procedimientos.
17. DONALD M. TATE, "Principios del uso eficiente del agua".
18. "El agua, una de las claves del desarrollo sostenible". Conferencia internacional sobre el agua dulce, Bonn diciembre 2001.
19. A. Y. HOEKSTRA et al. "Waterfootprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern".
20. PEDRO ARROJO AGUDO, "El valor económico del agua".
21. VERONICA VAZQUEZ GARCIA et al, "Gestión y Cultura del agua", tomo II, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
22. BOURGUETT ORTIZ, VICTOR et al. "Manual para el uso eficiente y racional del agua, Utiliza sólo la necesaria".



Equipo técnico

**Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.**

Jefe de proyecto :
Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira
Bach. Javier Marrero



Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

ÍNDICE

1.	Descripción del problema	66
2.	Información necesaria para el estudio	67
2.1.	Características del entorno.	67
2.2.	Cantidad media de suinos, variación interanual y proyección de población.	69
2.3.	Características de la alimentación de los cerdos.	69
2.4.	Cantidad y calidad de las excretas generadas y recolectadas.	70
2.5.	Temperatura ambiente.	72
2.6.	Aspectos sanitarios.	72
2.7.	Factores socioeconómicos.	72
3.	Propuesta de diseño	73
3.1.	Generalidades.	73
3.1.1.	Tratamiento aeróbico	73
3.1.2.	Tratamiento anaeróbico	74
3.1.3.	Disposición final	75
3.2.	Justificación de los parámetros de diseño.	76
3.2.1.	Temperatura de trabajo bacteriano.	76
3.2.2.	Tiempo de retención hidráulico.	81
3.2.3.	Tasa de Generación de biogás.	84
3.2.4.	Volumen de diseño del biodigestor.	85
3.2.5.	Tasa de carga de biomasa (OLR) y Tasa de carga volumétrica (VCV).	86
3.3.	Elección de biodigestor.	87
3.3.1.	Tipos de biodigestores domésticos.	87
4.	Guía para la construcción del biodigestor de polietileno.	91
4.1.	Componentes.	91
4.1.1.	Bolsa de polietileno	91
4.1.2.	Accesorios.	91
4.1.3.	Instalaciones adicionales	93
4.2.	Construcción.	94
5.	Operación y mantenimiento del biodigestor.	101
5.1.	Puesta en funcionamiento.	101
5.2.	Operación en régimen permanente.	102
5.3.	Aplicación del efluente como biofertilizante.	103
5.4.	Conducción y uso del biogás.	108
5.5.	Mantenimiento.	109
6.	Bibliografía	111

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Disposición de las excretas frescas extraídas con carretilla.....	66
Ilustración 2 - Ubicación del CNR	67
Ilustración 3 - Distribución de corrales CNR	68
Ilustración 4. - Relación de la Temperatura del ambiente con la del afluente y efluente del biodigestor.....	77
Ilustración 5 - Variación de la temperatura interna de un biodigestor (CIPAV-Colombia).....	78
Ilustración 6 – Gráficos de temperaturas medias de Uruguay en invierno y verano	80
Ilustración 7 – Gráficas de reducción de coliformes fecales en función del tiempo de retención hidráulica, para 35°C y 15°C.	82
Ilustración 8 – Relación entre tiempo de retención hidráulica y temperatura media del biodigestor.....	83
Ilustración 9 – Biodigestor de cúpula fija, tipo chino.	88
Ilustración 10 – Biodigestor de cúpula móvil, tipo indio.	89
Ilustración 11 – Biodigestor de polietileno, tipo taiwanés.	90
Ilustración 12 – Colocación de paja en la zanja.....	93
Ilustración 13 – Biodigestor con invernadero. También tiene la zanja apuntalada y bolsas de plastillera como aislante y protección adicional.	93
Ilustración 14 – Cámara de ingreso y mezcla.	94
Ilustración 15 – Detalle constructivo de la cámara.....	95
Ilustración 16 – Detalle constructivo de la cámara.....	95
Ilustración 17 – Conexión entre la cámara de mezcla y la bolsa de digestión.	96
Ilustración 18 – Colocación de una bolsa dentro de la otra.	96
Ilustración 19 – Corte de la bolsa para la salida del biogás.....	97
Ilustración 20 – Armado de la salida de biogás del biodigestor de polietileno.	98
Ilustración 21 – La doble bolsa se hace pasar por los tubos de salida y entrada de PVC.....	99
Ilustración 22 – Tuberías para válvula de seguridad.	99
Ilustración 23 – Válvula de seguridad.	100
Ilustración 24 – Detalle doble bolsa en el tubo de PVC, atada para ser llenada con aire.	101
Ilustración 25 – Sistema de riego de tasa lenta aplicado en canaletas.	103
Ilustración 26 – Aplicación de biogás para calefacción de cunas de lechones.	108
Ilustración 27 – Aplicación de biogás para cocción de alimentos.....	109
Ilustración 28 – Esquema de funcionamiento de válvula antirretorno, con lengüeta plástica. .	109

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 - Raciones a base de granos para la alimentación. Fuente: realización propia	70
Tabla 2 - Cantidad y características de las excretas, según tipo de animal. Fuente: [15]	70
Tabla 3 - Estimación del estiércol recolectado por día en el CNR. Fuente: elaboración propia	71
Tabla 4 – Valores de diseño de excretas sólidas (estiércol).....	71
Tabla 5 - Bacterias involucradas en la digestión anaeróbica.....	76
Tabla 6 – Relaciones entre temperatura ambiente y temperatura interna	79
Tabla 7 – Temperaturas medias propias del Uruguay, para invierno y verano.	80
Tabla 8 – Estándar de calidad para aguas Clase 2.a. para CF	81
Tabla 9 – TRH en función de la Temperatura.....	83
Tabla 10 – Potencial de generación de biogás por kg de estiércol suino.....	84
Tabla 11 – Generación de biogás, en m3 por kg de estiércol suino, según tiempo de retención hidráulico y temperatura.....	84
Tabla 12 – Tipo de sistema de tratamiento en función de la velocidad de carga volumétrica [9] 86	
Tabla 13 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo chino.	88
Tabla 14 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo indio.	89
Tabla 15 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo taiwanés.....	90
Tabla 16 – Diámetros comerciales de tubos de polietileno para silos.....	91
Tabla 17. Requerimientos internos de nitrógeno (RIN) de los principales cultivos y su demanda de nitrógeno a un 100 % del requerimiento alcanzable.....	104
Tabla 18. Tasas máximas de aplicación al terreno.....	107

1. Descripción del problema

Formatted: Bullets and Numbering

La producción de suinos en el CNR es una de las actividades desarrolladas en el marco de la política de reinserción laboral para los reclusos. Esta actividad no cuenta con una adecuada disposición final de las excretas generadas, lo cual significa un importante riesgo sanitario.

Los efluentes generados a partir del lavado de los establos son enviados directamente al colector municipal, sin evaluar si cumplen con la normativa vigente. Al no contar con un sistema de tratamiento de los efluentes generados en la limpieza de los establos, la calidad del vertido actual no cumple con el estándar de vertido a colector, debido principalmente debido la alta carga orgánica. En cuanto a patógenos no hay aún exigencias establecidas para el vertido al colector.

El estiércol fresco, extraído en carretilla del establo, es dispuesto en el terreno a cielo abierto, sin ninguna medida que tienda a mitigar los impactos generados (transmisión de enfermedades por medio de vectores, contaminación de la napa freática por infiltración de lixiviados, etc).



Ilustración 1- Disposición de las excretas frescas extraídas con carretilla.

Por lo tanto, se identifican dos aspectos sanitarios a atender: los efluentes (excretas de cerdos con el agua de limpieza) y los residuos sólidos (pila de estiércol).

En el desarrollo y la implementación del proyecto se espera que la población involucrada comprenda, cada uno desde su punto de vista, los aspectos fundamentales del proyecto y su importancia en cuanto a la salud ambiental, así como de los beneficios generados por la producción de biogás y biofertilizante.

Formatted: Bullets and Numbering

2. Información necesaria para el estudio

2.1. Características del entorno.

Formatted: Bullets and Numbering

El CNR se ubica en Cno. Carlos A. López s/n entre Av. Garzón y Camino Pororó, en el predio que antes ocupaba el Hospital Psiquiátrico Musto, en el barrio Ferrocarril, en la jurisdicción Centro Comunal Zonal N° 13. Todo el terreno donde se encuentra el recinto pertenece a la cuenca del Arroyo Pantanoso.

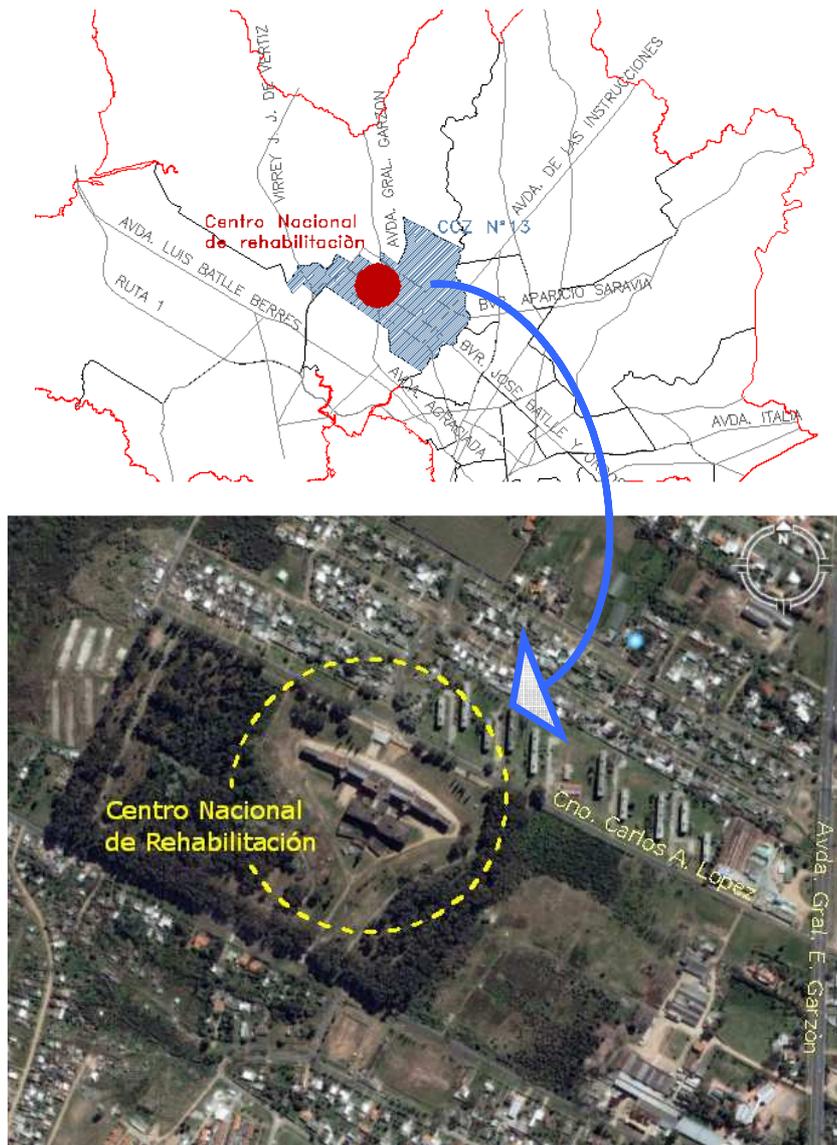


Ilustración 2 - Ubicación del CNR

En la zona donde se encuentra el CNR aflora la Formación Libertad, la cual se manifiesta por lodolitas macizas pardas friables con arena gruesa dispersa y con constante presencia de carbonato de calcio en formas variadas: pulverulentas, concreciones huecas, ovoides o ramificadas. La presencia de minúsculos cristales de yeso es también un rasgo casi omnipresente en esta formación.

Como se observa en la anterior ilustración, el CNR cuenta con cortinas de árboles al oeste, sur y este, lo cual favorece la dispersión de los eventuales olores producidos en el establecimiento de suinos.

El establecimiento en cuestión consta de dos tipos de corrales:

- 1- Corral de suelo impermeable. En estos corrales permanecen los padrillos y las madres que ya han parido, junto a los lechones más pequeños. Se debe colocar una madre por corral.
- 2- Corral de suelo permeable. En estos corrales permanecen las madres que están en gestación.



Ilustración 3 - Distribución de corrales CNR

2.2. Cantidad media de suinos, variación interanual y proyección de población.

Formatted: Bullets and Numbering

Los criaderos de cerdos llevan usualmente a cabo dos actividades principales:

1. Actividad de “cría de lechones”: se debe tener un grupo estable de cerdos adultos compuesto principalmente por cerdas en gestación y lactancia de lechones, y unos pocos padrillos para inseminar a las mismas. Las crías o lechones se comercializan a la edad de dos meses, cuando llegan a pesar aproximadamente 20 kg en pie.
2. Actividad de “engorde”: consiste en engordar durante más tiempo a los lechones hasta alcanzar un peso en pie del orden de los 70 kg. Esto implica tener más cerdos en engorde y menos madres en gestación y lactancia.

Durante visitas realizadas en el período de agosto a noviembre, el establecimiento se encontraba realizando producción de lechones. Se contabilizó un grupo de 55 suinos adultos, compuesto por 33 madres adultas (en período de gestación o lactancia), 19 futuras madres y 3 padrillos.

En el corral impermeable solamente permanecen entre 20 y 25 madres en gestación o lactancia y 2 o 3 padrillos. Por cada parición nacen entre 10 y 16 lechones, de los cuales sobreviven entre 8 y 10. Cada madre se reproduce dos veces al año y permanece en el recinto hasta parir 4 o 5 veces; luego de esta cantidad de pariciones las madres son comercializadas para faena, debido a que tienen importantes problemas al parir, reduciendo su productividad.

Asimismo, en el establecimiento existe la posibilidad de realizar “engorde”, lo cual depende de factores asociados a la demanda del mercado y la economía del propietario del mismo. Cuando se realiza esta actividad la población de cerdos adultos se ve incrementada aproximadamente a 200 suinos. A pesar de incrementarse drásticamente la población de suinos, según nos informara el productor, el aumento de excretas en este tipo de producción sólo se ve incrementado en un 50%, ya que la alimentación para engorde es asimilada por el cerdo en forma muy eficiente generando menos excretas por animal con respecto a la “cría de lechones”.

Según el encargado de la empresa responsable de la cría de cerdos, no se proyecta aumentar la capacidad de los establos; por lo tanto se considera que en el mediano plazo la población mantendrá el comportamiento mencionado anteriormente, ya sea para “cría de lechones” como para “engorde”.

2.3. Características de la alimentación de los cerdos.

Formatted: Bullets and Numbering

Los cerdos son alimentados con diferentes tipos de alimentos dependiendo de la finalidad que tenga asignada cada uno. En general se los alimenta con ración a base de granos, restos de comida del CNR, y dos veces por semana se los alimenta con vísceras provenientes de mataderos avícolas.

Ración para lactancia	Ración crecimiento y engorde
Maíz, cebada, trigo, harina de girasol, harina de soja, afrechillo de trigo, semitín, afrechillo de arroz, afrechillo de arroz desgrasado, harina de carne y huesos, cebo bovino, carbonato de calcio, fosfato mono o bicálcico, sal, óxido de zinc y sulfato de cobre.	Sorgo, maíz, cebada, avena, afrechillo de trigo, semitín, afrechillo de arroz, gluten, expeller de girasol y de soja, harina de carne, de sangre, de pescado y hueso, carbonato de calcio, fosfato bicálcico, sal, óxido de zinc, sulfato de cobre y sulfato de hierro.
Tabla 1 - Raciones a base de granos para la alimentación. Fuente: realización propia	

En cuanto a la ración se utilizan 2 tipos, una para madres en época de lactancia y otra para crecimiento y engorde. Se diferencian en los tipos y proporciones de granos que contienen. En la tabla 1 se detallan los componentes de cada una, según las etiquetas de las bolsas de ración empleadas en el CNR.

Es muy importante una adecuada hidratación de las madres en época de lactancia. Para un animal de aproximadamente 100 kg el consumo de agua ronda los 30 a 40 litros por día [10].

2.4. Cantidad y calidad de las excretas generadas y recolectadas.

Formatted: Bullets and Numbering

La heterogeneidad de los alimentos suministrados a los animales genera variabilidad en cuanto a las características y volúmenes diarios de excretas en el recinto.

En la búsqueda bibliográfica realizada se observó una variación de los datos de producción de excretas por animal/día, dependiendo de la especie, tipo de alimentación y objetivo de producción del animal.

A los efectos de realizar un cálculo estimativo de los kilogramos de excretas sólidas generadas, se toma como referencia la siguiente tabla con los valores generados por día según las características del animal.

Etapa del Animal	Peso (kg)	Excretas Líq. y Sól. (L/día)	S.T. (kg/día)	S.V.T (kg/día)	Nitrógeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Cría	16	1.0	0.09	0.08	0.01	0.01	0.01
Recría	29	1.8	0.18	0.14	0.01	0.01	0.01
Engorde	68	4.3	0.41	0.33	0.03	0.02	0.02
Gestación	125	4.2	0.37	0.30	0.03	0.02	0.02
Lactancia	170	15.1	1.36	1.09	0.10	0.08	0.08
Padrillo	159	5.3	0.45	0.38	0.04	0.03	0.03

Tabla 2 - Cantidad y características de las excretas, según tipo de animal. Fuente: [15]

Con los datos de sólidos totales, empleando una humedad del 80 % [13] en el estiércol fresco, un porcentaje de recolección del 90 % en el corral impermeable y de un 20 % en el permeable¹ se tiene que:

¹ La recolección de las excretas en el corral abierto se produce solamente durante el verano; en invierno las lluvias lavan las excretas incorporándolas al suelo, lo que imposibilita su recolección.

