

UNIVERSIDAD DE BELGRANO



FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Cuidado integral de la distribución de agua domiciliaria

Tutor: Ing. Jorge Errazquin

Alumno: Federico J. Nerviani

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Matrícula: 802-6202

Año: 2020

RESUMEN

Este trabajo se centra en el mejoramiento de un sistema de distribución de agua sanitaria centralizada de un edificio domiciliario con especial foco en la distribución del agua caliente (ACS).

Cuando tomamos una ducha sin demorarnos mucho, utilizamos un promedio de 90 litros de agua. Pero antes de meternos a la ducha, debemos esperar unos segundos, y en algunos edificios incluso minutos, a que el agua salga caliente. En ese tiempo, habremos dejado irse por el drenaje varios litros, que serán contabilizados en este trabajo, representando desde el 4% del total de nuestra ducha hasta valores mucho mayores.

Esa agua que se deja ir por el drenaje no es agua simplemente. Es todo un conjunto de procesos que hicieron posible que el agua de un río cercano, de debajo de la tierra o alguna otra fuente de agua, llegara limpia y lista para consumir al grifo de nuestros hogares.

Todos estos procesos se traducen en energía y productos químicos con un determinado valor económico para el usuario. Pero, más importante aún, es que representa una importante huella en el medioambiente.

Con el mejoramiento del sistema de distribución de agua que en este trabajo propongo se busca reducir al mínimo estos impactos, al mismo tiempo que se mejora el confort al usuario.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	6
2. ESTADO DEL ARTE	7
1. Ducha OrbSys	7
2. Mist Showers.....	7
3. WaterPebble	7
4. Washup	8
5. DREVAS.....	8
6. Grifos termostáticos.....	8
7. Aireadores para grifos	8
8. Sistemas de doble descarga	8
9. Bolsa esferic	8
10. Eco Drop	9
11. SECCO	9
12. AquaReturn®	9
3. PROPUESTA DE ESTE TRABAJO	9
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ACS CENTRAL	9
5. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES DE ACS	10
5.1. Intercambiadores	10
5.2. Intercambiadores tubulares	10
5.3. Intercambiadores de placas	11
5.4. Depósitos	11
5.5. Inter-acumuladores	11
5.6. Acumuladores	11
5.7. Válvulas de regulación	11
5.7.1. Válvulas motorizadas	12
5.7.2. Válvulas termostáticas	12
5.8. Bombas de circulación	12
5.9. Contadores	12
5.10. Cañerías	13
5.11. Aislamiento Térmico	13
6. ESQUEMAS TIPO	13
6.1. Producción instantánea	13

6.2. Producción con acumulación	15
6.3. Sistemas con inter-acumuladores.....	15
6.4. Sistemas con acumuladores	16
6.5. Distribuciones Generales	17
6.6. Esquemas de recirculación	18
7. EQUIPOS DE BOMBEO	18
8. DIMENSIONAMIENTO.....	19
9. CASO DE ESTUDIO.....	20
9.1. Características del edificio	20
10. DIMENSIONAMIENTO.....	21
10.1. Caudales.....	21
10.2. Caudal simultáneo	22
10.3. Consumos.....	23
10.4. Producción de ACS.....	23
10.5. Distribución.....	25
10.5.1. AGUA CALIENTE	25
10.5.1.A. Departamento.....	25
10.5.1.B. Ramales	27
10.5.1.C. Montantes	28
10.5.1.D. Colectores.....	30
10.5.2. AGUA FRÍA	31
10.5.2.A Unidad departamento	31
10.5.2.B. Montantes	32
10.5.2.C. Colectores	33
10.6. Reserva total diaria (RTD)	34
11. PÉRDIDAS DE CARGA EN LA DISTRIBUCIÓN.....	34
11.1. AGUA CALIENTE	34
11.1.1. Pérdidas por departamento.....	35
11.1.2. Pérdidas en montantes	36
11.1.3. Pérdidas de carga total distribución ACS (<i>FDist_ACS</i>).....	38
11.2. AGUA FRÍA	38
11.2.1. Pérdidas por departamento.....	38
11.2.2. Pérdidas en montantes	39
11.2.3. Pérdidas de carga total distribución AFS (<i>FDist_AFS</i>).....	41

12. ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN LAS CAÑERÍAS DE ACS	42
12.1. Departamento	43
12.2. Montantes	49
12.3. Colectores	55
12.4. Tabla de tiempos	56
13. SISTEMA TRADICIONAL DE DISTRIBUCIÓN	58
13.1. Tanques de reserva elevados	58
13.2. Bomba elevadora. Dimensionamiento	59
13.3. Bomba de recirculación central. Dimensionamiento	62
14. PROPUESTA	68
14.1. Sistema de distribución mejorado	68
14.1.1. Patrón de consumo	69
14.1.2. Bomba presurizadora. Dimensionamiento	70
14.1.3. Bombas de recirculación departamentos. Dimensionamiento	78
14.1.4.A. Pérdidas de carga recirculación con colector	80
14.1.4.B. Pérdida de carga total departamento (1 unidad) (Fdto_ACS)	81
15. DERROCHE ENERGÉTICO Y DEL RECURSO	84
15.1. Análisis energético del equipo de bombeo	84
15.1.1. Bomba Presurizadora. Sistema inteligente propuesto	84
15.1.2. Trabajo de movimiento de masas de agua. Tradicional vs inteligente.	98
15.1.3. Bomba elevadora. Sistema tradicional	100
15.1.4. Recirculación central. Tradicional e inteligente	101
15.1.5. Recirculación departamentos	101
15.1.6. Ascensor. Gasto eléctrico	103
15.1.7. Resumen de consumos	104
15.3. Desaprovechamiento térmico	105
15.3.1. Categoría gas natural	105
15.3.2. Pérdida de calor por cañerías frías	108
15.4. Análisis volumétrico de agua desperdiciada	111
15.4.1 Sistema tradicional	111
15.4.2. Sistema inteligente	113
16. EMISIONES CO2	113
16.1. Proceso de potabilización en CABA	113
16.2. Emisiones debido al descarte de agua potable	114

16.3. Sistema eléctrico de distribución domiciliario	115
16.4. Tabla comparativa	116
17. ANÁLISIS DE COSTOS	116
17.1 Costo térmico. Agua derrochada	116
17.2. Bomba elevadora. Sistema tradicional.....	118
17.3. Bombas de presión central. Sistema inteligente.....	118
17.4. Recirculación departamentos	118
17.5. Resumen de costos	119
17.6. Costo de equipamiento	119
18. Estándares de eficiencia energética.....	120
19. CONCLUSIÓN.....	122
ANEXO I	123
Tablas	123
Tubos IPS.....	125
Pérdidas de carga puntuales	125
Nomograma	127
BIBLIOGRAFÍA	128

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento fundamental que posibilita la vida en la Tierra. Como seres vivos, no podríamos prescindir del agua, siquiera podríamos imaginar la vida sin agua. Sin embargo, hoy día a nivel global, una de las problemáticas más acuciantes junto al cambio climático es la preocupación por la escasez de agua dulce. Por lo tanto, es nuestra responsabilidad tomar medidas que prevengan todo tipo de problemática a futuro y posibiliten la vida en la Tierra para las futuras generaciones.

Por un lado, cada vez somos más seres humanos en la tierra y se espera que el crecimiento poblacional mundial siga aumentando junto con la esperanza de vida. Al mismo tiempo no se debe olvidar la desigualdad de acceso a este recurso que arremete en todo el mundo.

Por otro lado, el asentamiento en ciudades y la transmisibilidad de usos y costumbres acrecienta el derroche. Pero también es en las ciudades donde estas costumbres se transforman y cambian el curso de la vida.

Hoy día, para la mayoría de nosotros que vivimos en estas ciudades, la obtención de este valioso recurso es tarea sencilla: simplemente abrir el grifo y el resultado es inmediato. Lo que no significa que no se haya invertido una gran cantidad de energía en esas preciadas moléculas y mucho menos quiere decir que la inversión de energía necesaria se haya realizado sin consecuencias. Debemos cuestionar este proceso y el uso que hacemos de un recurso tan básico peropreciado como el agua. Por eso, como seres humanos responsables debemos valorizar e incorporar buenas costumbres para el cuidado de los recursos naturales que como en el caso del agua, superficial y subterránea, es sustento de la vida.

Como ingenieros, debemos mantenernos informados y evaluar los impactos de los sistemas que diseñamos a la vez que se evalúan los impactos de los sistemas actualmente existentes. Se deben tener presentes estos mismos principios y, desde nuestro lugar, incorporarlos como un deber irrefutable. Ya que el impacto de nuestras decisiones será aún mayor. Un mundo cambiante precisa de sistemas y personas que se adapten. Las problemáticas que enfrentamos hoy, y los pronósticos hacia el futuro, nada tienen que ver con un sistema originado en el siglo pasado.

2. ESTADO DEL ARTE

Alrededor el mundo, son numerosos los esfuerzos destinados al ahorro de agua y energía en hogares. Pero más que contados esfuerzos individuales, se necesitan de aún mayores esfuerzos por parte de los responsables directos y de la ayuda de los mismos gobiernos que dictan las reglas en cada país. Son este tipo de esfuerzos a donde dirigimos la atención en este trabajo, haciendo un esfuerzo por complementar al “Reglamento sobre Instalaciones Sanitarias” de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y su Anexo I, “Documento Complementario del Código de la Edificación DCC N° IV”, el cual no detalla mayores exigencias en cuanto al uso racional del agua y la energía en la construcción de edificios domiciliarios.

Dicho lo anterior, me referiré a la guía española “Guía técnica: Agua caliente sanitaria central” escrita por la “Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR)” para el “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)” el cual se basa en el “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE)” del “Código Técnico de la Edificación (CTE)” de España y cuenta con numerosas consideraciones en el tema.

A continuación, se presentan algunos de los inventos que se están queriendo incorporar hoy día. Unos prueban ser verdaderas obras de ingeniería con sorprendentes resultados, y otros ingeniosos y a la vez simples soluciones que, por más pequeño que sea, su aporte representa mucho más que eficiencia en el uso del recurso, sino que proponen un estilo de vida consiente y más sustentable con el medio ambiente, aportan a la correcta evolución del ser humano.

1. Ducha OrbSys

El sistema financiado por la NASA garantiza el ahorro de un 90% de agua y un 80% de energía. Comenzó siendo utilizado en expediciones espaciales donde el derroche de agua o energía no son una opción.

Mehrdad Mahdjoubi, diseñador industrial, creó este sistema destinado a cumplir con los requisitos de la NASA. Pero ya ha sido puesto a prueba en la Tierra. El primer lugar donde se probó fue un balneario de la costa de Suecia, con mucha concurrencia, el cual operó con excelentes resultados.

El sistema se basa en un circuito cerrado con recirculación constante. Mientras el usuario se ducha, en vez de un drenaje común y corriente hay un colector y un depósito que, a través de un proceso de filtrado y purificación y una bomba recirculadora regresan el agua a la ducha con calidad nuevamente bebible y al mismo tiempo manteniendo la temperatura deseada. Luego de que el usuario terminó de ducharse, esa agua es descartada.

2. Mist Showers

Este tipo de duchas pulverizan el agua en finas gotas creando una especie de niebla en vez de chorros de agua como son las duchas tradicionales. Este tipo de tecnología permite al usuario ahorrar grandes cantidades de agua, utilizando tan sólo 1 litro de agua por minuto.

3. WaterPebble

WaterPebble es un simple dispositivo que funciona al contacto del agua y se puede llevar a cualquier lado y usar en cualquier punto de consumo (ducha, cocina, lavamanos, etc)

ubicándolo cerca del desagüe. Su funcionamiento es simple y permite ahorrar unos cuantos litros de agua. Al detectar el agua que corre alrededor suyo, esta piedra del agua puede cronometrar automáticamente la duración de cada uso. Con una serie de luces nos avisa cuanto tiempo ha transcurrido usando el agua y lo compara con registros de anteriores usos. Cuando la luz parpadea en rojo quiere decir que nos hemos excedido del tiempo medio de uso del agua. Luego de varios usos nos incentiva a acortar el tiempo de uso reduciendo en 1/3 el tiempo para mostrar el testigo rojo.

4. Washup

Otros ingeniosos inventos como la Washup combinan dos actividades cotidianas en un único y ecológico dispositivo. Tal es el caso del diseño de Sevin Coskun, que construyó un híbrido entre lavadora e inodoro. Su funcionamiento es realmente simple y práctico. Cada vez que utilizamos la lavadora, su agua sucia es almacenada en la mochila del inodoro para su posterior uso.

5. DREVAS

Otros, focalizan sus diseños en el ahorro energético y en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Este fue el objetivo de Fran Vicente Jiménez con este ingenioso invento que se basa en una tecnología existente pero aplicado de manera sabia. DREVAS es básicamente un intercambiador de calor que ayuda a elevar un poco la temperatura del agua que va a ser calentada en calderas o termotanques. Lo hace utilizando la mayor temperatura que llevan los vertidos de agua sanitaria sin correr ningún riesgo de contaminación ya que circulan por circuitos independientes. Con estos grados de temperatura aportados, DREVAS logra ahorrarle un poco de energía a los calentadores principales.

6. Grifos termostáticos

Estos dispositivos permiten ahorrar grandes cantidades de agua reduciendo tiempo y litros necesarios para alcanzar la temperatura deseada a la hora de bañarse, lavarse las manos o incluso lavar la ropa. Básicamente, uno simplemente selecciona la temperatura deseada sin necesidad de malgastar agua o energía en alcanzar la temperatura deseada.

7. Aireadores para grifos

Su función es mezclar el agua con aire, de manera que se reduzca el caudal sin reducción de confort. Se dice que permite ahorrar hasta un 50% de agua en cada uso.

8. Sistemas de doble descarga

Los sistemas de doble descarga para inodoros permiten elegir entre dos volúmenes de agua distintos permitiendo realizar descargas parciales o totales del tanque de inodoro.

9. Bolsa esferic

La bolsa esferic es básicamente una regadera plegable que nos permite ahorrar hasta 3 litros por bolsa. Esta bolsa nos permite acumular el agua que de otra manera descartaríamos al esperar que llegue el agua caliente.

10. Eco Drop

Este ingenioso y sencillo sistema busca acortar los tiempos de duchado. Tan simple como colocar un piso de ducha que, al correr el tiempo, el mismo se vuelve incómodo para pisar ya que va mutando el relieve de su superficie.

11. SECCO

SECCO es un inodoro que no utiliza agua ni electricidad. El principio básico es el de considerar las heces humanas como un recurso y no como un desperdicio. Además, nos permite evitar la contaminación de miles de litros de agua al año. Por lo que, este equipo de arquitectos y diseñadores colombianos ha desarrollado este inodoro que aprovecha las heces humanas para producir compost y BIOGAS sin utilizar agua ni electricidad, manteniendo un nivel de confort razonable para el usuario.

12. AquaReturn®

El sistema ofrecido por la empresa española AquaReturn S.L. funciona de la siguiente manera: por medio de una bomba recirculadora, que se instala debajo de la bache de baño intercalada entre los flexibles de agua fría y caliente y el circuito de pared, sensa la temperatura del agua en el circuito de ACS con la ayuda de un termostato, y regresa al circuito de agua fría el agua que aún no está a temperatura de consumo. De esta manera, en vez de descartar agua potable esperando al agua caliente, se la conserva y reutiliza.

3. PROPUESTA DE ESTE TRABAJO

Haciendo foco en un edificio de departamentos con agua caliente (ACS) y agua fría (AFS) centralizada, se comprobará que se puede obtener un ahorro energético y una disminución del desperdicio de agua a partir de la implementación de un sistema de distribución por bombas centrífugas de caudal variable y la recirculación independiente del agua caliente por departamento, logrando controlar el suministro de ACS y AFS mediante un sistema “on-demand” híbrido inteligente. Se lo comparará con el sistema de distribución convencional con tanque de reserva elevado utilizado hoy día en la Ciudad de Buenos Aires.

Se analizarán comparativamente los costos de los sistemas propuestos, así como también la participación de estos en los consumos y emisiones de la ciudad.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ACS CENTRAL

En términos generales, la producción centralizada de ACS sigue ciertas características generales que se repiten en la mayoría de los sistemas de agua caliente y calefacción de viviendas e incluso las comparten con la industria.

Hace ya varias décadas, se utilizan calderas para la producción de calor a gran escala, que luego se distribuirá al sistema de ACS y calefacción.

Luego de calentada el agua, un sistema de cañerías será el transporte para distribuirla a todos los puntos de consumo.

Al ser tan largas las distancias entre los usuarios más alejados de la caldera y esta, se recurre a una red de cañerías que recirculan el agua constantemente, de manera de mantener una temperatura adecuada aún en el punto de consumo más alejado. De otra forma, se gastaría mucha agua y tiempo esperando a que llegue el agua caliente.

Para lograr este cometido, se distinguen dos tipos de producción de ACS, instantánea o con acumulación.

Además, se deberá tener en cuenta un aspecto muy importante, que es la prevención de la legionelosis. Aspectos claves a destacar son:

Instalaciones de producción de ACS con acumulación y recirculación son instalaciones de grupo 1; es decir, de mayor riesgo. Las instalaciones sin recirculación son de menor riesgo.

Las condiciones de temperatura habituales serán:

- La acumulación de agua deberá ser a al menos 60 °C.
- En los puntos más alejados se deberá asegurar 50 °C.
- La instalación permitirá que el agua alcance los 70 °C.
- De utilizarse un método de acumulación de agua para consumo donde no se aseguren los 60 °C de forma continua, se deberá garantizar que se los alcance en otro acumulador antes de su consumo.
- El agua fría deberá estar por debajo de los 20 °C, donde las condiciones climáticas lo permitan.
- Disponer de filtros mecánicos de partículas, de dimensiones entre 80µm y 150µm.
- Se deberá poder acceder a los equipos para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.
- Disponer de sistema de válvulas de retención, que evite mezclas de agua de distintas calidades y usos.

5. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES DE ACS

5.1. Intercambiadores

Dado que el agua de calderas no puede usarse para consumo, se utilizan intercambiadores que se encargan de tomar el calor del agua de calderas para traspasarla al ACS que luego será consumida, sin comprometer la calidad de esta. Los hay de dos tipos: tubulares y de placas.

5.2. Intercambiadores tubulares

Constan de un haz tubular del cual discurre el agua caliente primaria (calentada mediante calderas), colocado en el interior de una carcasa cilíndrica, por la que circula el agua a calentar (secundario ACS); el volumen de este cilindro es muy pequeño.

Habitualmente el haz tubular, o serpentín, se coloca en el interior de un depósito de acumulación, formando los denominados interacumuladores.

5.3. Intercambiadores de placas

El intercambiador de placas tiene el mismo principio de funcionamiento que el tubular sólo que los canales se forman con una serie de placas corrugadas que al apilarlas todas juntas se crean los canales a través de los cuales circulan los fluidos primario y secundario.

La superficie de las delgadas placas son la esencia del intercambio térmico de este tipo de intercambiadores.

Los materiales usados más habituales son:

- Acero Inoxidable AISI 304.
- Acero Inoxidable AISI 316 L.
- Acero Inoxidable 254 SMO.
- Titanio.

5.4. Depósitos

Para acumular ACS se pueden utilizar depósitos de dos tipos, acumuladores o inter-acumuladores, según contengan o no en su interior al intercambiador.

Los hay en tres tipos de materiales fundamentales:

- Acero Inoxidable.
- Acero con tratamientos especiales, como resina epoxi.
- Acero con esmalte vitrificado, para pequeños volúmenes.

Se seleccionarán según la presión y temperaturas de trabajo. Siendo la presión mínima de trabajo de 6 bar, y la recomendable 8 bar.

En cuanto a la temperatura de trabajo, teniendo en cuenta los requisitos de prevención de la legionelosis, la misma no deberá ser inferior a 70 °C.

5.5. Inter-acumuladores

Hay dos tipos:

- Los de doble envolvente, con una envolvente exterior al depósito por la que circula el agua de calderas, rodeando al acumulador; el conjunto se termina con un aislamiento exterior. Se utilizan exclusivamente en instalaciones pequeñas.
- Y los de serpentín interior, depósitos sencillos con el intercambiador tubular en su interior; existe una amplísima gama de capacidades, alcanzando grandes volúmenes.

5.6. Acumuladores

Únicamente almacenan el ACS, por lo que requieren un intercambiador exterior y una bomba que circule el agua a calentar entre el depósito y el intercambiador.

5.7. Válvulas de regulación

Para la regulación de las temperaturas de ACS se emplean dos tipos de válvulas:

- Motorizadas.
- Termostáticas.

En ambos casos el cuerpo de la válvula debe estar diseñado para trabajar con agua de consumo, siendo los materiales más habituales acero inoxidable, bronce o aleaciones especiales.

5.7.1. Válvulas motorizadas

Son válvulas de tres vías (acumulación, agua fría, distribución de ACS) que actúan mediante servomotores proporcionales comandados por reguladores que reciben las señales de las sondas de temperatura.

5.7.2. Válvulas termostáticas

Funcionan directamente mediante un elemento sensible a la temperatura que las posiciona de manera continua.

Existen dos tipos, las diseñadas para colocar a la salida de los depósitos de acumulación, que son válvulas de 4 vías: las tres correspondientes a las motorizadas (acumulación, agua fría y ACS) y una cuarta vía en la que se conecta la recirculación; el caudal de recirculación mantiene a la válvula continuamente en actuación y facilita la adecuación a las condiciones de demandas variables. Los propios fabricantes especifican cuál es el caudal mínimo de recirculación para mantener la válvula activa, que como mínimo suele ser el 10% del caudal nominal.

Otros tipos de válvulas termostáticas están diseñadas para su ubicación próxima a los puntos de consumo siendo exclusivamente de tres vías, no admitiendo la recirculación.

Por último, se han diseñado válvulas termostáticas de dos vías para instalar exclusivamente en montantes de recirculación, que reducen el caudal al necesario para mantener las temperaturas de consigna en los mismos.

5.8. Bombas de circulación

En las instalaciones de ACS se emplean bombas en el circuito primario para transferir el calor desde el circuito de calderas hasta el de agua de consumo; bombas de secundario cuando la producción se realiza por acumulación con intercambiadores externos, y bombas de recirculación para la circulación del agua por todo el edificio.

El circuito primario es un circuito cerrado en el cual el agua tiene muy poca agresividad, ya que tras las primeras purgas se le elimina el oxígeno disuelto y habitualmente es un circuito que solo recibe agua nueva en las reparaciones o reposiciones de fugas.

Sin embargo, los circuitos secundarios y de recirculación son circuitos abiertos, en los que se está recibiendo de manera continua agua de consumo, la cual es mucho más agresiva con los materiales constitutivos de las instalaciones, además los materiales en contacto con esa agua no deben modificar su potabilidad.

5.9. Contadores

En las instalaciones centrales de ACS se requieren contadores en la entrada general de agua fría, para control del consumo general.

5.10. Cañerías

Están compuestas por:

- Cañerías.
- Uniones.
- Accesorios.
- Soportes.
- Aislamiento.
- Dilatadores.

En su selección se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Compatibilidad con el fluido: el material con el que están contruidos no debe producir reacciones con el fluido ni comprometer su composición.
- Presión de trabajo: las cañerías deben ser capaces de soportar la presión de trabajo.
- Temperatura de trabajo: Asimismo, deben mantenerse estables con las temperaturas de trabajo.

5.11. Aislamiento Térmico

Es uno de los aspectos más importantes de las instalaciones centrales, ya que funcionan todo el año y las pérdidas de temperatura llegan a ser importantes. Además, un apropiado aislamiento térmico representa menor esfuerzo en las calderas para mantener una temperatura de servicio constante; lo cual se traduce en un menor gasto energético de combustible en calderas.

6. ESQUEMAS TIPO

6.1. Producción instantánea

El componente principal de estos sistemas es el intercambiador, siendo los más habituales los de placas de acero inoxidable.

La acometida de agua ingresa al edificio, después de la llave de corte general, debe haber un filtro (Fig N°2). Seguido del filtro irá una válvula antirretorno, cumpliendo la función de evitar cualquier retroceso del agua que pudiese contaminar el suministro de otros usuarios. Previo a esta, se dispondrá de un dispositivo de comprobación, que servirá para verificar si la válvula antirretorno funciona correctamente y, además, se hará uso de esta cuando se necesite realizar un vaciado del circuito. Finalmente, se alimenta una cisterna que es parte de la reserva diaria prevista en casos de interrupción del servicio.

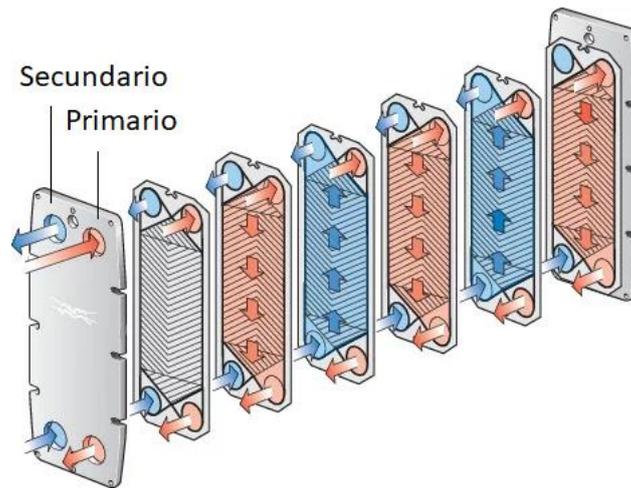


Figura N°1 Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central, ATECYR. (Fecha de captura 25/08/2019)

El intercambiador dispone de cuatro orificios, donde se harán las conexiones pertinentes (Figura N°1). Se podrá diferenciar dos circuitos, primario y secundario. El secundario es aquel que llevará el ACS a los distintos puntos de consumo. Por eso, el agua fría se conectará al secundario del intercambiador y su salida a la distribución de ACS. El circuito de recirculación, que hace posible que se mantenga una temperatura de consumo en los puntos más alejados, se conectará a la entrada de agua fría, y dotándole a este de una bomba de circulación. De manera de evitar que al circuito de recirculación pase agua fría directamente al consumo, se deberá colocar una válvula antirretorno en este último. Vasos de expansión y válvulas de seguridad serán necesarias, dado que durante el calentado del agua se producirá un incremento de su volumen que, en períodos de poco consumo, pueden producir aumentos de presión.

Para la regulación de la temperatura del ACS se requieren dispositivos especiales; los más comunes son las válvulas motorizadas de tres vías (Figura N°2), actuadas por una sonda de temperatura a la salida del secundario del intercambiador. A partir de los parámetros establecidos a la sonda, lo que hará la válvula de tres vías o diversora, será variar el caudal del primario, donde irá conectado el agua proveniente de calderas, para así adecuar la temperatura según la demanda.

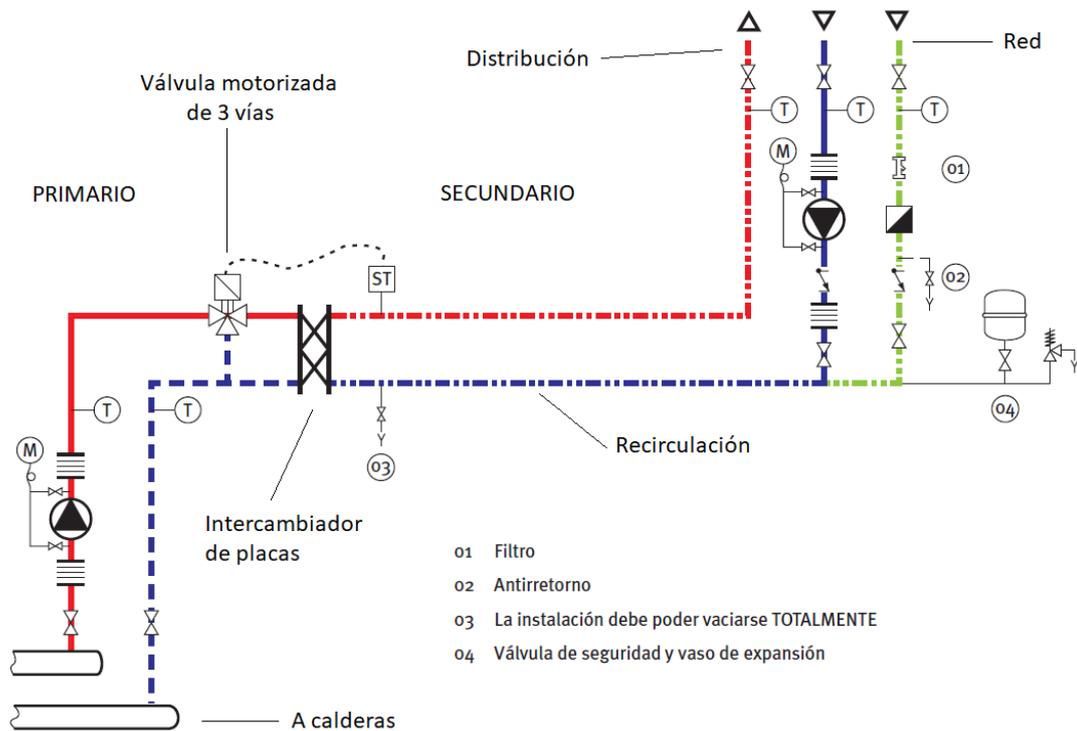


Figura N°2. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central, ATECYR. (Fecha de captura: 25/07/2019)

La instalación quedará completa con sus correspondientes llaves de corte manual, necesarias para reparar los distintos elementos, sin necesidad de vaciar totalmente los circuitos, y termómetros para analizar de manera inmediata el funcionamiento de la instalación.

6.2. Producción con acumulación

La producción de ACS puede hacerse a utilizando depósitos de acumulación, que se dividen en inter-acumuladores o simplemente acumuladores. Los primeros son de uso exclusivo de instalaciones pequeñas ya que su potencia es limitada y su mantenimiento incómodo comparado a los depósitos acumuladores.

6.3. Sistemas con inter-acumuladores

Estos sistemas son de funcionamiento sencillo. En los inter-acumuladores, el intercambiador se ubica, como su nombre indica, dentro del depósito, sumergido y en contacto directo con el agua a calentar que en este caso será el ACS de consumo (Figura N°3).

El intercambiador, es un serpentín que, como en el caso anterior, va conectado al agua de caldera y por lo tanto formará un circuito cerrado con recirculación y mediante una bomba y una válvula motorizada en el primario regulará la temperatura en el depósito de acumulación.

En el circuito secundario, a la salida del depósito, se obtendrá agua a mayor temperatura que la de consumo. Entonces, se deberá regular también la temperatura, una vez más, mediante

una válvula motorizada que mezclará agua del depósito con agua fría o una combinación de agua fría y de recirculación.