Terreno	Etapa Animal	Cantidad de cerdos	S.T. (kg/día/cerdo)	S.V.T (kg/día/cerdo)	S.T. (kg/día)	S.V.T (kg/día)	Estiércol (kg/día)	% recol.	Estiércol recol. (kg/día)
Corral techado Suelo Impermeable	Cría	144	0,09	0,08	13,0	11,5	64,8	90	58,3
	Gestación	17	0,37	0,30	6,3	5,1	31,5	90	28,3
	Lactancia	16	1,36	1,09	21,8	17,4	108,8	90	97,9
	Padrillo	2	0,45	0,38	0,9	0,8	4,5	90	4,1
Corral abierto Permeable	Futuras madres	19	0,37	0,30	7,0	5,7	35,2	20	7,0
	Padrillo	1	0,45	0,38	0,5	0,4	2,3	20	0,5
Total		199			49,4	40,9	247,0		196,1

Tabla 3 - Estimación del estiércol recolectado por día en el CNR. Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los ensayos realizados en el predio del CNR, donde se obtuvo que 1,0 L de excretas frescas pesa 1,0 kg, lo que arroja una densidad de 1,0 kg/L, y considerando la estimación realizada en la tabla 3, se deberían poder recolectar unos 196 L diarios de excretas frescas.

En el relevamiento realizado en conjunto con el productor y los operarios del corral se observó que en promedio se recolectan aproximadamente de 2 a 3 carretillas diarias. Se estimó que el volumen de la carretilla empleada es de unos 50 litros, a través del siguiente cálculo con las medidas de la carretilla empleada en el CNR:

$$V_{\text{carretilla}} = 0.40 \text{ m} \times 0.50 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} = 0.05 \text{ m}^3 = 50 \text{ L}$$

Por lo tanto el volumen de excretas recolectado según el productor y los operadores oscila entre 100 L y 150 L, algo inferior al estimado anteriormente pero del mismo orden.

Sin perjuicio de ello y a los efectos de dimensionar el sistema de tratamiento, se utiliza para el cálculo del volumen de diseño el promedio de las excretas de cerdos recolectadas más un 50 %, previendo un eventual incremento de la cantidad de excretas generadas, debido al cambio de "cría de lechones" a "engorde", por lo tanto:

$$V_{\text{diseño, diario}} = 1.5 \times (100 \text{ L} + 150 \text{ L}) / 2 = 188 \text{ L}$$

Excretas sólidas $V_{\text{diseño}} \text{ (L/día)}$	Sólidos Totales (kg/día)	Sólidos Volátiles Totales (kg/día)
188	37	31

Tabla 4 – Valores de diseño de excretas sólidas (estiércol)

En cuanto a la calidad de las excretas, se tiene una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) que oscila entre 30.000 mg/Ly 52.000 mg/L [1]. Si se compara la DBO_5 de los efluentes domésticos (cerca de 200 mg/L) con la DBO_5 de las excretas de suinos se tiene que ésta es entre 150 y 260 veces mayor.

Según estudios realizados, las excretas de suinos presentan un alto contenido de coliformes fecales: del orden de 10^6 a 10^7 CF [11].

2.5. **Temperatura ambiente.**

Formatted: Bullets and Numbering

La temperatura ambiente es la propia del departamento de Montevideo. Las temperaturas medias extremas para Montevideo se observan en los meses de verano (enero, febrero y marzo), cuando la temperatura media oscila en torno a los 22°C; y en los meses de invierno (junio, julio y agosto), cuando la temperatura media oscila en torno a los 11°C.

Como se verá más adelante, la temperatura del biodigestor en general es (si cuenta con un buen aislamiento térmico) en promedio unos 5°C mayor a la temperatura ambiente.

De cualquier forma, dados los rangos óptimos de funcionamiento para las bacterias mesofílicas deberán preverse sistemas de precalentamiento, sobre todo durante el invierno, para no afectar significativamente los procesos de fermentación metanogénica. Sumado a esto, debe suministrarse un adecuado aislamiento térmico durante todo el año, como se verá más adelante.

2.6. **Aspectos sanitarios.**

Formatted: Bullets and Numbering

Actualmente no se cuenta con un sistema de tratamiento para las excretas generadas en el recinto. Las excretas recolectadas del corral con carretilla se disponen en pilas a cielo abierto sobre el terreno, sin ningún elemento adicional de contención. El resto de las excretas son arrastradas por el agua del lavado realizado diariamente con manguera, hasta una pequeña cámara de inspección y luego hacia el colector municipal, primero a través de canaletas y luego a través de tuberías.

2.7. **Factores socioeconómicos.**

Formatted: Bullets and Numbering

El CNR cuenta con recursos menguados para la realización del biodigestor. Por lo tanto, a la hora de proponer la solución se debe tener en cuenta este aspecto, sin perjuicio del éxito de la solución propuesta.

La mano de obra será proporcionada por el CNR (los reclusos), excepto en el caso de usar maquinaria pesada para algún movimiento de tierra.

Formatted: Bullets and Numbering

3. Propuesta de diseño.

3.1. Generalidades.

Formatted: Bullets and Numbering

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental producido por las descargas y generar residuos finales que cumplan con los caudales y concentraciones de contaminantes fijados en la legislación vigente y con la política de la institución.

Un sistema de tratamiento no consta necesariamente de una unidad de tratamiento, sino que generalmente son una combinación secuenciada de tratamientos primarios y secundarios en medios naturales o artificiales (convencionales) según sea la combinación más ventajosa para la situación de cada generador.

Para el caso particular de excretas de cerdos, se emplean dos etapas de tratamiento (tratamiento primario y tratamiento secundario) previo a su disposición final.

El tratamiento primario consiste en la homogenización de las excretas, el cual se realiza en una cámara de mezcla previa al tratamiento secundario.

El tratamiento secundario consiste en la transformación biológica de materia orgánica compleja a material estable (materia orgánica simple o bien, materia inorgánica). Estos tratamientos se clasifican en aeróbicos y anaeróbicos.

3.1.1. Tratamiento aeróbico

Formatted: Bullets and Numbering

La degradación aerobia, es un proceso que necesita oxígeno y que se basa en la transformación de la materia orgánica en CO₂, agua y un lodo compuesto por células nuevas y estables, a través de una serie de reacciones bioquímicas.

No obstante, si bien los sistemas aeróbicos presentan eficiencias óptimas en remoción de DBO, la implementación de éstos no se ha utilizado en la industria porcina por el hecho de que el sistema no es demasiado apto para recibir altas cargas orgánicas y de nutrientes, como es el caso de las excretas.

Lo anterior se debe a que, a mayor carga orgánica del efluente, mayor flujo de oxígeno se requiere para degradarlos (oxidar); y es la aireación mecánica la que a gran escala es inaplicable técnica y económicamente. Si se quiere evitar la mecanización, entonces se necesitan grandes áreas para las lagunas de tratamiento, lo cual en el CNR resulta inviable.

Es por ello que la degradación biológica aeróbica se recomendaría sólo para el caso de que se tuvieran los sólidos separados del flujo de excretas, para manejar menores cargas orgánicas.

En el presente proyecto, por las razones anteriormente expresadas, se descarta de plano el diseño de sistemas aeróbicos.

3.1.2. Tratamiento anaeróbico

Formatted: Bullets and Numbering

La degradación anaeróbica, conocida también como fermentación, es un proceso que se desarrolla en ausencia de oxígeno y se basa en la transformación de la materia orgánica en biogás a través de una serie de reacciones bioquímicas. Los componentes principales del biogás generado son el CH₄ y el CO₂.

Las ventajas de las tecnologías de tratamiento anaeróbico con recuperación de biogás son las siguientes:

- El líquido obtenido del tratamiento es menos oloroso que las excretas.
- Transformación de desechos orgánicos (excretas) en fertilizante de alta calidad y biogás. Esto puede implicar beneficios económicos a través de la sustitución de fertilizantes y energía (calor, luz, electricidad), disminuyendo la presión en recursos naturales como el combustible fósil y el carbón de leña.
- Mejoramiento de las condiciones de higiene a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos son eliminados en el proceso de biodigestión.
- Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, y del aire por la no contaminación por purines y por la sustitución de energías convencionales por energías renovables.
- Menor producción de lodos que la degradación aerobia.
- No se requiere aeración; menores costos energéticos.
- Menor sensibilidad a cambios de concentraciones del purín que en degradación aerobia.
- Óptimo funcionamiento con altas cargas orgánicas.
- Reducción de gases de efecto invernadero (CH₄ y CO₂) gracias a la reducción del uso de combustibles fósiles y por la captura controlada de los gases generados.

Entre sus principales desventajas, se encuentran:

- La puesta en marcha puede demorar algunos meses (1-6 meses).
- Sensible a ciertos inhibidores y compuestos tóxicos (por ejemplo: O₂, H₂O₂, Cl₂, H₂S, HCN, SO₃⁻).
- Sensible a las variaciones bruscas de temperatura. Además, a menor temperatura ambiental, el proceso resulta más lento.

- Debido a las condiciones reductoras del sistema por acción de reacciones bioquímicas en ausencia de oxígeno, se producen otros compuestos (H_2S , mercaptanos, ácidos orgánicos y aldehídos) produciendo corrosión y malos olores si no existe un eficiente manejo.

Los reactores anaeróbicos, más conocidos como biodigestores, son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos como las excretas de bovinos, porcinos y otros materiales orgánicos, que se degradan con tiempos de retención mayores a 21 días.

Como se verá en los siguientes capítulos, para el CNR se proyecta la construcción de un biodigestor que se ajuste a las características y posibilidades del mismo.

3.1.3. Disposición final

Formatted: Bullets and Numbering

Existen diversos sistemas de disposición final de efluentes, pero a los efectos del proyecto, se consideran dos alternativas: emplear el efluente para riego (biofertilizante) y evacuar el efluente al colector público.

- Vertido a colector

En caso de verter al colector, la DBO_5 debe ser menor a 700 mg/L (límite establecido en el Decreto 253/79 para desagües al colector municipal).

Según diversos estudios (Kunz et al, 2005), los biodigestores presentan una eficiencia de remoción de DBO_5 , de entre 80 % y 95 % en invierno y verano respectivamente. Con este rango de eficiencia, la DBO_5 en el efluente se encuentra en promedio entre 7000 y 1750 mg/L, por lo que no se cumple con el estándar de vertido establecido por el decreto 253/79.

Por lo tanto, no se puede verter al colector público si no se implementa una etapa de tratamiento adicional.

En cuanto a coliformes fecales, no hay exigencias establecidas en la normativa.

- Empleo del efluente para riego.

Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de efluente sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado un cultivo. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, lo que entrega valor agregado al sistema por su valor fertilizante y el aprovechamiento del agua, que es usada para evapotranspiración por los cultivos.

El sistema de tratamiento se proyecta para que el efluente no exceda los 1000 CF/100 mL, cumpliendo con el estándar establecido para el riego de hortalizas (clasificación de aguas clase 2.a.).

Al emplear el efluente como biofertilizante, la eliminación de algunos componentes del mismo se consigue a través de procesos naturales, desarrollados en un sistema

planta-suelo-agua. En este tipo de aplicaciones, el suelo cumple dos funciones: por un lado es el medio receptor de los efluentes, evitando el vertido a otros medios, y a la vez actúa como agente activo, ya que tanto en la superficie como en su interior se producen procesos de degradación que eliminan nutrientes, materia orgánica y microorganismos.

3.2. Justificación de los parámetros de diseño.

Formatted: Bullets and Numbering

3.2.1. Temperatura de trabajo bacteriano.

Formatted: Bullets and Numbering

La temperatura es uno de los parámetros más importantes en los procesos anaerobios, ya que el éxito o el fracaso depende en gran medida del rango de valores en que se encuentre el proceso y su variación durante un determinado período.

El primer paso consiste en establecer qué tipo de microorganismos se encuentran presentes en el proceso anaerobio según el rango de temperaturas, y cómo afecta esto a la eficiencia del proceso desde el punto de vista sanitario (eliminación de patógenos y reducción de la materia orgánica) y energético (generación de biogás). Cabe destacar que el énfasis que deba hacerse en la mejora sanitaria durante el proceso anaerobio depende del tratamiento posterior o de la disposición del lodo generado (eventualmente puede ser usado como biofertilizante).

Los microorganismos presentes en el biodigestor tienen crecimientos de población y ritmos metabólicos dentro de rangos definidos. Dependiendo de la temperatura a la que se desarrollan en forma óptima, las bacterias existentes son psicófilas, mesófilas o termófilas.

Bacterias	Mínimo (°C)	Óptimo (°C)	Máximo (°C)	Tiempo de fermentación
Psicófilas	4-10	15-18	25-30	Mayor a 100 días
Mesófilas	15-20	28-33	35-45	30-60 días
Termófilas	25-45	50-60	75-80	10-15 días

Tabla 5 - Bacterias involucradas en la digestión anaeróbica

No sólo es importante el valor de la temperatura de trabajo sino también la variación de la misma. La temperatura puede variar durante el ingreso de material, durante el ciclo día – noche, en las diferentes estaciones, etc.

En general las variaciones rápidas mayores en más o menos de 2°C influyen negativamente en la estabilidad del biodigestor y en la producción del biogás [9].

Las bacterias metanogénicas son las más sensibles a los cambios de temperatura, ya que en condiciones desfavorables tienen una menor tasa de crecimiento microbiano que las acidogénicas, lo cual puede producir una acidificación del medio debido a que no logran consumir todo el ácido acético producido.

Según algunos estudios, la temperatura ambiente no necesariamente es igual a la temperatura interior del biodigestor: en general, la temperatura del biodigestor es mayor. Esto es debido a que *“la temperatura interna se incrementa debido a la generación de calor ocurrida durante la fermentación de la materia orgánica (proceso exotérmico)”* [4].

En un estudio de la Universidad de Santa Catarina, realizado en los meses de marzo a octubre (otoño, invierno y primavera) para un biodigestor modelo canadiense, revestido en lona PVC, con capacidad de 150 m³ y tiempo de retención hidráulico de 30 días, se observó, en general, una diferencia de 2°C a 6°C por encima de la temperatura ambiente (ver ilustración 4).

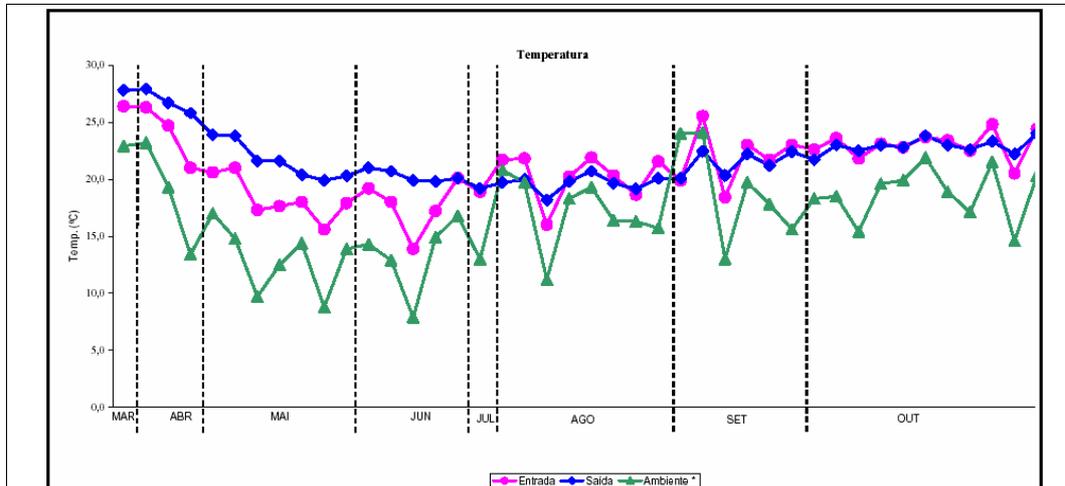


Ilustración 4. - Relación de la Temperatura del ambiente con la del afluente y efluente del biodigestor (Universidad de Santa Catarina)

Frente a las fluctuaciones extremas de temperatura ambiente, se observa que el biodigestor mantiene una temperatura estable. Se observa un descenso de la temperatura interna de aproximadamente 8°C del verano al invierno, que se da en forma gradual, de 28°C a 20°C. Uno de los aspectos que sin dudas ayuda a amortiguar la variación de la temperatura es que estos modelos se construyen enterrados. Cabe destacar que no se proporcionaba calefacción al biodigestor.

El sistema fue desarrollado en una granja productora de suinos (conteniendo 50 matrices) ubicada en la localidad de Concordia/SC, donde la producción diaria de excretas (con dilución²) fue de aproximadamente 5 m³. El mismo fue provisto de una bomba de recirculación interna de biomasa, de manera de mantener una mayor homogeneidad (sustrato + microorganismos) dentro del biodigestor.

El estudio mencionado concluye que en los meses de invierno ($T_{\text{biodigestor}} = 20^{\circ}\text{C}$ aproximadamente):

- Para los *sólidos fijos* se produjo un arrastre en el efluente del biodigestor y por lo tanto una reducción de la eficiencia.
- La eficiencia para *sólidos volátiles* no fue significativamente afectada, obteniendo similares resultados que en verano.

² N de la R

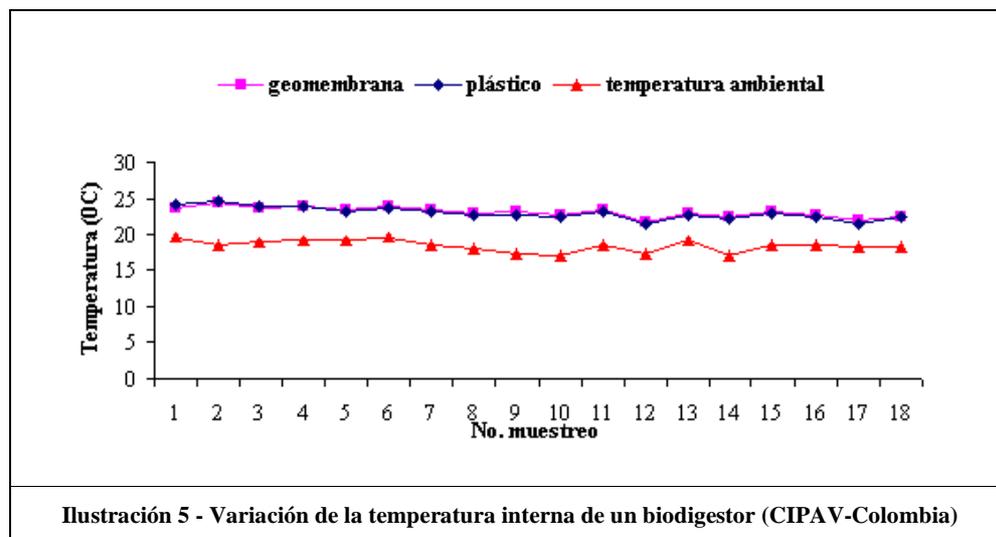
- La DQO y la DBO presentan en la mayor parte del período satisfactorias tasas de remoción (mayores a 80 %), aunque se hayan observado fluctuaciones en invierno.

Otro estudio a referenciar es el realizado por la Fundación Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), en el municipio de El Dovio, en una zona de ladera de la cordillera occidental del Valle del Cauca (Colombia), a 1850 m.s.n.m., con precipitación promedio de 1600 mm anuales y temperatura ambiental promedio de 18°C.

Se realizó un experimento que estudió el comportamiento de dos tipos de biodigestores, uno de plástico de invernadero (polietileno) y otro realizado en geomembrana de PVC. Cada biodigestor poseía una longitud de 2.6 m y 520 litros de volumen líquido.

Se cargaron diariamente con 34.7 litros de una mezcla (26 litros de agua, 4.7 kg de estiércol y 4 litros de orina) durante las fases de arranque (3 meses) y de estabilización (3 meses). El tiempo de retención de los biodigestores fue de 15 días.

Las temperaturas internas fueron muy similares en los dos tipos de biodigestor, con un promedio de 23°C. En el estudio anterior se tenía que en general la temperatura interna del biodigestor era mayor que la temperatura ambiente, en este caso también la temperatura interna del biodigestor fue siempre mayor que la temperatura ambiente. Se obtuvieron para ambos tipos de biodigestores, según se aprecia en la ilustración 5, diferencias de temperaturas promedio de 5°C ($T_{\text{interna, biodigestor}} - T_{\text{ambiente}}$).



La producción de biogás en los dos tipos de biodigestores presentó un comportamiento muy similar en la fase de arranque (66.4 L/día en los biodigestores de geomembrana y 65.5 L/día para los biodigestores plásticos), aumentándose en la fase de estabilización hasta 98 L/día (19 % del volumen líquido).

En general el pH y la temperatura fueron ligeramente más altos en el biodigestor de plástico de invernadero que en el de geomembrana. El pH, a pesar de sus variaciones, se mantuvo entre 6.8 y 6.9. La variación en la temperatura ambiental no tuvo efecto directo sobre la producción de biogás para ninguno de los tratamientos.

Ambos tipos de biodigestores resultaron eficientes para la remoción de la materia orgánica con valores de 91 % y 92 % para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y 88 % y 89 % para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), respectivamente.

En la fase de arranque, la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en el biodigestor de plástico de invernadero fue más estable y más alta que en el de PVC (39.7 mg/L contra 33.0 mg/L). En la fase de estabilización, los valores fueron de 18.9 mg/L y 18.4 mg/L para los biodigestores de polietileno y PVC, respectivamente.

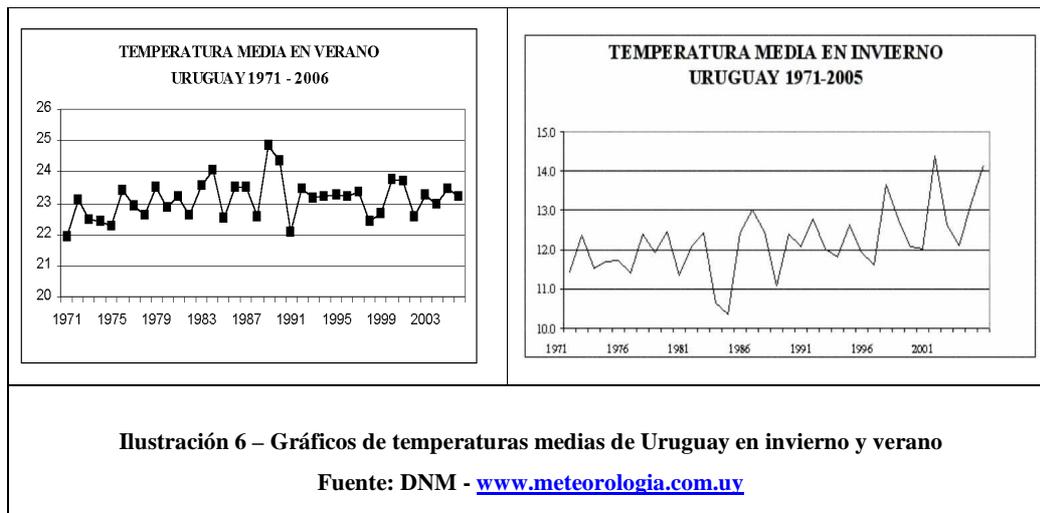
En la siguiente tabla se resume la información, de ambos estudios, vinculada a la relación entre la temperatura media ambiente y la temperatura media, según el tipo de biodigestor.

Tipo de Biodigestor	Tmedia, ambiente (°C)	Tmedia, biodigestor (°C)
Canadiense, PVC, 150 m ³ , c/ recirculación, (finales del verano)	23	28
Canadiense, PVC, 150 m ³ , c/ recirculación (otoño-invierno)	13	20
Canadiense, PVC, 150 m ³ , c/ recirculación (primavera)	17	23
Geomembrana PVC, 0.52 m ³	20	25
Plástico de invernadero, 0.52 m ³	20	25

Tabla 6 – Relaciones entre temperatura ambiente y temperatura interna

Por lo tanto, se puede hacer una extrapolación para obtener, a partir de la temperatura media del ambiente, una temperatura media interna del biodigestor considerando condiciones similares a los estudios antes mencionados, sin cometer errores significativos.

A continuación se presentan dos gráficos donde se observan las temperaturas medias históricas para el Uruguay, tanto para el verano como para el invierno.



De los gráficos precedentes, se puede obtener el rango de temperatura media del ambiente en las condiciones extremas según la estación del año:

- T (media, máxima) = 23°C (VERANO)
- T (media, mínima) = 12.5°C (INVIERNO)

Extrapolando estas temperaturas de acuerdo con los estudios anteriormente presentados, se puede asumir como rango de temperaturas internas para el biodigestor (con buen aislamiento térmico):

<ul style="list-style-type: none"> • T (media, máxima) = 26°C (VERANO) • T (media, mínima) = 17°C (INVIERNO)
Tabla 7 – Temperaturas medias propias del Uruguay, para invierno y verano.

Para el rango de temperaturas de la biomasa (17°C a 26°C) las bacterias que participarán en la fermentación son bacterias mesofílicas y bacterias psicofílicas. Para este rango de temperaturas, en el caso de las mesofílicas, deben manejarse tiempos de retención de entre 45 y 60 días, ya que se está por debajo del óptimo de su temperatura de trabajo. En el caso de las mesofílicas, en invierno se estaría trabajando en su rango de temperatura óptimo, pero los tiempos de retención deben ser mayores a 100 días. En el siguiente capítulo se presenta una fórmula que contempla estos aspectos

En algunos casos puede ser recomendable, si resulta difícil trabajar a temperaturas más elevadas [9], trabajar a menores temperaturas en pos de mantener la estabilidad del biodigestor. Por lo tanto, no siempre es recomendable calefaccionar el biodigestor,

a altas temperaturas en busca de una maximización de la eficiencia energética (mayor producción de gas), ya que las variaciones más bruscas son más probables, con una consecuente desestabilización del biodigestor.

Esto se debe a que *“las bacterias productoras de metano son sensibles a los cambios repentinos de temperatura y una disminución de sólo unos pocos grados de la temperatura a la cual el cultivo de las bacterias productoras de metano ha venido trabajando, suele interrumpir la producción de gas sin afectar en absoluto la producción de ácidos”* [15].

A los efectos de minimizar las variaciones bruscas de temperatura, el biodigestor debe tener un adecuado aislamiento térmico. Una medida que contribuye significativamente es el enterramiento de la parte del biodigestor donde se encuentra la biomasa; además, se debe colocar material aislante entre las paredes del biodigestor y el suelo. Asimismo se puede construir un invernadero que cubra todo el biodigestor, con lo cual se logra amortiguar las variaciones de temperatura ambiente, que afecta en alguna medida la temperatura interna del biodigestor.

Una medida que se puede adoptar durante los meses de invierno es el precalentamiento del agua de mezcla para no introducir la mezcla demasiado fría, para evitar generar condiciones que pueden afectar el funcionamiento del biodigestor. Otra medida puede ser alimentar el biodigestor durante las horas más cálidas del día o bien realizar el lavado con agua tibia, utilizando parte del biogás, restos del aserradero y/o calentadores solares para ello.

3.2.2. Tiempo de retención hidráulico.

Formatted: Bullets and Numbering

El tiempo de retención deberá garantizar un aceptable nivel sanitario del efluente para ser empleado como biofertilizante.

El criterio adoptado es el que figura en el artículo 3 del decreto 253/979, donde se plantean las características sanitarias que deberán cumplir las *“aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural, cuando éstas son usadas a través de sistemas de riego que provocan el mojado del producto”*, las cuales son clasificadas como Clase 2.a.

Para estimar el tiempo de retención hidráulico se emplea el parámetro de Coliformes Fecales, fuertemente vinculado a la aptitud microbiológica y parasitológica del efluente. En ese sentido, en la siguiente tabla se presentan los estándares que debe cumplir el efluente del biodigestor para poder ser clasificado como Clase 2.a:

Parámetro	Estándar
COLIFORMES FECALES	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL

Tabla 8 – Estándar de calidad para aguas Clase 2.a. para CF

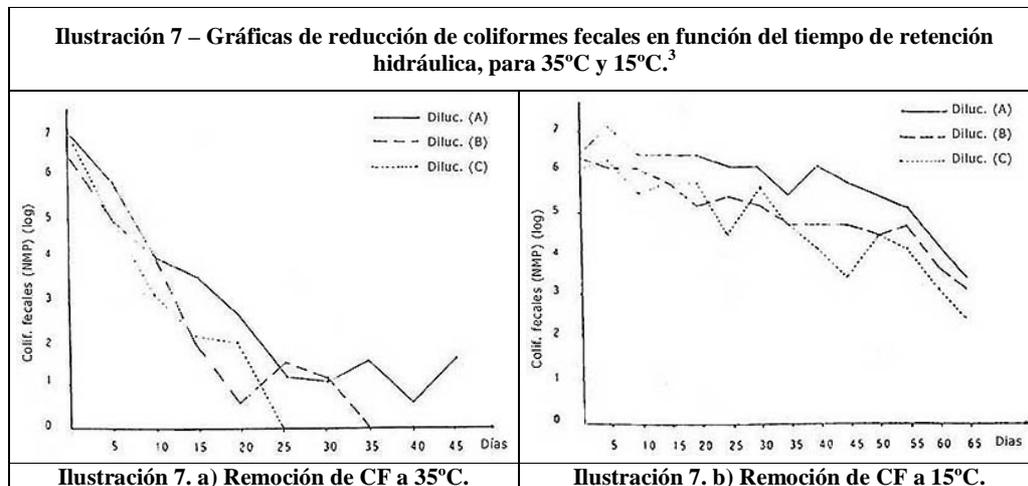
Para determinar la eficiencia de remoción de coliformes fecales, se considera un estudio realizado en Chile [11] que consistió en dos experimentos a temperaturas de 15°C y 35°C empleando, para cada temperatura, tres biodigestores experimentales

idénticos con las siguientes concentraciones de sólidos totales: A = 10 %, B = 6 % y C = 3 %. El tiempo de retención se consideró como una variable dependiente de la temperatura; para 15°C y 35°C fueron de 75 y 45 días, respectivamente.

La reducción de los ooquistes fue de 100 % en todas las experiencias y en cada una de las diluciones. Esta gran mortalidad se produciría por la sensibilidad del ooquiste a la falta de oxígeno para su esporulación y por los efectos tóxicos de subproductos elaborados por las bacterias (Kheysin, 1972; en [11]).

Como se observa en la siguiente ilustración, basada en los mencionados experimentos, se obtienen los siguientes resultados:

- Para 35°C, a los 35 días y con la dilución B (6 % ST), se obtiene una remoción del 100 % de Coliformes Fecales.
- Para 15°C, a los 65 días y con la dilución B (6 % ST), se reduce en 3 órdenes la concentración de Coliformes Fecales, de 10^6 a 10^3 CF.



Comúnmente, en los países tropicales se emplean tiempos de retención de 50 días para garantizar la sanidad del efluente tratado y poder emplearlo como biofertilizante [2]. En éstos, las temperaturas medias rondan los 30°C.

Se utilizan los datos obtenidos de bibliografía, que para las distintas temperaturas de trabajo establecen los tiempos de retención hidráulicos necesarios para cumplir con el estándar de coliformes fecales para clase 2.a) del decreto 253/79. En todos los casos citados el porcentaje de sólidos totales es de 6 %.

Éstos son:

- 35 días para 35°C [11]
- 50 días para 30°C [2]
- 80 días para 15°C [11]⁴

³ Fuente: [7]

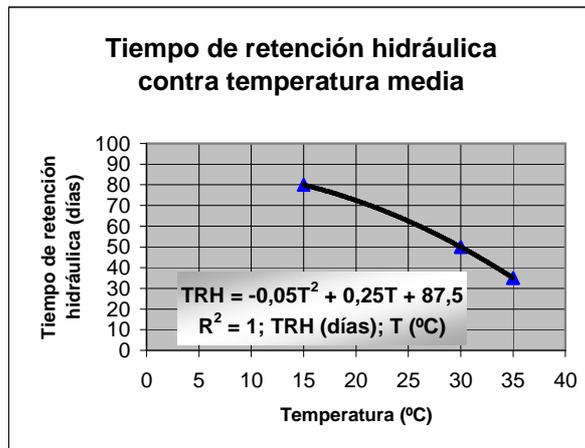


Ilustración 8 – Relación entre tiempo de retención hidráulica y temperatura media del biodigestor.⁵

Estos valores se interpolan con un polinomio de segundo grado, obteniéndose la fórmula presentada en la ilustración anterior.

A partir de esta fórmula se calcula el tiempo de retención hidráulica para la condición más desfavorable, la más favorable y el promedio.

Temperatura (°C)	TRH (días)
17	77
21.5	70
26	60

Tabla 9 – TRH en función de la Temperatura

Para el diseño, se considera que el biodigestor, en la condición más desfavorable de temperatura, puede alcanzar la temperatura media a través de la premezcla de las excretas con agua tibia y con un adecuado aislamiento. En conclusión, se diseña el biodigestor con un tiempo de retención hidráulico de 70 días.

⁴ Este TRH se calcula extrapolando el gráfico 7.a) hasta alcanzar un orden de 10^2 de CF, para cumplir con el estándar de aguas Clase 2.a (CF<1000).

⁵ Fuente: elaboración propia a partir de [7] y [9].

3.2.3. Tasa de Generación de biogás.

La tasa de generación de biogás es un parámetro a considerar según la metodología que se emplea en el presente diseño. A continuación se presentan los valores obtenidos a partir de bibliografía:

- Relación biomasa/biogás en m^3/m^3
 - Para climas fríos a templados es de 2,4 : 1,0
 - Para climas tropicales es de 1,0 : 1,0

Potencial de generación de biogás por kg de estiércol suino.

Fuente	Valor	Unidad
Könzen (en [5])	0.051	$m^3/kg_{(estiércol)}$
Magalhaes (en [5])	0.0792	$m^3/kg_{(estiércol)}$
(“)	0.1782	$m^3/día/cerdo$
Ortolani et al. (en [5])	0.043 a 0.100	$m^3/kg_{(estiércol)}$
[1]	0.083	$m^3/kg_{(estiércol)}$
Promedio	0.083	$m^3/kg_{(estiércol)}$

Tabla 10 – Potencial de generación de biogás por kg de estiércol suino.

Producciones medias de biogás por kg de estiércol (diluido al 6 % de ST) en m^3/kg , según la temperatura y tiempo de retención hidráulico:

Fuente	TRH (días)	T (°C)		
		40	35	25
[5]	30	0.127	0.136	0.064
[5]	25	0.134	0.124	0.063
[5]	15	0.100	0.092	0.039
[5]	10	0.080	0.070	0.037
[16]	31.5 días	T = 30 °C	0.419 L/g SVT= 0.063 m^3/kg	

Tabla 11 – Generación de biogás, en m^3 por kg de estiércol suino, según tiempo de retención hidráulico y temperatura.