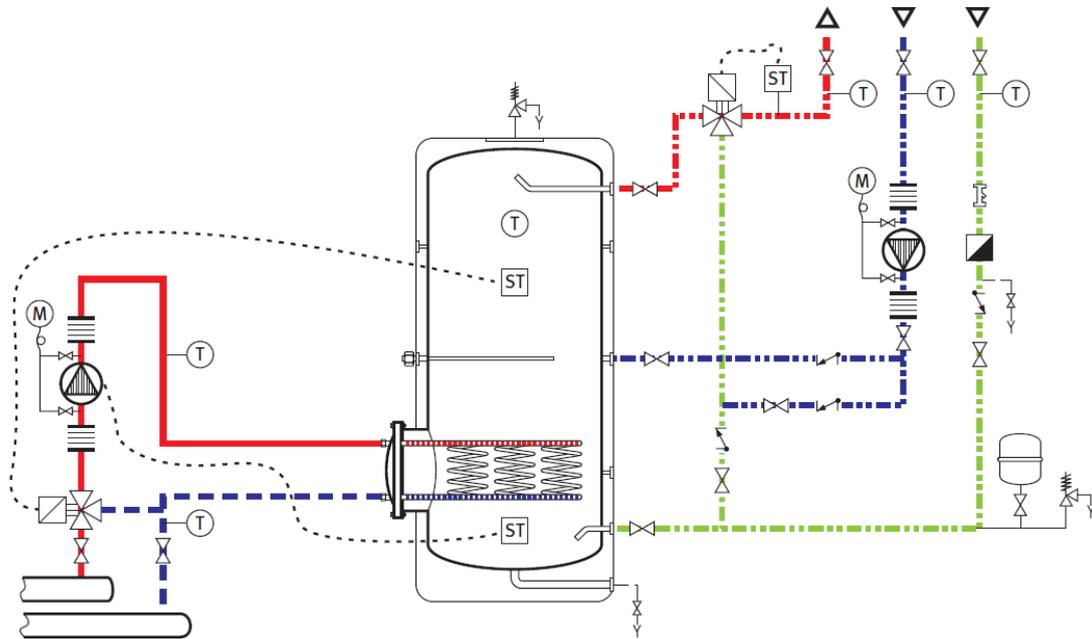


Figura N°3. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central, ATECYR. (Fecha de captura: 25/07/2019)

Para regular la temperatura del depósito, se colocan sondas en la parte inferior de este que darán arranque a las bombas del primario cuando la temperatura desciende del valor especificado y dentro de un rango horario estipulado. También se puede realizar esta regulación con sondas que actúen sobre una válvula motorizada en el primario. Aunque esta regulación no es tan necesaria ya que las válvulas mezcladoras pueden corregir por su cuenta la temperatura de distribución en el secundario.

6.4. Sistemas con acumuladores

Los sistemas de acumulación con intercambiador externo precisarán de una bomba adicional. Esta será la encargada de hacer circular el agua entre el depósito y el intercambiador. Se tomará el agua fría de la parte baja del acumulador y luego de aportarle temperatura en el intercambiador se la devolverá a la parte alta del acumulador.

Tanto la bomba del primario como la del secundario serán controladas por la misma sonda que tomará la temperatura de la parte baja de acumulador.

Luego, el agua de consumo se tomará de la parte superior del acumulador, donde se aloja en forma estratificada el agua a mayor temperatura; y, de manera análoga al proceso explicado en el caso de inter-acumuladores, se regulará la temperatura del agua de distribución a través de una válvula mezcladora.

6.5. Distribuciones Generales

La distribución de ACS central se hará habitualmente desde la sala de calderas, o próxima a ellas. Desde el subsuelo, planta baja o la planta alta o azotea, las cañerías de distribución y recirculación partirán verticalmente por el interior del edificio en uno o en varios circuitos dependiendo el diseño de este. De cada montante vertical se distribuyen las derivaciones en cada planta hasta los respectivos puntos de consumo. Paralelamente a las montantes correrán las cañerías de recirculación.

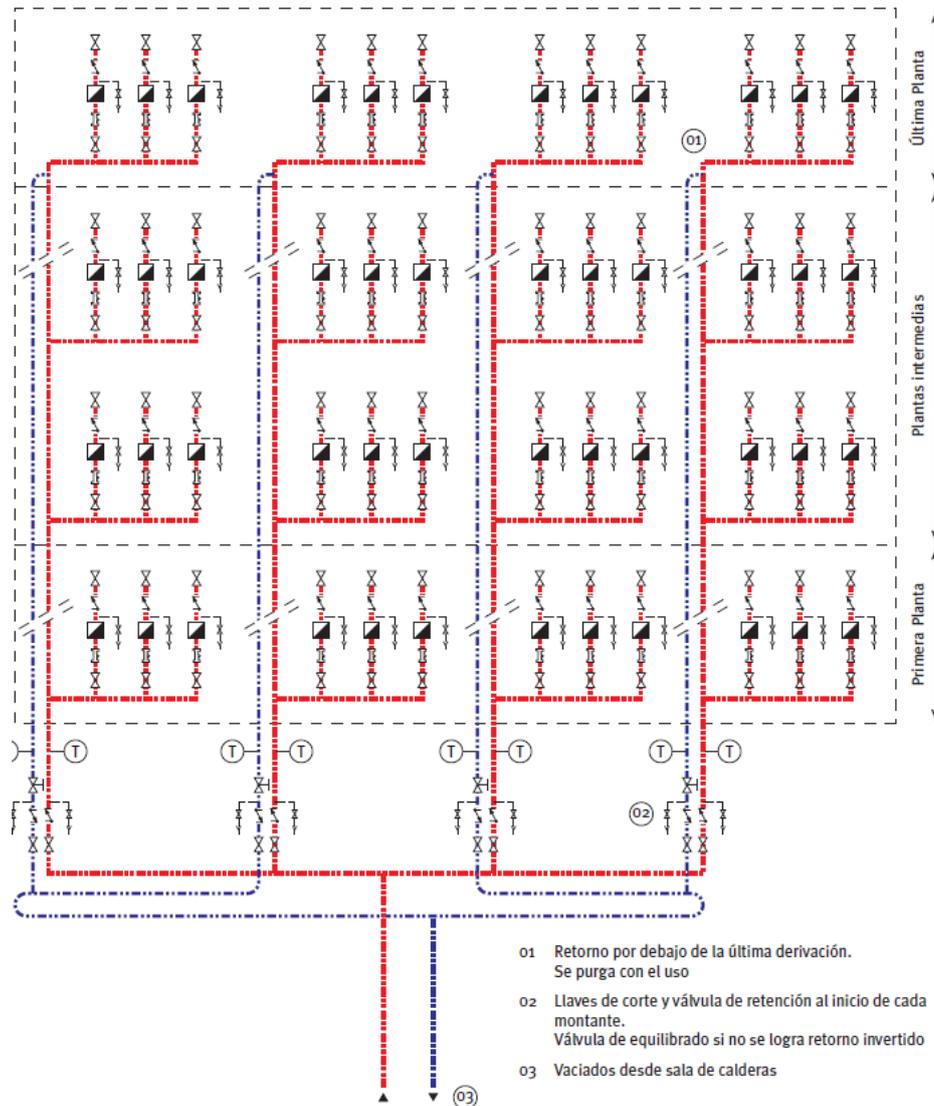


Figura N°4. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central, ATECYR. (Fecha de captura: 28/07/2019)

Se dispondrán las correspondientes llaves de vaciado y de corte para realizar las tareas de mantenimiento y reparación. A la vez, cada derivación en planta deberá contar con válvulas antrretorno que impidan que el agua suministrada pueda regresar hacia otros puntos de consumo.

6.6. Esquemas de recirculación

Los 4 esquemas de recirculación posibles son:

1. Montante distribuidora y retorno libre.
2. Montante distribuidora y retorno colector.
3. Montante libre y retorno distribuidor.
4. Montante distribuidora y retorno distribuidor.

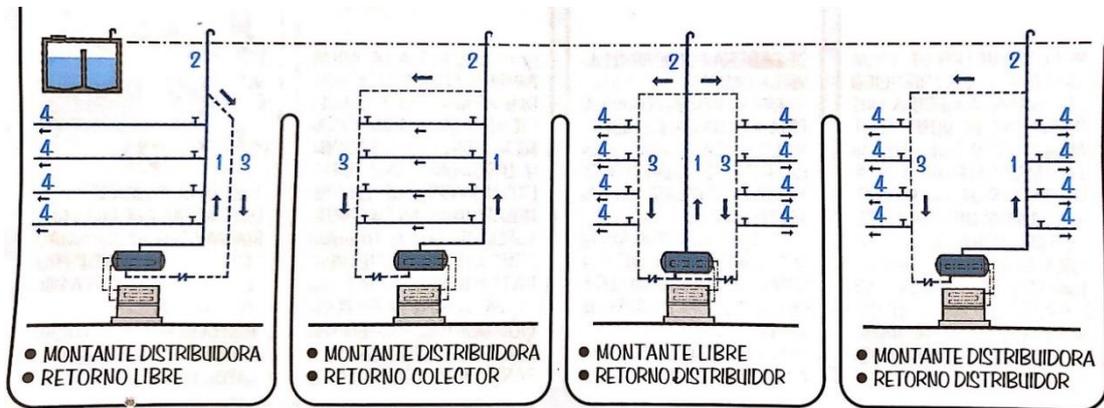


Figura N°5. Fuente: Manual práctico de instalaciones sanitarias, Nisnovich. (Fecha de captura: 24/08/2019)

7. EQUIPOS DE BOMBEO

Del reglamento sobre instalaciones sanitarias de la CABA se tiene:

El equipo de bombeo deberá contar con una conexión de agua corriente exclusiva para el servicio de bombeo.

Será obligatorio colocar junta elástica entre la bomba y el caño de impulsión; válvula de retención al pie de éste y apoyo anti vibratorio a equipo de bombeo.

El diámetro del caño de impulsión se deberá dimensionar en función del caudal a bombear, la altura manométrica y una velocidad de circulación no mayor a 2m/seg.

También, será obligatorio bombear un caudal mínimo de: $RTD / 4$ horas.

Tanto el colector del tanque de bombeo como la cañería de aspiración deben tener un diámetro igual o mayor al diámetro de la impulsión de los equipos de bombeo.

Se deberá indicar en los planos el caudal de los equipos, altura manométrica y diámetro de impulsión.

En impulsiones mayores a 35 m.c.a, se debe verificar el efecto del golpe de ariete (presiones máximas, y depresiones) y el diseño de los elementos destinados a minimizar los efectos citados.

8. DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionado de las instalaciones de distribución de ACS se usa como guía la “Guía técnica de agua caliente sanitaria central” redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) pero siempre verificado con el Documento Complementario del Código de la Edificación DCC Nº IV, Anexo I para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). El primero contiene mayor consideración en materia de gasto energético y presta mayor detalle en el dimensionamiento de las instalaciones.

El Código de edificación de la CABA establece como condición mínima para el dimensionamiento de la distribución de ACS lo siguiente:

- Diámetro mínimo para distribución agua caliente: 0,013m
- El escape puede ser 0,013 m.
- Para retornos libres (no alimentadores) el diámetro mínimo puede ser 0,013 m.
- Se permiten en la distribución ramales de 0,009 de 1,00 m. de largo como máximo alimentando un solo artefacto.
- Bajadas a intermediarios individuales, de acuerdo a las secciones de agua caliente a alimentar.
- Bajadas a intermediarios centrales y cañerías de distribución de agua caliente (ver TABLA A en Anexo).
- Ramal destinado a alimentar un solo artefacto: 0,36 cm².
- Ramal destinado a alimentar un baño principal o de servicio o bien pileta de cocina, pileta de lavar y máquina lavarropa, o máquina lavavajillas: 0,44 cm².
- Ramal destinado a alimentar un baño principal o de servicio y pileta de cocina, pileta de lavar y máquina lavarropa o máquina lavavajillas, o bien baño principal y baño de servicio: 0,53 cm².
- Ramal destinado a alimentar una Unidad vivienda tipo: 0,62 cm².

Para el cálculo de los ramales (Figura Nº6 y 7), se comienza de los artefactos más alejados de la montante. Cuando se llega a un ramal que alimente a varios de esos conjuntos de artefactos se suman las secciones necesarias para cada uno de esos conjuntos, obteniendo la sección necesaria para ese ramal. Y así se continúa, sumando secciones hasta llegar a la montante.

Luego de calculada la sección de una cañería se busca en la Tabla B (Anexo) el diámetro que le corresponde a esa sección o se consulta la tabla de secciones del fabricante para mayor precisión. Se deberá adoptar el diámetro cuya sección sea la inmediatamente inferior o superior a la necesaria por cálculo.

Para calcular las secciones de las montantes distribuidoras, se comienza del último ramal al que se va a suministrar y se avanza, en este caso, hacia la bomba sumando las secciones de los ramales que deriven de ella. Una vez calculadas las dimensiones, se pueden usar los diámetros correspondientes o adoptar una sección uniforme para toda la montante o por tramos más largos, siempre y cuando cada tramo cumpla con los requerimientos de sección calculados para el sector.

Para calcular las secciones de los colectores se deberán sumar las secciones máximas de las montantes si son dos montantes y si son más de dos montantes se le debe sumar a la montante de mayor, sección la mitad de la sección de las demás montantes.

9. CASO DE ESTUDIO

El 76,1% de las viviendas en la Ciudad de Buenos Aires son departamentos (Dirección General de Estadística y Censos, Ministerio de Economía y Finanzas GCBA, EAH.), por lo que este trabajo se centrará en este tipo de vivienda.

Se estudiará el caso particular del sistema de distribución de ACS central convencional de un edificio domiciliario y sus deficiencias energéticas, tales como uso de aislante térmico y principalmente, objeto de este trabajo, el derroche de agua potable.

9.1. Características del edificio

Se tomará como modelo un edificio de 10 pisos (Figura N°7) y 4 departamentos por piso, de idénticas dimensiones, distribución y mismo equipamiento (Figura N°6), cumpliendo con las características de una unidad de vivienda tipo, definida en el Código de edificación de la Ciudad de Buenos Aires.

La “sala de calderas” se ubicará en el subsuelo (Figura N°7). Para la distribución se utilizará un esquema de doble montante distribuidora y retorno libre. Cada montante abastecerá la mitad del edificio y cada uno de sus ramales a dos departamentos por piso. Las cañerías de recirculación serán dos también, y correrán paralelas a las montantes. Esta configuración será común tanto para el sistema tradicional cómo el modificado que se propone en este trabajo.

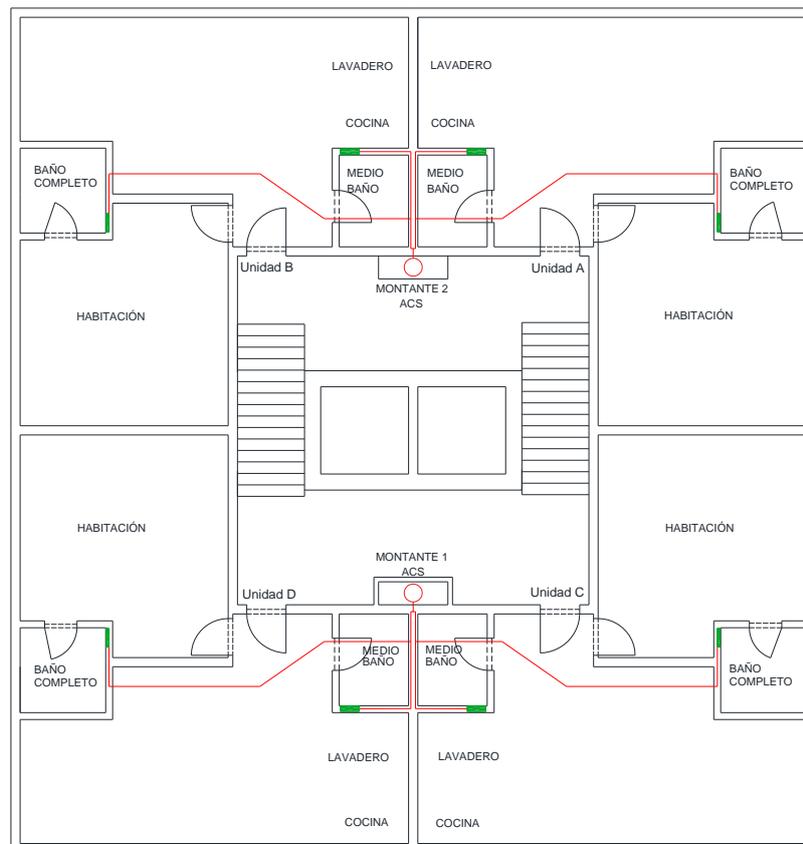


Figura N°6

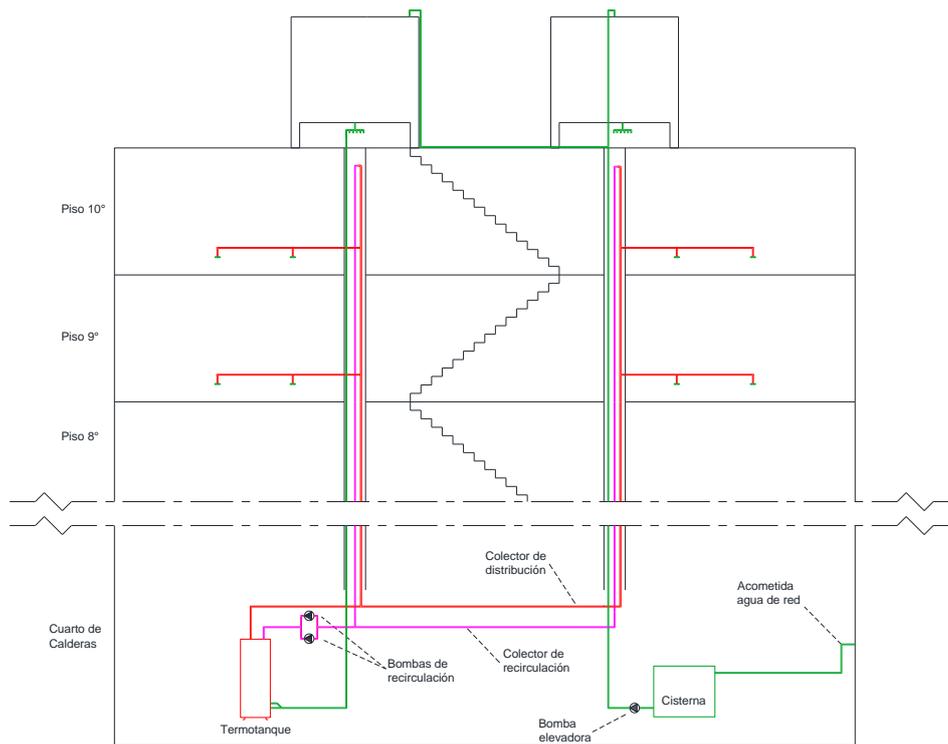


Figura N°7

10. DIMENSIONAMIENTO

10.1. Caudales

En la siguiente tabla (Tabla N°1) se presentan todos los artefactos comprendidos en la unidad departamental con el gasto individual instantáneo por aparato y zona. Se acude a la guía española ya que el código argentino no especifica en agua caliente.

Cálculos de los caudales en lts/s y aparatos							
Zonas y aparatos		AF			ACS		
		Aparatos	Unitario	Subtotal	Aparatos	Unitario	Subtotal
Cocina	Bacha	1	0,2	0,2	1	0,1	0,1
	Lavadero	1	0,2	0,2	1	0,1	0,1
	Total Cocina	2		0,4	2		0,20
Baño Completo	Bañera	1	0,3	0,3	1	0,2	0,2
	Bacha	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Bidé	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Inodoro	1	0,1	0,1	-	-	-
	Total baño completo	4		0,6	3		0,33
Medio Baño	Ducha	1	0,2	0,2	1	0,1	0,1
	Bacha	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Bidé	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Inodoro	1	0,1	0,1	-	-	-
	Total Medio baño	4		0,5	3		0,23
Total vivienda		8			8		0,76

Tabla N°1. Fuente: Guía Técnica de agua caliente sanitaria central. ATECYR.

10.2. Caudal simultáneo

Es la suma de los caudales de todos los aparatos del edificio, con un coeficiente de simultaneidad de uso. No existe ni en Argentina ni en España una norma de cumplimiento obligatorio respecto a coeficientes de simultaneidad, pero la guía de la ATECYR presenta la siguiente expresión:

$$Q_C = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Siendo:

Q_C : Caudal simultáneo de cálculo (l/s).

Q_T : Caudal total, suma de todos los aparatos del edificio (l/s).

A, B y C: Coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales totales del edificio y de los caudales máximos por aparatos (Tabla C, Anexo).

De la Tabla A (Anexo) se obtiene el caudal total de una vivienda. Entonces, el total del edificio es,

$$Q_T = 0,76 \frac{lbs}{s} \cdot 40 dtos = 30,4 lbs/s$$

Por lo que, los respectivos coeficientes, obtenidos de la Tabla C son:

$$A = 1,7$$

$$B = 0,21$$

$$C = -0,7$$

Por lo tanto, el caudal simultáneo resulta:

$$Q_c = 1,7 \cdot \left(30,4 \frac{l}{s}\right)^{0,21} - 0,7$$

$$Q_c = 2,782 \frac{l}{s}$$

10.3. Consumos

El consumo de ACS no tendrá nada que ver con el caudal instantáneo, ya que este se dará en períodos muy cortos; para determinar el consumo se utilizan la Tabla D y E del Anexo en el que se dan los consumos diarios de agua caliente a 60°C en función del tipo de edificio, y la ocupación según cantidad de cuartos de la vivienda.

En el edificio en estudio, los departamentos son todos iguales y de una única habitación, por lo que se obtiene

- Número de ocupantes por vivienda: 1 dormitorio, 1,5 personas por vivienda.
- Usuarios total edificio: 40 x 1,5 = 60 personas.
- **Consumo diario:** 60 x 22 lts/persona = 1320 lts/día.

Con el caudal instantáneo calculado anteriormente se tendría un tiempo de consumo máximo sostenido de:

$$\frac{1320 \frac{l}{día}}{2,782 \frac{l}{s}} = 474 \frac{s}{día} \text{ (8 minutos diarios)}$$

10.4. Producción de ACS

La producción de ACS de este proyecto y de cada vez más proyectos domiciliarios se está llevando a cabo a través de la acumulación ya que hoy en día es un sistema más económico y eficiente para proyectos domiciliarios. Esta puede ser de dos tipos: aquellos cuyo volumen cubre la hora punta de consumo (acumulación) y los que sólo cubren unos minutos punta (semi acumulación).

Ya sea acumulación o semi acumulación, deberá ser capaz de cubrir la demanda en la punta de consumo. Es decir, la energía útil del sistema será:

$$E_{hp} = Q_{punta} (l) \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH})(°C) \cdot 1,16 \frac{Wh}{l \cdot °C}$$

Donde:

T_{ACS} = Temperatura de utilización del ACS.

T_{AFCH} = Temperatura del agua de la red.

La energía proporcionada por el sistema es la suma de la aportada por la producción (intercambiador) más la almacenada en los depósitos de acumulación.

La energía que aporta la producción en 1 hora es:

$$E_{prod} (Wh) = P_{calderas} (W) \cdot 1h \cdot \eta_{prdACS}$$

Donde:

$P_{calderas}$ = Potencia útil de las calderas

η_{prdACS} = rendimiento del sistema de producción de ACS, incluye las pérdidas por intercambio, acumulación, distribución y recirculación.

La energía acumulada en los depósitos, que puede ser utilizada durante la punta de consumo es:

$$E_{acum} (Wh) = V_{acumulación} (l) \cdot (T_{acumulación} - T_{AFCH}) (°C) \cdot 1,16 \left(\frac{Wh}{l \cdot °C} \right) \cdot F_{uso\ acumulación}$$

Donde:

$V_{acumulación}$ = Volumen total de los depósitos (acumulación o interacumuladores)

$T_{acumulación}$ = Temperatura de acumulación del agua, puede ser igual o superior a la de uso (T_{ACS}).

$F_{uso\ acumulación}$ = Es el factor de uso del volumen acumulado, depende de la geometría (esbeltez) y del número de depósitos de acumulación, ya que en el interior de los mismos existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente, en la cual la temperatura resulta inferior a la de uso, por lo que dicho volumen no puede ser utilizado.

La potencia a instalar resulta:

$$P_{calderas} = \left[Q_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} \cdot (T_{acumulación} - T_{AFCH}) \cdot F_{uso\ acumulación} \right] \cdot \frac{1,16}{\eta_{prdACS}}$$

De esta ecuación se tienen 3 incógnitas: el caudal punta, el volumen de acumulación y la potencia a instalar. El que presenta mayores problemas es el caudal punta, del cual no existen datos oficiales ni normas. Pero hipótesis conservadoras, que han demostrado no presentar problemas, son tomar el 50% del consumo medio diario en edificios de viviendas.

El consumo diario que se calculó anteriormente es de: 1320 l/día. Entonces, se tendrá un caudal de consumo punta del 50%, es decir, 660 l.

Se tomará una acumulación del 75%.

Capacidad de acumulación: $660 \times 0,75 \approx 500$ l

Se selecciona un termotanque con capacidad de 500 l del fabricante **La Marina**, modelo **IBI-50** de dimensiones 1345mm de alto por 780mm de diámetro y 12500 kcal/h de consumo.

$$F_{uso\ acumulación} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{1345}{780} = 0,87 \text{ (87\%)}$$

$$P_{calderas} = [660 \cdot (60 - 15) - 500 \cdot (70 - 15) \cdot 0,87] \cdot \frac{1,16}{0,75} = 8932 \text{ W } (223 \frac{\text{W}}{\text{vivienda}})$$

Con

$$1 \text{ W} = 0,8598 \text{ kcal/h}$$

Entonces,

$$8932 \text{ W} = 7680 \text{ kcal/h}$$

Se comprueba que el termotanque seleccionado cumple con los requerimientos solicitados.

10.5. Distribución

10.5.1. AGUA CALIENTE

10.5.1.A. Departamento

Se procede a dimensionar las secciones de la distribución de agua caliente de cada unidad departamento. Estas tienen su inicio en la bifurcación en T que deriva de la montante (Figura N°8a) y su final en cada artefacto, pasando antes por los colectores (en verde).

Observando los valores de secciones sugeridas por el Código de Edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se concluye que las mismas resultan demasiado pequeñas, dando velocidades de flujo de hasta 4,5 m/s para usos comunes. Por ejemplo, una bañera con un caudal normal de 0,2 l/s, lo que se traduce en ruidos molestos para el usuario.

Se elige la línea de cañerías IPS FUSIÓN MAXUM S3,2 desarrollada especialmente para sistemas de calefacción y agua caliente. Se compone de un tubo de Polipropileno Copolímero RANDOM (o Tipo 3) y un recubrimiento de espuma termoplástica aislante de celda cerrada que, combinados logran una conductividad térmica de valor muy bajo (0,0634).

El departamento cuenta de 3 tramos que distribuyen el agua caliente a los distintos artefactos del departamento. El más largo, el tramo que tiene su final en el baño principal y su inicio en la bifurcación del tramo troncal del departamento (Figura N°8a), con una longitud de 765 cm se dimensionará para suplir las demandas de dos artefactos en funcionamiento simultáneo, bañera (0,2 l/s) y baha (0,065 l/s) por ejemplo.

Luego, para el tramo con inicio en la bifurcación y final en la cocina/baño secundario, con una longitud de 258 cm, también se lo dimensionará para suplir un caudal simultáneo de dos artefactos en funcionamiento, cómo por ejemplo la ducha (0,1 l/s) y la baha de cocina (0,1 l/s).

Por último, el tramo que abastece a los anteriores mencionados, con una longitud de 65 cm, se lo dimensiona para un caudal simultáneo de 0,3 l/s (los caudales de la bacha y una ducha sumados).

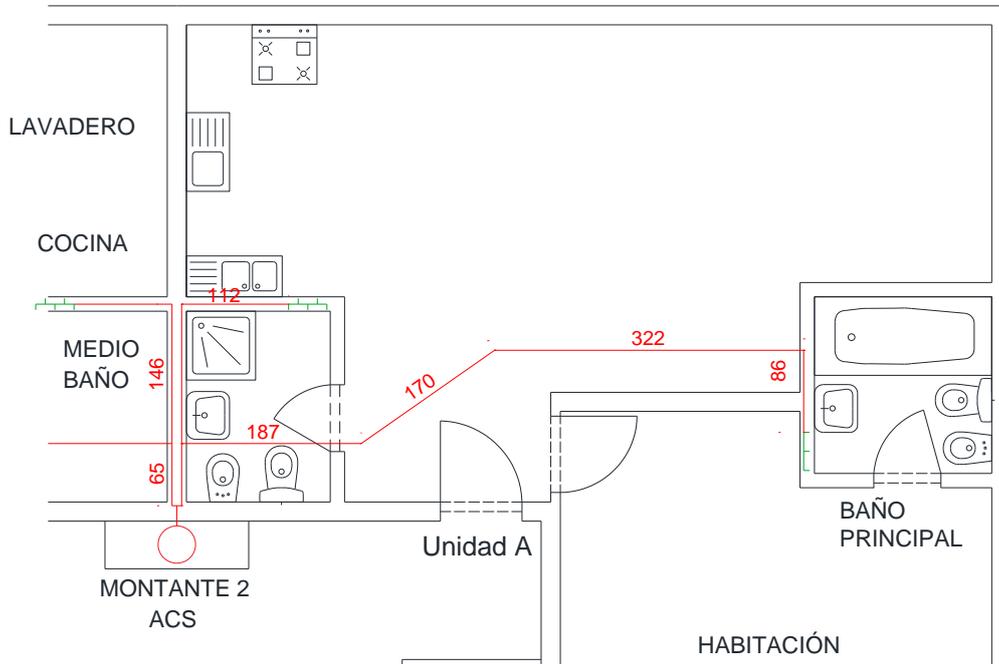


Figura N°8a

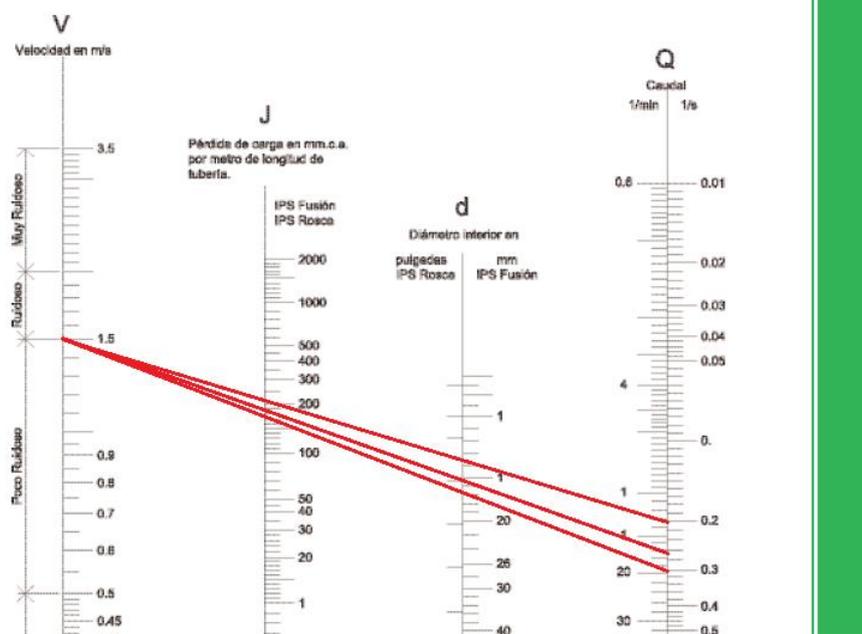


Figura N°8b

A continuación, se muestran las cañerías elegidas:

Tramo	Cañería – DN	Diámetro interno	Sección
Bifurcación – Cocina y baño secundario	20 mm	14,4 mm	1,629 cm ²
Bifurcación – Baño principal	20 mm	14,4 mm	1,629 cm ²
Ramal – Bifurcación	20 mm	14,4 mm	1,629 cm ²

10.5.1.B. Ramales

Las secciones de los ramales se consiguen considerando que cada ramal abastece dos departamentos. Entonces, continuando con el procedimiento utilizado anteriormente, se suman las secciones de cada tramo principal de cada departamento y se lo verifica para nivel de ruido.

Con un caudal total de 0,6 lts/s (0,3 lts/s por departamento) y condiciones de ruido aceptables (Figura N°9) basta con adoptar la medida de tubo inmediata inferior o superior a 24 mm. De la tabla de cañerías del fabricante (Figura N°61, Anexo) se selecciona la inmediata inferior, la más próxima al valor calculado, con un diámetro interior de 23 mm (DN 32mm).

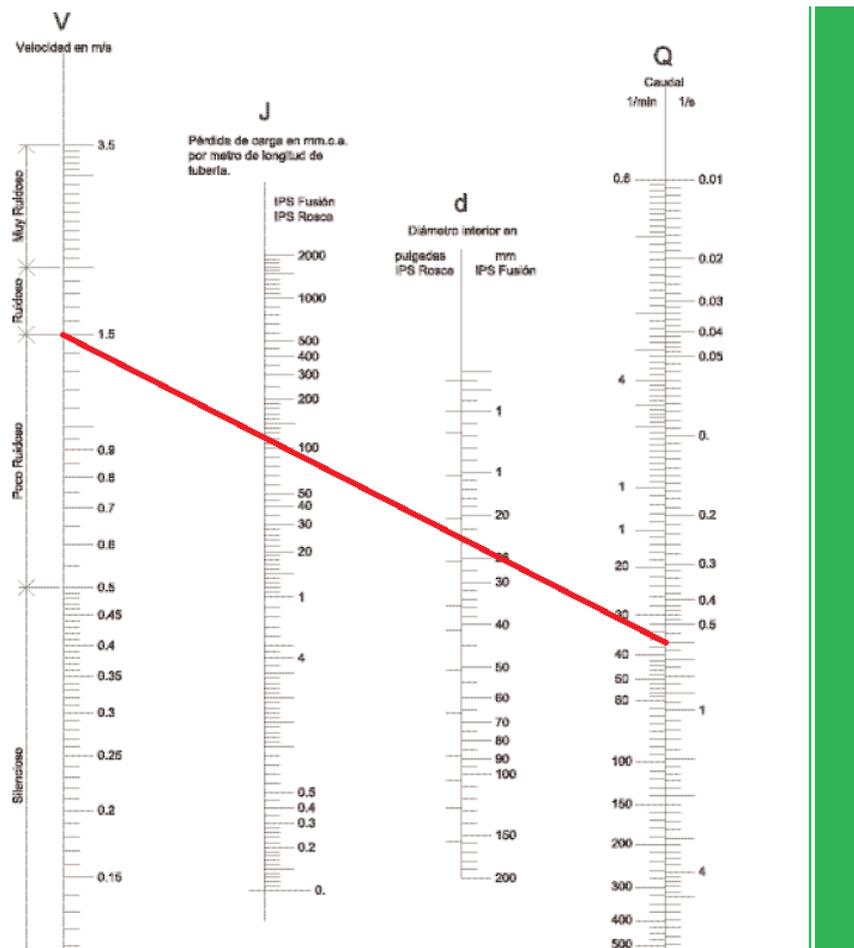


Figura N°9

10.5.1.C. Montantes

Luego de calculados los ramales, se procede a dimensionar las montantes, partiendo del último piso donde tendrán la menor sección.

En el proceso de cálculo, se procede a sumar las secciones teóricas de cada ramal. Se comienza desde el décimo piso y se avanza hacia el primero. Luego de obtenido el resultado teórico, cada sección de cañería se llevará a la medida real ofrecida por el fabricante IPS® cuidando que la velocidad no supere 1,5 m/s para que el ruido sea aceptable.

Se presenta a continuación el nomograma utilizado en la selección.

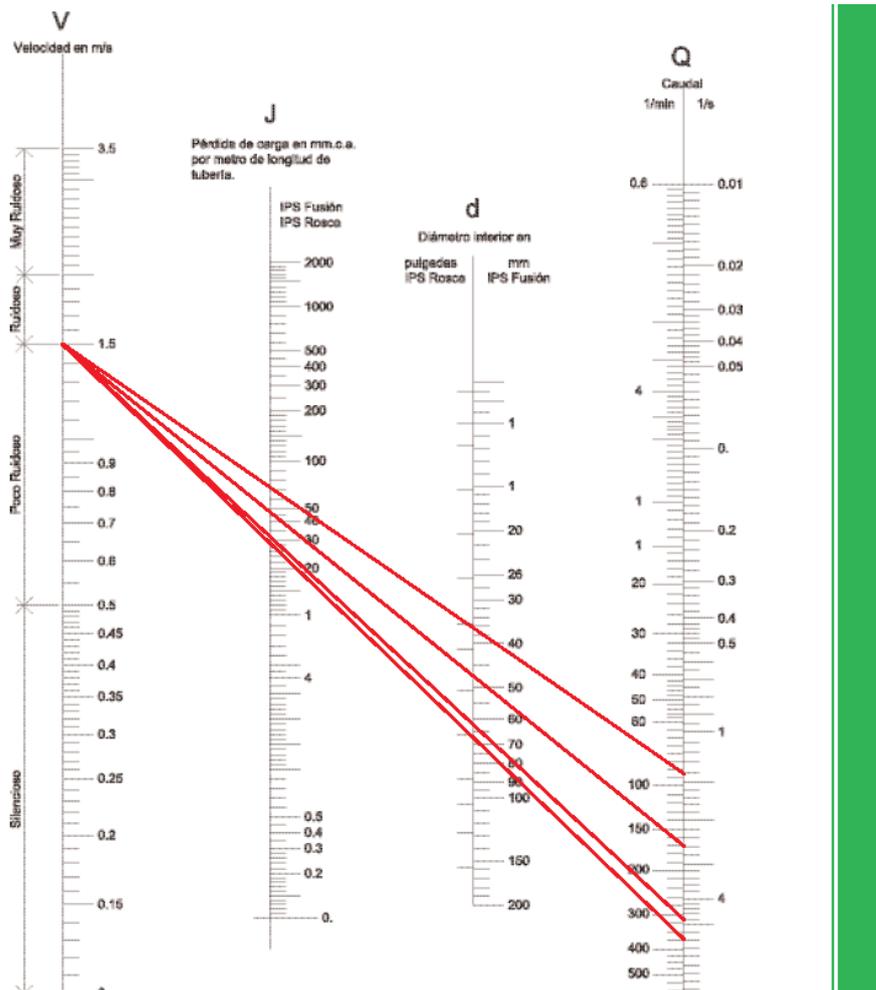


Figura N°10

La sección mínima exigida por el código de edificación de la Ciudad de Buenos Aires para una montante es de 0,62 cm². Por lo tanto, dos departamentos aportan cada uno con su sección al ramal, sumando 1,24 cm², sección mínima que se respeta en todo el cálculo, pero no se adopta, dado que tal reducción genera velocidades de flujo (ruido) y caída de presiones muy grandes.

Entonces, se comienza con una sección de 4,15 cm², correspondiente al tubo DN 32mm coincidente con el ramal. Así, se van sumando secciones a la montante y se las verifica en el nomograma.

Piso	Sección de ramales (cm ²)	Sección límite admitida MONTANTE TEÓRICA (cm ²)	Montantes IPS ponderando ruido y pérdida de carga			
			Sección de cálculo (cm ²)	Sección adoptada (cm ²)	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)
10°	1,24	1,24	4,15	10,29	DN 50	36,2
9°	1,24	2,48	8,31	10,29	DN 50	36,2
8°	1,24	3,72	12,46	23,07	DN 75	54,2
7°	1,24	4,96	16,62	23,07	DN 75	54,2
6°	1,24	6,2	20,77	23,07	DN 75	54,2
5°	1,24	7,44	24,93	33,18	DN 90	65
4°	1,24	8,68	29,08	33,18	DN 90	65
3°	1,24	9,92	33,24	33,18	DN 90	65
2°	1,24	11,16	37,39	49,76	DN 110	79,6
1°	1,24	12,4	41,55	49,76	DN 110	79,6

Tabla N°2

Se puede observar en la Tabla N°2 que, tanto en la columna “sección adoptada” y “diámetro nominal”, se optó por normalizar las medidas de varios tramos para facilitar entre otros a posteriores cálculos y la instalación de estos, reduciendo así a sólo cuatro tramos que cumplen con los requerimientos de caudal punta de cada sector. En la siguiente figura (Figura N°11) se pueden ver los tramos diferenciados según el piso al que abastecen.

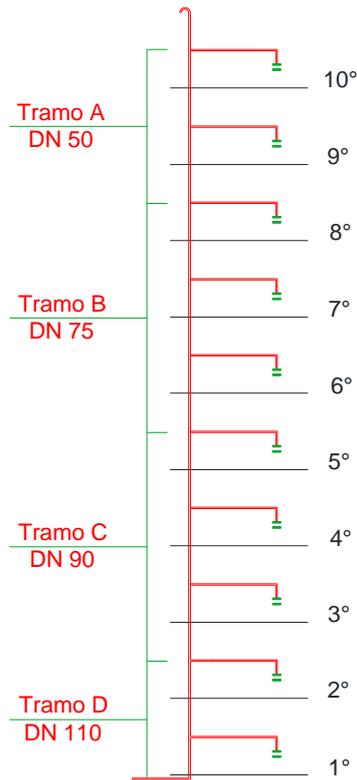


Figura N°11

10.5.1.D. Colectores

Los llamados colectores, en este caso, no representan más que la continuación de una de las montantes. Por lo tanto, conserva el DN100 y tiene un largo total de 6 metros hasta la bifurcación en la cañería principal.

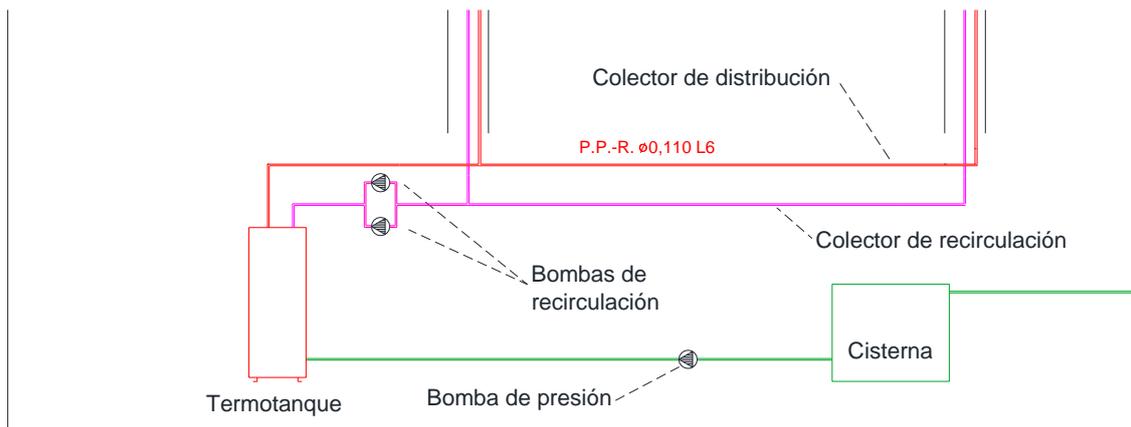


Figura N°12

10.5.2. AGUA FRÍA

El dimensionamiento del circuito de agua fría será necesario para el cálculo de la pérdida de carga que luego ayudará a seleccionar el grupo de bombas de presión que será compartido con el de agua caliente.

Las montantes de agua fría serán 2 en total, ocupándose cada una de 2 unidades funcionales. Se utilizan los tubos IPS Fusión para agua fría del fabricante IPS®.

10.5.2.A Unidad departamento

La norma exige un caudal por departamento de 0,6 lts/seg con un equivalente a 3 canillas de 0,2 lts/seg. por canilla. Esto define la sección mínima del ramal principal del departamento

Luego, cada uno de los tramos a los distintos aparatos de consumo del departamento deberá respetar este mínimo.

Con la ayuda de la Tabla A (Anexo) obtenemos los siguientes resultados.

Tramo baño completo: se consideran dos canillas en uso simultáneo de 0,3 y 0,1 lts/seg.

Tramo medio baño y cocina: se consideran dos canillas en uso simultáneo de 0,2 y 0,2 lts/seg.

Para estos dos tramos se seleccionan los caños **DN 32** con un diámetro interior de 26 mm.

Al mismo tiempo, se dimensiona el ramal principal del departamento con la consideración antes establecida de 0,6 lts/seg. de caudal, siendo óptimo también un tubo **DN 32**, comprobado en el siguiente nomograma (Figura N°13).

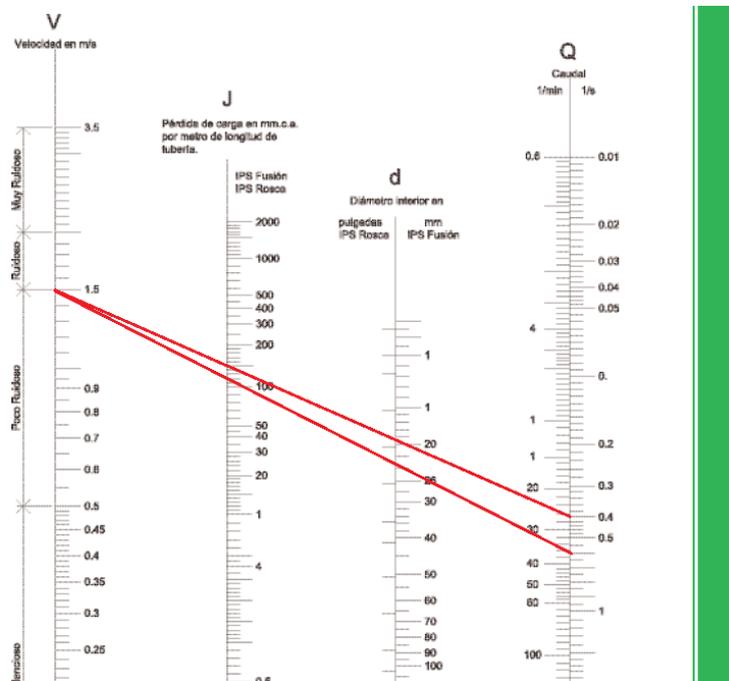


Figura N°13

10.5.2.B. Montantes

Las montantes toman un caudal de 1,2 lts/seg por ramal que resulta de la suma del caudal de cada departamento (10.5.2.A). Por lo tanto, queda definida la sección de los ramales, que definirán la sección de cada montante. Al igual que en las montantes de agua caliente, las secciones mínimas sugeridas por el código de edificación son antiguas y no tenían en consideración el ruido provocado por las altas velocidades de fluido. Es así como, en la Tabla N°3 se observará una gran diferencia entre la sección límite (inferior) admitida y la sección de cálculo. Luego, en “sección adoptada” se define la cantidad de tramos para la montante, cuidando que su sección cubra la mayor (o cercana) del piso al que corresponda ese tramo.

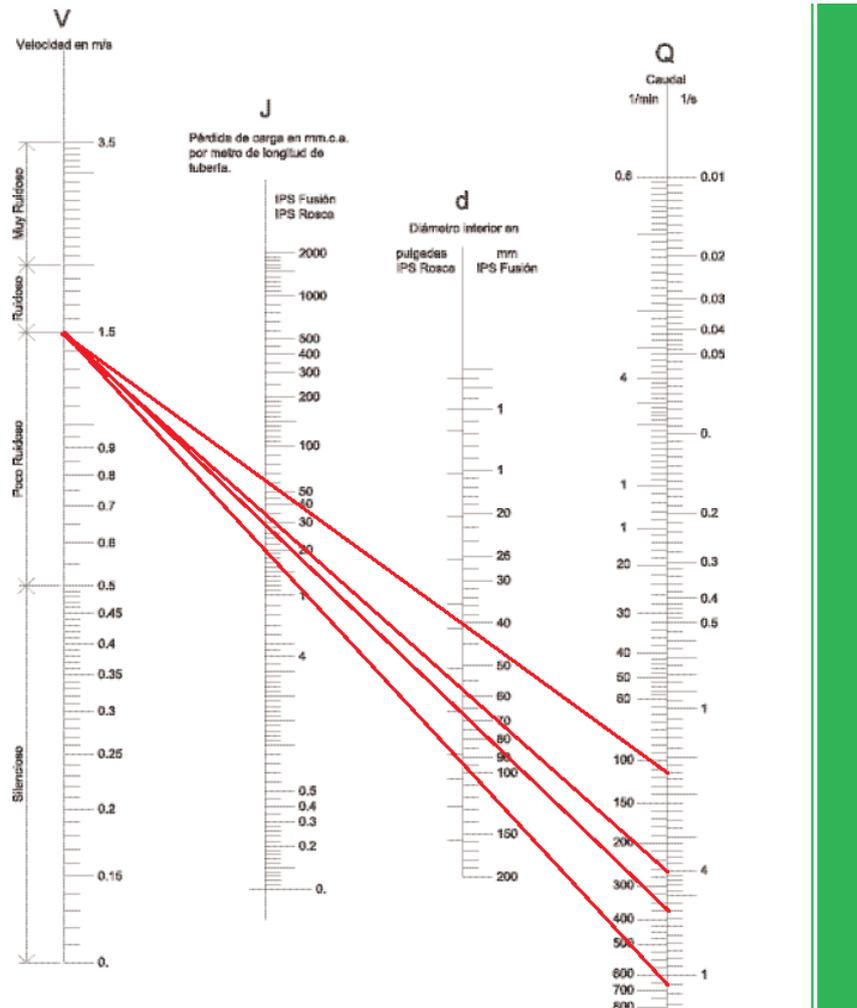


Figura N°14

Piso	Sección de ramales	Sección límite admitida	Montantes IPS ponderando ruido y pérdida de carga			
	TEÓRICA (cm ²)	MONTANTE TEÓRICA (cm ²)	Sección de cálculo (cm ²)	Sección adoptada (cm ²)	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)
10°	0,62	0,62	4,5	13	DN 50	40,8
9°	0,62	1,24	8,0	13	DN 50	40,8
8°	0,62	1,86	10,2	13	DN 50	40,8
7°	0,62	2,48	12,6	13	DN 50	40,8
6°	0,62	3,1	15,9	29,4	DN 75	61,2
5°	0,62	3,72	23,7	29,4	DN 75	61,2
4°	0,62	4,34	28,3	29,4	DN 75	61,2
3°	0,62	4,96	28,3	42,5	DN 90	73,6
2°	0,62	5,58	33,2	42,5	DN 90	73,6
1°	0,62	6,2	33,2	42,5	DN 90	73,6

Tabla N°3

Para la montante de agua fría resultó conveniente agrupar en tres tramos, como se ve en la siguiente figura (Figura N°15).

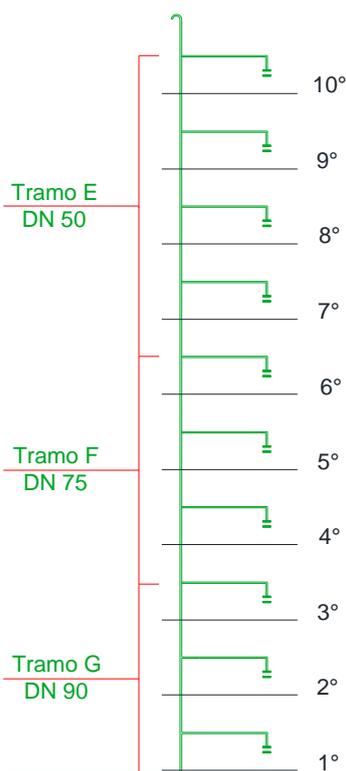


Figura N°15

10.5.2.C. Colectores

Los colectores, en este trabajo, no son más que la continuación de la montante más alejada de la bifurcación de la bomba. Por lo que, tendrá la misma sección que la montante (DN 90).

10.6. Reserva total diaria (RTD)

Según el Anexo I del Código de Edificación de la Ciudad de Buenos Aires, la capacidad de los tanques será:

Por cada

Unidad de vivienda tipo:

- Directa a tanque de reserva elevado: 1.000 lts.
- Bombeo a tanque de reserva elevado: 800 lts.
- Directa a cisterna baja para sistema presurizado: 800 lts.

Excediendo de los artefactos mencionados se debe aumentar el volumen en un 50% de los valores consignados en la Tabla N°4, para los distintos recintos y artefactos.

	Baño o wáter closet	Mingitorio	Lavatorio, pileta de cocina
Provisión directa	400	150	200
Bombeo	300	100	150

Tabla N°4. Reservas por artefacto. Fuente: Cod. De Edif. CABA, Anexo I.

Es decir, para el caso de estudio de este trabajo, donde se cuenta con un edificio de “viviendas tipo” y bombeo a tanque de reserva elevado, será suficiente con un volumen mínimo de 800 litros por vivienda, es decir un total de 800 litros x 40 departamentos = 32000 lts de RTD.

11. PÉRDIDAS DE CARGA EN LA DISTRIBUCIÓN

11.1. AGUA CALIENTE

Se procede a verificar las pérdidas de carga localizadas y por rozamiento en todos los tramos. Se utiliza el nomograma del fabricante y los procedimientos de cálculo sugeridos por este.

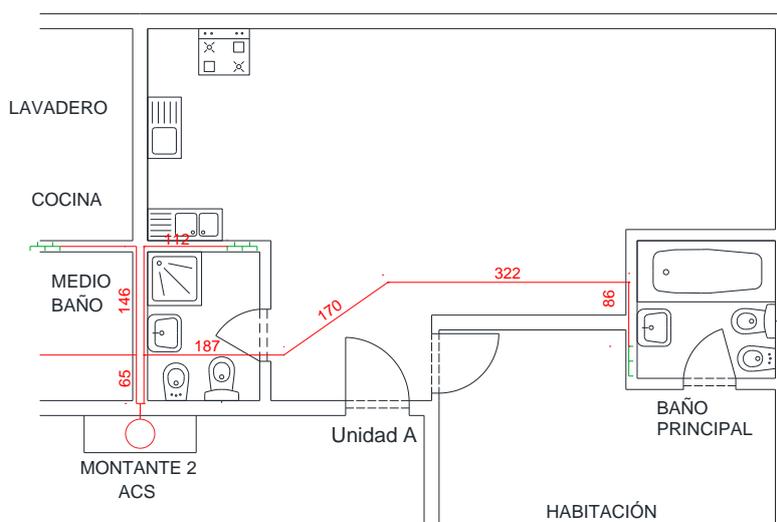


Figura N°16

11.1.1. Pérdidas por departamento

Tramo largo baño principal:

- Largo: 7,65 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,265 lts/s
- Velocidad del flujo: 1,25 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 2 codos a 45° + 1 codo a 90° + T de lado = 2 x 0,2 m + 1 x 0,4 m + 1 x 0,5 m = 1,3 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 8,95 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,12 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,12 mca/m x 8,95 m = 1,07 mca

Tramo corto cocina y medio baño

- Largo: 2,58 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,2 lts/s (la ducha del baño + bacha cocina)
- Velocidad del flujo: 0,9 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 1 codo a 90° + T pasaje directo = 1 x 0,4 m + 1 x 0,2 m = 0,6 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 3,18 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,075 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,075 mca/m x 3,18 m = 0,239 mca

Tramo principal departamento

- Largo: 0,65 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,3 lts/s
- Velocidad del flujo: 1,4 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: T bilateral + 1 codo a 90° = 1 x 0,4 m + 1 x 0,4 m = 0,8 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 1,45 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,15 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,15 mca/m x 1,45 m = 0,218 mca

Pérdida de carga total departamento (1 unidad) (F_{dto_ACS}):

$$F_{dto_ACS} = (1,07 + 0,239 + 0,218) \text{ mca}$$

$$F_{dto_ACS} = 1,527 \text{ mca}$$

11.1.2. Pérdidas en montantes

Se calculan las pérdidas de carga por diámetro y localizadas de las montantes. Estas tendrán, en todo su recorrido reducciones de diámetro y una bifurcación por cada piso. Cada piso aporta con un caudal de consumo de 0,3 l/s. Por lo que, se considera 0,6 l/s por piso.

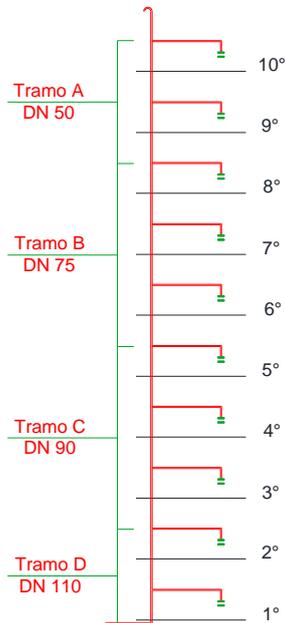


Figura N°17

Tramo A (50mm)

- Largo: 6 m
- Diámetro interno: 36,2 mm
- Caudal (Q): $2 \times 0,6 \text{ lts/s} = 1,2 \text{ lts/s}$
- Velocidad del flujo: 1,2 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 2 T de lado + Reducción de 75 a 50 = $2 \times 1,2 \text{ m} + 0,2 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 8,6 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,45 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,045 \text{ mca/m} \times 8,6 \text{ m} = 0,39 \text{ mca}$

$$F_A = 0,39 \text{ m}$$

Tramo B (75mm)

- Largo: 9 m
- Diámetro interno: 54,2 mm
- Caudal (Q): $3 \times 0,6 \text{ lts/s} + 1,2 \text{ lts/s} = 3 \text{ lts/s}$
- Velocidad del flujo: 1,3 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 3 T de lado + Reducción de 90 a 75 = $3 \times 1,7 \text{ m} + 0,36 \text{ m} = 5,46 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 14,46 m

- Pérdida de carga por diámetro: 0,03 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,03 mca/m x 14,46 m = 0,43 mca

$$F_B = 0,43 \text{ m}$$

Tramo C (90mm)

- Largo: 9 m
- Diámetro interno: 65 mm
- Caudal (Q): 3 x 0,6 lts/s + 3 lts/s = 4,8 lts/s
- Velocidad del flujo: 1,35 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 3 T de lado + Reducción de 100 a 90 = 3 x 1,7 m + 0,22 m = 5,36 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 14,36
- Pérdida de carga por diámetro: 0,026 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,026 mca/m x 14,36 m = 0,37 mca

$$F_C = 0,37 \text{ m}$$

Tramo D (110mm)

- Largo: 6 m
- Diámetro interno: 79,6 mm
- Caudal (Q): 2 x 0,6 lts/s + 4,8 lts/s = 6 lts/s
- Velocidad del flujo: 1,1 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 2 T de lado + Codo a 90° = 2 x 1,7 m + 1,7 m = 5,10 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 11,10 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,015 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,015 mca/m x 11,10 m = 0,17 mca

$$F_D = 0,17 \text{ m}$$

Pérdidas de carga colectores (F_{col_ACS}):

Los colectores de distribución y recirculación tienen una longitud de 6 metros (Figura N°12), 110 mm de diámetro nominal, dos codos y dos T.

- Largo: 6 m
- Diámetro interno: 79,6 mm
- Caudal máximo (Q): 12 lts/s
- Pérdida de carga localizada: 1 T de lado + 1 T directo + 2 Codos a 90° = 1 x 2,2 m + 1 x 1,3 m + 2 x 1,9 m = 7,3 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 13,3 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,07 mca/m

- Pérdida de carga total colector (F_{col_ACS}): $0,07 \text{ mca/m} \times 13,3 \text{ m} = 0,931 \text{ mca}$

$$F_{col_ACS} = 0,931 \text{ mca}$$

11.1.3. Pérdidas de carga total distribución ACS (F_{Dist_ACS})

La pérdida de carga total será la de un arreglo de montantes en paralelo, con sus ramales también en paralelo y una cañería principal que tomará el caudal total del edificio. Se tomará la montante que esté más alejada de la bomba, por lo que se le adiciona el tramo horizontal, en este caso denominado colector

$$F_{Dist_ACS} = F_A + F_B + F_C + F_D + F_{col_ACS}$$

$$F_{Dist_ACS} = (0,39 + 0,43 + 0,37 + 0,17 + 0,93) \text{ mca}$$

$$F_{Dist_ACS} = 2,3 \text{ mca}$$

11.2. AGUA FRÍA

11.2.1. Pérdidas por departamento

Tramo largo baño principal:

- Largo: 7,65 m
- Diámetro nominal: 32 mm
- Diámetro interno: 26 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,4 lts/s
- Velocidad del flujo: 0,8 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 2 codos a 45° + 1 codo a 90° + T de lado = $2 \times 0,3 \text{ m} + 1 \times 0,6 \text{ m} + 1 \times 0,7 \text{ m} = 1,9 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 9,55 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,035 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,035 \text{ mca/m} \times 9,55 \text{ m} = 0,33 \text{ mca}$

Tramo corto cocina y medio baño

- Largo: 2,58 m
- Diámetro nominal: 32 mm
- Diámetro interno: 26 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,4 lts/s
- Velocidad del flujo: 0,8 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 1 codo a 90° + T pasaje directo = $1 \times 0,6 \text{ m} + 1 \times 0,3 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 3,48 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,035 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,035 \text{ mca/m} \times 3,48 \text{ m} = 0,12 \text{ mca}$

Tramo principal departamento

- Largo: 0,65 m
- Diámetro nominal: 32 mm
- Diámetro interno: 26 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,6 lts/s
- Velocidad del flujo: 1,2 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: T bilateral + 1 codo a 90° = 1 x 0,7 m + 1 x 0,6 m = 1,3 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 1,95 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,07 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,07 mca/m x 1,95 m = 1,365 mca

Pérdida de carga total departamento (1 unidad) (F_{dto_AFS}):

$$F_{dto_AFS} = (0,33 + 0,12 + 1,365) \text{ mca} = 1,815 \text{ mca}$$

$$F_{dto_AFS} = 1,815 \text{ mca}$$

11.2.2. Pérdidas en montantes

Se calculan las pérdidas de carga por diámetro y localizadas de las montantes. Estas tendrán, en todo su recorrido reducciones de diámetro y un ramal por cada piso. Cada piso aporta con un caudal de consumo de 0,3 l/s. Por lo que, se considera 0,6 l/s por piso.

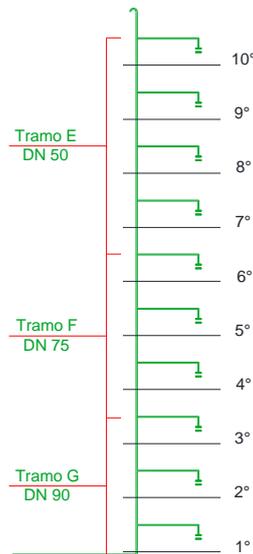


Figura N°18

Tramo E (50mm)

- Largo: 12 m (4 pisos)
- Diámetro interno: 40,8 mm
- Caudal (Q): $4 \times 0,6 \text{ lts/s} = 2,4 \text{ lts/s}$
- Velocidad del flujo: 1,4 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 4 T de lado + Reducción de 75 a 50 = $4 \times 1,2 \text{ m} + 0,2 \text{ m} = 5 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 17 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,05 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,05 \text{ mca/m} \times 17 \text{ m} = 0,85 \text{ mca}$

$$F_E = 0,85 \text{ mca}$$

Tramo F (75mm)

- Largo: 9 m (3 pisos)
- Diámetro interno: 61,2 mm
- Caudal (Q): $3 \times 0,6 \text{ lts/s} + 2,4 \text{ lts/s} = 4,2 \text{ lts/s}$
- Velocidad del flujo: 1,3 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 3 T de lado + Reducción de 90 a 75 = $3 \times 1,7 \text{ m} + 0,36 \text{ m} = 5,46 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 14,46 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,026 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,026 \text{ mca/m} \times 14,46 \text{ m} = 0,38 \text{ mca}$

$$F_F = 0,38 \text{ mca}$$

Tramo G (90mm)

- Largo: 9 m (3 pisos)
- Diámetro interno: 73,6 mm
- Caudal (Q): $3 \times 0,6 \text{ lts/s} + 4,2 \text{ lts/s} = 6 \text{ lts/s}$
- Velocidad del flujo: 1,3 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: 3 T de lado = $3 \times 1,7 \text{ m} = 5,10 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 14,10 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,020 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: $0,020 \text{ mca/m} \times 14,10 \text{ m} = 0,28 \text{ mca}$

$$F_G = 0,28 \text{ mca}$$

Pérdidas de carga colectores (F_{col_AFS}):

El colector de agua fría tiene una longitud de 6 metros (Figura N°12), 110 mm de diámetro nominal, dos codos y dos T.