En general, estos sistemas comienzan a funcionar en régimen permanente a aproximadamente a los 25 días. A los efectos del diseño se toma la tasa de producción para 25 °C a los 25 días (0.063 m^3/kg).

3.2.4. Volumen de diseño del biodigestor.

El volumen de un digestor está dado, por la expresión (1), en donde:

- **C**: es la capacidad de la planta en biogás por día ($m^3/\text{día}$)
- **R**: es la relación entre el estiércol húmedo y el estiércol seco (kg/kg)
- **D**: es el peso de agua añadida por cada unidad de peso de estiércol húmedo (kg)
- **TRH**: es el Tiempo de Retención Hidráulico (días)
- **Y**: es el gas producido por unidad de peso de estiércol seco (m^3/kg)
- ρ_m : es la densidad de la mezcla estiércol-agua (kg/m^3)

$$V = \left(\frac{C \times R \times (1 + D)}{Y \times \rho_m} \right) \times TRH \quad (1); \quad (\text{Fuente: [15]})$$

De la Tabla 4 se tiene que: la masa húmeda de diseño de estiércol por día es de **m = 187.5 kg/día** y para esa masa, los Sólidos Totales (ST) son **37 kg/día** y los Sólidos Volátiles Totales (SVT) **31 kg/día**.

Por lo tanto **R** se calcula como:

$$R = \frac{\text{Peso Húmedo}}{\text{Peso Seco}} = \frac{187.5 \text{ kg}}{37 \text{ kg}} = 5.07$$

Dado el alto grado de dilución del estiércol se toma $\rho_m = 1000 \text{ kg}/m^3$.

Para alcanzar un porcentaje de Sólidos Totales de un 6 %, se estima la cantidad de agua necesaria como se detalla continuación:

$$m_{(\text{agua a agregar})} = \frac{m_{(st, kg)} \cdot \%(\text{agua})}{\%(ST)} - (m_{\text{excretas frescas}} - m_{ST}) \quad (2)$$

$$m_{(\text{agua a agregar})} = \frac{37 \text{ kg} \times 94 \%}{6 \%} - (187.5 \text{ kg} - 37 \text{ kg}) = 429 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$D = \frac{429 \text{ kg}}{187.5 \text{ kg}} = 2.28$$

La ecuación (1) se puede simplificar, adoptando como criterio, que la cantidad de biogás generado en la planta diariamente es el generado en promedio por la tasa de generación de biogás por kg de estiércol, por lo tanto:

$$m_{(\text{estiércol, Kg})} = \frac{C}{Y} \quad (3);$$

El tiempo de retención que se adopta es de 70 días, según lo evaluado en la sección 4.2.2.

Por lo tanto, el volumen de diseño del biodigestor se calcula como:

$$V = \frac{37 \text{ kg} \times 5.07 \times (1 + 2.28) \times 70 \text{ días}}{1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = 43.1 \text{ m}^3$$

La tasa promedio de generación de biogás de diseño adoptada es de 0.063 m³/kg_{estiércol}, por lo que se estima una generación diaria de:

$$V_{\text{biogás}} = 187.5 \text{ kg}_{\text{estiércol}} \times 0.063 \text{ m}^3 / \text{kg}_{\text{estiércol}} = 11.8 \text{ m}^3$$

Previendo que todo el biogás sea consumido diariamente, el volumen total del biodigestor (volumen líquido más volumen gaseoso) se proyecta de 55 m³.

3.2.5. Tasa de carga de biomasa (OLR) y Tasa de carga volumétrica (VCV).

La tasa de carga de biomasa (en inglés: OLR, Organic Loading Rate) se define como la masa de sólidos volátiles totales (expresada en g) por unidad de volumen del biodigestor (expresado en L) por día:

$$OLR = \frac{SVT (g)}{V (L)}$$

La velocidad de carga volumétrica (VCV) se define como la masa de sólidos totales (expresada en g) por unidad de volumen del biodigestor (expresado en L) por día:

$$VCV = \frac{ST}{V} = \frac{37000 \text{ g}}{43100 \text{ L}} = 0.86 \text{ g/L}$$

Según la siguiente tabla se tiene que el biodigestor debe ser regulado, pero como no llega a ser de gran velocidad no necesita un sistema de regulación sofisticado.

Tipo de sistema	Laguna sin regular	Digestor sin regular	Digestor regulado	Digestor de alta velocidad
Rango de VCV	0 – 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 2,0	2,0 - 5,0

Tabla 12 – Tipo de sistema de tratamiento en función de la velocidad de carga volumétrica [9]

En general, cuanto mayor es la tecnología empleada para la regulación de la temperatura, mayor podrá ser la tasa de carga del biodigestor. Esto implica mayor costo y complejidad en la operación del mismo.

Para el biodigestor del CNR, se proyecta emplear un invernadero de polietileno sobre el biodigestor para regular la temperatura, y eventualmente se prevé el uso de un

sistema de premezcla con agua caliente en los días más fríos de invierno, para evitar el enfriamiento excesivo del biodigestor.

3.3. Elección de biodigestor.

A continuación se presenta la gama de biodigestores domésticos existentes, para luego definir el sistema que es más adecuado para el CNR.

3.3.1. Tipos de biodigestores domésticos.

Según la capacidad del biodigestor se tiene la siguiente clasificación:

- Pequeño: de 3 a 12 m³ de digestor
- Mediano: de 12 a 45 m³ de digestor
- Grande: de 45 a 100 m³ de digestor.

Se puede trabajar con varios biodigestores pequeños en paralelo, con la ventaja de tener mayor flexibilidad ante la variación de biomasa generada.

Dependiendo de la operación, se puede clasificar a los biodigestores en continuos y discontinuos. Para el presente proyecto se descartan los biodigestores discontinuos, ya que no se ajustan a la dinámica de la producción de excretas de suinos (la cual es continua).

Una primera clasificación de biodigestores continuos se obtiene según su desarrollo histórico, encontrando biodigestores tradicionales construidos en mampostería de ladrillos y otro grupo más “moderno” realizado con materiales más livianos.

Profundizando en este aspecto se tiene la siguiente clasificación, que es la que se empleará de aquí en más:

- **Diseño tradicional:**
 - Biodigestor Chino (cúpula fija)
 - Biodigestor Indio (cúpula flotante metálica)
- **Diseño moderno:**
 - Biodigestor de polietileno (ó PVC) tubular (Taiwanés).
 - Biodigestor de polietileno (ó PVC) semiesférico.

← Formatted: Bullets and Numbering

3.3.1.1. Biodigestor Chino (cúpula fija)

Este biodigestor consiste en una cúpula de gas fija construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondos son semiesféricos y son unidos por una superficie cilíndrica. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.

La tubería de la entrada es recta y con sus extremos nivelados. Hay una tapa de inspección en la cima del digestor, que facilita el limpiado. El gas producido durante la digestión se guarda en la cúpula fija, con presiones entre 1.0 y 1.5 m de agua. Esto causa solicitaciones estructurales importantes y problemas de fuga de gases.

Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos calificados para construir este tipo de biodigestor, lo que representa costos significativos.

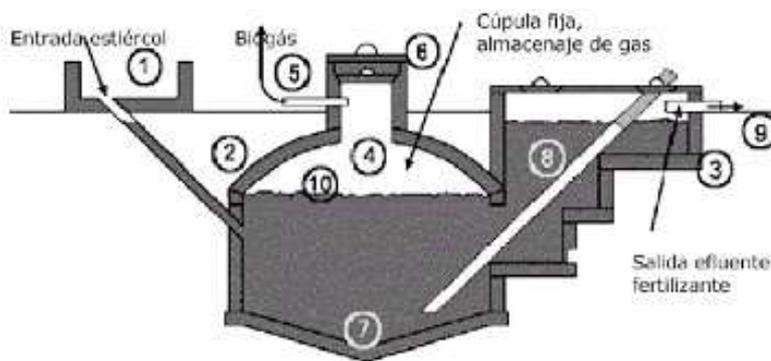


Ilustración 9 – Biodigestor de cúpula fija, tipo chino.

1. Cámara de mezcla. 2. Biodigestor. 3. Tanque de compensación extracción. 4. Cámara fija de gas. 5. Tubería de gas. 6. Tapa de inspección, con sello hermético. 7. Acumulación de lodo. 8. Agitador. 9. Nivel de referencia. 10. Película flotante.

El volumen recomendado para este tipo de biodigestores se encuentra en el rango de 6 a 20 m³.

La producción promedio de biogás va de 0.2 a 0.5 m³ por m³ de biodigestor, dependiendo del sustrato empleado.

En la siguiente tabla se presentan las ventajas y desventajas del biodigestor tipo chino:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Elevada vida útil (promedio 20 años). Costo relativamente menor con respecto al modelo indio. Buen aislamiento térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de agrietamiento debido a las presiones producidas, produciendo fuga del gas. Variación de la presión de gas, produciendo retroceso de la llama. Se necesita mano de obra calificada para su construcción y materiales de buena calidad. La extracción de lodos es compleja.

Tabla 13 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo chino.

3.3.1.2. Biodigestor Indio (cúpula móvil)

Formatted: Bullets and Numbering

Este biodigestor consiste en un depósito de mampostería que contiene la fase líquida, más una campana móvil que contiene el biogás generado. En general, para la realización de la campana se emplea acero, pero en diseños más modernos se han sustituido por campanas de fibra de vidrio reforzado en plástico para superar el problema de corrosión. Normalmente se construyen las paredes y el fondo del reactor en ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón.

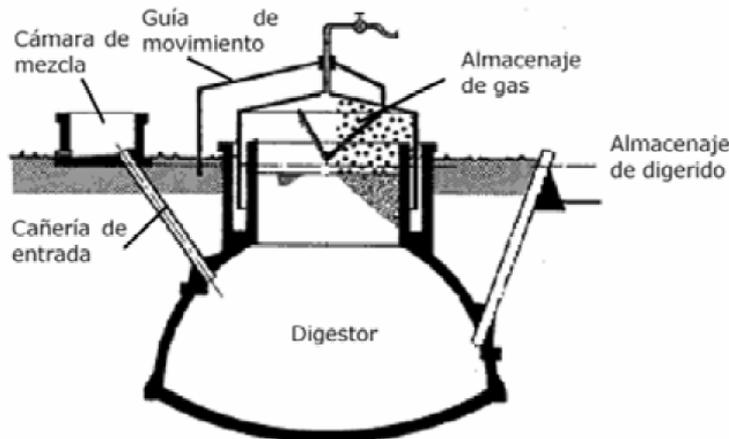


Ilustración 10 – Biodigestor de cúpula móvil, tipo indio.

Como se observa en la ilustración 10, el gas producido es almacenado bajo una campana flotante que se desplaza verticalmente en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso de la campana de gas por el área de la unidad, y normalmente varía entre 4 y 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semicontinuosamente a través de una tubería de entrada.

En la siguiente tabla se presentan las ventajas y desventajas del biodigestor tipo indio:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Presión uniforme del gas. • Relativamente fácil construcción y operación. • Buen aislamiento térmico. • Presión estable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo, debido a la campana metálica. • La campana metálica puede oxidarse. • La extracción de lodos es compleja.

Tabla 14 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo indio.

Formatted: Bullets and Numbering

3.3.1.3. Biodigestor Taiwanés (tubular de plástico)

En este biodigestor el gas se acumula en la parte superior de una bolsa de polietileno, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.



Ilustración 11 – Biodigestor de polietileno, tipo taiwanés.

En la siguiente tabla se presentan las ventajas y desventajas del biodigestor tipo taiwanés:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. • Al ser hermético se reducen las pérdidas. • La extracción de lodos se realiza en forma simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corta vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada dos ó tres años. • Vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones de personas y animales.

Tabla 15 – Ventajas y desventajas del biodigestor tipo taiwanés.

4. Guía para la construcción del biodigestor de polietileno.

4.1. Componentes.

Formatted: Bullets and Numbering

Se proyecta la construcción de un biodigestor de polietileno tipo taiwanés, el cual presenta los siguientes componentes:

4.1.1. Bolsa de polietileno

En la siguiente tabla se presentan los diámetros comerciales de tubos en polietileno de alta resistencia existentes. Para no manejar largos muy elevados y previendo que el tubo siempre se coloca doble, se consideran los volúmenes útiles para cada mitad de tubo:

Diámetro (pies)	Diámetro (m)	Largo pieza comercial (m) ⁶	Largo diseño (m)	L _{útil} (m)	vol (m ³)
4,5	1,37	61	30,5	27,5	40,7
5	1,53	61	30,5	27,5	50,2
6	1,83	61	30,5	27,5	72,3
7	2,14	61	30,5	27,5	98,4
8	2,44	61	30,5	27,5	128,5

Tabla 16 – Diámetros comerciales de tubos de polietileno para silos.

La diferencia entre el largo y el largo útil (3m) se debe a la pérdida de bolsa en los extremos debido a los dobleces realizados en los tubos de ingreso y salida.

El volumen total de diseño se calculó como 55 m³, por lo que se proyecta emplear un tubo de polietileno de 6 pies (1.83m) de diámetro con un largo útil de 21m.

4.1.2. Accesorios

- *Tubo del afluente:*

Tubo de PVC de 150 mm de diámetro por 1,5 m de largo que se localiza en la entrada del biodigestor. Se emplea para la admisión de desechos y debe sumergirse en los residuos al menos a 15 cm de profundidad, lo cual previene el escape del metano.

- *Tubo del efluente:*

Es un tubo de PVC de 150 mm de diámetro por 1,5 m de largo y se localiza en la salida del biodigestor. El tubo del efluente también debe ser sumergido a 15 cm de profundidad del fermentador para prevenir el escape del gas; se debe mantener el flujo constante.

⁶ Longitud máxima comercial. También se puede comprar al peso (por kg).

- *Salida de biogás*
 - 1 adaptador macho de PVC de 1".
 - 1 adaptador hembra de PVC de 1".
 - 1 codo liso de PVC de 1".
 - 1 llave de paso de PVC de 1".
 - 1 T de PVC de 1".
 - 1 m de tubo de PVC de 1" de pared delgada.
 - Pegamento para PVC.
 - 2 arandelas rígidas de plástico o acero inoxidable de 20 cm de diámetro con un orificio en el centro de 1".
 - 2 arandelas de goma de 20 cm de diámetro con un orificio en el centro de 1".
 - Tijera bien afilada.

- *Tubo de biogás:*

Se requieren 3 m de manguera plástica de 1 1/4" más los metros necesarios desde la válvula de seguridad hasta donde será empleado el biogás. Se ubica en la parte superior de la bolsa de almacenamiento de biogás.

- *Válvula de seguridad:*

Se requiere de 1 botella de 2 ó 3 litros, una te de 1", una esponja de alambre y un niple 20 cm.

Se utiliza para prevenir la rotura del fermentador debido a presiones altas derivadas de la fermentación anaeróbica de los desechos. Consiste en una botella de al menos 10 cm de profundidad insertada en el tubo de salida. Cuando la presión del digestor es mayor que la del agua, se libera el biogás.

- *Poste para el soporte de la válvula de seguridad:*

Poste de madera de 2,5 m de altura, donde serán sujetadas la válvula y la manguera.

- *Tubo de limpieza de lodos:*

El lodo que sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años. La tubería sirve para evacuar estos lodos por mecanismos como bombeo. Cuando el biodigestor es muy largo, se puede disponer de un tubo en un extremo del biodigestor y otro en la mitad del mismo.

- *Paja y bolsas de plastillera:*

Se debe colocar paja seca y bolsas de plastillera entre la bolsa de polietileno y el suelo, con la doble función de mejorar el aislamiento térmico y además evitar que la bolsa de polietileno sufra alguna rotura con algún elemento punzante presente en el suelo.



Ilustración 12 – Colocación de paja en la zanja. ⁷

4.1.3. Instalaciones adicionales

- *Invernadero:*

Para minimizar las variaciones de temperatura e incrementar la temperatura externa al biodigestor, se proyecta la construcción de un invernadero de plástico.



Ilustración 13 – Biodigestor con invernadero. También tiene la zanja apuntalada y bolsas de plastillera como aislante y protección adicional. ⁸

- *Dispositivo de precalentamiento:*

En invierno, es conveniente emplear un dispositivo de precalentamiento para realizar la homogenización con agua tibia, siempre y cuando no se afecte la estabilidad del biodigestor por la dificultad en la operativa o cambios demasiado bruscos en la temperatura. El mismo puede ser un recipiente metálico (tanque de 200 L) que se

⁷Foto extraída de la cartilla: “*BIOGÁS, Construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo*”; Ing. Agr. Ana Castillos; ONG: Creciendo; 2007.

⁸ Idem.

caliente con residuos del aserradero, similar al que se emplea para la cocción de los alimentos de los suinos.

Por ejemplo, suponiendo que el calor específico de la mezcla agua-excretas es aproximadamente igual al agua, para elevar la temperatura de 500 litros de mezcla de estiércol-agua de 10 °C a 20 °C, es necesario agregar 100 L de agua a 70 °C.

4.2. Construcción.

Formatted: Bullets and Numbering

- *Cámara de ingreso y salida*

Ambas cámaras se proyectan con capacidad para el volumen diario de mezcla (excretas + agua de lavado + agua adicional) de 0.62 m³.

Teniendo en cuenta que el canal que conduce el agua tiene una profundidad de 20 cm, entonces las dimensiones de la cámara deben ser de 1.2 m x 1.2 m x 0.68 m, para garantizar que el pelo de agua dentro de la cámara no supere el zampeado de la canaleta de ingreso.