- Largo: 6 m
- Diámetro interno: 90 mm
- Caudal máximo (Q): 24 lts/s
- Pérdida de carga localizada: 1 T de lado + 1 T directo + 2 Codos a 90° = 1 x 2,2 m + 1 x 1,3 m + 2x 1,9 m = 7,3 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 13,3 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,09 mca/m
- Pérdida de carga total colector (F_{col}): 0,09 mca/m x 13,3 m = 1,2 mca

$$\boxed{F_{col_AFS} = 1,2 \text{ mca}}$$

11.2.3. Pérdidas de carga total distribución AFS (F_{Dist_AFS})

Al igual que en el caso de la distribución de ACS, la distribución de agua fría se encuentra en una configuración en paralelo.

$$F_{Dist_AFS} = F_E + F_F + F_G + F_{col_AFS}$$

$$F_{Dist_AFS} = (0,85 + 0,38 + 0,28 + 1,20) \text{ mca}$$

$$\boxed{F_{Dist_AFS} = 2,71 \text{ mca}}$$

12. ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN LAS CAÑERÍAS DE ACS

Para toda la distribución de ACS se utilizará la línea Maxum S3,2 del fabricante IPS con tubos de Polipropileno Copolímero Random (Tipo 3) y capa aislante.

Se analizan por tramos el tiempo que tarda la cañería en descender su temperatura 3 °C, con temperatura exterior de 20°C y agua a una temperatura inicial de 60°C. El primer análisis se realiza con la cañería descubierta, sin capa aislante, y luego con la aislación del fabricante.

Condiciones iniciales:

- $T_{ext} = 20^{\circ}C$
- $T_{int} = 60^{\circ}C$
- $\Delta T = 40^{\circ}C$
- $k_{tubo_SA} = 0,21 \frac{W}{m.K}$
- $k_{tubo_CA} = 0,0634 \frac{W}{m.K}$
- $\rho_{agua\ 60^{\circ}C} = 983,13 \frac{kg}{m^3}$
- $c_{agua\ 60^{\circ}C} = 4185 \frac{J}{kg.K}$

Referencias:

- d_{int} : diámetro interno de la cañería
- d_{ext} : diámetro externo de la cañería
- V_{agua} : volumen de agua contenido en el tramo
- \dot{q}_{metro} : calor disipado por unidad de longitud
- $\dot{q}_{0,65}$: calor total disipado del tramo
- \dot{Q} : calor total disipado por unidad de tiempo
- ΔT : diferencia de temperatura entre el agua y el exterior de la cañería
- ΔT_{enf} : diferencia de temperatura por calor cedido del agua al ambiente
- k_{tubo_SA} : conductividad térmica del tubo sin aislación
- k_{tubo_CA} : conductividad térmica del tubo con aislación
- m_{agua} : masa de la porción de agua en estudio
- c_{agua} : calor específico del agua
- ρ_{agua} : densidad del agua
- Δt : tiempo de enfriamiento

12.1. Departamento

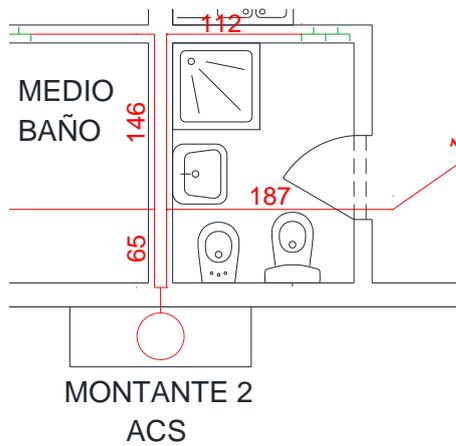


Figura N°19

Ramal de departamento IPS Maxum S3,2 20 mm. Largo 65 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 97,088 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{0,65} = 63 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{0,65} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{0,65}}$$

Luego,

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0144 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 0,65 \text{ m} = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,104 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 K$

$$\Delta t = \frac{0,104 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot 3 K}{63 \frac{J}{s}} = 20,705 s$$

$$\boxed{\Delta t = 21''}$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 m$$

$$d_{ext} = 0,0248 m$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ C + 273K) - (20^\circ C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 m}{0,0144 m}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{W}{m \cdot K}}} = 29,31 \frac{W}{m}$$

$$\boxed{\dot{q}_{0,65} = 19 W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{0,65} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{0,65}}$$

Luego,

$$V_{agua} = 1,06 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$m_{agua} = 0,104 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 K$

$$\Delta t = \frac{0,104 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot 3 K}{19 \frac{J}{s}} = 68,58 s$$

$$\boxed{\Delta t = 1'9''}$$

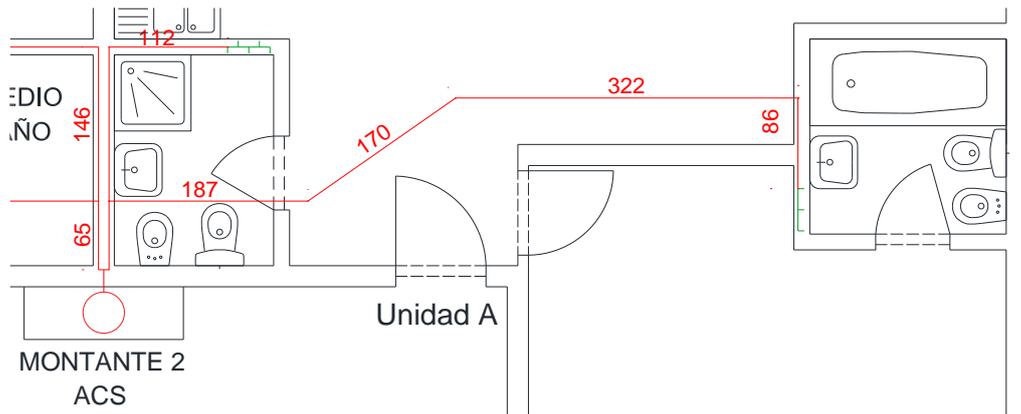


Figura N°20

Tramo largo IPS Maxum S3,2 20mm. Largo 765 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tuboSA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 97,088 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{7,65} = 743 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{7,65} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{7,65}}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0144 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 7,65 \text{ m} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,225 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{1,225 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{743 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 20,7 \text{ s}$$

$$\Delta t = 21''$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ C + 273K) - (20^\circ C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{W}{m \cdot K}}} = 29,311 \frac{W}{m}$$

$$\dot{q}_{7,65} = 224 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{7,65} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{7,65}}$$

Luego,

$$V_{agua} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 1,225 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{1,225 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot 3 \text{ K}}{224 \frac{J}{s}} = 68,6 \text{ s}$$

$$\Delta t = 1'9''$$



Figura N°21

Tramo IPS Maxum S3,2 20 mm. Largo 258 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 97,088 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{2,58} = 250 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{2,58} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{2,58}}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0144 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 2,58 \text{ m} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,413 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{0,413 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{250 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 20,705 \text{ s}$$

$$\Delta t = 21''$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 29,311 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{2,58} = 76 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{2,58} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{2,58}}$$

Luego,

$$V_{agua} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 0,413 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{0,413 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{76 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 68,6 \text{ s}$$

$$\Delta t = 1'9''$$

Cómo se puede observar, el tiempo en los distintos tramos es consistente, en primer lugar, con la masa de agua contenida en los tubos y, en segundo lugar, pero de aún mayor importancia, el uso del aislante.

A continuación, se analizarán las montantes y colectores, con los cuales se espera llegar a iguales conclusiones.

12.2. Montantes

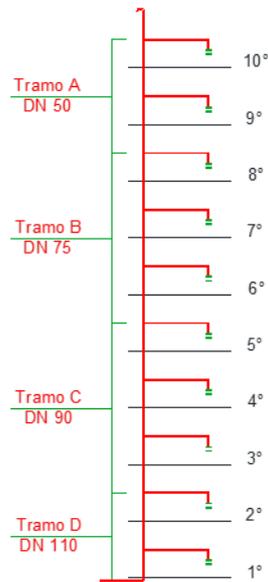


Figura N°22

Tramo A. Tubo IPS Maxum S3,2 50 mm. Largo 600 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0362 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0564 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0564 \text{ m}}{0,0362 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 119,03 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_6 = 714 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_6 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_6}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0362 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 6 \text{ m} = 6,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 6,071 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{6,071 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{714 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 106,73 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 1'47''}$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0362 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0564 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0564 \text{ m}}{0,0362 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 35,94 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\boxed{\dot{q}_6 = 216 \text{ W}}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_9 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_9}$$

Luego,

$$V_{agua} = 6,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 6,071 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{6,071 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{216 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 354 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 5'54''}$$

Tubo IPS Maxum S3,2 75 mm. Largo 900 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0542 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0866 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^{\circ}C + 273K) - (20^{\circ}C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0866\ m}{0,0542\ m}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{W}{m \cdot K}}} = 112,63 \frac{W}{m}$$

$$\dot{q}_9 = 1014\ W$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_9 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_9}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0542\ m)^2}{4}\right) \cdot 9\ m = 2,08 \cdot 10^{-2}\ m^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,08 \cdot 10^{-2}\ m^3 = 20,42\ kg$$

Para $\Delta T_{enf} = 3\ K$

$$\Delta t = \frac{20,42\ kg \cdot 4185 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 3\ K}{1014 \frac{J}{s}} = 252,86\ s$$

$$\Delta t = 4'13''$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0542\ m$$

$$d_{ext} = 0,0866\ m$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^{\circ}C + 273K) - (20^{\circ}C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0866\ m}{0,0542\ m}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{W}{m \cdot K}}} = 34 \frac{W}{m}$$

$$\dot{q}_9 = 306\ W$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_9 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_9}$$

Luego,

$$V_{agua} = 2,08 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 20,42 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{20,42 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{306,02 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 837,54 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 13'58''}$$

Tubo IPS Maxum S3,2 90 mm. Largo 900 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0650 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0980 \text{ m}$$

$$\boxed{\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo,SA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0980 \text{ m}}{0,0650 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 128,55 \frac{\text{W}}{\text{m}}}$$

$$\boxed{\dot{q}_9 = 1157 \text{ W}}$$

$$\boxed{\dot{Q} = \dot{q}_9 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_9}}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0650 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 9 \text{ m} = 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 29,36 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{29,36 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{1157 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 318,63 \text{ s}$$

$$\Delta t = 5'19''$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0650 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0980 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ C + 273K) - (20^\circ C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,0980 \text{ m}}{0,0650 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{W}{m \cdot K}}} = 38,81 \frac{W}{m}$$

$$\dot{q}_9 = 349 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_9 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_9}$$

Luego,

$$V_{agua} = 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 29,36 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{29,36 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 3 \text{ K}}{349 \frac{J}{s}} = 1055 \text{ s}$$

$$\Delta t = 17'35''$$

Tubo IPS Maxum S3,2 110 mm. Largo 600 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0796 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,1188 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^\circ C + 273K) - (20^\circ C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,1188 \text{ m}}{0,0796 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{W}{m \cdot K}}} = 131,81 \frac{W}{m}$$

$$\dot{q}_6 = 791 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_6 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{\dot{q}_6}$$

$$V_{\text{agua}} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0796 \text{ m})^2}{4} \right) \cdot 6 \text{ m} = 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{agua}} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 29,36 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{\text{enf}} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{29,36 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{791 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 466 \text{ s}$$

$$\Delta t = 7'46''$$

CON AISLANTE

$$d_{\text{int}} = 0,0796 \text{ m}$$

$$d_{\text{ext}} = 0,1188 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{\text{metro}} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{\text{ext}}}{d_{\text{int}}}\right)}{2\pi k_{\text{tubo_CA}}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,1188 \text{ m}}{0,0796 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 39,79 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_6 = 239 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_6 = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{\dot{q}_6}$$

Luego,

$$V_{\text{agua}} = 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 29,36 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 K$

$$\Delta t = \frac{29,36 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot 3 K}{239 \frac{J}{s}} = 1544 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 25'44''}$$

12.3. Colectores

Tubo IPS Maxum S3,2 110 mm. Largo 1047 cm.

SIN AISLANTE

$$d_{int} = 0,0796 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,1188 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_SA}}} = \frac{[(60^\circ C + 273K) - (20^\circ C + 273K)]}{\frac{\ln\left(\frac{0,1188 \text{ m}}{0,0796 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,21 \frac{W}{m \cdot K}}} = 131,8 \frac{W}{m}$$

$$\boxed{\dot{q}_{1047} = 1380 \text{ W}}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{1047} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{1047}}$$

$$V_{agua} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0796 \text{ m})^2}{4}\right) \cdot 6 \text{ m} = 5,21 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot V_{agua} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,21 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 51,22 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 K$

$$\Delta t = \frac{51,22 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot 3 K}{1380 \frac{J}{s}} = 466 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 7'46''}$$

CON AISLANTE

$$d_{int} = 0,0796 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,1188 \text{ m}$$

$$\dot{q}_{metro} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{[(60^\circ\text{C} + 273\text{K}) - (20^\circ\text{C} + 273\text{K})]}{\frac{\ln\left(\frac{0,1188 \text{ m}}{0,0796 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}}} = 39,8 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{q}_{1047} = 417 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \dot{q}_{1047} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T}{\dot{q}_{1047}}$$

Luego,

$$V_{agua} = 5,21 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 51,22 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 3 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{51,22 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 3 \text{ K}}{417 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 1544 \text{ s}$$

$$\Delta t = 25'44''$$

12.4. Tabla de tiempos

Tramo	DN [mm]	Long [m]	Masa agua [kg]	C/metro SA [W/m]	C/metro CA [W/m]	C CA [W]	C/M agua [W/kg]	Δt° SA [mm:ss]	Δt° CA [mm:ss]
Baño Ppal	20	7,65	1,225	97	29	224	183	21''	1'9''
Toilette/Cocina	20	3,23	0,413	97	29	250	77	21''	1'9''
Ramal 40	20	0,65	0,104	97	29	19	29	21''	1'9''
Total Dto						493			
Mont 50	50	6,00	6,07	119	36	216	36	1'47''	5'54''
Mont 75	75	9,00	20,42	113	34	306	15	4'13''	14'
Mont 90	90	9,00	29,36	129	39	349	12	5'19''	17'35''
Mont 110	110	6,00	29,4	132	40	239	8	7'46''	25'44''
Colector	110	10,47	51,2	132	40	417	8	7'46''	25'44''
Total Montante						1527			

Tabla N°5

En primer lugar, se vuelve a comprobar cuán importante es el uso de un aislante que disminuya la disipación del calor al exterior. Y, en segundo lugar, se verifica una relación directa entre el tiempo de enfriado, la masa de agua y la sección del caño. Es decir, es evidente que cuanto mayor concentración de masa hay menor es la transferencia de calor al medio.

13. SISTEMA TRADICIONAL DE DISTRIBUCIÓN

El sistema tradicional de distribución (Figura N°23) se compone de tanques de reserva elevados, una bomba de elevación de agua, una cisterna en el subsuelo del que se alimenta la bomba de elevación, montantes de distribución y un circuito de recirculación y una bomba de recirculación de agua caliente central.

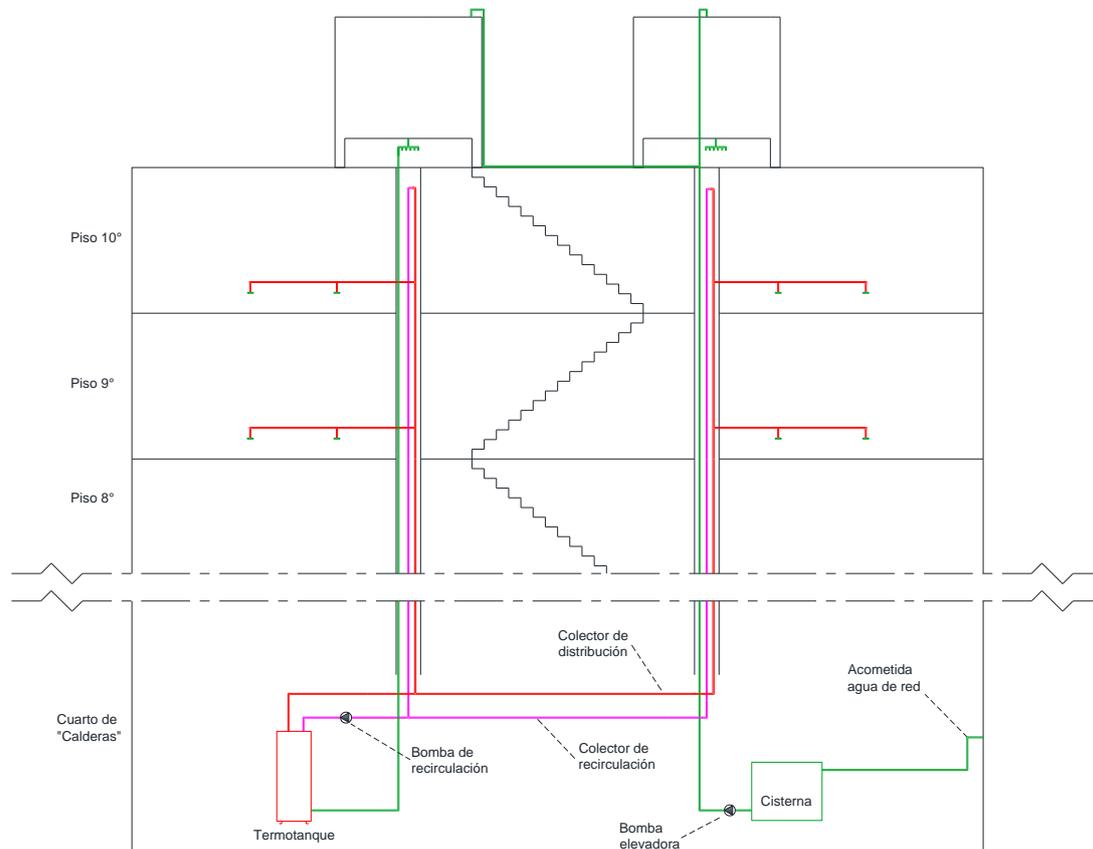


Figura N°23

13.1. Tanques de reserva elevados

El código exige que la distribución de la RTD sea de mínimo $\frac{1}{3}$ del volumen en los tanques elevados y $\frac{1}{3}$ en tanque de bombeo. También, exige que se bombee al menos la totalidad de la RTD cada 4 horas.

La RTD dio 32.000 litros. Luego, el volumen mínimo de los tanques elevados será de 11000 litros aproximadamente.

Se seleccionan de la empresa ROTOPLAS cuatro tanques de 2750 litros cada uno, consiguiendo los 11000 litros.

Grilla de Capacidades:



Volumen Nominal (lts)	Volumen Máximo (lts)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Conexiones de Salida	Diámetro Boca (cm)	Válvula y Flotante	Dispositivo de acondicionamiento de agua
400	450	100	85	1 ½" Lateral	46	¾"	No incluye
600	650	117	97	1 ½" Lateral	46	¾"	No incluye
850	910	125	110	1 ½" Lateral	46	¾"	Incluye
1100	1160	148	110	1 ½" Lateral	46	¾"	Incluye
2750	2810	180	150	2" Lateral	46	¾"	Incluye

Figura N°24. Fuente: <https://rotoplas.com.ar>. (Fecha de captura: 27/5/20)



Figura N°25. Fuente: <https://rotoplas.com.ar>. (Fecha de captura: 27/5/20)

13.2. Bomba elevadora. Dimensionamiento

Esta bomba deberá cumplir con lo indicado en el reglamento de construcción de la Ciudad de Buenos Aires.

Según un informe de AySA, el usuario promedio consume 333 litros por día en la Ciudad de Buenos Aires. Por lo que para los 60 habitantes del edificio da un total de 20000 litros. Es decir,

el doble de la capacidad del Tanque de Reserva Elevado. Haciendo una estimación rápida y generosa sabemos que los picos de consumo se dan por la mañana en rangos de 2 horas, digamos entre las 6am y 8am, y por la tarde entre las 20hs y las 22hs. Si, por ejemplo, hacemos una suposición muy generosa de que en esos dos rangos horarios se consume el 100% del agua del día obtenemos un caudal de 5000 l/h a una altura máxima de 35 metros. Pero, según el código de edificación, este caudal no podrá ser menor a la RTD/4, es decir:

$$\frac{RTD}{4} = \frac{32000 \text{ l}}{4} = 8000 \text{ l} > 5000 \text{ l}$$

Motivo por el cual se adopta 8000 l/h como caudal de bombeo y con estos datos se elige la cañería de elevación y la bomba. Se utilizará la línea IPS Fusión para agua fría del fabricante IPS.

Datos

- Largo: 43 m
- Altura: 35 m
- Caudal máximo (Q): $8000 \frac{\text{l}}{\text{h}} \times \frac{1}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 2,2 \frac{\text{l}}{\text{s}}$
- Velocidad y nivel de ruido deseado: 1,5 m/s (poco ruidoso)

Se ingresa con estos datos en las Tablas F y G, y el Nomograma de IPS (Figura N°62, Anexo) y se obtiene:

- Diámetro interno: mayor a 40 mm. Se elige el inmediato superior de 40,8 mm (DN50mm).
- Pérdida de carga localizada: 1 T de lado + 6 Codos a 90° = 1 x 1,2 m + 6 x 1 m = 7,2 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 50,2 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,06 mca/m
- Pérdida de carga total: 0,06 mca/m x 50,2 m = 3 mca

Entonces, con esta pérdida de carga y 35 metros de altura de elevación combinadas dan una altura manométrica total de 38 mca con la que se seleccionará la bomba.

- $H = 38 \text{ m}$
- $Q = 8000 \frac{\text{l}}{\text{h}}$

La página del fabricante de bombas GRUNDFOS SA arroja los siguientes resultados para la solicitud.



Figura N°26. Fuente: <http://www.grundfos.com.ar>. (Fecha de captura: 22/4/20)

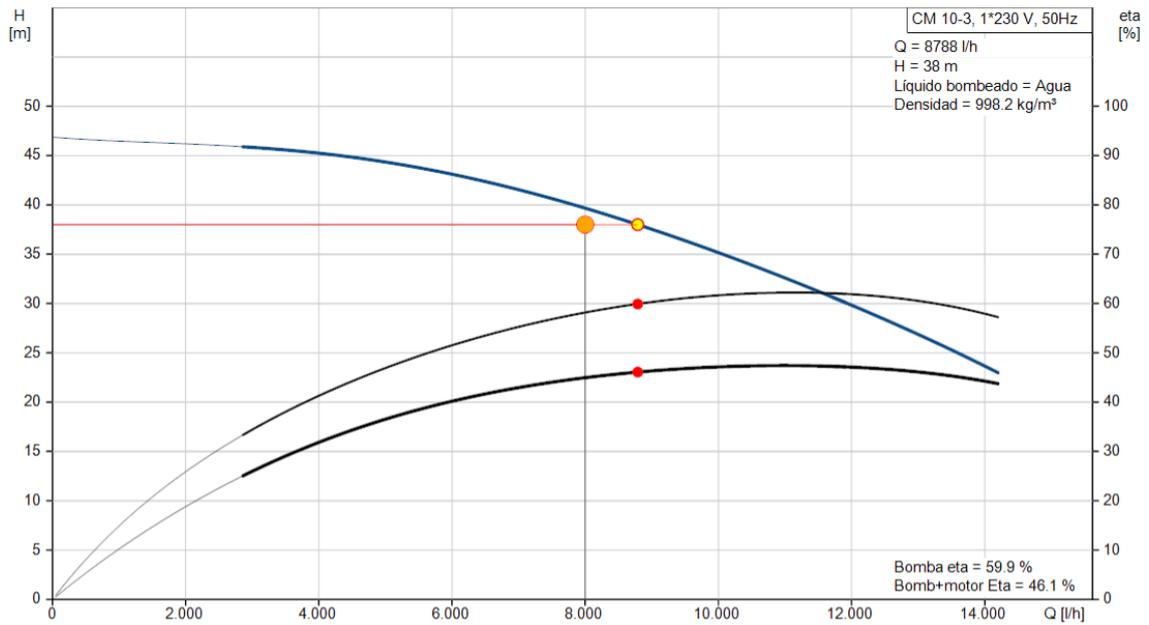


Figura N°27a. Gráfico curva de desempeño. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

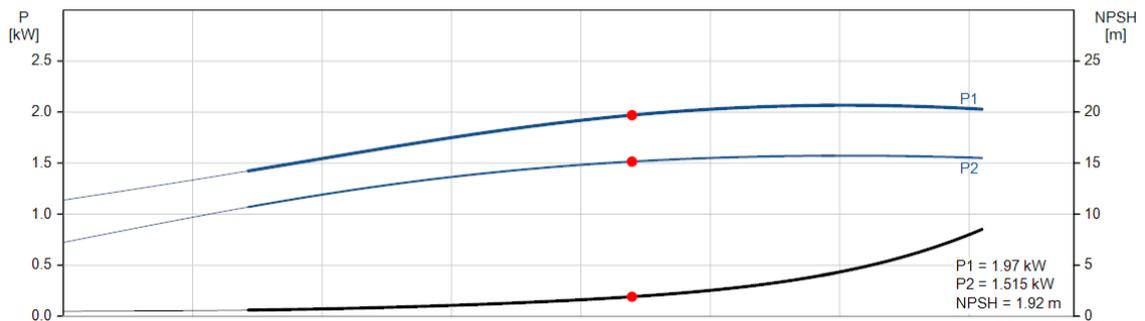


Figura N°27b. Gráfico curva de potencia. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

Resultado dimension.

Tipo	CM 10-3			Perfil carga	1	
Cantidad * Motor	1 * 1.7 kW			Caud	100	%
Caud	8788	l/h (+10%)		Alt.	100	%
H total	38	m		P1	1.97	kW
Pot. P1	1.97	kW		Total Eta	46.1	%
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.515	kW		Time	1000	h/a
BombaEta	59.9	%		Consumo energía	1793	kWh/Año
Motor Eta	76.9	%		Cantidad	1	
Bomb+motor Eta	46.1	% =Bomba Eta *motor Eta				
Caudal tot	8000	m³/año				
Consumo energía	1793	kWh/Año				
Prec.	926,00	EUR				
Cte ciclo vital	6281	EUR /10Años				

Figura N°27c. Resultado de dimensionamiento. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

El nuevo caudal resultante correspondiente al punto de funcionamiento de la bomba para 38 mca es:

$$C_{elev} = 8788 \frac{l}{h}$$

13.3. Bomba de recirculación central. Dimensionamiento

Debido a la falta de normativas en el Código de edificación de Bs As acerca del modo de recircular ACS en edificios se acude a la ayuda de la "Guía técnica. Agua caliente sanitaria central" de la ATECYR (sección 6.7) con la que se determina el caudal a recircular de modo que la diferencia de temperatura entre el último piso y el termotanque no supere los 3°C.

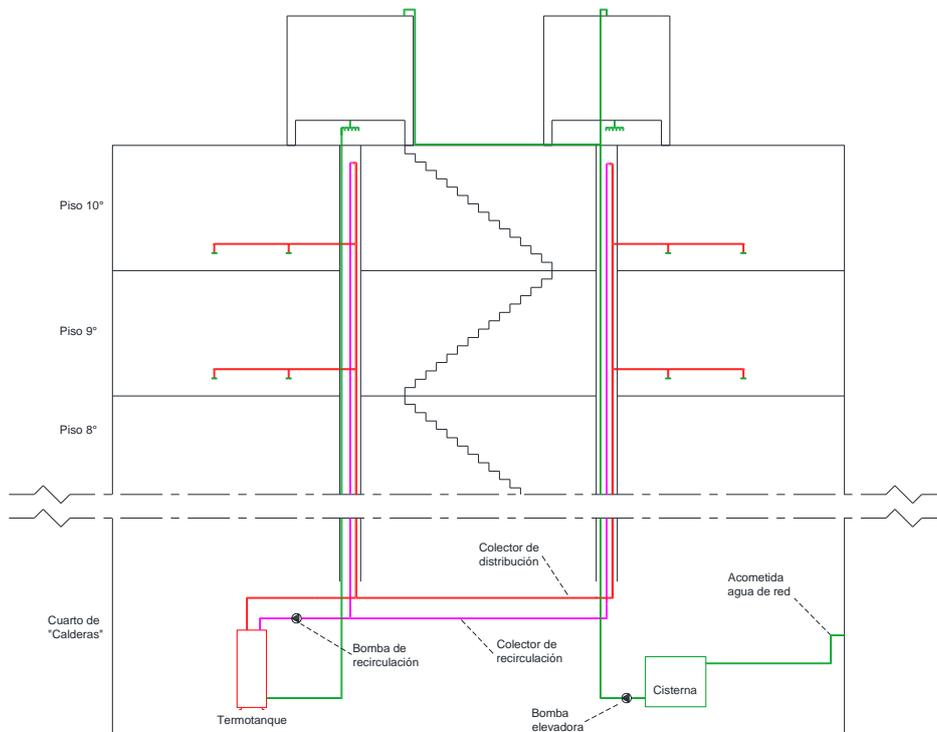


Figura N°28

La guía indica:

- Caudal de recirculación $\left(\frac{l}{h}\right) = \frac{\text{Pérdida de calor en tuberías (W)}}{3,48}$
- En cualquier caso, NO se recircularán menos de 250 l/h en cada columna,
- y no menos del 10% del caudal máximo instantáneo en el total de la recirculación.

De la Tabla N°5 de tiempos (12.4) sabemos que las 2 montantes y colectores disipan un calor total de:

$$C_{Total} = 2 \times (1527 W)$$

$$C_{Total} = 3054 W$$

Por lo que, según la Guía de la ATECYR, el caudal de recirculación será el mayor de:

$$Q_1 = \frac{3054 W}{3,48} = 877,6 \frac{l}{h}$$

Ó,

$$Q_2 = 250 \frac{l}{h} \times 2 = 500 \frac{l}{h}$$

Ó,

$$Q_3 = 2,782 \frac{l}{s} \times 0,1 = 0,2782 \frac{l}{s} \times 3600 \frac{s}{h} = 1001,52 \frac{l}{h}$$

Se elije el mayor de los tres caudales, $Q_3 = 1001,52$ (l/h).

Se selecciona del fabricante IPS una cañería para el retorno del ACS que se adapte a este caudal ($\approx 0,3$ l/s) y velocidad de flujo por debajo de 1,5 m/s. Los resultados son:

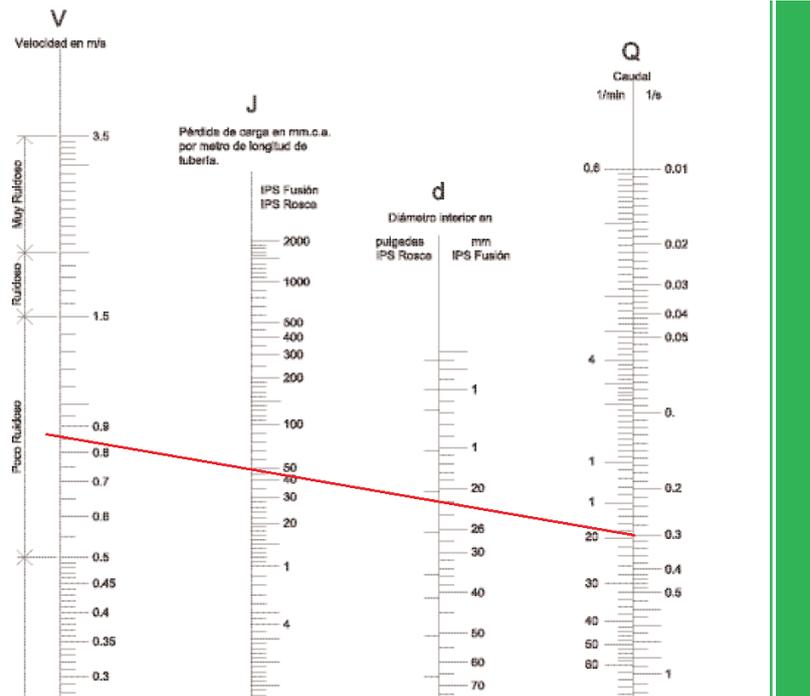


Figura N°29

Se selecciona la cañería IPS Fusión S3.2 DN 32 con un diámetro interno de 23mm.