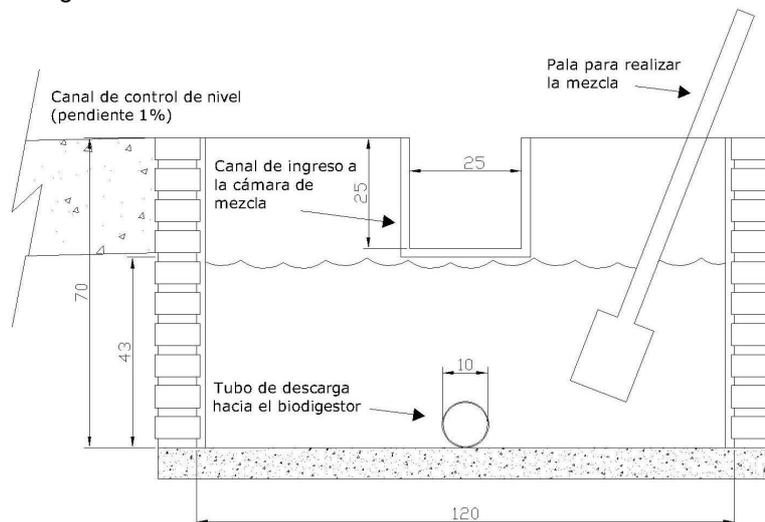


Ilustración 14 – Cámara de ingreso y mezcla.

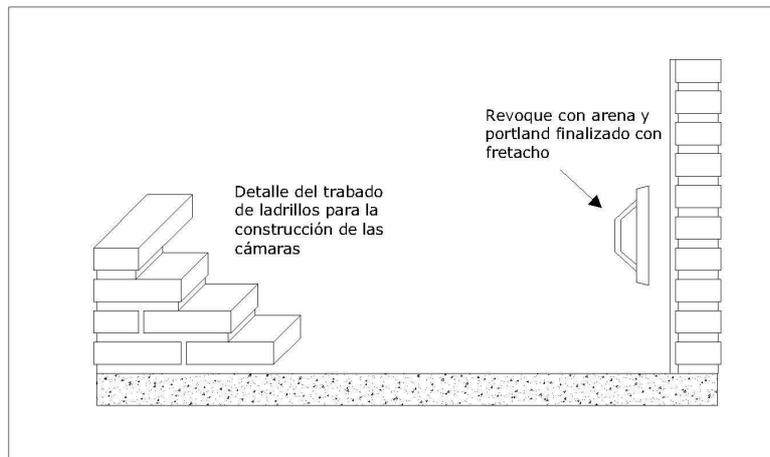


Ilustración 15 – Detalle constructivo de la cámara.

- Fosa para colocar el biodigestor

Esta fosa actúa como aislante térmico y al mismo tiempo protege los materiales. Para el caso del dimensionado y los materiales descritos, la fosa debe tener 3.22 m de ancho superior, 1.02 m de ancho inferior, 1.11 m de profundidad y 21 m de longitud.

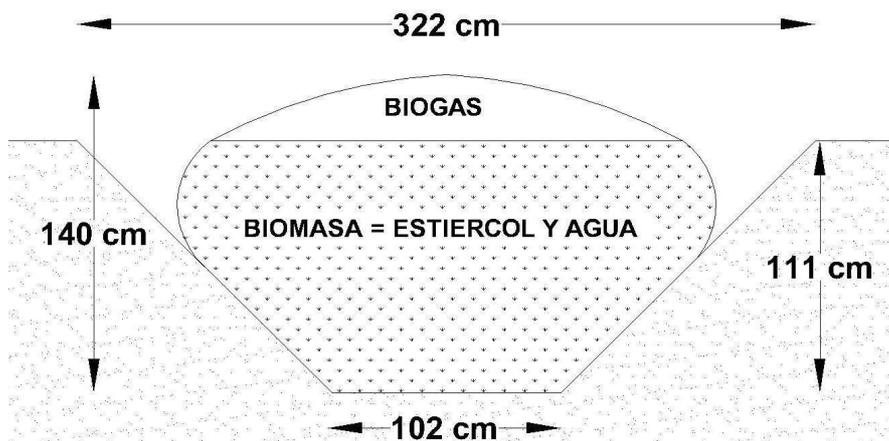


Ilustración 16 – Detalle constructivo de la cámara.

En los extremos de la fosa, deben excavarse dos zanjas inclinadas hasta el fondo, y deben tener el mismo diámetro y longitud de los tubos de PVC 150.

Las paredes laterales, evitando dejar cortantes o raíces salientes, que puedan romper las paredes del biodigestor.

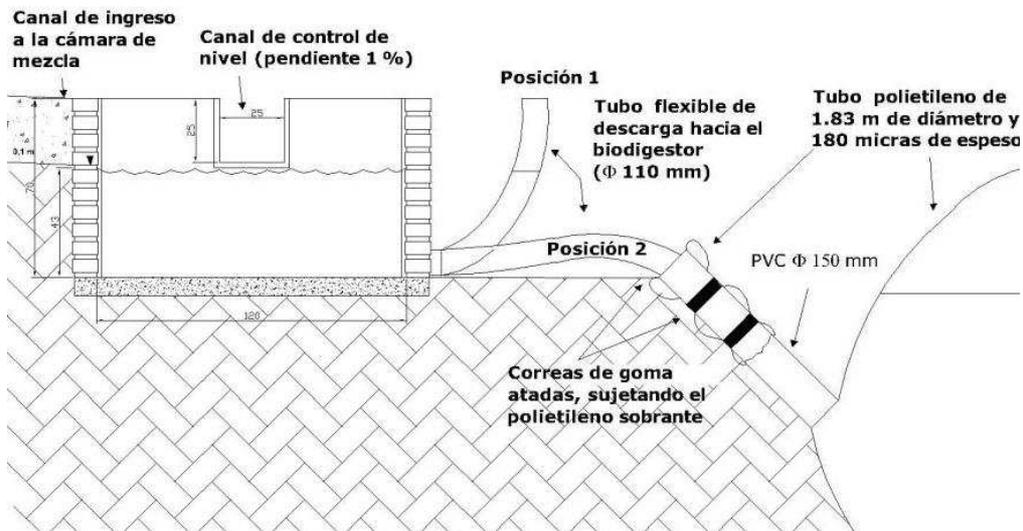


Ilustración 17 – Conexión entre la cámara de mezcla y la bolsa de digestión.

- Preparación de la bolsa

Se debe extender el plástico tubular de 48 metros sobre un piso seco, firme y sin piedras que puedan romperlo. Luego, se dobla por la mitad y se corta preferentemente con una tijera bien afilada, quedando así dos bolsas de 24 metros cada una, previendo que se perderán en los dobleces 1.5 m de tubo en cada extremo.

Una de las bolsas se extiende por el piso y una persona se introduce llevando un extremo de la otra bolsa hasta dejar una bolsa dentro de la otra, de forma de construir una bolsa de doble pared. La persona no debe llevar zapatos ni objetos que puedan romper la bolsa. Luego, se eliminan las arrugas formadas durante el proceso.



Ilustración 18 – Colocación de una bolsa dentro de la otra.

- Válvula de salida para el biogás

Con una tijera, se hace un corte circular en el quiebre superior de la bolsa doble que permite introducir de manera ajustada la rosca macho del adaptador de PVC.



Ilustración 19 – Corte de la bolsa para la salida del biogás.

Este corte se hace a tres metros del extremo de la bolsa más cercano al lugar donde se utilizará el biogás.

Se toma entonces la arandela rígida y se rosca con la rosca macho que se introduce a presión dentro de la arandela rígida. Una vez ajustada en esta posición, se coloca entonces la arandela de goma, bajándola hasta la base, para evitar que desgaste la rosca del adaptador macho.

De esta forma entonces queda parte de la válvula armada: el adaptador macho, la arandela rígida y el aro de goma, protegiendo que los bordes de la arandela rígida no vayan a cortar el polietileno de la bolsa del biodigestor.

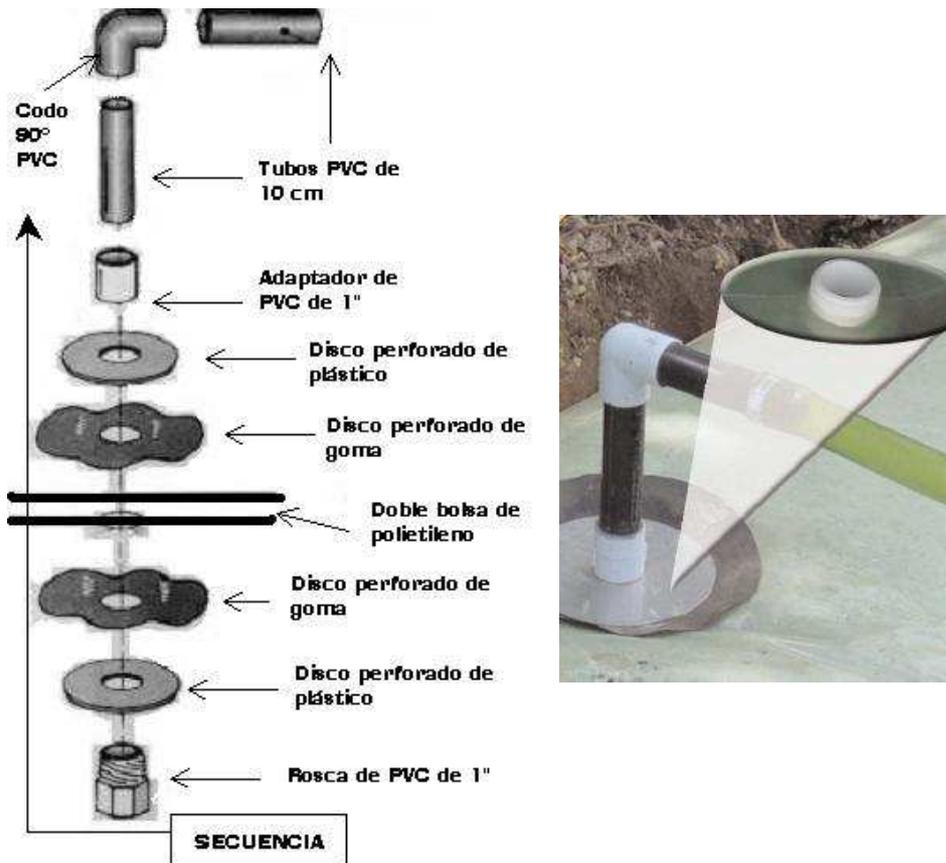


Ilustración 20 – Armado de la salida de biogás del biodigestor de polietileno.

Se introduce el adaptador macho de PVC por el orificio realizado, desde el interior de la doble bolsa de polietileno, con la arandela rígida de plástico y de goma, ambos con pegamento para asegurar la hermeticidad.

Lo mismo se realiza con la rosca hembra desde la parte externa de la doble bolsa, enroscándolo con el adaptador macho. Finalmente, se une el adaptador hembra al tubo PVC y al codo de una pulgada. Una vez instalada la válvula de salida, se coloca la bolsa doble dentro de la fosa.

- Tubos de ingreso y salida del biodigestor

Se hacen pasar los extremos de las dos bolsas a través de las tuberías de PVC colocadas previamente en los extremos inclinados de las zanjas.



Ilustración 21 – La doble bolsa se hace pasar por los tubos de salida y entrada de PVC.

- Válvula de seguridad.

Para esto se coloca primero un poste que le servirá como soporte. Para armar la válvula de seguridad se toma la T de una pulgada y en su base se inserta el niple de PVC de una pulgada que tiene 20 a 25 centímetros de largo. Esto no va pegado a la T, porque dentro de ella se coloca la esponja de alambre, que queda aquí.

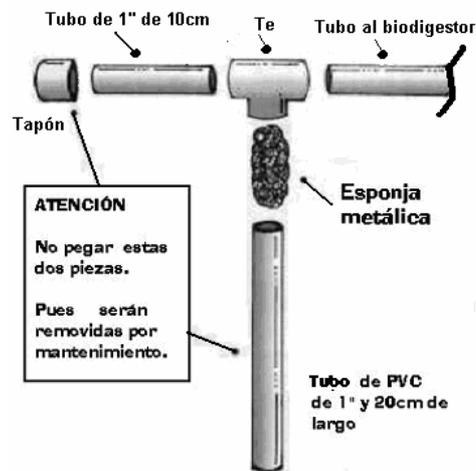


Ilustración 22 – Tuberías para válvula de seguridad.

Este tubo debe quedar suelto con la finalidad de que se pueda cambiar la esponja de alambre a través de este agujero cada seis meses a un año.

También el tapón debe quedar sin pegar para que, cuando biodigester se encuentre en régimen permanente, se pueda realizar la instalación de la tubería de biogás. También se puede hacer la instalación de la tubería para el gas en forma simultánea a la instalación del biodigester.

En los extremos de la Te se colocan los tubos cortos que tienen de 8 a 10 centímetros. Estos sí van pegados con pegamento para PVC, y se arma de esta forma en uno de los extremos un codo de una pulgada. Esta Te a su vez lleva en la parte baja un tubo de 15 a 20 centímetros. Luego se introduce dentro de la rosca de la botella.

Al frasco de plástico se le hace una ventana en su parte superior, para agregarle agua cuando falte. También se le hacen huecos en la mitad de su altura para mantener el nivel del agua aún en época de lluvia.

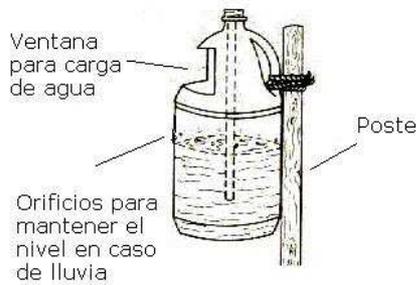


Ilustración 23 – Válvula de seguridad.

Al llenar la botella con agua, este tubo queda sumergido en una lámina de agua que tiene aproximadamente 5 centímetros de altura de columna de agua.

Esta válvula de seguridad se conecta a la válvula de salida del biogás por medio de una manguera de PVC transparente introducida a presión.

Formatted: Bullets and Numbering

5. Operación y mantenimiento del biodigestor.

5.1. Puesta en funcionamiento.

Formatted: Bullets and Numbering

- Inflado de la bolsa con aire comprimido

Para hacerlo, se arma un extremo de la bolsa con una correa de neumático, evitando que el aire se escape. En el otro extremo se introduce la manguera conectada al compresor. Se cierra fuertemente la bolsa con correas de neumático como se hizo en el otro extremo.

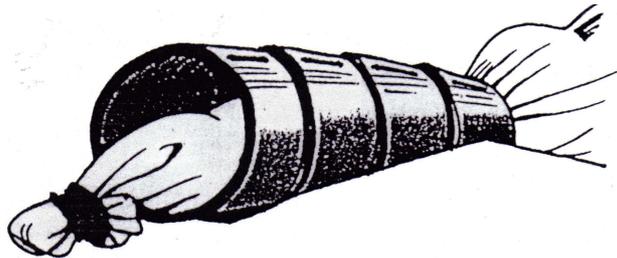


Ilustración 24 – Detalle doble bolsa en el tubo de PVC, atada para ser llenada con aire.

Una vez sellada la conexión con la ayuda de correas de neumático, se enciende el motor hasta inflar completamente la bolsa. Una vez que la bolsa esté inflada y sin arrugas, la válvula de seguridad debe empezar a burbujear, indicando así que la bolsa ha sido llenada hasta su máxima capacidad.

- Llenado de la bolsa con agua

Ahora a través de la misma manguera, luego de desconectarla del compresor y conectarla a una canilla, se introduce agua dentro de la bolsa hasta alcanzar el nivel al que el gas no puede escapar (sello hidráulico). Entonces, se abren los extremos de la bolsa y se enrollan los tubos amarrándose con correas de neumáticos.

- Carga del biodigestor con excretas

Se recomienda emplear estiércol bovino en la etapa de carga inicial, ya que se llega más rápido a la fase de producción de metano.

Se agrega al digestor una cantidad de ese estiércol igual a la carga diaria, mezclada con igual cantidad de agua. Se repite diariamente la operación con el mismo material, durante aproximadamente 30 días.

Posteriormente se lo sigue cargando con la dilución de régimen de 3 partes líquidas por 1 parte de estiércol.

5.2. Operación en régimen permanente.

Formatted: Bullets and Numbering

- Rango de pH

El rango de pH óptimo puede variar, pero el proceso de digestión bacteriana produce biogás a valores de pH entre 6.7 y 7.5, un medio prácticamente neutro. El pH se mantiene en ese rango, si el biodigestor está operando correctamente. Si el pH se torna muy ácido ($\text{pH} < 6$), la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe, aumentando la proporción de gas carbónico en el biogás.

Las causas por las cuales se puede acidificar la fase líquida dentro del biodigestor son:

- Un aumento o cambio excesivo de la carga.
- El permanecer por largo tiempo sin recibir carga.
- La presencia de productos tóxicos en la carga.
- Un cambio amplio y repentino de la temperatura interna.
- Concentraciones mayores a 10 % de sólidos totales dentro del digestor.

En algunos casos la alta acidez puede corregirse adicionándole agua con cal a la fase líquida, pero conviene no emplear frecuentemente este recurso.

- Dilución de la mezcla de excretas con el agua al ingreso de biodigestor.

Para mantener la concentración en 6 %, se recomienda mezclar el volumen de excretas generadas con agua en una proporción de 1:3 a 1:5. Es decir que para realizar la mezcla que ingresa al biodigestor, por cada balde de excretas se agregan de 3 a 5 baldes de agua.

- Relación carbono:nitrógeno (C/N)

Los carbohidratos y las proteínas son los nutrientes necesarios para el crecimiento, desarrollo y actividad de las bacterias anaeróbicas. El carbono contenido en el estiércol es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH_4). El nitrógeno es utilizado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en el proceso de producción de biogás. Si su nivel es alto, el proceso se retarda por el exceso de amoníaco y la alcalinización de la fase líquida puede llegar a detenerse.

El contenido de carbono en el estiércol de bovinos es alto, como lo es también el contenido de nitrógeno en el estiércol del cerdo. De allí, la posibilidad y ventaja de alimentar al biodigestor con las excretas mezcladas de varias especies animales, lo que permite balancear su contenido de nutrientes e incrementar así la eficiencia del proceso de producción de biogás.

5.3. Aplicación del efluente como biofertilizante.

Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de efluente del biodigestor sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo como se indica en la siguiente ilustración. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, lo que entrega valor agregado al sistema por su valor fertilizante y el agua que es usada para evapotranspiración.



Ilustración 25 – Sistema de riego de tasa lenta aplicado en canaletas.

Los procesos de depuración del efluente, continúan mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas, por medio de una triple acción: física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y fenómenos de oxidación - reducción) y biológica (degradación de la materia orgánica y absorción de nutrientes); teniendo lugar en los horizontes superiores del suelo, donde se encuentra la capa biológica activa.

- Selección del cultivo.

La metodología más conveniente para el clima y tipo de suelos del CNR (y en general para Uruguay), es la aplicación del efluente con una tasa hidráulica lenta (TL).

Existen dos tipos de sistemas de tasa lenta:

- Tipo I : son diseñados en base a un factor limitante del diseño (FLD) lo que conduce a aplicar la tasa máxima posible de efluente al mínimo de área de suelo. El parámetro crítico de diseño que determina la tasa de aplicación es específico al lugar y al tipo de efluente. Para ciertas aplicaciones puede ser la capacidad de infiltración del perfil del suelo, el contenido de nitrógeno del efluente, la DBO, los metales pesados, etc.
- Tipo II : está diseñado para optimizar el potencial de reutilización del agua aplicada y se aplica a los sistemas que están ubicados en zonas áridas o semiáridas. El diseño está basado en las necesidades de agua de los cultivos más que en la permeabilidad del suelo ya que existe un incentivo para economizar agua y maximizar el riego.

En lo que sigue, se presenta la metodología para aplicar el efluente del biodigestor con tasa lenta Tipo I.

El cultivo en este tipo de sistema de aplicación es de gran importancia, dado que cumple tres funciones fundamentales. Por un lado extrae nitrógeno, elemento normalmente crítico desde el punto de vista del diseño; produce un aumento de la velocidad de infiltración del efluente y, en mayor o menor medida, beneficia a la explotación pecuaria.

La selección del cultivo debe considerar, entre otros aspectos, la demanda de nitrógeno (N) de cada especie o variedad. En general, esta demanda depende fundamentalmente del rendimiento esperado el cual es resultado de una combinación de factores agronómicos y ambientales. Sin embargo, existen ciertos rangos publicados en la literatura que pueden ser usados como referencia en este tema.

La siguiente tabla entrega algunos valores de requerimientos de N para algunos cultivos (a modo de orientación dado que esto es altamente variable y depende del cultivar o variedad).

CULTIVOS	BIOMASA TOTAL (KG-HA ⁻¹)	RIN (%)	DEMANDA DE N (KG N-HA ⁻¹)
Trigo	17.800	1,2	214
Maravilla	12.500	1,3	163
Cebada	13.300	1,3	173
Frejoles	9.000	2,3	207
Garbanzos	5.700	2,5	143
Arvejas	9.700	2,4	233
Lentejas	5.400	2,5	135
Arroz	18.100	0,7	127
Maíz	32.600	1,0	326
Raps	15.000	1,2	180
Remolacha	24.600	1,1	271
Papas	15.400	1,7	262
Ballica Italiana	15.000	2,3	345
Avena	12.000	2,3	276
Maíz Silo	18.000	1,5	270
Ballica Inglesa	12.000	2,5	300
Trébol Rosado	7.000	3,5	245
Alfalfa	6.000	3,5	210
Pradera Mixta	6.000	2,3	138
Falaris-Trébol Subterráneo	4.000	2,3	92
Pradera Natural	3.000	1,5	45

Tabla 17. Requerimientos internos de nitrógeno (RIN) de los principales cultivos y su demanda de nitrógeno a un 100 % del requerimiento alcanzable.

Los cultivos pueden además ser seleccionados por otras características, como su demanda de agua, evapotranspiración, su resistencia a la salinidad o al exceso de humedad, y finalmente por su potencialidad de generar ingresos.

- Tasa de aplicación.

La mayoría de los sistemas TL están limitados por las tasas de carga hidráulica o de nitrógeno. Para los TL de Tipo I, la tasa hidráulica está determinada por la permeabilidad del suelo y se expresa en unidades de cm/semana o m/año, lo cual incluye períodos de aplicación y períodos sin aplicación (tasa promedio), necesarios para controlar debidamente el N del efluente.

- Tasa hidráulica de aplicación para TL de Tipo I.

Lo básico para calcular la tasa hidráulica de aplicación, para TL de Tipo I, es un balance hídrico:

$$L_{ef} = ETR - Pp - Ppr$$

Donde:

L_{ef}: Tasa hidráulica de aplicación, en mm/mes.

ETR: Evapotranspiración, en mm/mes.

Pp: Precipitación mensual, en mm/mes.

Ppr: Tasa de percolación profunda, en mm/mes.

La evaporación mensual (ETR) se puede obtener de la cartografía de evapotranspiración potencial en Uruguay, a partir de datos de tanque evaporímetro clase A de la Dirección Nacional de Meteorología (se estima cómo el 70% de la evaporación del tanque A), o bien se pueden realizar pruebas de evapotranspiración en el mismo predio.

El escurrimiento superficial no se incluye en la ecuación ya que se supone es interceptado y reaplicado, y el cálculo normalmente se hace en términos mensuales y basado en el estrato del suelo que presenta la conductividad hidráulica (percolación) más limitante.

En términos de valores de precipitación Pp, lo generalmente aceptado es utilizar el mes más húmedo con un tiempo de retorno de 10 años. La permeabilidad puede determinarse con pruebas de campo usando infiltrómetros, permeámetros o piscinas de infiltración. La permeabilidad medida o calculada es usada en la ecuación considerando el 4 % al 10 % de su valor, como criterio conservador, dado que lo que se está infiltrando no es agua pura, sino efluente.

- Tasa hidráulica de aplicación basada en N como elemento limitante para TL de Tipo I.

Cuando la protección de los recursos hídricos para el consumo humano sea el objetivo del proyecto, la limitación será obtener valores inferiores al estándar del agua subterránea que rodea los límites del área de aplicación. Este estándar es variable, pero internacionalmente el valor más aceptado es de 10 mg/L de N.

Para asegurar un diseño conservador, se utiliza este mismo estándar en el percolado obtenido bajo el área de aplicación, antes que éste se mezcle con el agua

subterránea. De forma similar al cálculo anterior, en este caso se utiliza un balance de nitrógeno, como el siguiente:

$$L_N = N_{Abs} + f(L_N) + 0,1 \cdot (P_{pr}) \cdot (C_N)$$

Donde:

- L_N :** Carga de N aplicado en kg/(há-año).
 N_{Abs} : Nitrógeno absorbido por el cultivo en kg/(há-año).
 $f(L_N)$: Fracción del N aplicado que se pierde por volatilización o inmovilización.
 P_{pr} : Tasa de percolación profunda, en mm/año.
 C_N : Concentración del N percolado (usualmente el estándar es de 10 mg/L de N)

Los valores de N absorbido por los diferentes cultivos, se obtienen de experiencias locales o tablas aceptadas para el área donde se está desarrollando la aplicación. Una guía para estos valores se obtiene de la Tabla 17, presentada en este mismo capítulo. El factor de volatilización o inmovilización varía de acuerdo al clima y al efluente. El factor "f" puede oscilar entre 0,2 a 0,5; valores menores se esperan para climas fríos, y mayores para climas más cálidos.

La ecuación de balance hídrico puede combinarse con la de balance de N para obtener una carga hidráulica que considere ambos aspectos.

Para aplicar el efluente como fertilizante se debe tener en cuenta la concentración de nitrógeno en el efluente. En promedio se tienen 1,92 g de nitrógeno total por kilo de efluente generado. Por lo tanto, para 600 litros de efluente por día (asumiendo una densidad de 1 kg/L) se generan en promedio 1.15 kg/día de nitrógeno. Resulta entonces que anualmente se tienen 420 kg de nitrógeno generado.

- Tasa de carga orgánica.

En general, la carga orgánica no es un factor limitante para los sistemas TL. Cuando se utilizan efluentes que poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, normalmente la situación se maneja alternando períodos de aplicación con períodos de no aplicación. Un valor considerado límite es evitar utilizar los sistemas de TL cuando la carga orgánica supere los 330 kg de DBO/(ha-día) ya que podrían presentar problemas por la generación de olores (Reed et al, 1995; de [14]).

Para el biodigestor del CNR, se está lejos de alcanzar esa carga orgánica, por lo que este parámetro no representa una limitante.

- Requerimientos de superficie.

La superficie necesaria para efectuar el riego se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q + V_n}{C \cdot L_{ef}}$$

Siendo:

- A:** Superficie requerida, en hectáreas.
Q: Flujo anual de la aplicación, en m³/año.
V_n: Volumen neto de almacenamiento, en m³/año.
C: Constante para cambiar unidades igual a 100.
L_{ef}: Tasa hidráulica de aplicación, en cm/año.

Una forma práctica de estimar el área requerida para aplicar el biofertilizante, es empleado los estándares internacionales de las tasas de aplicación para los nutrientes más relevantes, que se presentan en la siguiente tabla:

	N	P	K
Kg/há/año	150	45	65

Tabla 18. Tasas máximas de aplicación.
Fuente: Effluent Management extensión

- Técnicas de distribución de las aplicaciones y de control del escurrimiento.

Estos sistemas de tratamiento utilizan básicamente cualquier método de riego disponible, dentro de los más comunes se encuentran:

- Riego superficial (gravedad)
- Riego por aspersión
- Riego localizado (goteo)
- Riego con estercolera.

Lo importante es que las características del método no limiten la aplicación. Por ejemplo, el utilizar riego por goteo para distribuir los efluentes presenta dificultades de taponamiento de los emisores; asimismo, un método de riego tendido tradicional puede presentar un mal escurrimiento del efluente.

En caso de emplear riego por aspersión o con estercolera, se deberá evitar realizarlo cuando hay mucho viento.

En general, cualquier escurrimiento debe ser interceptado y reaplicado si es necesario. De la misma forma, se debe establecer un sistema de manejo de suelos apropiado de forma de evitar la erosión en períodos de lluvias intensas.

Los lodos digeridos, luego de ser deshidratados, también pueden ser aprovechados como mejorador el suelo.

Otra alternativa es, almacenar el volumen equivalente de no más de una semana de efluente del biodigestor y donarlo a establecimientos agropecuarios cercanos que cuenten con estercolera o sistema similar.

← Formatted: Bullets and Numbering

5.4. Conducción y uso del biogás.

El biogás se desplaza fuera de la bolsa debido a presiones menores a los 5 cm de columna de agua, ya que es lo que soporta la válvula de seguridad sin que se produzca pérdida de biogás a través de ella por burbujeo. Por lo tanto, se requiere de una tubería amplia para disminuir la fricción entre el gas y las paredes de la tubería, favoreciendo su fácil y rápido desplazamiento hacia el quemador.

Se puede emplear tubería de 1" de PVC o manguera negra de polietileno de 1 $\frac{1}{4}$ " (más económica que la tubería de PVC), las cuales entregan un caudal satisfactorio para un quemador hasta aproximadamente los 100 m de distancia. Para distancias mayores entre el biodigestor y el quemador, se debe utilizar tubería o manguera de mayor diámetro en función del caudal requerido por el artefacto a abastecer.



Ilustración 26 – Aplicación de biogás para calefacción de cunas de lechones.

Al comenzar la instalación de la tubería seleccionada, se debe amarrar provisionalmente un quiebre provocado sobre la manguera, flexible y transparente, que une al biodigestor con la válvula de seguridad. Esto es para evitar temporalmente (mientras se coloca la llave de paso hacia el quemador) el escape de gas almacenado en la bolsa.

Posteriormente se extrae el tapón provisional uniendo el conducto definitivo entre la válvula de seguridad y el quemador, incorporando ahora sí la llave de corte tipo guillotina o similar.

Las juntas entre cañería y accesorios deben sellarse empleando pegamento adecuado para la tubería empleada, asegurando que no existan fugas de biogás. No debe emplearse cáñamo ni pintura.



Ilustración 27 – Aplicación de biogás para cocción de alimentos.

Para evitar cualquier tipo de retorno de la llama hasta el biodigestor, se deberá colocar una válvula antirretorno para gases, entre la válvula de seguridad y la zona de consumo.

Una opción económica y efectiva es usar una válvula antirretorno de las que se venden para los compresores o bombas de aire. Son pequeños cilindros plásticos que en su interior poseen una especie de lengüeta de caucho o plástico flexible que sólo permite el paso del flujo en un sentido. La siguiente ilustración esquematiza su funcionamiento: cuando el flujo va en el sentido apropiado la lengüeta flexible se separa, pero si lo hace en sentido contrario se cierra por la presión que ejerce el propio flujo.

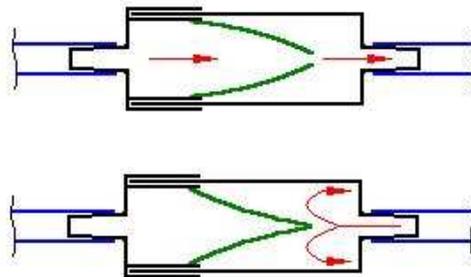


Ilustración 28 – Esquema de funcionamiento de válvula antirretorno, con lengüeta plástica.

5.5. Mantenimiento.

El biodigestor debe inspeccionarse exteriormente cuando se alimenta, en busca de posibles daños en la superficie; si la bolsa se rompe, entonces ingresa aire al reactor y éste deja de funcionar de acuerdo con lo previsto.

En el caso de presentarse roturas en la bolsa, éstas pueden ser fácilmente reparadas utilizando adhesivos fuertes; la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento por completo.

También se debe realizar una revisión periódica de los conductos y sus uniones con el fin de evitar fugas del biogás, que es un combustible explosivo y de olor fuerte al igual que el gas propano, por lo que debe evitarse su utilización en recintos cerrados o con poca ventilación.

En la superficie de la fase líquida tiende a formarse una “nata” flotante, constituida por el material fibroso no digerido por las bacterias. Esta nata puede deshacerse desde el exterior al hacer presión todo a lo largo de la superficie de la campana, aprovechando para ello las ocasiones en que la campana o depósito del biogás se encuentre vacío. De esta forma se permite que el biogás salga libremente desde dentro del líquido hacia la campana de gas.

Si se debe cambiar alguna pieza o elemento se recomienda la utilización de materiales sintéticos (polietileno, caucho, fibra de vidrio, acrílico y poliuretano, polivinilo o PVC), ya que los materiales metálicos sufren una alta corrosión debido al contacto con el biogás.

Se debe controlar, en la manguera transparente por donde va el biogás desde la campana hasta la válvula de seguridad, que no se forme un sello debido a acumulación de agua generada por la condensación del biogás.

Por el motivo expuesto anteriormente, la manguera que conduce biogás desde la válvula de seguridad al quemador, debe tener pendiente hacia la válvula, para que el agua condensada sea conducida por gravedad hacia ella.

Debido a que el agua contenida en la válvula de seguridad se llena de musgo o algas, es conveniente lavar el recipiente plástico cada vez que sea necesario para facilitar la salida del biogás producido en exceso.

← Formatted: Bullets and Numbering

6. Bibliografía

1. BEDRAN LEME GASPAS, R. M. "Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: un estudio de caso na regioao de Toledo" – PR; Disertación presentada en el programa de posgraduación en ingeniería de Santa Catarina, para la obtención de Grado de Master en Ingeniería de Producción. Florianópolis 2003.
2. BOTERO B., R; PRESTON, T; "Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas – Manual para su instalación, operación y utilización" – Edición 1987.
3. DAIRYING AND THE ENVIRONMENT - Managing Farm Dairy Effluent; New Zealand Dairy Research Institute; Copyright 1995.
4. DA SILVA MONTEIRO, L. W. et al.; "Manejo ambiental dos dejetos suínos utilizando lagoas de armazenamento e um biodigestor"; 2004.
5. DE FÁTIMA SOUZA, C. et al.; "Potencial de dejetos de suínos como substrato na biodigestión anaerobia sob efeito de diferentes temperaturas e tempos de retenção hidráulica". Revista Ceres, 52 (300): 255-265, 2005.
6. FONTANA F. E.; "Análisis tecnológico de la generación de biogás"; UNESCO; 1984.
7. KUNZ, A. et al. II-230 – "Eficiencia de um biodigestor estabilização de dejetos de suínos durante os meses de inverno no oeste de Santa Catarina". 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental. 2005.
8. LEME, J. C.; "Instalaciones aplicadas a los edificios – Combustibles, Gas, Biogás"; 1985 – ISBN: 950-02-5253-9
9. Ing. Agr. Monteverde, G; Comunicación personal 2007.
10. NUÑEZ S. et al; "Estudio microbiológico y parasitológico de excretas de cerdo sometidas a biodigestión anaeróbica en laboratorio"; Revista: Avances de Medicina Veterinaria, Vol 2, N°1, Enero-Junio 1987.
11. NUÑEZ S. et al; "Determinación química en excretas de cerdo sometidas a biodigestión anaeróbica en laboratorio"; Revista: Avances de Medicina Veterinaria, Vol 2, N°1, Enero-Junio 1987
12. PEDRAZA, G.; et al.; "Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino". – Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia - Livestock Research for Rural Development 14 (1). 2002.
13. PERALTA, J. M., et al.; "Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina", Ministerio de agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero; 2005.
14. TORRES, M. et al.; "Un biodigestor de boñigas de cabra calefaccionado con colectores solares"; Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L.
15. YANG, P.Y. & KUROSHIMA, M.; "A simple design and operation for the anaerobic treatment of highly concentrated swine waste in the tropics". IAWC Vol 32 - N° 12 - 1995.