- La pérdida de carga para esta cañería es:
- Largo: 35 m
- Diámetro interno: 23 mm
- Caudal (Q): 0,3 lts/s
- Velocidad del flujo: 0,85 m/s (poco ruidoso)
- Pérdida de carga localizada: Reducción de 50mm a 32mm + codo a 90° + T salida de lado = 0,23m + 0,6m + 0,7m = 1,33 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 36,33 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,05 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,05 mca/m x 36,33 m = 1,82 mca

Es decir,

$$F_{rec} = 1,82 \text{ mca}$$

De la sección de "Pérdidas de carga en la distribución de ACS" (11.1.3) sabemos que

$$F_{Dist_ACS} = 2,3 \text{ mca}$$

Entonces, la bomba que elijamos deberá vencer la pérdida de carga del sistema en paralelo con una presión útil de 1 mca:

$$F_{Bomba \text{ rec}} = F_{dist} + F_{rec} + P_{\text{útil}}$$

$$F_{Bomba \text{ rec}} = 2,3 \text{ mca} + 1,82 \text{ mca} + 1 \text{ mca}$$

$$F_{Bomba\ rec} = 5,12\ mca$$

Con la ayuda del catálogo interactivo de la página del fabricante GRUNDFOS SA se selecciona la bomba **ALPHA1 25-80 N 130** (Figura N°30, 31a, 31b, 31c). Se decide adoptar un caudal de recirculación mayor, para lograr un mayor rendimiento de la bomba.



Figura N°30. Fuente: <http://www.grundfos.com.ar>. (Fecha de captura: 22/4/20)

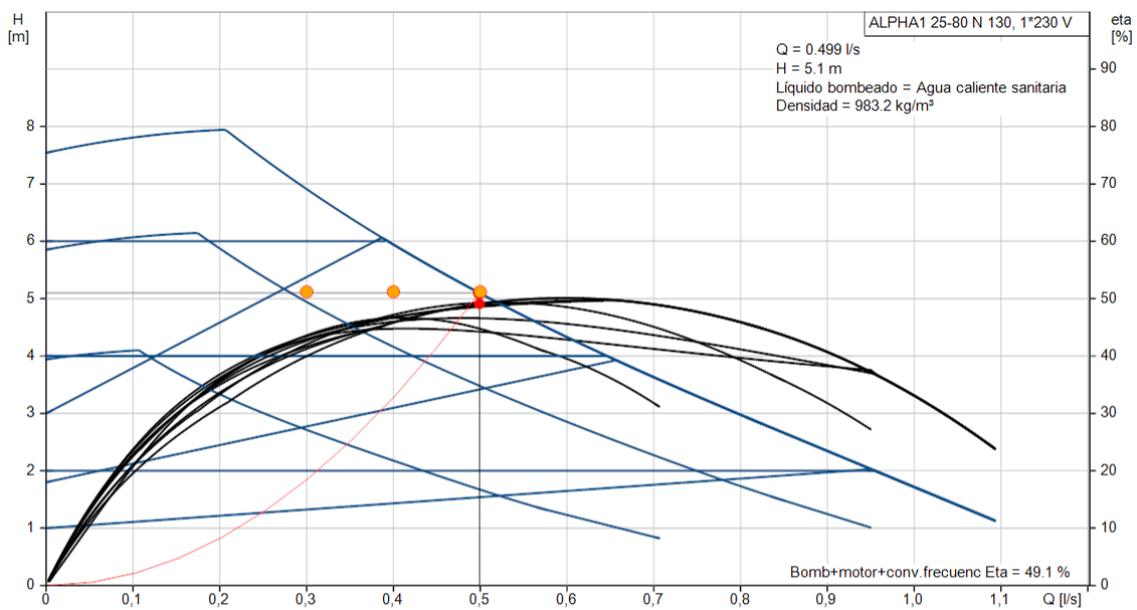


Figura N°31a. Gráfico curva de rendimiento. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

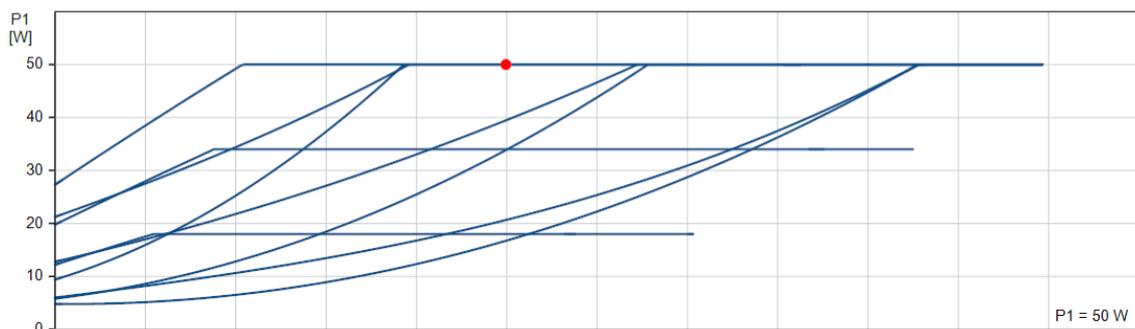


Figura N°31b. Curva de potencia. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

Resultado dimension.

Tipo		ALPHA1 25-80 N 130		Perfil carga			
Cantidad		1		1	2	3	
Caud	0.499	l/s (0%)		100	80	60	%
Alt.	5.1	m (0%)		100	116	135	%
Entrad presión mín	0.2	bar (60 °C, contra la atmosfera)		0.05	0.05	0.05	kW
Pot. P1	0.05	kW		Total Eta	49.1	45.8	40.0
Bomb+motor Eta	49.1	% =Bomba Eta *motor Eta		Time	2280	2280	2280
Total Eta	49.1	% =Eta relativa punto de trabajo		Consumo energía	114	114	114
Consumo energía	342	kWh/Año		Cantidad	1	1	1
Emisión CO2	195	kg/Año					
Prec.	877,00	EUR					
Cte ciclo vital	2680	EUR /15Años					

Figura N°31c. Rendimiento. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 10/12/19)

El nuevo caudal de recirculación y altura correspondientes al punto de trabajo de la bomba son:

$$C_{rec} = 0,499 \frac{l}{s} = 1796 \frac{l}{h}$$

$$F_{Bomba\ rec} = 5,1\ mca$$

Potencia de la bomba: $P_{rec} = 50\ W$

A continuación, se procede a averiguar el tiempo que le tomará a la bomba renovar el volumen total de agua contenido en las dos montantes.

El volumen total de agua a recircular será:

$$V_{rec} = V_{mont_1} + V_{mont_2} + V_{col}$$

Con

$$V_{mont_1} = V_{mont_2} = V_{mont}$$

$$V_{rec} = 2 \times V_{mont} + V_{col}$$

Se toman los valores de 12.1.2 y 12.1.3

$$V_{rec} = [2 \times (0,618 + 2,08 + 2,99 + 2,99) \times 10^{-2} + 5,21 \times 10^{-2}] m^3$$

$$V_{rec} = 0,226\ m^3$$

Entonces, la bomba se encenderá durante:

$$t_{enc} = \frac{V_{rec} \times 1 h}{C_{rec}}$$
$$t_{enc} = \frac{0,226 m^3 \times 1 h}{1,796 m^3}$$

$$\boxed{t_{enc} = 0,126 \text{ horas} \approx 7,5 \text{ min}}$$

Esto significa que la bomba tardará aproximadamente 7 minutos y medio en renovar el agua caliente en las dos montantes de distribución cuando la temperatura en el último piso desciende por debajo de la preestablecida.

Cuando hay consumo, la bomba queda automáticamente inhibida, ya que el propio consumo renueva el agua en las montantes.

14. PROPUESTA

14.1. Sistema de distribución mejorado

Cómo solución a los gastos energéticos y derroche del recurso natural, se propone un sistema de distribución integral e inteligente, compuesto por cañería de recirculación intra-departamento e incorporación de bombas centrífugas de caudal variable (variador de frecuencia) en la presurización del sistema de distribución de agua.

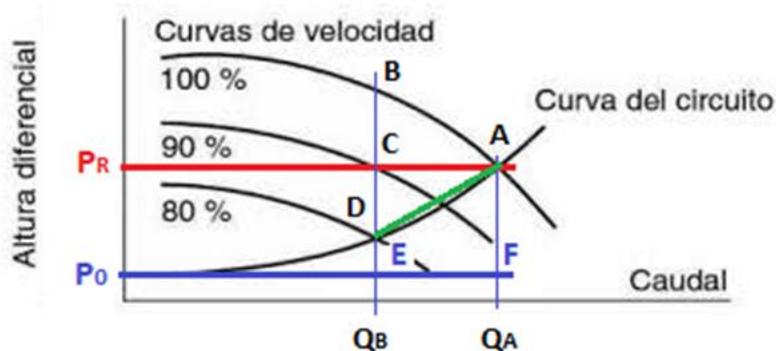


Figura N°32

En este gráfico se puede observar cómo las bombas de caudal variable y presión diferencial representan una gran ventaja sobre bombas de velocidad fija.

Si, por ejemplo, el usuario estuviese demandando un caudal Q_A , una bomba de velocidad fija (caudal fijo) funcionaría a su velocidad nominal, representada en este gráfico por la curva de 100% y entregaría la presión P_R máxima solicitada por el circuito para ese caudal, compuesta por $P_0 + F_A$ (pérdida hidráulica de la cañería, P_0 es la mínima requerida). Pero cuando el usuario solicita un caudal menor, digamos Q_B , entonces la bomba sin variador de velocidad seguirá trabajando al 100%, régimen para el cual a ese caudal la presión será P_B , aún cuando la instalación solicita únicamente P_D . Lo cual, nos muestra un desperdicio energético representado por el segmento BD.

Luego, existen otras bombas con tecnología de velocidad variable, pero sin manejo diferencial de la presión (presión constante). En ese caso, cuando el usuario solicita un caudal Q_B la bomba reduce su velocidad al 90%, pero esta vez manteniendo la presión P_R .

La tercer opción, a la cual hago referencia en este trabajo, son las bombas de velocidad variable y control diferencial de la presión. Esta bomba puede ajustar su velocidad acorde a los requerimientos de la instalación. Por ejemplo, si el usuario requiriese un caudal Q_B y la instalación una presión P_D , entonces la bomba mediante su sensor de presión y algoritmos ajusta el régimen de giro al 80%, lográndose, en comparación con las bomba de velocidad fija, un ahorro energético representado en el gráfico por el segmento BD. Luego, el segmento en verde, DA, será la línea compuesta por los puntos de funcionamiento de esta bomba entre los caudales Q_B y Q_A .

Mediante la recirculación dentro de los departamentos se mitiga directamente el problema del derroche de agua potable, ya que lo que se logra es que el usuario obtenga el agua caliente

prácticamente de manera instantánea al acortarse las distancias entre el ACS y los artefactos impidiendo que se descarte el agua que se ha enfriado en las cañerías mediante su recirculación al termotanque, inyectando el agua de retorno en la recirculación central.

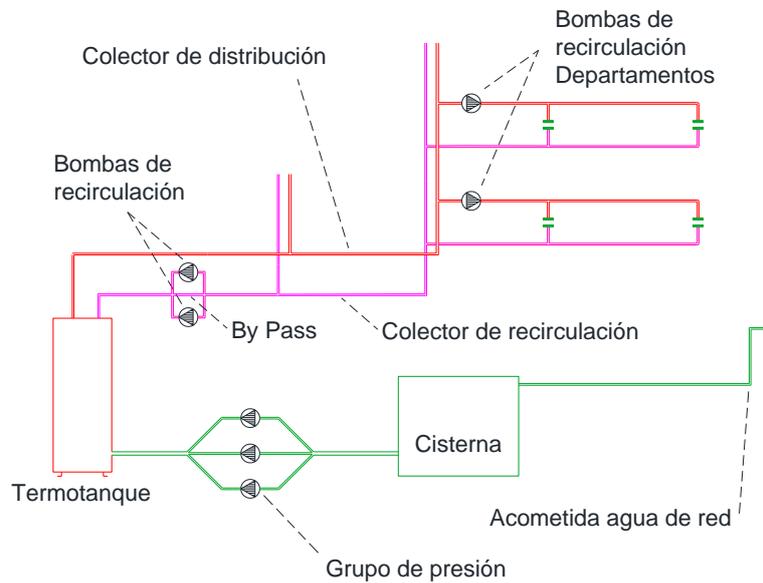


Figura N°33

Como es de suponerse, este sistema podría resultar contraproducente al transformarse en un radiador de calor gigante. Pero ese problema es resuelto con la incorporación de un sistema inteligente que incluye sensores de activación por movimiento. Así, la recirculación en departamentos se dará únicamente cuando haya ocupación en el departamento o, más precisamente, en cuartos húmedos. La ubicación y configuración de dichos sensores estará a cargo del especialista.

14.1.1. Patrón de consumo

Si consideramos que, a grandes rasgos, el promedio de los habitantes del edificio usa el agua caliente por la mañana para ducharse antes de ir al trabajo o a la universidad, entre las 6:00 y 8:00, actividad que más agua consume, luego algunos por el mediodía en menor medida y finalmente hacia la tarde al regresar del trabajo y a la noche al ducharse y lavar los platos antes de irse a dormir podemos asumir que habrá distintos picos de consumo a lo largo del día.

A continuación, se presenta el patrón de funcionamiento de una bomba centrífuga de distribución de agua domiciliar de una investigación realizada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Comisión Nacional del Agua de México (Fuente en el Anexo).

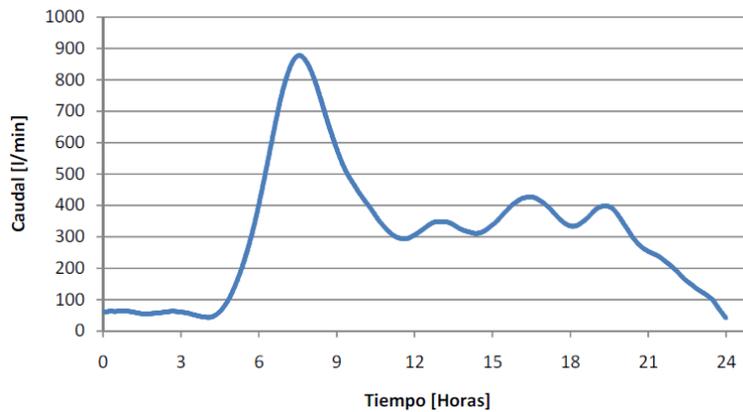


Figura N°34

Este gráfico nos muestra que la mayor solicitud de caudal es por la mañana y es menor por la tarde y la noche, tal como se presumió. Otra forma de interpretar este gráfico es cómo una representación del grado de ocupación del edificio en ese momento. Luego por la tarde, se vuelve a verificar que el gráfico coincide con nuestra experiencia. El consumo está más distribuido en el tiempo ya que el horario en que todos regresan a su hogar y hacen uso del agua no es tan concentrado o al menos hay menor coincidencia en ello.

14.1.2. Bomba presurizadora. Dimensionamiento

En el caso del sistema de distribución por bomba presurizadora, se buscará optimizar la eficiencia de bombeo para los distintos caudales de consumo. Es decir, se utilizará un equipo de bombeo compuesto por un grupo de bombas que cubran distintos rangos de caudal, de manera de optimizar el rendimiento de bombeo y reducir al mínimo el derroche energético.

El equipo presurizador será el encargado de reponer el volumen de agua siendo consumida en los distintos puntos de consumo de ACS y AFS a una presión preestablecida. Para dimensionar este sistema se utilizará como dato el caudal simultáneo de ACS calculado (2,782 l/s). Y, dado que para agua fría no existe reglamentación alguna se tomará un coeficiente de simultaneidad equivalente a una canilla cada dos departamentos, es decir, 0,2 litros/segundo multiplicado por 20 departamentos, un total de 4 litros/segundo.

Con este dato y aplicando el principio de pérdidas de carga en cañerías, donde la pérdida de carga total del sistema será igual a la pérdida de carga estática más la dinámica. Además, la distribución comprende un arreglo en paralelo. Entonces, se entiende que la pérdida de carga dinámica del sistema será igual a la pérdida de carga estudiada en cualquiera de sus ramales individuales. El caudal total es la suma de los caudales individuales.

De esta manera, se elige la mayor pérdida de carga entre los circuitos de agua fría y caliente (2,71 m para AFS y 2,3 m para ACS). Se toma la de agua fría.

$$F_{bomba} = F_{estática} + F_{dinámica}$$

$$F_{bomba} = (F_{útil} + H + F_{ato}) + \sum F_i^Q$$

Donde “i” representa los distintos tramos (secciones distintas) a lo largo de la montante y “Q” es el caudal en estudio.

Entonces,

- Pérdidas de carga departamento (F_{dto_AFS}): 2 mca
- Altura canilla más alejada (H): 33 m
- Presión útil ($F_{\acute{u}til}$): 6 mca

Las pérdidas de carga dinámica se calcularán con ayuda del nomograma del fabricante (Anexo). Se muestran los resultados en la siguiente tabla (Tabla N°6).

Se busca cubrir caudales mínimos de 1080 l/h, representando el consumo de una única canilla (situación poco probable pero posible), y un caudal máximo de aproximadamente 24400 l/h, correspondiente al consumo.

Q [m3/h]	Q [l/s]	Q [l/m]	F col 90 [m]	FC 90 [m]	FB 75 [m]	FA 50 [m]		Fest [m]	Fdin [m]	F total [m]
1,08	0,3	18	0,0011	0,0011	0,0026	0,0031		41	0,059614	41,1
3	0,8	50,0	0,0007	0,0007	0,0022	0,013		41	0,27318	41,3
5	1,4	83,3	0,0022	0,0022	0,00355	0,028		41	0,58953	41,6
7	1,9	116,7	0,0034	0,0034	0,0047	0,055		41	1,09866	42,1
9	2,5	150,0	0,0045	0,0045	0,01	0,075		41	1,5483	42,5
11	3,1	183,3	0,0047	0,0047	0,016	0,075		41	1,64378	42,6
13	3,6	216,7	0,00485	0,00485	0,019	0,075		41	1,69289	42,7
15	4,2	250,0	0,011	0,011	0,024	0,075		41	1,9364	42,9
17	4,7	283,3	0,014	0,014	0,024	0,075		41	2,0186	43,0
19	5,3	316,7	0,017	0,017	0,024	0,075		41	2,1008	43,1
21	5,8	350,0	0,02	0,02	0,024	0,075		41	2,183	43,2
23	6,4	383,3	0,024	0,024	0,024	0,075		41	2,2926	43,3

Tabla N°6

Las primeras tres columnas de la Tabla N°6 muestran los caudales que se le demanda a la instalación en tres unidades distintas, metros cúbicos por hora, litros por segundo y litros por minuto. Luego las columnas cuarta a séptima muestran las pérdidas de carga de los distintos tramos de la instalación, colector DN90, tramo C DN90, tramo B DN75 y tramo A DN50 respectivamente. Por último, las últimas tres columnas expresadas en metros columna de agua son la pérdida estática, dinámica y pérdida de carga total respectivamente.

Se utilizan los caudales en metros cúbicos por hora y la pérdida de carga total (F total) para graficar la curva de la cañería.

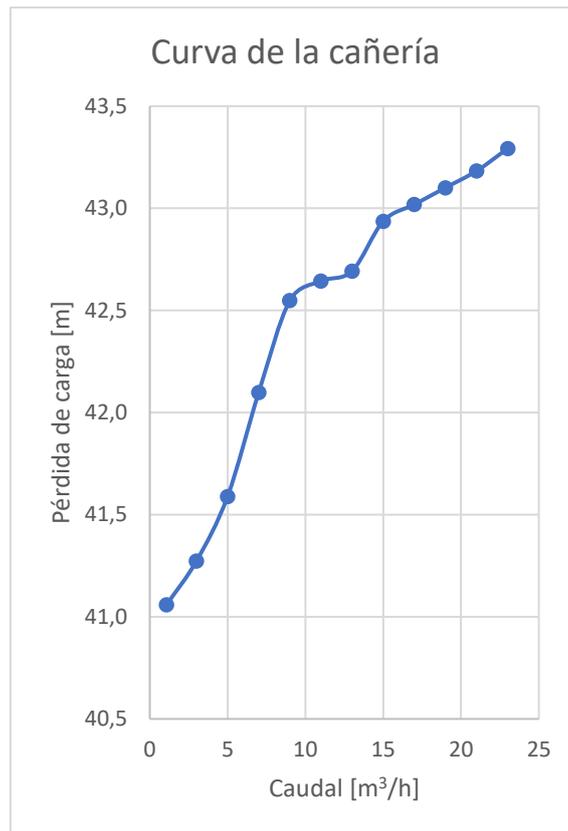


Gráfico N°1

Para asegura el correcto funcionamiento del sistema se agrega un 5% de margen de seguridad en la altura máxima de funcionamiento de la bomba.

$$F_{bomba} = 45 \text{ mca}$$

Esta pérdida de carga se obtuvo con una simultaneidad de uso de las instalaciones de muy alta demanda. Por lo que, se prevé que el promedio sea siempre menor.

Teniendo en consideración un patrón de consumo modelo, se resuelve dimensionar para caudales promedio próximos a la zona media del gráfico, donde se puede observar que se dan los caudales que más se repiten en el tiempo, es decir, la mitad del caudal máximo pronosticado (24 m³/h), 12 m³/h. De esta manera, la bomba encargada de suministrar caudales de este orden trabaje al mejor rendimiento posible.

Mediante la web del fabricante de bombas GRUNDFOS se llega a la conclusión que los modelos que mejor se adaptan a las condiciones descritas son: una bomba modelo **CRE 3-11** y dos bombas del modelo **CRE 10-5**. Trabajarán individualmente y en combinación, de manera de alcanzar todo el rango de consumos que se les demande.

A continuación, se muestran los gráficos y principales características de rendimiento de estas bombas en sus puntos de trabajo máximos y mínimos.

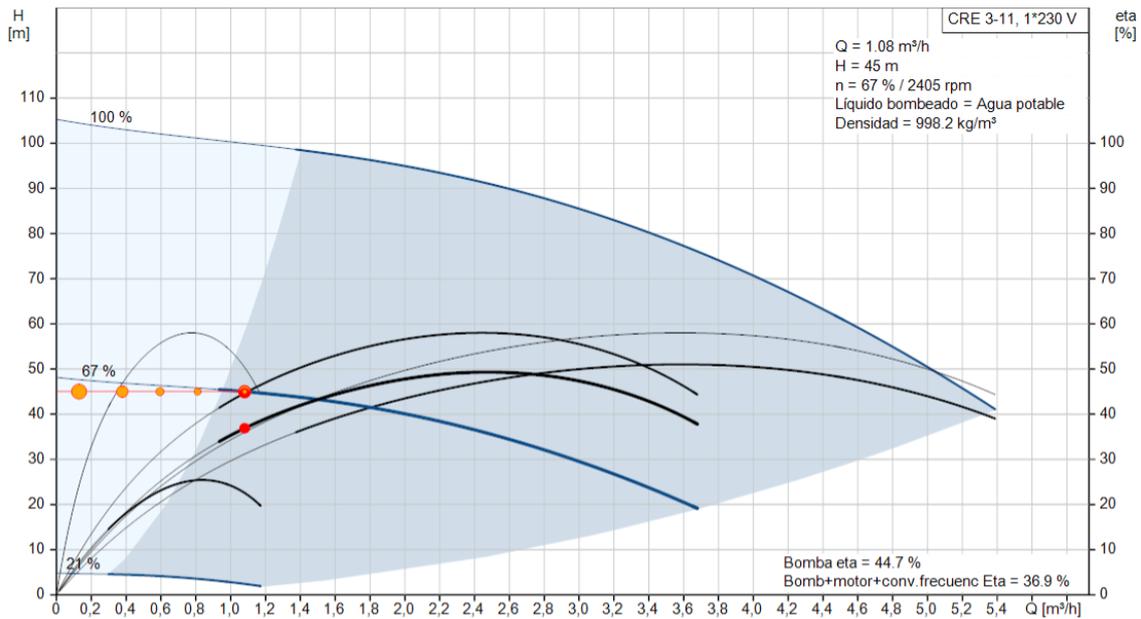


Figura N°35a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

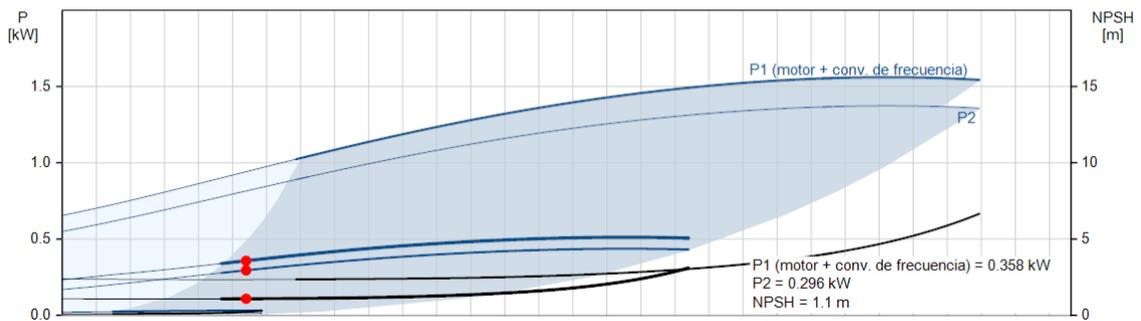


Figura N°35b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 3-11
Cantidad * Motor 1 * 1.5 kW

Caud 1.08 m³/h
H total 45 m
Pot. P1 0.358 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo 0.296 kW
BombaEta 44.7 %
Motor Eta 82.6 %
Bomb+motor Eta 36.9 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta 36.9 %
Caudal tot 23 m³/año
Consumo energía 16 kWh/Año
Prec. 3.553,00 EUR
Cte ciclo vital 3601 EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt	100	100	100	100	100	%
P1	0.358	0.318	0.286	0.255	0.222	kW
Total Eta	36.9	31.2	25.4	18.1	7.1	%
Time	3	6	9	17	29	h/a
Consumo energía	1	2	2	4	6	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°35c. Rendimiento a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

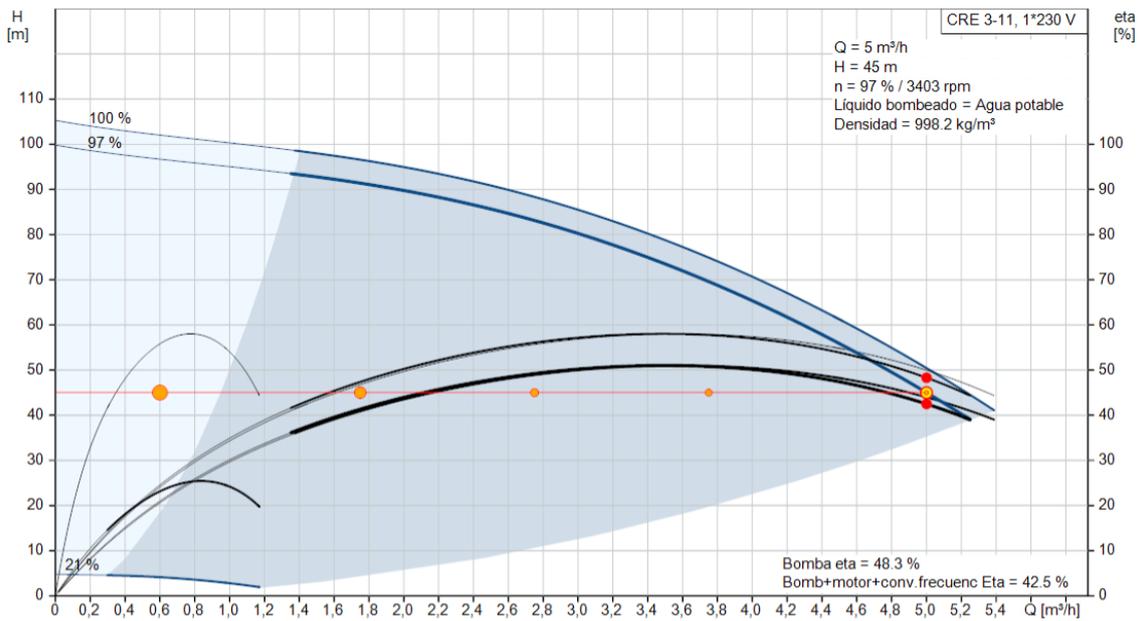


Figura N°36a. Curva de rendimiento a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

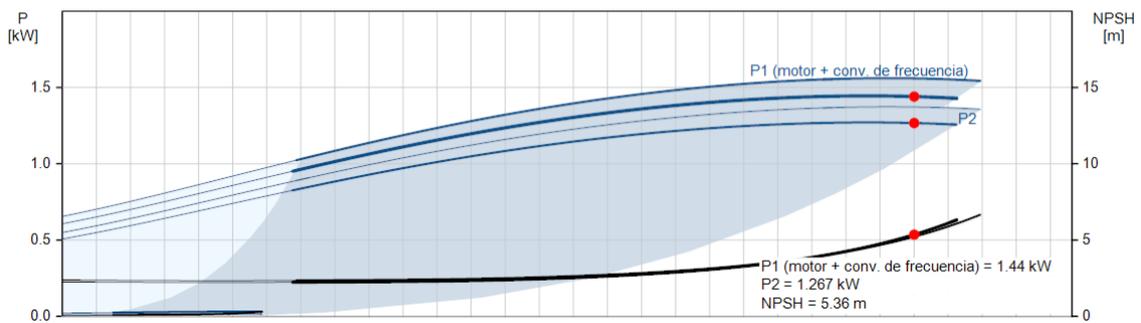


Figura N°36b. Curva de potencia a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo		Perfil carga				
CRE 3-11		1	2	3	4	5
Cantidad * Motor		1 * 1.5 kW				
Caud	5 m³/h	100	75	55	35	12 %
H total	45 m	100	100	100	100	100 %
Pot. P1	1.44 kW	1.44	0.946	0.671	0.469	0.287 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.267 kW					
BombaEta	48.3 %	42.5	48.5	50.1	45.6	25.6 %
Motor Eta	88.0 %					
Bomb+motor Eta	42.5 % =Bomba Eta *motor Eta					
Total Eta	42.5 %					
Caudal tot	638 m³/año	17	34	51	103	171 h/a
Consumo energia	189 kWh/Año	25	32	34	48	49 kWh/Año
Prec.	3.553,00 EUR					
Cte ciclo vital	4117 EUR /10Años	1	1	1	1	1

Figura N°36c. Rendimiento a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

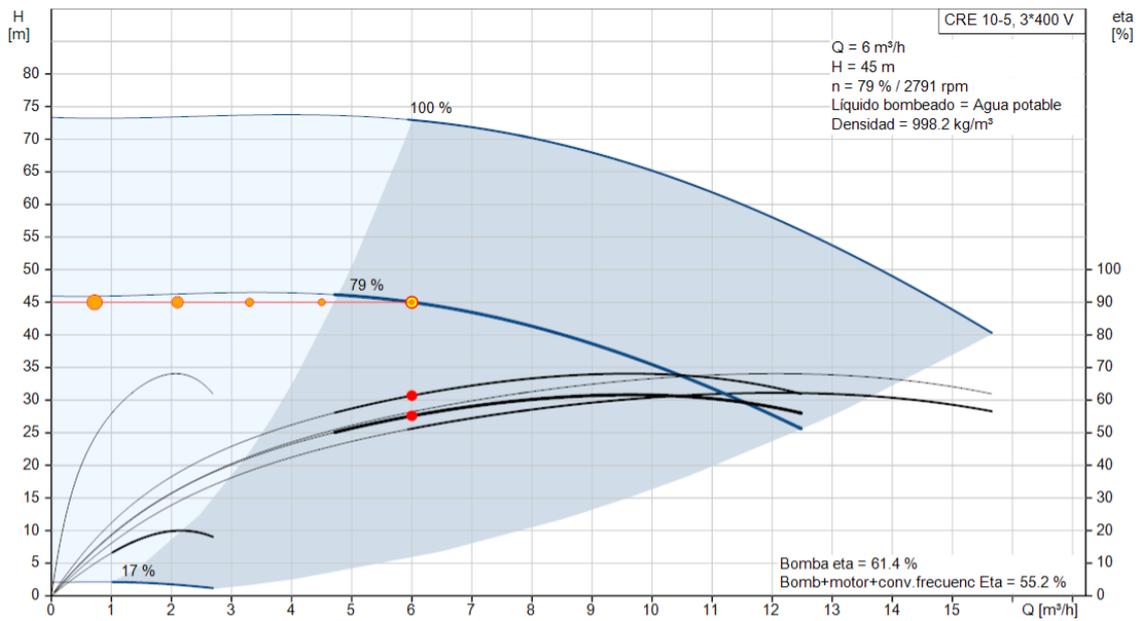


Figura N°37a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

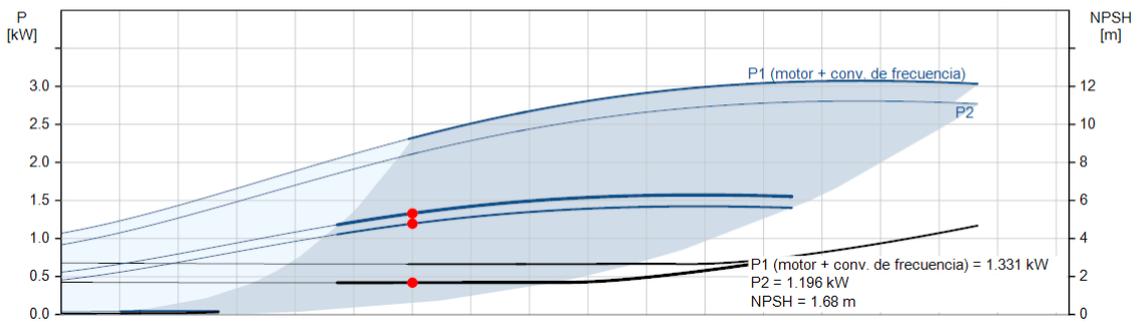


Figura N°37b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo		Perfil carga					
Tipo	CRE 10-5						
Cantidad * Motor	1 * 3 kW						
Caud	6 m³/h	1	2	3	4	5	
H total	45 m	100	75	55	35	12 %	
Pot. P1	1.331 kW	100	100	100	100	100 %	
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.196 kW	1.331	1.117	0.949	0.786	0.615 kW	
BombaEta	61.4 %	Total Eta	55.2	49.3	42.5	32.7	14.3 %
Motor Eta	89.9 %	Time	26	52	78	155	258 h/a
Bomb+motor Eta	55.2 % =Bomba Eta *motor Eta	Consumo energia	34	58	74	122	159 kWh/Año
Total Eta	55.2 %	Cantidad	1	1	1	1	1
Caudal tot	1155 m³/año						
Consumo energia	447 kWh/Año						
Prec.	5.155,00 EUR						
Cte ciclo vital	6488 EUR /10Años						

Figura N°37c. Rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

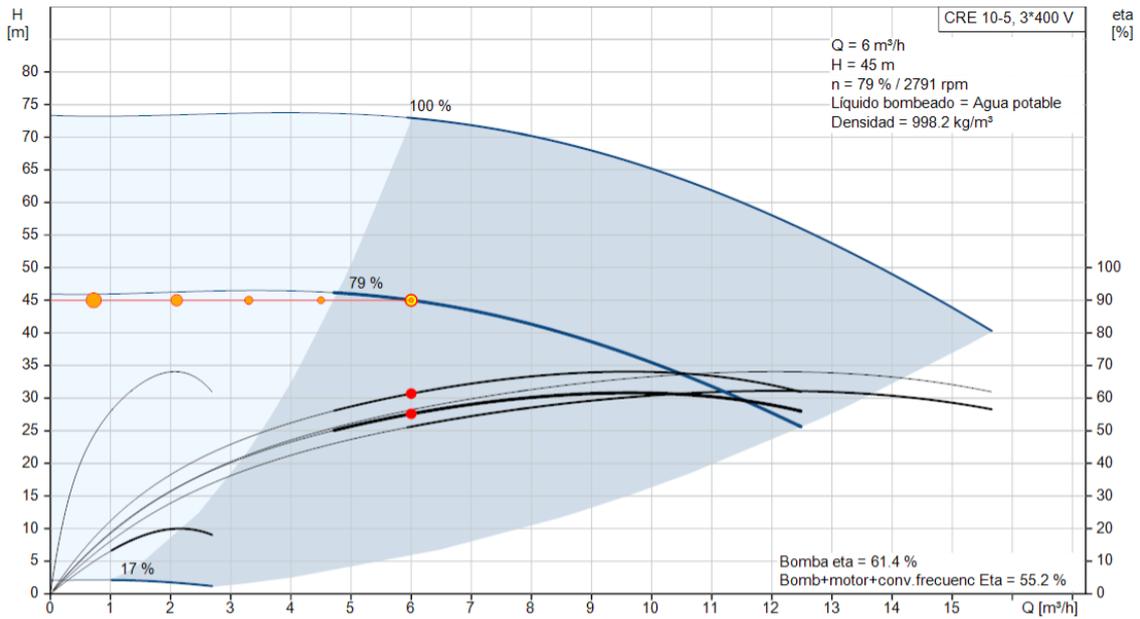


Figura N°38a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

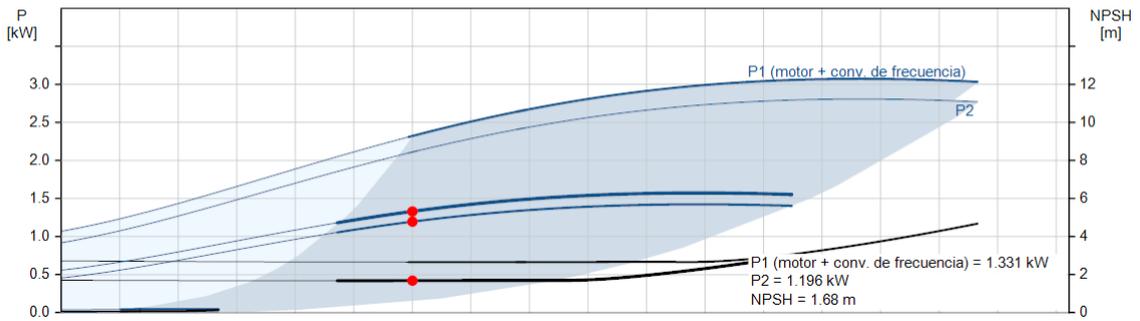


Figura N°38b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
Cantidad * Motor 1 * 3 kW

Caud	6	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.331	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.196	kW
BombaEta	61.4	%
Motor Eta	89.9	%
Bomb+motor Eta	55.2	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	55.2	%
Caudal tot	1155	m³/año
Consumo energía	447	kWh/Año
Prec.	5.155,00	EUR
Cte ciclo vital	6488	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5
Caud	100	75	55	35	12
Alt.	100	100	100	100	100
P1	1.331	1.117	0.949	0.786	0.615
Total Eta	55.2	49.3	42.5	32.7	14.3
Time	26	52	78	155	258
Consumo energía	34	58	74	122	159
Cantidad	1	1	1	1	1

Figura N°38c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

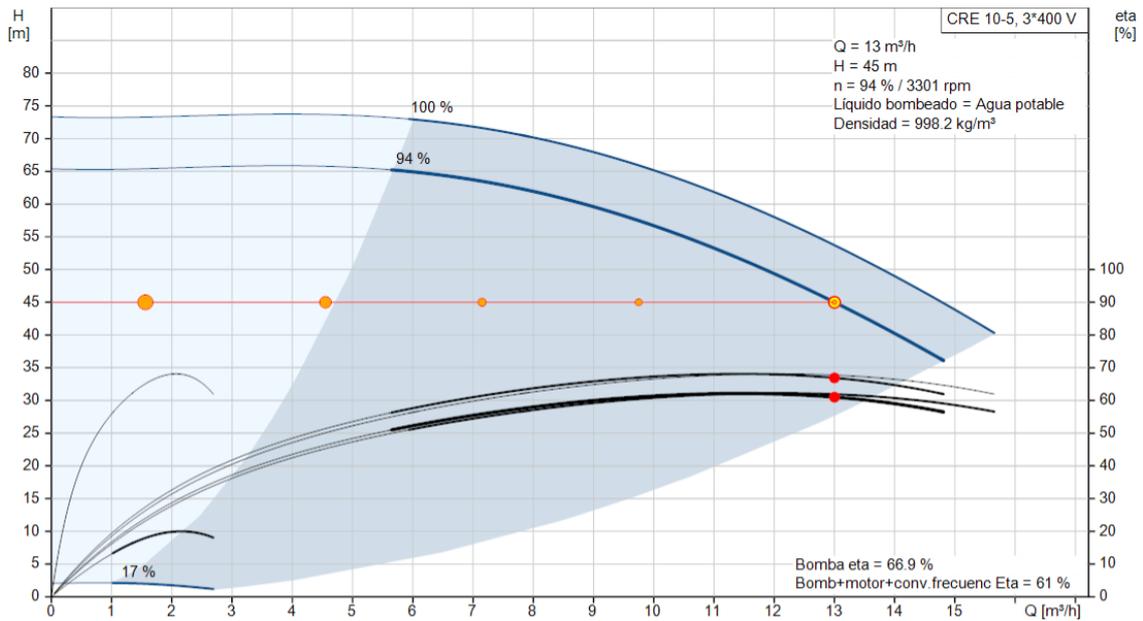


Figura N°39a. Curva de rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

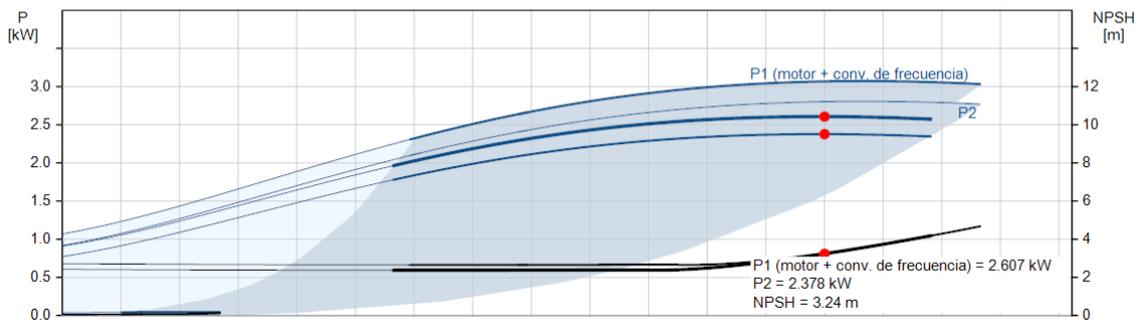


Figura N°39b. Curva de potencia a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo		CRE 10-5		Perfil carga					
Cantidad * Motor	1 * 3 kW			1	2	3	4	5	
Caud	13 m³/h			100	75	55	35	12	%
H total	45 m			100	100	100	100	100	%
Pot. P1	2.607 kW			2.607	1.933	1.502	1.124	0.715	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	2.378 kW								
BombaEta	66.9 %			61.0	61.7	58.3	49.5	26.7	%
Motor Eta	91.2 %								
Bomb+motor Eta	61.0 % =Bomba Eta *motor Eta								
Total Eta	61.0 %								
Caudal tot	17196 m³/año								
Consumo energía	4417 kWh/Año								
Prec.	5.155,00 EUR								
Cte ciclo vital	18343 EUR /10Años								
				Cantidad	1	1	1	1	1
				Consumo energía	463	686	800	1198	1270
				Time	178	355	533	1065	1776
				Total Eta	61.0	61.7	58.3	49.5	26.7
				Alt.	100	100	100	100	100
				P1	2.607	1.933	1.502	1.124	0.715
				Caud	100	75	55	35	12

Figura N°39c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

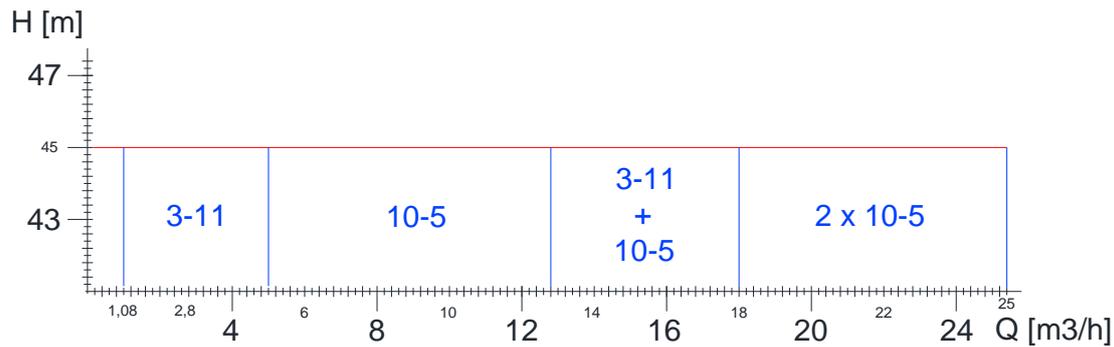


Figura N°40. Equipo de bombeo. Gráfico representativo de rangos de trabajo a altura máxima

El equipo de bombeo se compondrá de 3 bombas que trabajan para distintos rangos de caudal y en conjunto o individualmente dependiendo del caudal demandado (Figura N°40). Son de accionamiento automático (equipadas con sensor de presión) y pueden modificar su punto de trabajo para adaptarse a las condiciones de caudal demandado en tiempo real, gracias a un variador de frecuencia integrado que regula las rpm del motor eléctrico.

En el gráfico se observa que, para consumos mínimos de tan sólo una canilla abierta, representando un caudal de $1,08 \text{ m}^3/\text{h}$, ponen en funcionamiento la bomba CRE 3-11 que entrega hasta $5 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua. Luego, al aumentar el consumo, entre los 5 y $13 \text{ m}^3/\text{h}$ entra en funcionamiento la bomba CRE 10-5, y la CRE 3-11 detiene su trabajo. Para consumos entre los 13 y $18 \text{ m}^3/\text{h}$ funcionarán en simultáneo las bombas 3-11 y 10-5 y para aquellos consumos por arriba de los $13 \text{ m}^3/\text{h}$ y hasta los $24 \text{ m}^3/\text{h}$, o más de ser requerido, trabajarán en conjunto las dos bombas grandes 10-5.

14.1.3. Bombas de recirculación departamentos. Dimensionamiento

Se utilizarán las bombas inteligentes ALPHA de la empresa Grundfos. Estas bombas tienen la capacidad de aprender del consumo de los usuarios y realizar una recirculación del agua de manera más eficiente. Además, serán programadas para recibir señal de sensores de movimiento ubicados estratégicamente. Estos sensores pueden estar compartidos con el sistema de alarma del departamento.

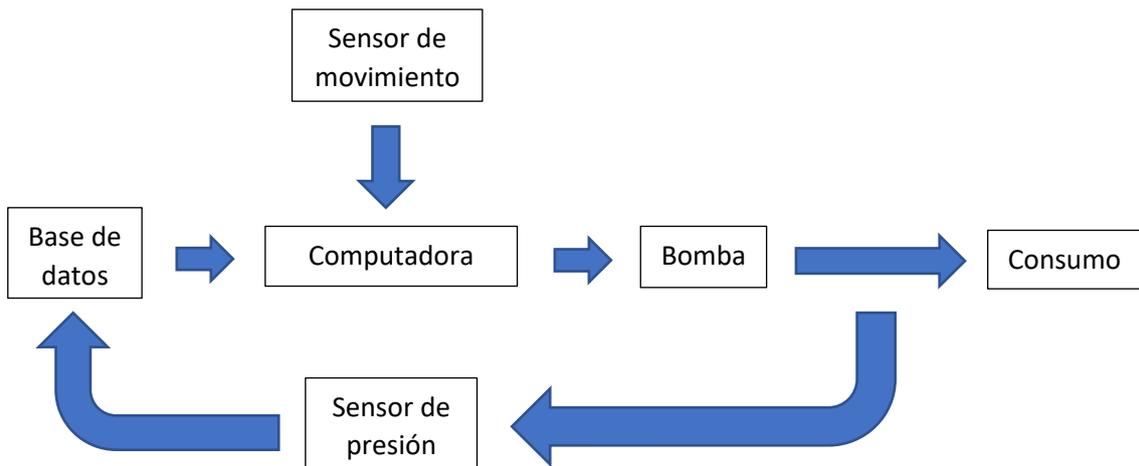


Diagrama N°1

Entonces la activación de la bomba se dará de forma combinada entre su base de datos y los sensores de movimiento. Por ejemplo, una forma de activación puede ser porque la bomba “sabe” que el usuario de lunes a viernes entre las 7 y las 8 de la mañana utiliza el agua caliente (antes de ir a trabajar). Pero si el usuario un día se quedó en casa porque enfermó, por ejemplo, y quiere utilizar el agua entonces la computadora recibirá una señal de los sensores de movimiento y activará la bomba de todas formas. Además, se pueden establecer rangos horarios en los que la bomba no se encienda por más que los sensores registren presencia. Es decir, se puede configurar según la conveniencia del instalador.

Luego, las pérdidas de carga en la distribución del departamento con retorno por colector estarán determinadas por el caudal de recirculación y las pérdidas localizadas y diámetro de cañerías. Respecto a los colectores se los considerará como dos codos a 90° de la Tabla G de cambios de dirección del fabricante IPS (Anexo).

Se procede a calcular el caudal de recirculación en primer lugar y luego las pérdidas asociadas.

El caudal de recirculación deberá ser tal que logre anticiparse al usuario. Es decir, anticiparse al momento en que el usuario ingresa al cuarto húmedo.

Entonces, podemos establecer un tiempo seguro para que en ese lapso el sistema ya haya recirculado el agua y puesto a disposición en todos los artefactos agua caliente.

Se considera que ese tiempo debe estar en las cercanías de los diez segundos. Entonces, a continuación, se tomará este tiempo para obtener el caudal de recirculación y las pérdidas de carga asociadas para dimensionar las bombas.

Tiempo de recirculación propuesto (T_{rec}): 10 segundos

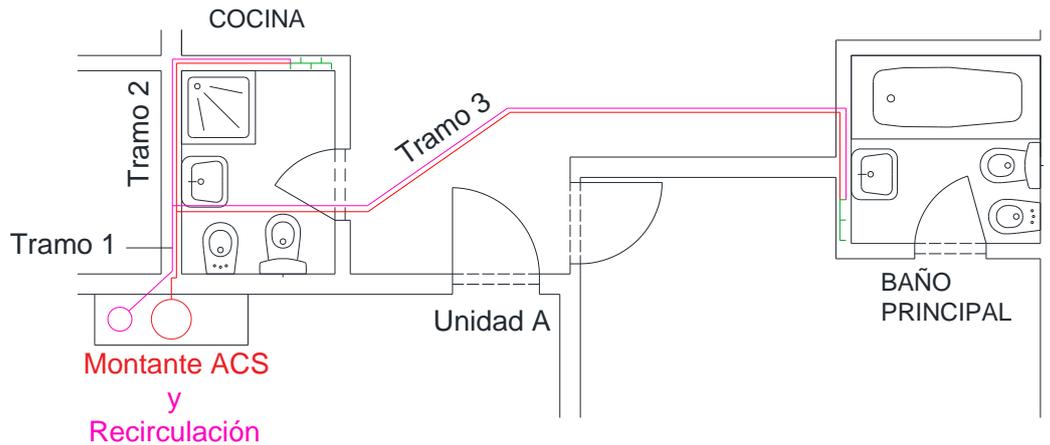


Figura N°63

Volumen de recirculación por tramo (Figura N°63):

- Tramo 1: $1,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
- Tramo 2: $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- Tramo 3: $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Volumen total de recirculación:

$$V_{rec\ total} = 1,776 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,776 \text{ l}$$

Caudal de recirculación:

$$C_{rec} = \frac{V_{rec\ total}}{T_{rec}} = \frac{1,776 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{10 \text{ s}}$$

$$C_{rec} = 1,776 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$C_{rec} = 1,776 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,63936 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,1776 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Es decir, la bomba deberá ser capaz de bombear un caudal de 640 litros por hora (0,2 litros por segundo) para cumplir con el tiempo deseado.

14.1.4.A. Pérdidas de carga recirculación con colector

Tramo largo baño principal:

- Largo: 7,65 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,1 lts/s
- Pérdida de carga localizada: 2 codos a 45° + 1 codo a 90° + T de lado + 2 curvas a 90° = $2 \times 0,2 \text{ m} + 1 \times 0,4 \text{ m} + 1 \times 0,5 \text{ m} + 2 \times 0,2 \text{ m} = 1,7 \text{ m}$
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 9,35 m

- Pérdida de carga por diámetro: 0,02 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,02 mca/m x 9,35 m = 0,187 mca

Tramo corto cocina y medio baño

- Largo: 2,58 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,1 lts/s
- Pérdida de carga localizada: 1 codo a 90° + T pasaje directo + 2 curva a 90° = 1 x 0,4 m + 1 x 0,2 m + 2 x 0,2 m = 1 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 3,58 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,02 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,02 mca/m x 3,58 m = 0,072 mca

Tramo principal departamento

- Largo: 0,65 m
- Diámetro nominal: 20 mm
- Diámetro interno: 14,4 mm
- Caudal (Q) máximo considerado: 0,2 lts/s
- Pérdida de carga localizada: T bilateral + 1 codo a 90° + 2 curva a 90° = 1 x 0,4 m + 1 x 0,4 m + 2 x 0,2 m = 1,2 m
- Largo ponderando pérdidas localizadas: 1,85 m
- Pérdida de carga por diámetro: 0,1 mca/m
- Pérdida de carga total tramo: 0,1 mca/m x 1,85 m = 0,185 mca

14.1.4.B. Pérdida de carga total departamento (1 unidad) (F_{dto_ACS})

$$F_{dto_ACS} = (0,187 + 0,072 + 0,185) \text{ mca} = 0,444 \text{ mca}$$

Se selecciona la bomba **Fluvial Flu 1** (Figura N°30, 31). Se decide adoptar un caudal de recirculación mayor, para lograr un mayor rendimiento de la bomba.



Figura N°30. Fuente: www.fluvial.com. (Fecha de captura: 20/7/20)

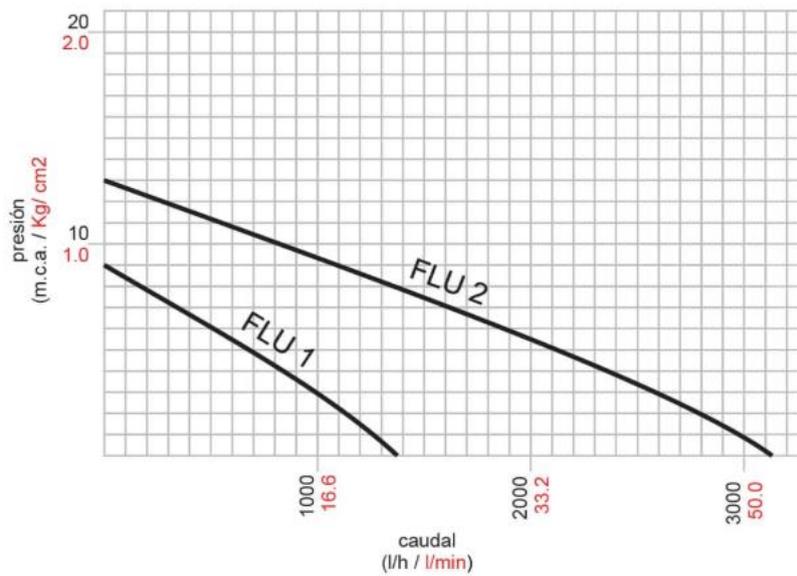


Figura N°31. Gráfico curva de rendimiento. Fuente: Fluvial SA (Fecha de captura 10/12/19)

El nuevo caudal de recirculación y altura correspondientes al punto de trabajo de la bomba son:

$$C_{rec} = 1400 \frac{l}{h} = 0,39 \frac{l}{s}$$

$$F_{Bomba\ rec} = 9\ mca$$

Potencia de la bomba: $P_{rec} = 100 W$

Con el nuevo caudal de recirculación, el tiempo de recirculación pasa a ser:

$$t_{rec} = \frac{1,776 \text{ lts}}{0,39 \frac{\text{lts}}{\text{seg}}}$$

$$t_{rec} = 4,5 \text{ segundos}$$

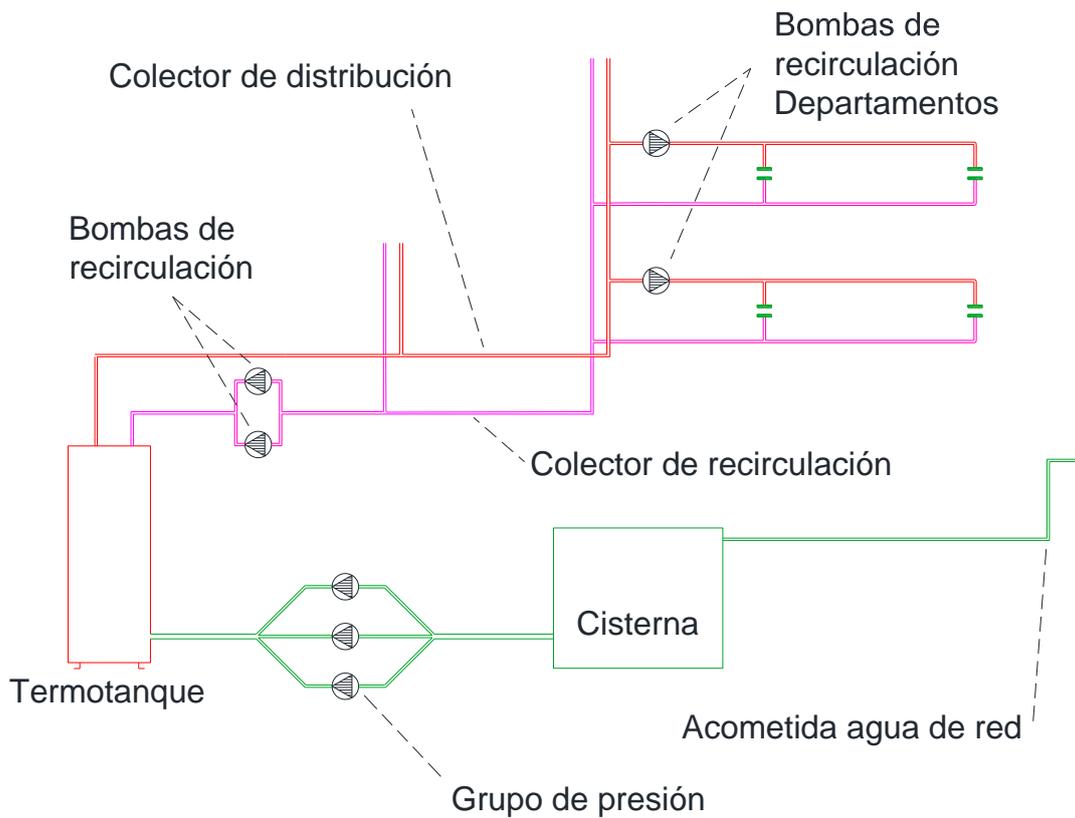


Figura N°43. Diagrama de sistema de distribución inteligente completo.

15. DERROCHE ENERGÉTICO Y DEL RECURSO

15.1. Análisis energético del equipo de bombeo

Se estudiará el desempeño de los sistemas tradicionales y los propuestos. A la vez, se medirán las consecuencias energéticas por el derroche de agua potable como también se intentará contabilizar las pérdidas energéticas por calor.

Para luego averiguar el costo económico de estos consumos primero es necesario conocer la tarifa eléctrica del edificio. Para esto, se debe tener en cuenta otro de los principales consumos eléctricos, como el ascensor.

15.1.1. Bomba Presurizadora. Sistema inteligente propuesto

Según el informe de AySA, el usuario promedio consume 333 litros por día en la Ciudad de Buenos Aires.

Si verificamos esta cifra con la obtenida por el Código de edificación para el volumen de la reserva total diaria (RTD), que arroja unos 32000 litros, obtenemos que:

$$333 \frac{\text{Lts}}{\text{persona día}} * 60 \text{ personas} = 19980 \text{ Lts}$$

Lo cual, está dentro de la reserva total diaria calculada.

Entonces, si por día en el edificio se consumen alrededor de 20000 litros de agua potable, será ese el volumen el total a bombear a lo largo de todo el día.

Con este dato y el patrón de consumo antes presentado (14.1.1) se buscará determinar los distintos puntos de trabajo del grupo de bombeo y con eso el consumo.

Los valores representados en el gráfico de caudales (Figura N°44) no corresponden al caso en estudio, sino que son representativos de un patrón de consumo modelo. Se traducen luego al caso estudiado (Tabla N°7).

Para obtener puntos de trabajo lo más cercanos a la realidad posible, se decide aumentar la resolución y, segmentando el gráfico en rangos de 1,5 horas, trabajar con el valor medio en ese rango. Esto fija un punto de trabajo promedio a la bomba, pero no la limita a ese valor, ya que la tecnología de bombas utilizada permite adaptar el punto de trabajo al demandado por la instalación. Es decir, en caso de que en un rango horario se demande un caudal mayor al promedio, utilizado para dimensionar la bomba, el sistema decidirá si es necesario aumentar las rpm de la bomba o poner en funcionamiento otra bomba para complementar la demanda.

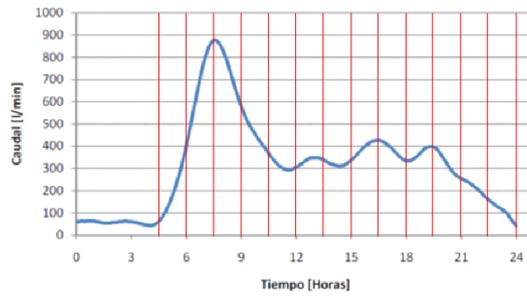


Figura N°44

Entonces, en la Tabla N°7, se tomarán 13 rangos horarios (columna 1) a los que corresponderán 13 rangos de caudal (columna 2). Luego, en la tercer columna, se muestra el caudal promedio de cada uno de los rangos horarios en los valores referencia. En la columna $C_{equiv\ med}$ (caudal equivalente medio) se muestran los valores de caudal medio en concreto para el edificio en estudio.

#	Rango horario	Rango de caudal [l/min]	Promedio [l/min]	$C_{equiv\ med}$ [l/min]/[m ³ /h]
1	4:30 – 6:00	50 - 400	225	92 / 5,5
2	6:00 – 7:30	400 - 900	650	265 / 16
3	7:30 – 9:00	900 - 600	750	305 / 18,3
4	9:00 – 10:30	600 - 400	500	204 / 12,2
5	10:30 – 12:00	400 - 300	350	142 / 8,5
6	12:00 – 13:30	300 - 350	325	132 / 7,9
7	13:30 – 15:00	350 - 350	350	142 / 8,5
8	15:00 – 16:30	350 - 450	400	163 / 9,8
9	16:30 – 18:00	450 - 350	400	163 / 9,8
10	18:00 – 19:30	350 - 400	375	153 / 9,2
11	19:30 – 21:00	400 - 250	325	132 / 7,9
12	21:00 – 22:30	250 - 150	200	81 / 4,8
13	22:30 – 24:00	150 - 50	100	41 / 2,5

Tabla N°7

Cada uno de estos valores medios de cada rango horario representa, en el grupo de bombas, un punto de trabajo al que se le atribuye una determinada potencia eléctrica que, por último, representará un costo económico en la factura eléctrica.