Equipo técnico

**Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.**

Jefe de proyecto :
Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira
Bach. Javier Marrero



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

Anexo 1. Visita a establecimiento lechero en el departamento de San José, con un biodigestor de polietileno en funcionamiento.

En el marco del proyecto de extensión entre Facultad de Ingeniería y el Centro Nacional de Rehabilitación, específicamente por motivo del subproyecto vinculado al tratamiento de las excretas de cerdos, se realizó una visita a un tambo que cuenta con un biodigestor para el tratamiento de las excretas generadas, ubicado en el balneario Kiyú en San José.

La visita incluyó una exposición por parte de la ONG “Creciendo”, de los resultados de su proyecto, que consistía en la construcción y puesta en funcionamiento de 7 biodigestores en establecimientos lecheros ubicados en los departamentos de Rocha y San José.



Ilustración 1- Visita a tambo en San José

Lo que sigue exposición se describen las características del tambo visitado y los resultados obtenidos a partir de la instalación del biodigestor para el tratamiento de las excretas generadas por las vacas en la sala de ordeño.

El establecimiento cuenta con 38 vacas. Durante el ordeño se recolectan diariamente un promedio de 2 baldes de estiércol fresco, los cuales se mezclan con 8 baldes de agua para ser incorporados al biodigestor. Un detalle a considerar es que la cantidad de bosta generada en el ordeño depende de la tranquilidad con que las vacas son introducidas en la sala y del trato que se tiene con ellas, es decir cuanto mejor y más dúctil es el trato con el animal menor es la bosta generada en la sala de ordeño.

Se constata que con un cambio en la alimentación (sobre todo en la época en que se alimenta al ganado con sorgo), el biodigestor presenta una merma en la producción de biogás y por lo tanto en la eficiencia del tratamiento. Esto se debe seguramente al cambio de la relación C/N del estiércol asociado al cambio de alimentación; este problema se subsanó con el agregado de un balde de urea, que mejoró la relación carbono / nitrógeno y por ende, mejoró el funcionamiento del biodigestor.

Otro problema es la baja producción de biogás en invierno; esto se debe a las bajas temperaturas que implican una baja en la eficiencia del biodigestor y una disminución

en la producción de biogás. Para mejorar el rendimiento del biodigestor se construye un invernadero que, al acumular calor, amortigua la variación de temperatura en la noche. Se constata que la mejora se da no sólo en los meses de invierno: también hay una mejora en el resto del año.



Ilustración 2- Invernadero construido con postes de madera, varillas de hierro de 8mm de diámetro y nylon transparente de invernadero.

Sin embargo, según el productor, en verano la temperatura es mayor a 60°C debido al invernadero, lo que afecta negativamente el funcionamiento del biodigestor. Para solucionar este problema, se debe abrir el invernadero para mejorar la ventilación y se debe colocar una malla plástica sobre el mismo para reducir la exposición al sol y así lograr bajar la temperatura del biodigestor.

En la siguiente ilustración se observa el detalle constructivo de la válvula de salida de biogás. Para su construcción se empleó una doble rosca (igual a la que se emplea en la salida de los tanques de agua), dos arandelas rígidas de plástico y dos arandelas de goma.



Ilustración 3- Detalle de la válvula de salida del biogás desde la bolsa de polietileno.

En la siguiente figura se observa el detalle constructivo de la válvula de seguridad. Las dos tuberías que se bifurcan a continuación son para el biogás consumido en la hornalla del tambo y en el motor a nafta adaptado para funcionar con biogás.



Ilustración 4- Detalle de la válvula seguridad.

El biodigestor se carga con baldes. La premezcla se efectúa en un recipiente plástico de aproximadamente 50 L (la mitad de un tanque de 100 L) como se observa en la siguiente figura.



Ilustración 5- Detalle del tubo de entrada del biodigestor.

El nivel del biodigestor está determinado por el rebose de salida, es decir la cota de zampeado del tubo de salida del biodigestor.



Ilustración 6- Detalle del tubo de salida del biodigestor.

El efluente se aplica como biofertilizante con una estercolera; se estima que se puede aplicar 20.000 L por hectárea en una pasada, lo que contiene aproximadamente 4.5 kg de nitrógeno.

Se plantea, a través de un convenio con la DINAMA, reglamentar sanitariamente la calidad del biofertilizante generado con este tipo de biodigestores y que se aplica con estercolera directamente al campo, para no generar impactos sanitarios negativos en la zona donde se aplica el biofertilizante.



Ilustración 7- Estercolera empleada para la aplicación del biofertilizante.

En la siguiente tabla se presenta un análisis realizado al efluente del biodigestor:

pH	Conductividad mmhos/cm 25 °C	C orgánico mg/L	P mg/L	N mg/L
6.9	4.18	1237	46.8	224

El biogás generado le reporta al tambo un ahorro mensual de dos garrafas de gas, o el equivalente a un 100 % del gas empleado para calentar el agua de limpieza y un 50 % del gas requerido para la producción del queso.

Se verifica que con la presión normal del biodigestor (sin sobrepeso en la bolsa) se puede incrementar la temperatura de un volumen de 30 litros de agua de 25°C a 70°C en una hora.

Como parte del proyecto y de manera experimental, se hace funcionar un motor a nafta con una mezcla de biogás y aire. Éste arranca con nafta y luego al ir cerrando el pase de nafta se va abriendo lentamente el pase del biogás con el aire.



Ilustración 8- Fotografías del quemador y del motor naftero adaptado para funcionar con biogás.



Equipo técnico

**Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.**

Jefe de proyecto :

Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira

Bach. Javier Marrero



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

Anexo 2. Estimación teórica de la producción de metano y de la eficiencia de remoción de DBO.

Para comparar los valores de producción de biogás y la eficiencia de remoción de DBO con valores teóricos, se realizaron los respectivos cálculos con la metodología presentada en Metcalf – Eddy¹.

Para el cálculo del metano producido, se emplea el modelo para un biodigestor de alta carga, de mezcla completa (estrictamente el biodigestor tubular presenta flujo pistón) y sin recirculación. Las ecuaciones para efectuar los cálculos son:

$$V_{CH_4} = 0.35 \left\{ \left[\frac{E \times Q \times S_0}{1000} \right] - 1.42 P_x \right\} \quad (1);$$

Donde:

- V_{CH_4} : Volumen de metano generado (m³/d).
- E : Eficiencia de transformación (0.6 a 0.9).
- Q : Caudal biodigestor (m³/d).
- S_0 : DBO última, DBO_L (g/m³).
- P_x : Producción de tejido celular (kg/d).

$$P_x = \frac{Y \times Q \times E \times S_0}{1000(1 + K_d \times \theta_c)} \quad (2);$$

Donde:

- Y : Coeficiente de producción a 20°C (mg/mg).
- K_d : Coeficiente endógeno a 20° C.
- θ_c : Tiempo de retención celular.

$$DBO_L = \frac{DBO_5}{1 - e^{-(k \cdot t)}} \quad (3);$$

Donde:

- DBO_5 : DBO a los 5 días a 20°C (g/L).

¹ Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización – Metcalf & Eddy – Mc Graw Hill – 1998. ISBN 970-10-1005-

- k : Coeficiente de decaimiento.
 t : Tiempo en días (Para DBO_5 , 5 días).

Para el cálculo se toman los siguientes valores:

DBO_5 : 41.000 g/m³ (41000 mg/L), valor medio para las excretas de suinos y mezclado con el agua de lavado.

- k : 0,23
 t : 5 días

Obteniendo para (3):

$$DBO_L = \frac{41000 \left(\frac{g}{m^3} \right)}{1 - e^{-(0,23 \times 5)}} = 60000 \left(\frac{g}{m^3} \right)$$

Tomando los valores para proteínas a 20°C:

- Y : 0,075
 K_d : 0,014
 E : 0,75
 Q : 0,64 (m³/d)
 S_0 : 60.000 (g/m³)

Se obtiene para (2):

$$P_x = \frac{0,075 \times 0,64 \times 0,75 \times 60000}{1000(1 + 0,014 \times 70)} = 1,1 \text{ kg/d}$$

Por lo tanto, el volumen de metano según (1) es:

$$V_{CH_4} = 0,35 \left\{ \left[\frac{0,75 \times 0,64 \times 60000}{1000} \right] - 1,42 \times 1,1 \right\} = 9,54 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tomando una proporción de 50% de metano y 50 % de dióxido de carbono se tiene aproximadamente una producción de biogás de 19,1 m³/d. Éste valor comparado con el volumen de biogás de diseño 11,8 m³/d es mayor, pero del mismo orden.

Por lo tanto, se puede suponer que la remoción de DBO empleada en el diseño es más conservadora que la estimada teóricamente. La eficiencia de estabilización de DBO, siguiendo la misma metodología, es de 71 %.

Otra comparación que se puede realizar, es haciendo el cálculo de la generación diaria de biogás por kg de excretas, sólidos totales o sólidos volátiles totales. Para este cálculo se emplea la Tabla 4 del capítulo 2, obteniendo valores del mismo orden a los encontrados en la bibliografía consultada sobre biodigestores para el tratamiento de excretas de suinos.

Excretas sólidas $m_{\text{diseño}} \text{ (kg/día)}^2$	Sólidos Totales (kg/día)	Sólidos Volátiles Totales (kg/día)
188	37	31

Biogás (m ³ /kg)	0.102 (m ³ /kg _{estiercol})	0.52 (m ³ /kg _{ST})	0.62 (m ³ /kg _{SVT})
-----------------------------	--	--	---

² Se calcula empleando que la densidad de las excretas sólidas es 1,0 kg/L.



Equipo técnico

**Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.**

Jefe de proyecto :
Dra. Ing. Elizabeth González

Ing. Gimena Bentos Pereira
Bach. Javier Marrero



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Contraparte

Director General del CNR, Lic Agustín Deleo
Insp. Gustavo Belarra

Anexo 3. Intercambio entre la Facultad de Ingeniería (Departamento de Ingeniería Ambiental) y el Centro Nacional de Rehabilitación.

En el presente anexo se pretende dar una descripción breve del relacionamiento del equipo de trabajo con los diferentes actores vinculados al proyecto: responsables e internos del Centro Nacional de Rehabilitación (CNR) y estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto de extensión, por lo que es de importancia la integración del equipo de trabajo con los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, y con los internos y funcionarios del CNR. Se pretendió alcanzar un intercambio de saberes fluido y bidireccional, tratando de crear la mayor sinergia, tanto dentro del equipo del Departamento de Ambiental como con los estudiantes e internos.

La elaboración de las soluciones a las problemáticas planteadas por los funcionarios y directores del CNR descritas en los anteriores capítulos no justifican en sí la financiación que hizo posible este proyecto, ya que la misma busca además de objetivos técnicos, objetivos extensionistas. Este planteamiento fue una presencia constante en el proyecto y se trató de trabajar en lo posible para cumplir con el mismo.

Intercambio con los estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

1. Paralelamente a la realización de este proyecto por parte del equipo perteneciente al Departamento de Ingeniería Ambiental, un grupo de Proyecto Final de Carrera de Ingeniería Civil opción Hidráulica/Ambiental tomó los objetivos del proyecto para su proyecto de fin de carrera. Ambos grupos se relacionaron en las siguientes instancias:
 - Se realizaron relevamientos en conjunto. En los casos de la obtención de datos por parte de uno de los equipos sin el otro, se compartieron los datos obtenidos.
 - Se participó en las primeras dos reuniones del curso de proyecto a fin de tratar en lo posible de elaborar juntos el puntapié inicial.
 - Se realizaron reuniones mensuales, en las que se compartió la información obtenida y la bibliografía recabada.
 - Se discutió con el equipo de proyecto los resultados parciales y finales a los que se había llegado.
2. Se realizó una charla sobre la aplicación y construcción de biodigestores en el curso de Elementos de Ingeniería Ambiental, año 2007. En la misma se comentaron las alternativas existentes de biodigestores, aspectos constructivos y las principales aplicaciones del biogás. En el curso, se hizo énfasis en la importancia de tratar y disponer en forma adecuada las excretas de suinos, cumpliendo con los estándares exigidos por las autoridades competentes.

Intercambio con la contraparte perteneciente al CNR.

Este intercambio se efectivizó a través de la cotidianeidad del trabajo, y en diferentes presentaciones formales de los resultados parciales y totales de proyecto.

1. Trabajo diario

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron relevamientos recabando información del medio; en estas visitas a la institución se dialogó con los funcionarios. Se dio un relacionamiento fluido y sinérgico. La contraparte tuvo siempre muy buena disposición para la resolución y concreción de las visitas realizadas. Esto permitió una buena dinámica en cuanto a la recolección de información y organización del trabajo.

2. Presentaciones del trabajo

Se realizó la presentación del proyecto en tres instancias, la primera con nuestro interlocutor directo, otra con los directores de la institución, y una presentación final con los internos. Las presentaciones realizadas no sólo estaban dirigidas a diferentes públicos, sino que tenían también diferentes objetivos. Las mismas se describen a continuación.

En la primera presentación realizada, con el Inspector Mayor Gustavo Belarra, se mostraron los resultados primarios; se buscó el aval de que la información relevada fuera fidedigna y se le informó de algunos cambios que se querían realizar a los objetivos del proyecto.

En particular en el tema Uso del Recurso Agua se realizó un cambio de objetivos; en principio el objetivo del proyecto era la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento de agua; posteriormente el proyecto cambió con el objetivo de lograr un uso eficiente el agua.

Luego de la misma se continuó trabajando sobre la temática, realizándose una segunda presentación con un mayor desarrollo cuantitativo. La misma se describe a continuación.

La segunda presentación se realizó con: el Sr. Director General del CNR, Lic. Agustín Deleo y el Sr. Sub Director del CNR, Lic. Psic. Augusto Vitale. En ésta, se les presentaron los resultados más significativos a los que se había llegado a lo largo del proyecto, ya que ellos no estaban en contacto directo con el avance día a día del mismo.

En todas estas instancias se les preguntó a los interlocutores sobre la conformidad del enfoque que se le estaba dando al proyecto y la fidelidad de los datos recabados.

Relacionamiento con los internos

Al largo de todo el proyecto tuvimos una relación con los internos que no era planificada (las actividades con los funcionarios del CNR sí se planificaban), sino espontánea, la cual se dio en muy buenos términos, incluso aportando a la operativa del relevamiento y a la recolección de información, presentando un notorio interés por aportar a la actividad desarrollada en cada momento y sector.

Siempre existió un trato respetuoso y hospitalario por parte de los internos.

Los relevamientos y visitas en general se realizaban los sábados, con una duración media de 4 a 5 horas. Cabe destacar, que el sábado es uno de los días en los que se realiza la visita en el CNR, por lo que muchas veces además de estar en contacto con los internos, estábamos además en contacto con sus familias.

A lo largo de estas visitas tuvimos también un buen y asiduo relacionamiento con los funcionarios policiales y educadores.

Algunas anécdotas que muestran la buena disposición por parte de los internos con el equipo de trabajo:

- Durante el relevamiento de la sanitaria externa al edificio se debieron levantar la totalidad de las tapas de pluviales y saneamiento. Muchas de las tapas por estar rotas, selladas presentaban una gran dificultad para ser levantadas sin el equipo necesario. Uno de los internos espontáneamente fue hasta el taller de herrería y confeccionó un gancho de hierro que facilitó significativamente la tarea.
- Uno de los días, a la mañana, los internos conjuntamente con una educadora hicieron tortas fritas en el patio, las cuales compartieron con el equipo.
- Durante el relevamiento de la sanitaria interna de los pabellones ingresó un equipo mixto, el cual fue tratado con mucho respeto, los internos colaboraron en todo lo que estuvo a su alcance.

Presentación final

Como fin del proyecto, el miércoles 9 de abril se realizó una presentación de los resultados del trabajo; Anexo 4, la misma participaron: los internos, algunos funcionarios, nuestra contraparte directa y el director del CNR.

En primer lugar se presentaron los resultados del trabajo vinculado al consumo de agua del CNR.

El acceso al agua tiene gran importancia en la calidad de vida cotidiana, por lo que durante esta charla se trataron temas que afectaban directamente a los internos. El desafío de esta instancia fue, sin dudas, cómo elaborar la presentación para lograr un acercamiento con los internos, que tomaran conciencia de la problemática, y adoptaran una actitud proactiva en cuanto a sus hábitos de consumo de agua potable.

Para ello, se tuvo una reunión previa con una educadora que aportó elementos didácticos y conceptuales muy útiles acerca de cómo planificar y desarrollar la exposición.

En este tópico se plantearon los siguientes temas:

- Desarrollar la temática del consumo de agua, como un tema que les iba a servir no sólo a nivel del ahorro dentro del CNR, sino también para su vida en libertad y la de su familia.

- Alcanzar juntos el cuidado del agua, comprender el problema que implica su escasez y la importancia de la sustentabilidad del uso, de manera de garantizarle a las futuras generaciones el acceso al mismo.
- Asimilar que el agua es fundamental para la vida.
- Manifestar que las causas más significativas del elevado consumo de agua, estaban vinculadas al grado de participación que tienen los internos en el consumo.
- Tomar conocimiento de que las instalaciones de conducción de agua potable entregaban más caudal que los consumos normales de una vivienda.
- Desarrollar acciones para realizar un uso más eficiente del agua potable.

En cuanto a la presentación del biodigestor, aunque el mismo no representaba una afectación directa a la vida cotidiana, de cualquier manera suscitó gran interés en los internos. En esta presentación se trataron los siguientes ítems.

- Definición del biodigestor, funcionamiento biológico del mismo.
- Viabilidad de la construcción del biodigestor en el CNR y para uso doméstico.
- Aspectos vinculados al biogás y biofertilizante generados por el biodigestor.
- Aspectos sanitarios en la manipulación de las excretas de cerdos.

La presentación con los internos superó las expectativas del equipo en cuanto a la comprensión y aceptación de las ideas planteadas, intercambio de información, conocimiento e ideas. La apertura y participación de los internos hizo de la charla un riquísimo intercambio.

Existieron algunas manifestaciones de disconformidad por parte de algunos internos. Uno de los principales temas de la charla era sobre consumo de agua por los inodoros. Ese mismo día por una rotura se había cortado el suministro de agua por las válvulas de descarga de los inodoros, por lo que la presentación sirvió también como recolección de quejas de los internos.

El hecho de que la medida más significativa para reducir el consumo fuera la modificación de la sanitaria interna y no la penalización del consumo o la supresión de actividades, logró distender la tensión inicial de la presentación.

En particular, en la temática del ahorro del agua se plantearon varias interrogantes por parte de los reclusos, entre otras:

- ¿Por qué no emplear el agua sin potabilizar para las cisternas?
- ¿Qué cantidad de agua dulce hay en el mundo? ¿por qué alguna se consume y otra no?
- ¿Cómo se puede hacer para reducir el consumo de agua dulce?
- ¿Como se trata el agua potable?
- ¿Se puede desalinizar agua de los océanos?

Asimismo, varios de los internos demostraron conocimientos de instalaciones sanitarias internas al comentar características de las tuberías y válvulas de descarga de los inodoros.

También se mostraron interesados en los aspectos vinculados a los hábitos de consumo de agua potable, manifestando que, al implementar determinadas prácticas de uso racional del agua en forma conjunta, se beneficiarían significativamente ellos y la sociedad en su conjunto. Se discutió la incidencia en el consumo de agua de diferentes hábitos cotidianos y se ejemplificaron algunas formas de uso eficiente del agua potable.

Algunos de los hábitos de uso relevados a lo largo del trabajo mediante charlas con algunos grupos, por ejemplo el aseo personal, resultaron diferentes de los que el equipo de trabajo esperaba en una institución de este tipo. Se explicitaron los parámetros utilizados en los cálculos y se los instó explícitamente a discutir los mismos. Los internos avalaron los hábitos de uso que se habían relevado y utilizado en el informe.

En cuanto a la presentación del biodigestor, también mostraron mucho interés, principalmente luego de asimilar que para generar biogás para los requerimientos de una familia, alcanzaba con recolectar parte del estiércol generado por una vaca o cinco cerdos.

Muchos se interesaron en el funcionamiento y en las características del sistema, no sólo en cuanto a la generación del biogás sino también en cuanto a la generación de biofertilizante.

Al finalizar el taller, varios reclusos se aproximaron para saludar y seguir intercambiando ideas, lo cual fue muy emotivo y estimulante para cada uno de los integrantes del equipo.

Proyecto de extensión

Facultad de Ingeniería (IMFIA - Dep. Ing. Amb.)
Centro Nacional de Rehabilitación



Ministerio del Interior
CENTRO
NACIONAL
DE REHABILITACIÓN

Conservación del recurso agua

1. Reducir la cantidad de agua extraída de las fuentes de suministro de agua
2. Reducir el consumo de agua
3. Reducir el desperdicio de agua
4. Reducir las pérdidas de agua
5. Aumentar la eficiencia en el uso de agua
6. Aumentar el reciclaje y reuso de agua
7. Evitar la contaminación del agua.

Procedimiento realizado

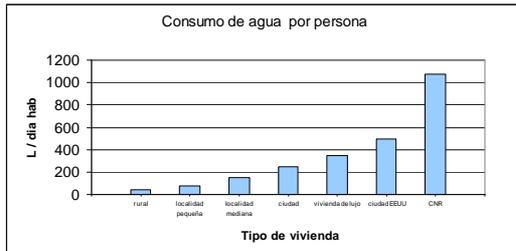
1. Relevamiento inicial. Cuantificación y caracterización.
2. Diagnóstico.
3. Abanico de intervenciones posibles.
4. Evaluación y cuantificación económica del impacto producido.

Motivación

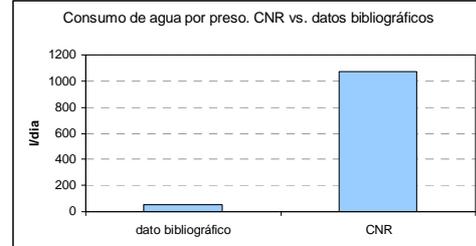
- ✓ Ahorro de agua, **factura de OSE.**
- ✓ Ahorro de energía, **gas oil, electricidad.**
- ✓ Ahorro impuestos, **Tasa de Saneamiento.**
- ✓ Mejora de la **imagen** que la población tiene de la institución.
- ✓ Actuar con **responsabilidad social**, gestionando el recurso agua potable en forma sustentable.

Viabilidad

La reducción de consumo se considera posible, ya que se observó un consumo de agua que no corresponde al habitual



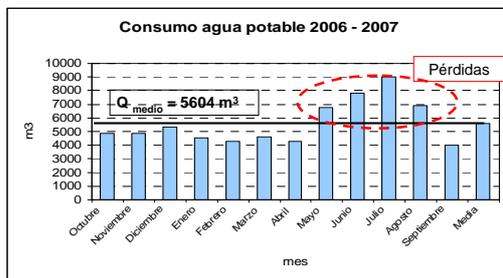
Viabilidad



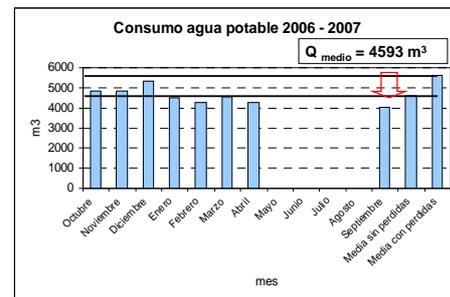
La reducción de consumo se considera posible, ya que se observó un consumo de agua que no corresponde al utilizado por instituciones similares. El CNR tiene un consumo de agua potable **21.5** veces mayor que el de otras instituciones penitenciarias.

Cuantificación del consumo

El consumo correspondiente al CNR se obtuvo utilizando el consumo mensual medido por O.S.E.



Cuantificación del consumo



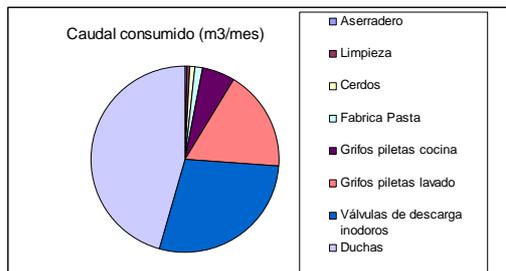
¿Dónde concentrar esfuerzos?

Se deben concentrar los esfuerzos en reducir la CANTIDAD de agua utilizada por las actividades con más peso en el consumo total.

¿Dónde concentrar esfuerzos?

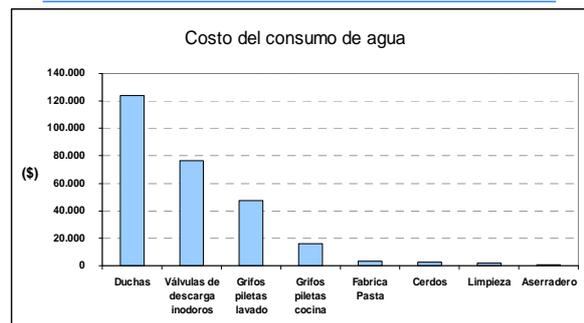
Artefactos	Q(m3/día)	Q(m3/mes)	Costo \$/mes	%
Válvulas de descarga inodoros	48,0	1440,0	76.694	28,2
Duchas	77,8	2332,8	124.245	45,6
Grifos piletas cocina	9,9	297,0	15.818	5,8
Grifos piletas lavado	29,7	891,0	47.455	17,4
Cerdos	1,5	45,0	2.397	0,9
Aserradero	0,4	12,0	639	0,2
Fabrica Pasta	2,0	60,0	3.196	1,2
Limpieza	1,1	33,0	1.758	0,6
Total		5110,8	272.201	100

¿Dónde concentrar esfuerzos?



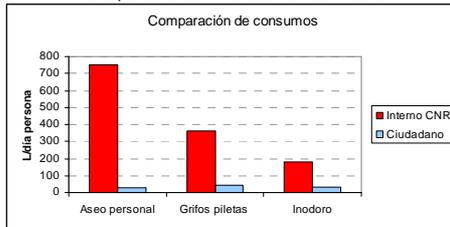
A fin de determinar en qué actividades canalizar las acciones tendientes a reducir el consumo se determinaron los consumos para cada actividad realizada dentro del CNR.

¿Dónde concentrar esfuerzos?



¿Dónde concentrar los esfuerzos?

Para evaluar si el **volumen de consumo** realizado por los internos es razonable, se compara con los correspondientes a la realizada por una persona de nivel económico medio.



CONCLUSIÓN

Se considera entonces que los esfuerzos tendientes a reducir el consumo se deben canalizar en las siguientes actividades:

1. Agua utilizada para el aseo personal. DUCHAS
2. Agua dispensada por los GRIFOS
3. Agua utilizada para evacuar las excretas. CISTERNAS

Aseo personal

Para analizar las posibles reducciones del volumen de agua consumido mediante el aseo personal se tuvieron en cuenta dos factores:

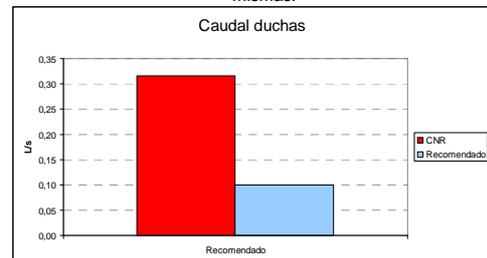
Caudal erogado por la ducha

Frecuencia y duración del aseo

$\text{Volumen mensual} = \text{Caudal} \times \text{tiempo}$

Aseo personal

Durante un relevamiento realizado al CNR, se midió el caudal dispensado por las duchas. Se observó un excesivo caudal en las mismas.



Aseo personal

Durante un relevamiento realizado al CNR, se recabó información sobre los hábitos de aseo personal.

Días de la semana	Duchas por día	Duración (min)
2	1	20
2	1.5	20
3	2.5	20

Total de duchas semanales	12.5
Total de tiempo semanal bajo la ducha	250 min 4 hrs. 10 min
Promedio de tiempo diario bajo la ducha	36min

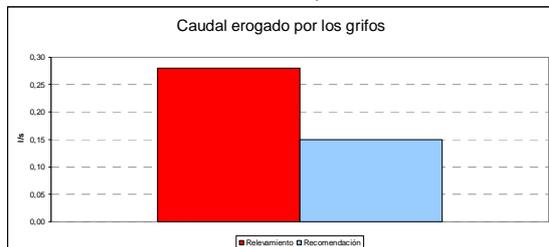
Aseo personal MEDIDAS

Se plantea reducir el tiempo bajo la ducha a 15 min diarios, utilizando un caudal de 0.15 l/s, la mitad del caudal verificado actualmente.

	Situación actual	Situación con reducción	Ahorro posible
Volumen de agua mensual por persona m ³	20	4	16
\$ mensual por persona	1070	223	847
\$ mensual gastado por la institución	\$128386	\$26747	\$101639

Canillas

Se realizó un relevamiento del caudal erogado por las canillas que se encuentran en el tercer piso de la institución.



Canillas

En las condiciones actuales de funcionamiento las canillas erogan 86% más que el caudal recomendado.

Se puede estimar una disminución del caudal erogado a 0.20 L/s mediante la instalación de válvulas reductoras de presión.

En experiencias recabadas por bibliografía se ha evaluado el ahorro mediante medidas educativas en un 10%. Se puede estimar un ahorro mediante este tipo de medidas del 5%.

Artefacto	Gasto / mes actual	Reducción, válvulas	Gastos / mes	Reducción, educación	Gastos / mes con ambas medidas de ahorro
Grifo pileta lavado	297 m ³ 15.818 \$	126 m ³ 6.744 \$	171 m ³ 9.149 \$	9 m ³ 482 \$	162 m ³ 8.667 \$
Grifo pileta cocina	891 m ³ 47.668 \$	383 m ³ 20.491 \$	507 m ³ 27.124 \$	25 m ³ 1.338 \$	482 m ³ 25.787 \$

Evacuación de excretas

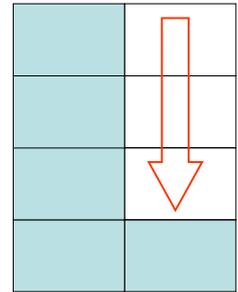
Se plantea un cambio en el método de evacuación de excretas utilizado actualmente

Método	Válvula de descarga	Cisterna convencional	Ahorro
Volumen erogado por uso	40 L	10 L	30 L
Volumen diario erogado por interno	320 L 8 descargas / día	80 L 8 descargas / día	240 L
\$ mensual gastado por la institución	76.694 \$	19.173 \$	57.520 \$

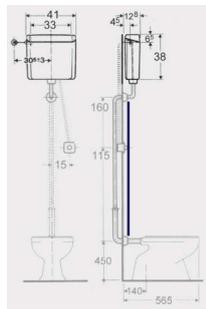
Las válvulas de cierre de las cisternas convencionales deben ser mantenidas para que no se produzcan pérdidas. Estas válvulas son menos robustas que las válvulas de descarga.



Reducción del consumo



Evacuación de excretas



Evacuación de excretas

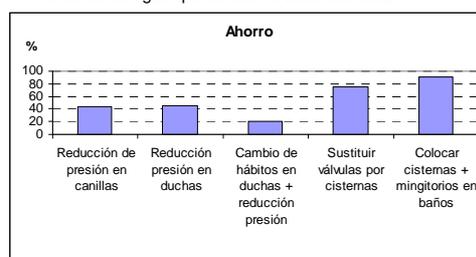
La población en el recinto es principalmente masculina y no se constata el uso de mingitorios, los baños cuentan únicamente con inodoros con válvulas de descarga.

Se plantea agregar a los baños mingitorios y sustituir las válvulas de descarga (las que gastan 4 veces más agua que una cisterna tradicional) por cisternas.

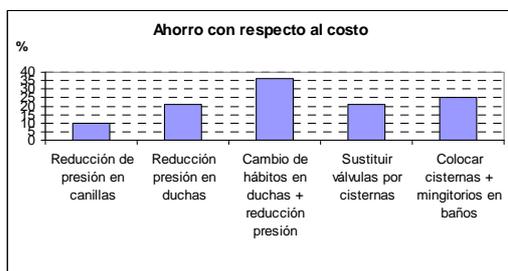
Método	Cisterna convencional	Mingitorio + Cisterna
Volumen erogado por uso	10L	2 L mingitorio 10 L cisterna
Volumen diario erogado por interno	80L 8 descargas / día	10 L mingitorio 30 L cisterna
\$ mensual gastado por la institución	19.173 \$	\$9.585

Efectividad de cada medida

Reducción lograda con las medidas respecto al total de volumen de agua que consume cada actividad



Impacto de cada medida

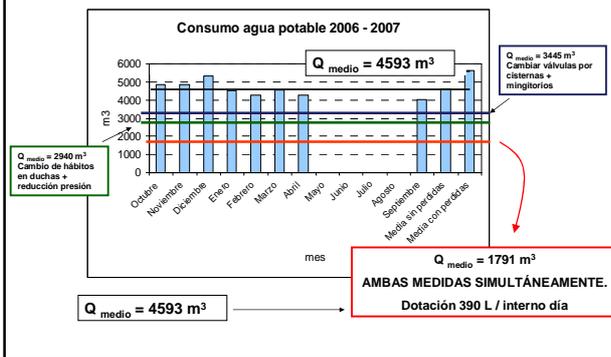


Medidas a implementar y su impacto en el consumo de agua por artefacto

Medida	% reducción	% Ahorro en la factura
Reducción de presión en canillas	43	10
Reducción presión en duchas	46	21
Cambio de hábitos en duchas + reducción presión	80	36
Sustituir válvulas por cisternas	75	21
Colocar cisternas + mingitorios en baños	90	25

El % de reducción es referido a la actividad en particular
El % de ahorro es referido al monto total de la factura

Cuantificación del consumo



Biodigestor para el criadero de cerdos

Biodigestor

- Mejorar desde el punto de vista **SANITARIO** el sustrato que ingresa para una adecuada disposición final (se puede usar como **BIOFERTILIZANTE**).
- Generar **BIOGAS**, fuente de energía renovable, de manera controlada.

Esquema de biodigestor



Biodigestor de polietileno

Funcionamiento de los biodigestores de polietileno



Biodigestor de polietileno



Aplicaciones del biogás