A continuación, se procede a determinar el punto de trabajo de las bombas en funcionamiento para cada caudal ($C_{equiv\ med}$) con la ayuda de la herramienta interactiva del fabricante Grundfos. Se utilizará el siguiente esquema para ubicar a que bomba corresponde cada punto de trabajo:

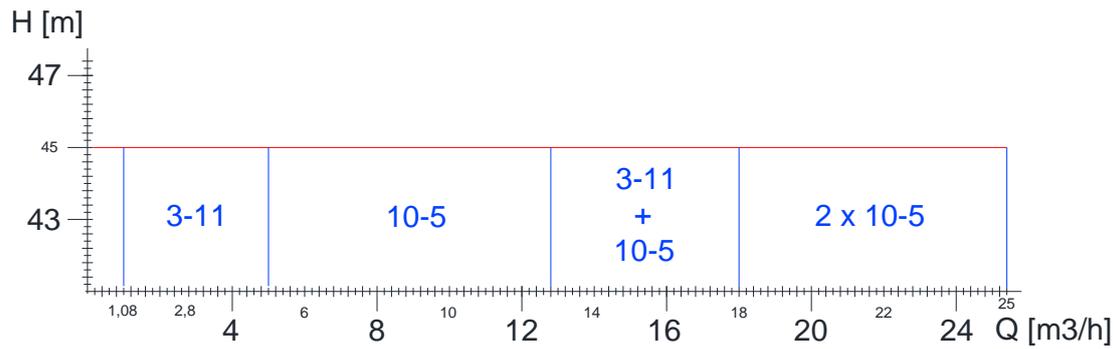


Figura N°45

Se muestran a continuación los gráficos de los 13 puntos de trabajo numerados en la Tabla N°7, en orden ascendente (1, 2, 3, 4, ..., 13). Se trabaja con caudal en metros cúbicos hora (m3/h) y pérdida de carga en metros (m).

Para el punto de trabajo #1:

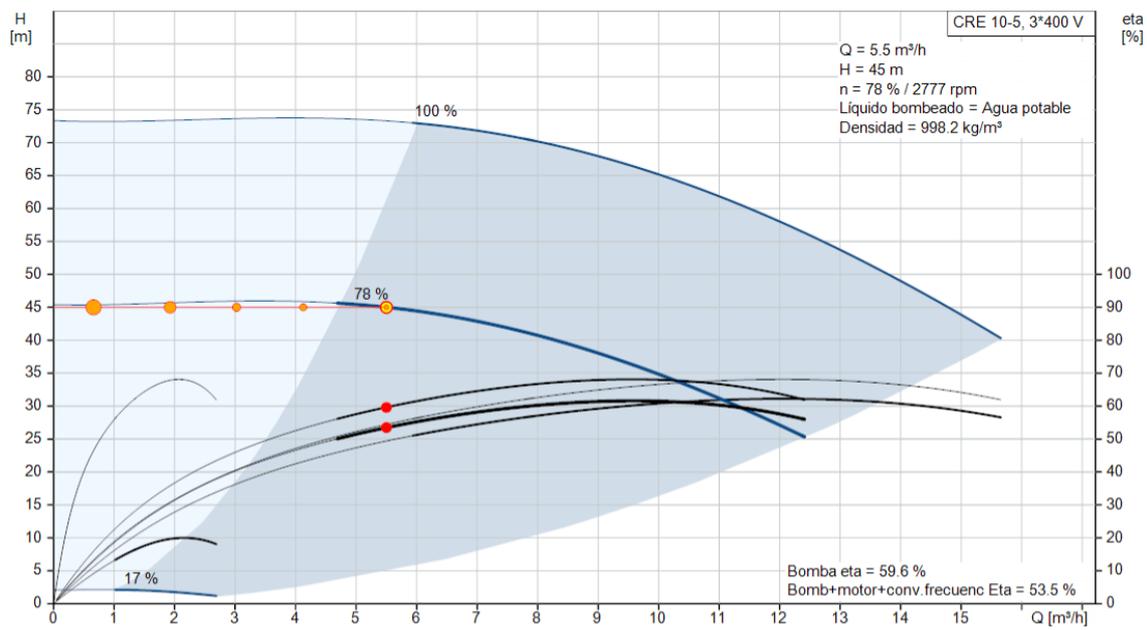


Figura N°46a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

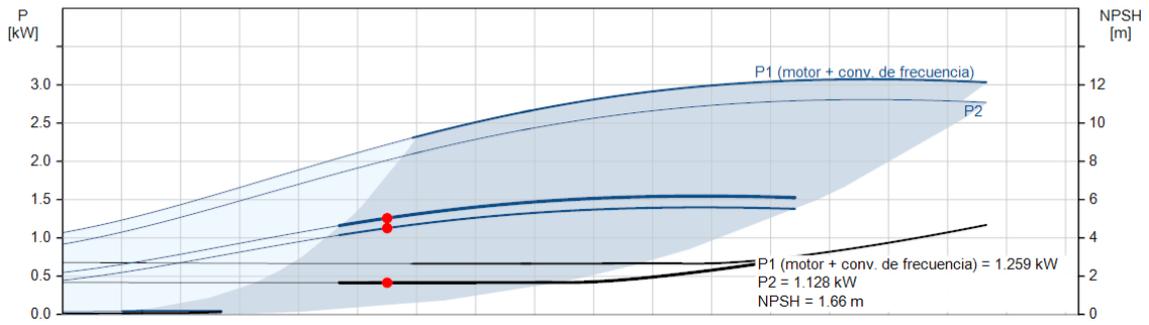


Figura N°46b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
 Cantidad * Motor 1 * 3 kW

Caud	5.5	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.259	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.128	kW
BombaEta	59.6	%
Motor Eta	89.6	%
Bomb+motor Eta	53.5	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	53.5	%
Caudal tot	865	m³/año
Consumo energía	354	kWh/Año
Prec.	5.155,00	EUR
Cte ciclo vital	6213	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt.	100	100	100	100	100	%
P1	1.259	1.064	0.911	0.762	0.608	kW
Total Eta	53.5	47.4	40.6	30.9	13.3	%
Time	21	42	63	127	211	h/a
Consumo energía	27	45	58	97	128	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°46c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #2:

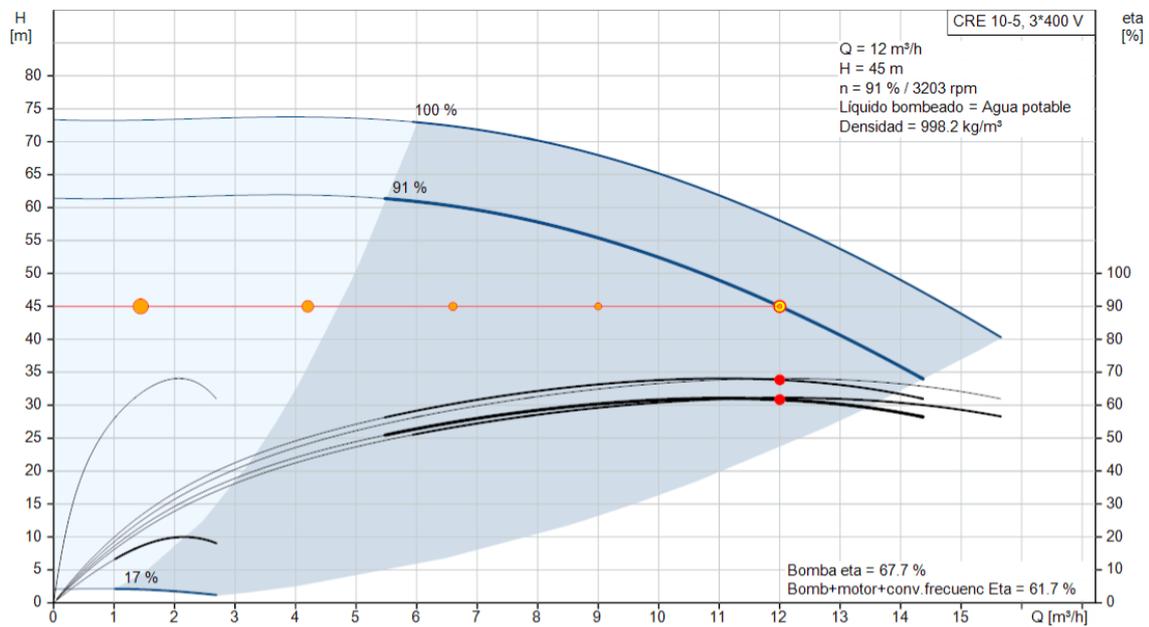


Figura N°47a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

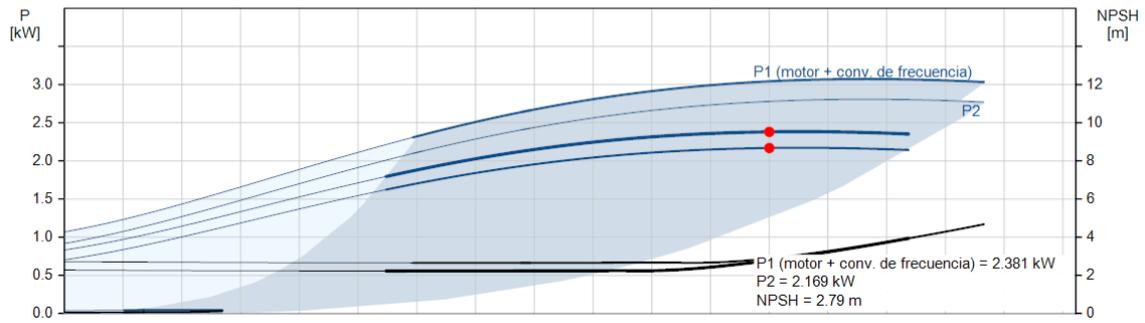


Figura N°47b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo	CRE 10-5	Perfil carga	1	2	3	4	5
Cantidad * Motor	1 * 3 kW	Caud	100	75	55	35	12
Caud	12 m ³ /h	Alt.	100	100	100	100	100
H total	45 m	P1	2.381	1.8	1.419	1.075	0.7
Pot. P1	2.381 kW	Total Eta	61.7	61.2	56.9	47.8	25.2
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	2.169 kW	Time	173	345	518	1036	1727
BombaEta	67.7 %	Consumo energía	411	622	735	1114	1209
Motor Eta	91.1 %	Cantidad	1	1	1	1	1
Bomb+motor Eta	61.7 % =Bomba Eta *motor Eta						
Total Eta	61.7 %						
Caudal tot	15440 m ³ /año						
Consumo energía	4091 kWh/Año						
Prec.	5.155,00 EUR						
Cte ciclo vital	17371 EUR /10Años						

Figura N°47c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

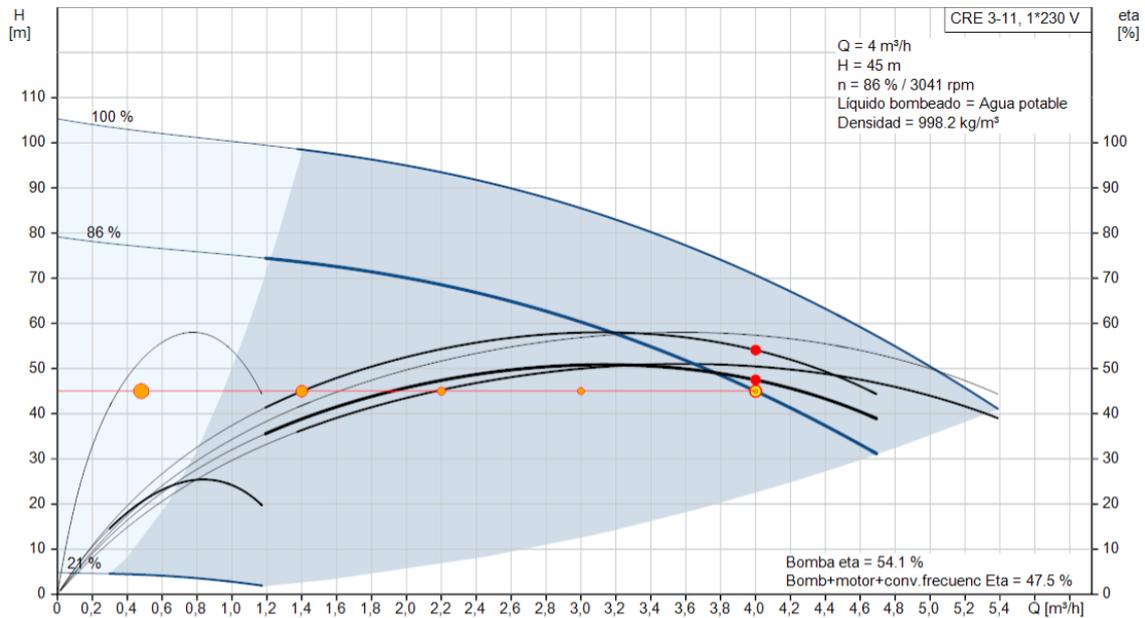


Figura N°48a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

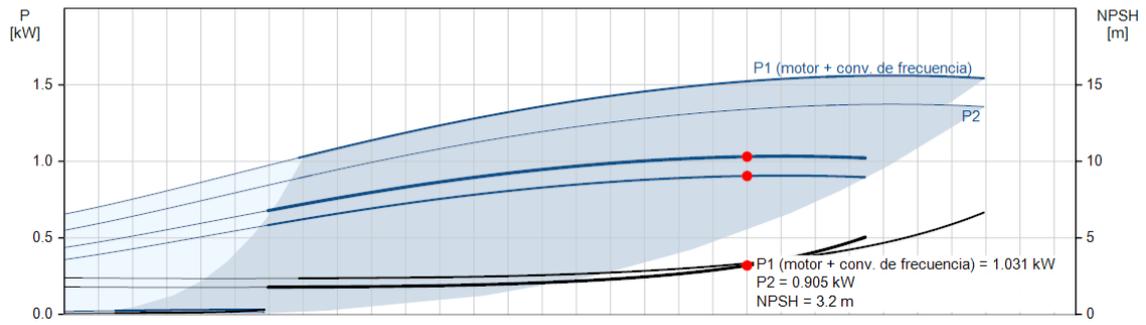


Figura N°48b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 3-11
 Cantidad * Motor 1 * 1.5 kW

Caud	4	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.031	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	0.905	kW
BombaEta	54.1	%
Motor Eta	87.8	%
Bomb+motor Eta	47.5	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	47.5	%
Caudal tot	327	m³/año
Consumo energía	102	kWh/Año
Prec.	3.553,00	EUR
Cte ciclo vital	3858	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt.	100	100	100	100	100	%
P1	1.031	0.732	0.553	0.41	0.27	kW
Total Eta	47.5	50.1	48.7	41.8	21.8	%
Time	11	22	33	66	110	h/a
Consumo energía	11	16	18	27	30	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°48c. Rendimiento a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #3:

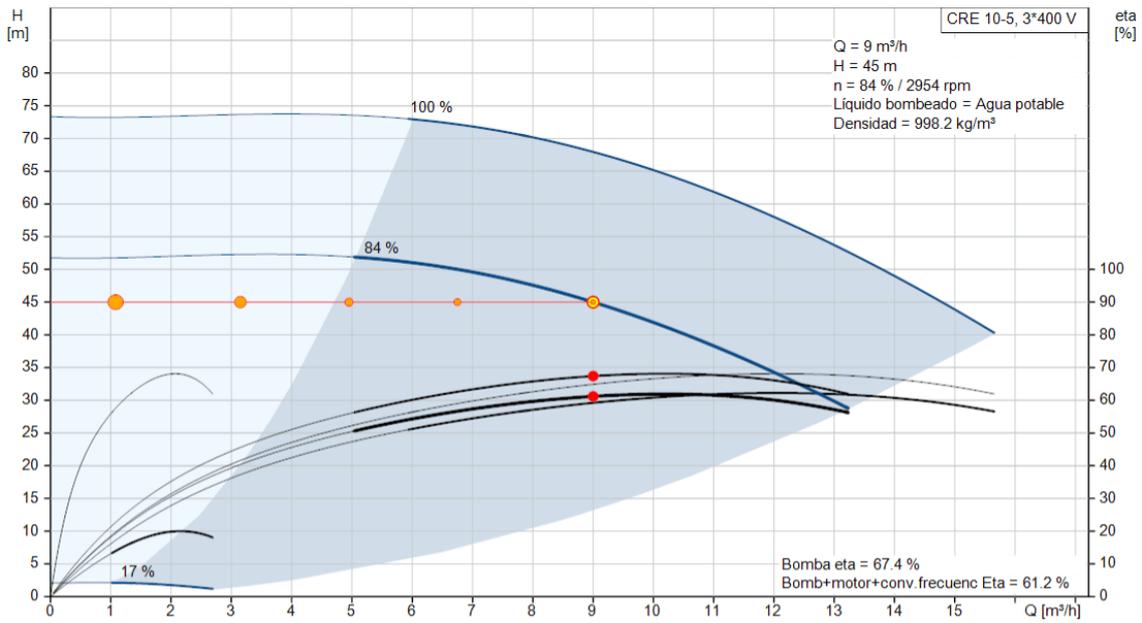


Figura N°49a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

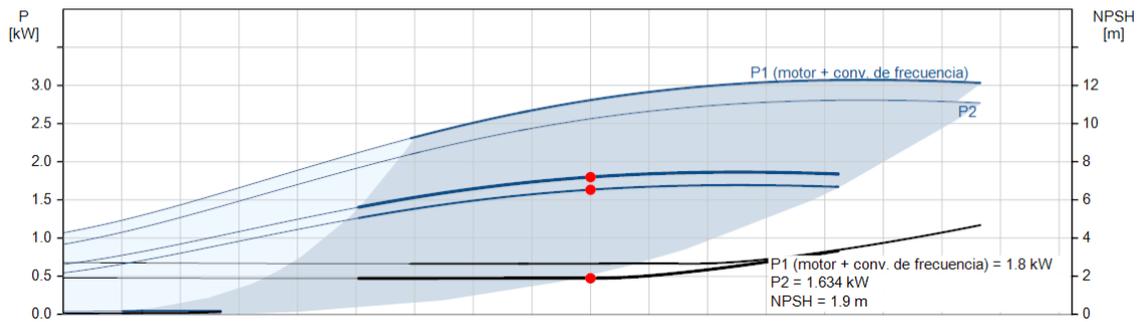


Figura N°49b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
 Cantidad * Motor 1 * 3 kW

Caud 9 m³/h
 H total 45 m
 Pot. P1 1.8 kW
 Pot. P2 requerida en el punto de trabajo 1.634 kW
 BombaEta 67.4 %
 Motor Eta 90.8 %
 Bomb+motor Eta 61.2 % = Bomba Eta * motor Eta
 Total Eta 61.2 %
 Caudal tot 4947 m³/año
 Consumo energía 1502 kWh/Año
 Prec. 5.155,00 EUR
 Cte ciclo vital 9640 EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5
Caud	100	75	55	35	12 %
Alt.	100	100	100	100	100 %
P1	1.8	1.441	1.181	0.928	0.656 kW
Total Eta	61.2	57.3	51.3	41.5	20.1 %
Time	74	148	221	443	738 h/a
Consumo energía	133	213	261	411	484 kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1

Figura N°49c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #4:

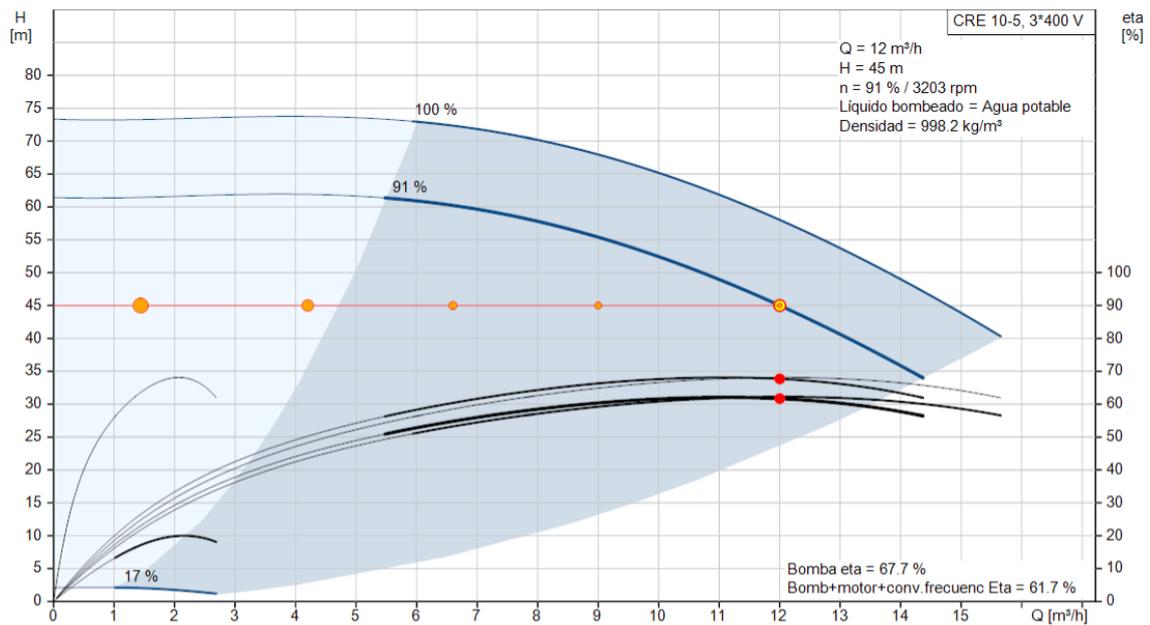


Figura N°50a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

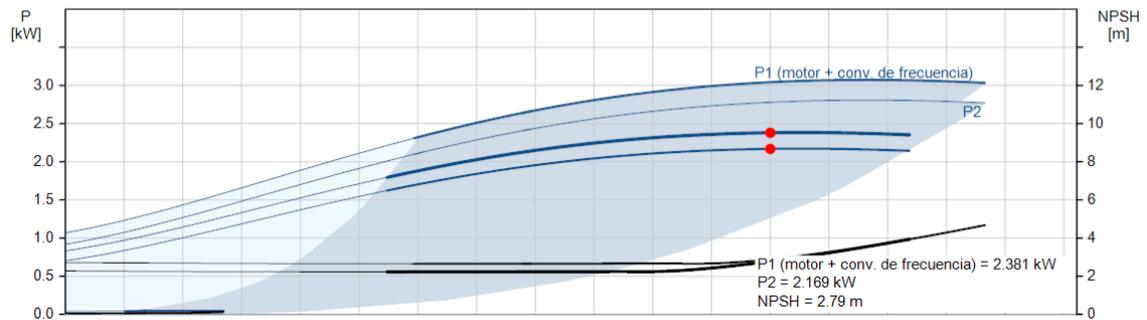


Figura N°50b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo	CRE 10-5
Cantidad * Motor	1 * 3 kW
Caud	12 m³/h
H total	45 m
Pot. P1	2.381 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	2.169 kW
BombaEta	67.7 %
Motor Eta	91.1 %
Bomb+motor Eta	61.7 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	61.7 %
Caudal tot	15440 m³/año
Consumo energía	4091 kWh/Año
Prec.	5.155,00 EUR
Cte ciclo vital	17371 EUR /10Años

Perfil carga	1	2	3	4	5
Caud	100	75	55	35	12 %
Alt.	100	100	100	100	100 %
P1	2.381	1.8	1.419	1.075	0.7 kW
Total Eta	61.7	61.2	56.9	47.8	25.2 %
Time	173	345	518	1036	1727 h/a
Consumo energía	411	622	735	1114	1209 kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1

Figura N°50c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #5 y #7:

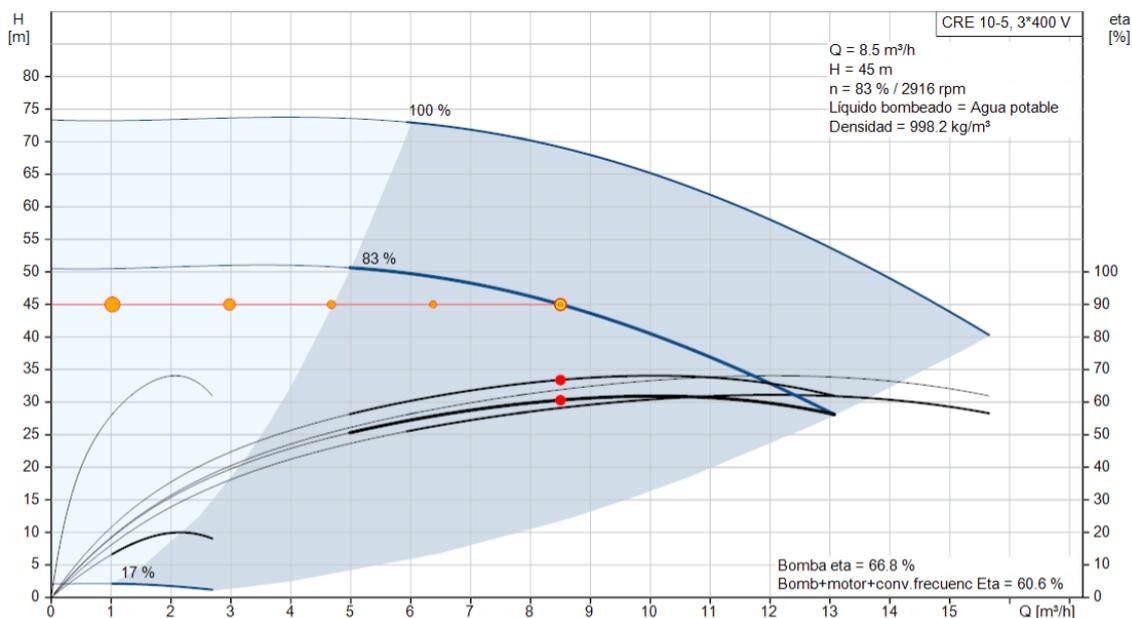


Figura N°51a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

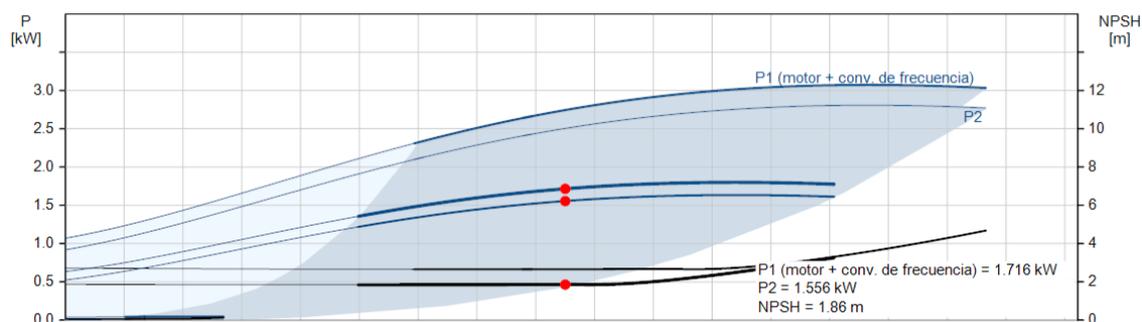


Figura N°51b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
 Cantidad * Motor 1 * 3 kW

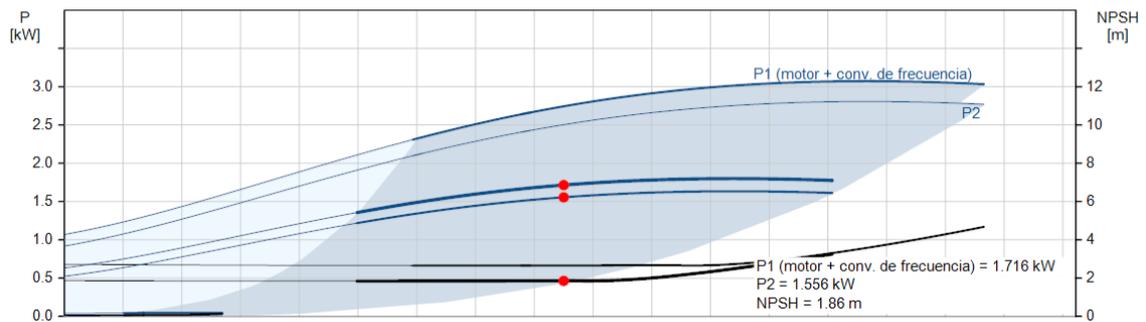
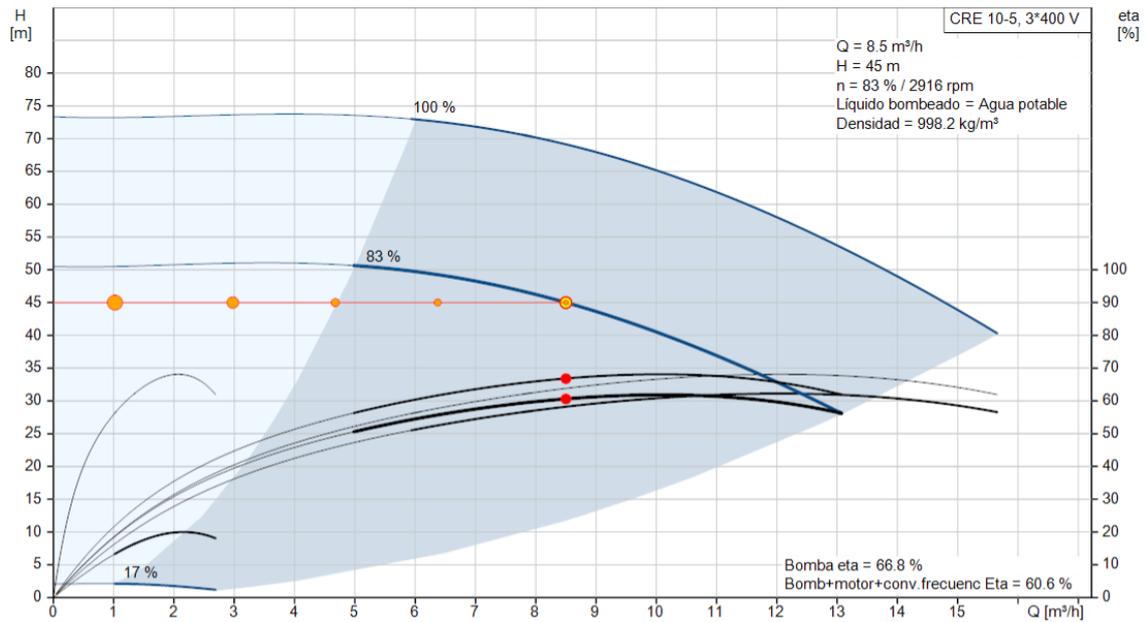
Caud	8.5	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.716	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.556	kW
BombaEta	66.8	%
Motor Eta	90.7	%
Bomb+motor Eta	60.6	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	60.6	%
Caudal tot	3982	m³/año
Consumo energía	1247	kWh/Año
Prec.	5.155,00	EUR
Cte ciclo vital	8878	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt.	100	100	100	100	100	%
P1	1.716	1.386	1.142	0.904	0.649	kW
Total Eta	60.6	56.3	50.1	40.3	19.2	%
Time	63	126	189	377	629	h/a
Consumo energía	108	174	215	341	408	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°51c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #6 y #11:



Resultado dimension.

Resultado dimension.		Perfil carga					
Tipo	CRE 10-5	1	2	3	4	5	
Cantidad * Motor	1 * 3 kW						
Caud	8.5 m³/h	100	75	55	35	12 %	
H total	45 m	100	100	100	100	100 %	
Pot. P1	1.716 kW	1.716	1.386	1.142	0.904	0.649 kW	
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.556 kW						
BombaEta	66.8 %						
Motor Eta	90.7 %						
Bomb+motor Eta	60.6 % =Bomba Eta *motor Eta						
Total Eta	60.6 %						
Caudal tot	3982 m³/año						
Consumo energía	1247 kWh/Año						
Prec.	5.155,00 EUR						
Cte ciclo vital	8878 EUR /10Años						
		Cantidad	1	1	1	1	
		Consumo energía	108	174	215	341	408 kWh/Año
		Time	63	126	189	377	629 h/a
		Total Eta	60.6	56.3	50.1	40.3	19.2 %
		P1	1.716	1.386	1.142	0.904	0.649 kW
		Alt.	100	100	100	100	100 %

Figura N°52c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #8 y #9:

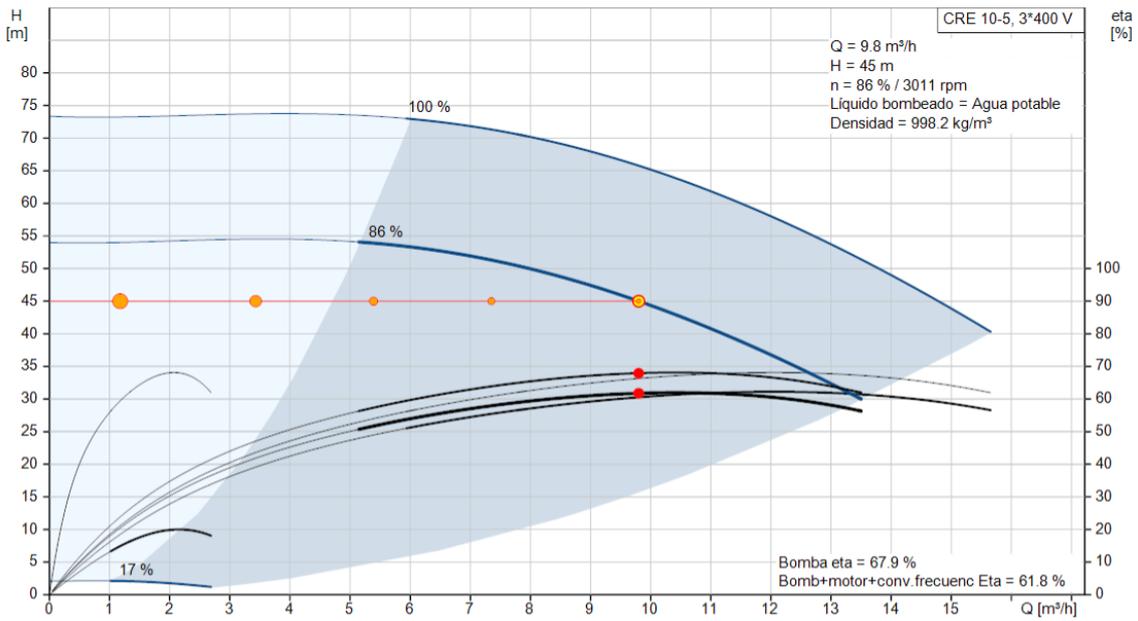


Figura N°53a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

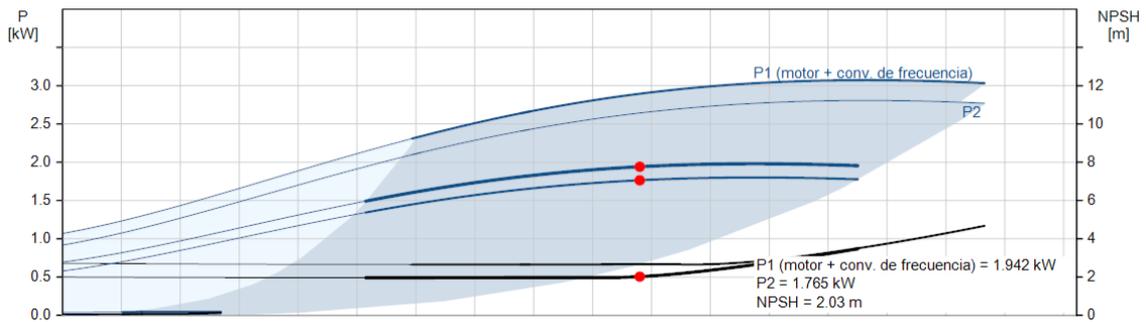


Figura N°53b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
 Cantidad * Motor 1 * 3 kW

Caud	9.8	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.942	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.765	kW
BombaEta	67.9	%
Motor Eta	90.9	%
Bomb+motor Eta	61.8	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	61.8	%
Caudal tot	6875	m³/año
Consumo energía	1998	kWh/Año
Prec.	5.155,00	EUR
Cte ciclo vital	11121	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt.	100	100	100	100	100	%
P1	1.942	1.532	1.243	0.967	0.668	kW
Total Eta	61.8	58.7	53.1	43.4	21.6	%
Time	94	188	283	565	942	h/a
Consumo energía	183	289	351	547	629	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°53c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #10:

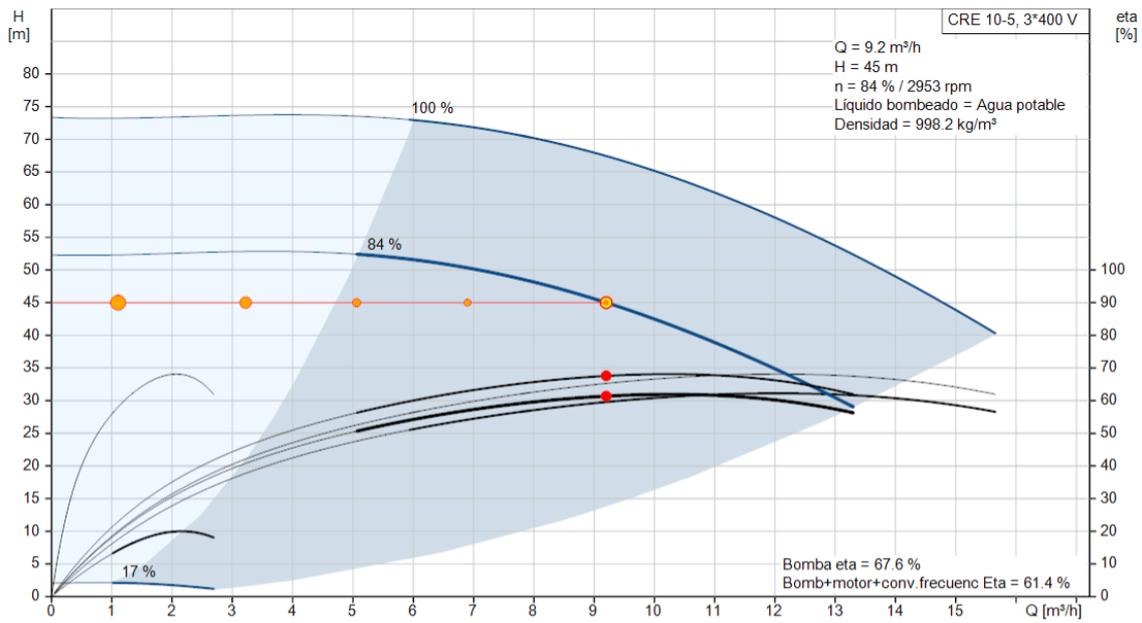


Figura N°54a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

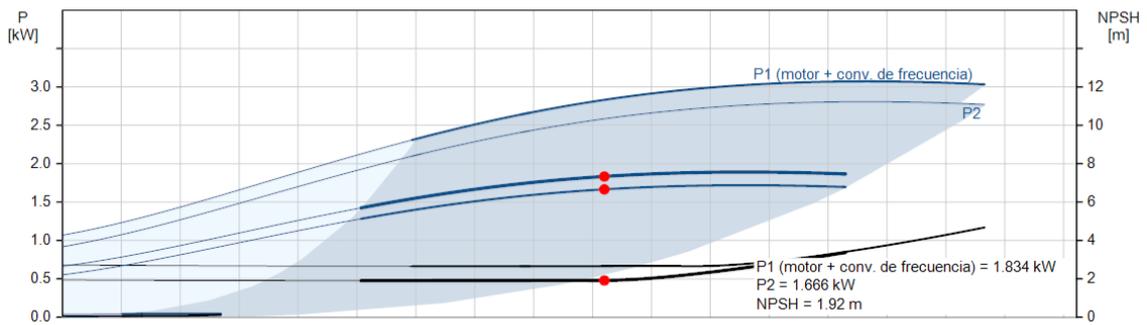


Figura N°54b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo CRE 10-5
 Cantidad * Motor 1 * 3 kW

Caud	9.2	m³/h
H total	45	m
Pot. P1	1.834	kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.666	kW
BombaEta	67.6	%
Motor Eta	90.8	%
Bomb+motor Eta	61.4	% =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	61.4	%
Caudal tot	5380	m³/año
Consumo energía	1615	kWh/Año
Prec.	5.155,00	EUR
Cte ciclo vital	9976	EUR /10Años

Perfil carga

	1	2	3	4	5	
Caud	100	75	55	35	12	%
Alt.	100	100	100	100	100	%
P1	1.834	1.464	1.196	0.938	0.659	kW
Total Eta	61.4	57.7	51.8	42.0	20.5	%
Time	78	157	235	471	785	h/a
Consumo energía	144	230	282	442	517	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	1	

Figura N°54c. Rendimiento a caudal máximo CRE 10-5. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #12:

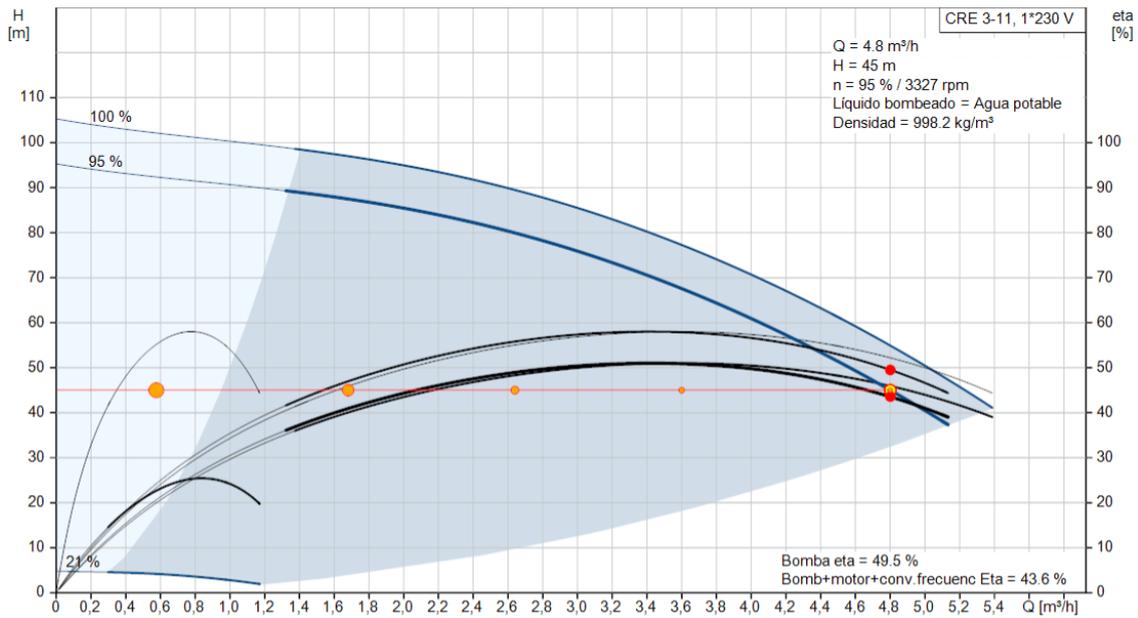


Figura N°55a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

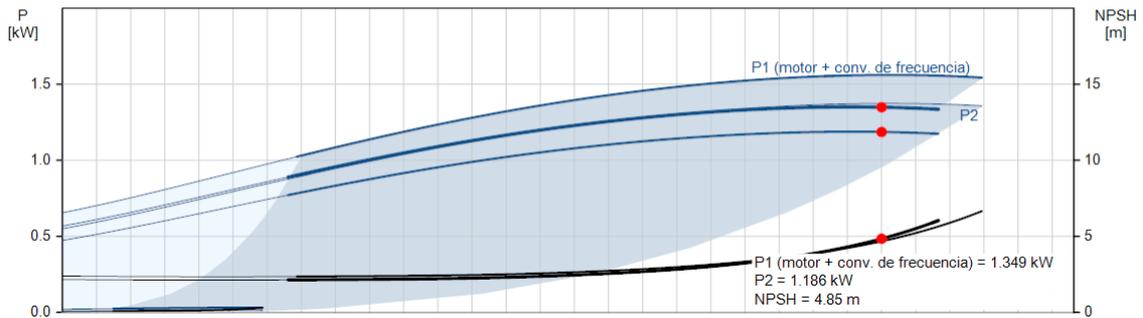


Figura N°55b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo		Perfil carga				
Cantidad * Motor	1 * 1.5 kW	1	2	3	4	5
Caud	4.8 m³/h	100	75	55	35	12 %
H total	45 m	100	100	100	100	100 %
Pot. P1	1.349 kW	1.349	0.899	0.646	0.457	0.283 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.186 kW					
BombaEta	49.5 %	43.6	49.0	50.0	45.0	24.9 %
Motor Eta	88.0 %					
Bomb+motor Eta	43.6 % =Bomba Eta *motor Eta					
Total Eta	43.6 %					
Caudal tot	562 m³/año					
Consumo energia	168 kWh/Año	16	31	47	94	157 h/a
Prec.	3.553,00 EUR	21	28	30	43	45 kWh/Año
Cie ciclo vital	4054 EUR /10Años	Cantidad	1	1	1	1

Figura N°55c. Rendimiento a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Para el punto de trabajo #13:

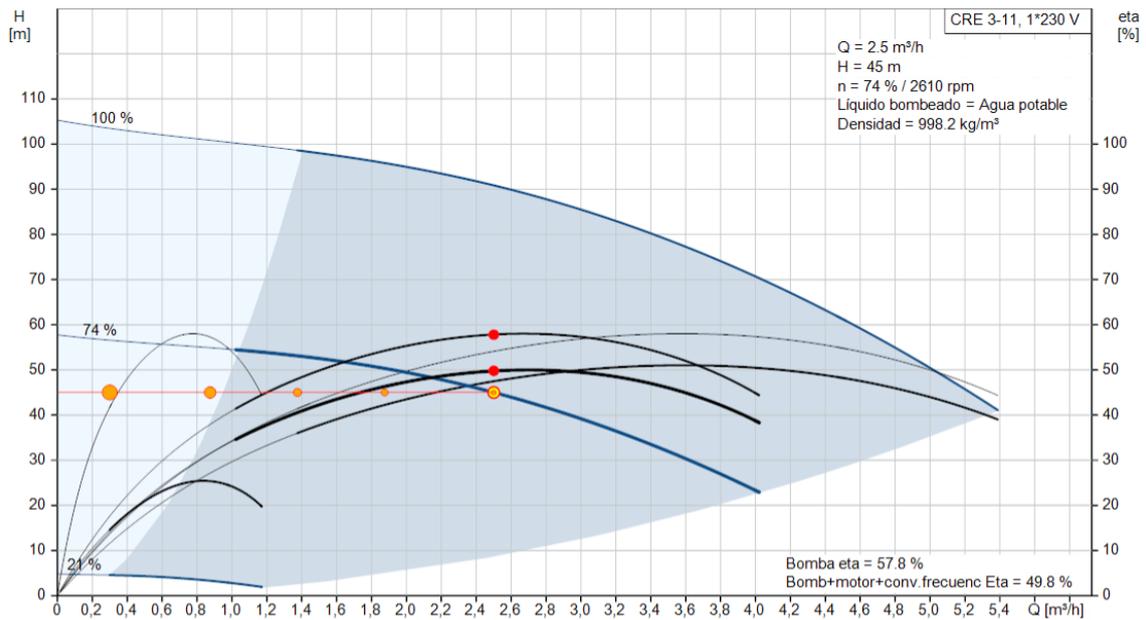


Figura N°56a. Curva de rendimiento a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

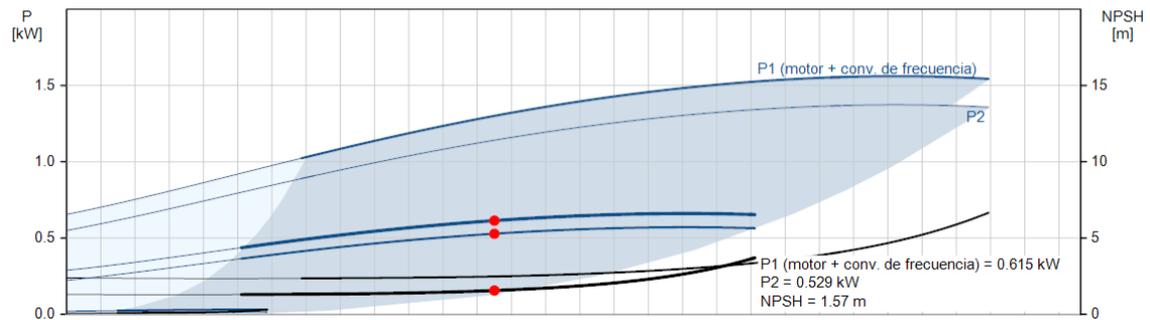


Figura N°56b. Curva de potencia a caudal mínimo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Resultado dimension.

Tipo	CRE 3-11	Perfil carga	1	2	3	4	5
Cantidad * Motor	1 * 1.5 kW	Caud	100	75	55	35	12 %
Caud	2.5 m³/h	Alt.	100	100	100	100	100 %
H total	45 m	P1	0.615	0.491	0.406	0.328	0.245 kW
Pot. P1	0.615 kW	Total Eta	49.8	46.7	41.5	32.7	15.0 %
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	0.529 kW	Time	5	11	16	32	53 h/a
BombaEta	57.8 %	Consumo energía	3	5	6	10	13 kWh/Año
Motor Eta	86.0 %	Cantidad	1	1	1	1	1
Bomb+motor Eta	49.8 % =Bomba Eta *motor Eta						
Total Eta	49.8 %						
Caudal tot	99 m³/año						
Consumo energía	38 kWh/Año						
Prec.	3.553,00 EUR						
Cte ciclo vital	3668 EUR /10Años						

Figura N°56c. Rendimiento a caudal máximo CRE 3-11. Fuente: GRUNDFOS SA. (Fecha de captura 12/12/19)

Ahora, con los distintos puntos de trabajo se procede a contabilizar su contribución energética en cada rango horario y total diaria.

Para obtener el tiempo de funcionamiento de cada bomba y en cada punto de trabajo se realizan las siguiente suposiciones:

- El 50% del volumen total de agua (10 m³) se consume entre las 6 y las 10:30hs.
- Un 25% del volumen total de agua (5 m³) reparte en distintos rangos horarios: entre las 4:30 y 6hs, entre las 10:30 y las 19:30hs y entre las 22:30 y las 24hs.
- Un 25% del volumen total de agua (5 m³) se consumen entre las 19:30 y las 22:30hs.

#	Rango horario	$C_{equiv\ med}$ [l/min]/[m ³ /h]	Volumen [m ³]	Potencia eléctrica [W]	Tiempo de funcionamiento [min]	Energía consumida [Wh]
1	4:30 – 6:00	92 / 5,5	0,625	1259	7	143
2	6:00 – 7:30	265 / 15,9	2,500	3412	9	536
3	7:30 – 9:00	305 / 18,3	5,000	1800	16	492
4	9:00 – 10:30	204 / 12,2	2,500	2381	12	488
5	10:30 – 12:00	142 / 8,5	0,625	1716	4	126
6	12:00 – 13:30	132 / 7,9	0,625	1716	5	136
7	13:30 – 15:00	142 / 8,5	0,625	1716	4	126
8	15:00 – 16:30	163 / 9,8	0,625	1942	4	124
9	16:30 – 18:00	163 / 9,8	0,625	1942	4	124
10	18:00 – 19:30	153 / 9,2	0,625	1834	4	125
11	19:30 – 21:00	132 / 7,9	2,500	1716	19	543
12	21:00 – 22:30	81 / 4,9	2,500	1349	31	688
13	22:30 – 24:00	41 / 2,5	0,625	615	15	154
	TOTAL		20			3805

Tabla N°8

Energía consumida por el grupo de presión en un día promedio:

$$U_{pres} = 3,8 \text{ kWh}$$

En la Tabla N°8 se muestran, divididos en tres categorías, los rangos horarios con alto consumo de agua (rojo), consumo medio de agua (amarillo) y bajo consumo de agua (verde). En el rango horario de las 7:30 – 9:00hs se considera el horario con mayor demanda, por eso se le asigna un volumen de agua mayor a los otros rangos de su categoría.

Luego, con los caudales, que fueron definidos anteriormente en la Tabla N°7, y el volumen de agua se obtiene el tiempo de funcionamiento, y este multiplicado por la potencia eléctrica da la energía consumida en cada horario.

15.1.2. Trabajo de movimiento de masas de agua. Tradicional vs inteligente.

Se estudia el trabajo realizado por las bombas responsables de la elevación del agua que se estima consumirá cada departamento. En el caso del sistema tradicional, el trabajo lo realiza la bomba de elevación que llenará los tanques de agua sobre la terraza con el volumen de

consumo de cada departamento para que luego la gravedad la distribuya. Es decir, los 20 m³ a 35 metros de altura. En cambio, en el caso del sistema inteligente propuesto, el trabajo es realizado por el grupo de bombas de presión de velocidad variable que, mediante sensores y software, dedica únicamente el trabajo necesario para elevar individualmente el volumen de consumo de cada departamento a cada piso y no más allá.

Es en el trabajo realizado donde se observará si existe un real beneficio energético o no.

Entonces, la variación del trabajo (ΔW_{TI}) como la diferencia de trabajo entre el sistema tradicional y el inteligente que, con energía potencial inicial nula en ambos sistemas, da como resultado la diferencia entre las energías potenciales del sistema tradicional (E_{pT}) y el sistema inteligente (E_{pI}):

$$\Delta W_{TI} = E_{pT} - E_{pI}$$

Entonces,

$$E_{pT} = (N_T * V_p * \rho) * g * H_T$$

Y

$$E_{pI} = (N_p * \rho * V_p) * g * [(H_1 + H_c) + (H_2 + H_c) + \dots + (H_{10} + H_c)]$$

$$E_{pI} = (N_p * \rho * V_p) * g * [10 * H_c + H_1 + H_2 + \dots + H_{10}]$$

Donde:

- N_T : cantidad total de habitantes
- V_p : volumen de agua consumida por habitante [m³]
- ρ : densidad del agua $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
- g : aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
- H_T : altura último piso [m]
- N_p : cantidad de habitantes por piso [m]
- H_1 : altura primer piso [m]
- H_c : presión en canilla [m]

Entonces,

$$E_{pT} = 60 * 0,333 \text{ m}^3 * 999,19 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 35 \text{ m}$$

$$E_{pT} = 6,848.10^6 \text{ J}$$

$$E_{pI} = 6 * 999,19 \frac{kg}{m^3} * 0,333 \text{ m}^3 * 9,8 \frac{m}{s^2} * [10 * 6 \text{ m} + 3 + 6 + 9 + 12 + 15 + 18 + 21 + 24 + 27 + 30]$$

$$E_{pI} = 4,402.10^6 \text{ J}$$

Por lo tanto,

$$\Delta W_{TI} = 6,848.10^6 J - 4,402.10^6 J$$

$$\boxed{\Delta W_{TI} = 2,446.10^6 J}$$

Como se puede observar, hay casi dos y medio megajulios (MJ) de diferencia al usar un sistema u otro. Una diferencia energética, un trabajo, que significa un ahorro eléctrico y económico al aplicar el sistema inteligente. Pero, nuevamente, más importante aún es que significa una reducción en emisiones de dióxido de carbono.

15.1.3. Bomba elevadora. Sistema tradicional

Esta bomba debe elevar el agua de consumo de todo el día con una potencia de 1,97 kW. Son aproximadamente 20000 litros.

$$C_{elev} = 8788 \frac{l}{h}$$

$$V_{consumo} = 20000 l$$

$$t_{enc} = \frac{V_{consumo}}{C_{elev}} = \frac{20000 l}{8788 \frac{l}{h}} = 2,28 h$$

Es decir, la bomba se encenderá por un tiempo total de 2,28 horas a lo largo del día mediante una cantidad de arranques según el consumo del edificio. Luego, consideraremos estos consumos una media a lo largo del año, dado que es la actividad predominante. Entonces, a lo largo del día, en funcionamiento continuo, la bomba consume aproximadamente:

$$U_{bomba} = P_{bomba} * t_{enc} = 1,97 kW * 2,28 h$$

$$\boxed{U_{bomba} = 4,5 kWh}$$

Primero, se verifica junto con los cálculos realizados en la sección 15.1.1. del equipo inteligente y 15.1.2. de trabajo de movimiento de masas de agua, donde en esta última se obtuvo que la bomba elevadora del sistema tradicional realiza un mayor trabajo al bombear la totalidad del agua de consumo a los tanques de reserva elevados.

Luego, en el código no existe ninguna normativa que exija el arranque suave de estas bombas. Por lo que, la corriente durante el arranque con esta tecnología puede ser de hasta tres veces la nominal. Lo cual significa un mayor consumo en esa etapa, según el tiempo que esta dure hasta alcanzar el régimen de vueltas.

Haciendo un breve razonamiento sobre esto último se observa lo siguiente: el volumen útil de los tanques es de alrededor de los 2/3 de su capacidad dado que el sensor de arranque se coloca aproximadamente para ese volumen. Entonces, sabemos que los tanques de reserva elevados tienen en conjunto una capacidad total de 11000 litros, por lo que la bomba encenderá una vez y cada vez que se hayan consumido aproximadamente 7300 litros. Esto indica que, si por día se consumen unos 20000 litros de agua, la bomba deberá encender

alrededor de 3 veces por día. Lo cual, se estima, llevaría su consumo energético por encima de los 5 kWh. Una cifra significativamente superior a la del sistema inteligente propuesto.

15.1.4. Recirculación central. Tradicional e inteligente

De la bomba de recirculación se obtuvo que le toma 7,5 minutos en reponer agua caliente en las dos montantes hasta el último piso.

En un día promedio, la bomba de recirculación de un sistema de distribución de ACS encenderá cada vez que la temperatura del agua en el último piso haya descendido tres grados. Eso es cada 6 minutos (Tabla N°5, Tabla de Tiempos, sección 12.4). Luego, cuando hay consumo la bomba queda inhibida ya que la renovación del agua se da naturalmente. Se estima que el proceso de recirculación ocurre durante al menos 6 horas al día.

Entonces, la bomba de recirculación trabajará en un patrón de 7:6min. Lo cual quiere decir que se enciende durante 7 minutos y se apaga durante 6 minutos durante 6 horas al día, los siete días de la semana.

Trabajando con los datos técnicos y eléctricos de la bomba de 13.3 sabemos que:

$$P_N = 50 W$$

Entonces, si la bomba se enciende y se apaga en un patrón 7:6min sabemos que en el día se encenderá casi 28 veces al día:

$$t_{enc} = \frac{6 h}{(7 + 6) min} \times 7 min$$

$$t_{enc} = 3,23 \frac{h}{día}$$

Lo cual, significa un gasto energético de:

$$U_{bomba} = P_N \times t_{enc}$$

$$U_{bomba} = 0,05 kW \times 3,23 \frac{h}{día}$$

$$U_{bomba} = 0,16 \frac{kWh}{día}$$

15.1.5. Recirculación departamentos

Para la determinación del gasto energético de la recirculación de departamentos se tomará como guía el mismo gráfico de patrón de funcionamiento de bomba (Figura N°44) y la tabla de rangos horarios (Tabla N°9), a la cual se le ha representado el consumo en forma porcentual basado en el consumo instantáneo de ese rango horario sobre el total teórico del edificio (24450 litros/hora).

De esta forma, se considerará que habrá recirculación en la medida en que figure un consumo en el gráfico. Por ejemplo, en el punto de trabajo #1, rango horario 4:30 a 6:00, figura un

consumo medio de 22,5% del consumo total. Entonces, se interpreta que un 22,5% de las bombas de recirculación de departamentos se activa, mediante el sensor de movimiento, 10 segundos antes de llevarse a cabo el consumo.

#	Rango horario	Consumo [%]
1	4:30 – 6:00	22,5
2	6:00 – 7:30	65,0
3	7:30 – 9:00	75,0
4	9:00 – 10:30	50,0
5	10:30 – 12:00	35,0
6	12:00 – 13:30	32,5
7	13:30 – 15:00	35,0
8	15:00 – 16:30	40,0
9	16:30 – 18:00	40,0
10	18:00 – 19:30	37,5
11	19:30 – 21:00	32,5
12	21:00 – 22:30	20,0
13	22:30 – 24:00	10,0

Tabla N°9

Entonces, con las propiedades de la bomba, obtenidas en el dimensionamiento de esta, sabemos que en el proceso de recirculación se tiene una potencia de 100 W. Además, sabemos que este toma 4,5 segundos ($1,25 \cdot 10^{-3}$ horas) en completar el trabajo. Por lo tanto, se tiene la energía consumida en cada ciclo.

$$U_{rec} = P_i * 1,25 \cdot 10^{-3} h * N_b$$

Se muestran los resultados en la Tabla N°10, donde la columna U_{rec} (energía de recirculación) indica la energía total consumida en el edificio, resultado de multiplicar la potencia de una bomba (100 W) por el tiempo de recirculación (4,5 segundos en todos los casos) expresado en horas, por la cantidad de bombas (N_b) que se activan en ese rango horario.

#	Rango horario	Consumo [%]	N_b	U_{rec} [Wh]
1	4:30 – 6:00	22,5	9	1,125
2	6:00 – 7:30	65,0	26	3,25
3	7:30 – 9:00	75,0	30	3,75
4	9:00 – 10:30	50,0	20	2,5
5	10:30 – 12:00	35,0	14	1,75
6	12:00 – 13:30	32,5	13	1,625
7	13:30 – 15:00	35,0	14	1,75
8	15:00 – 16:30	40,0	16	2
9	16:30 – 18:00	40,0	16	2
10	18:00 – 19:30	37,5	15	1,875
11	19:30 – 21:00	32,5	13	1,625

12	21:00 – 22:30	20,0	8	1
13	22:30 – 24:00	10,0	4	0,5
Total				24,75

Tabla N°10

Se observa que el gasto energético por el método de recirculación en departamento de todo un día en el edificio es muy bajo, lo cual es una ventaja para esta propuesta.

Períodos incluso muy breves de inactividad en el edificio dan como resultado un enfriamiento del agua en los circuitos de ACS dentro de los departamentos a temperaturas tan bajas como la temperatura de las paredes que los contienen. Estas masas de agua “estancadas” en las cañerías deberán ser descartadas para dar lugar a nueva agua caliente cuando sea requerido, en el caso de sistemas tradicionales. El desperdicio del recurso natural resulta en un impacto ambiental que hoy en día no debería permitirse. Como se explicó más arriba, las empresas potabilizadoras invierten grandes cantidades de energía eléctrica para realizar el proceso de potabilización. Todo este consumo eléctrico se traduce en toneladas de dióxido de carbono liberados al medioambiente por las empresas de energía eléctrica en el proceso de producción y generación de esta.

15.1.6. Ascensor. Gasto eléctrico

El edificio en estudio tiene dos ascensores, cada uno con un motor de 10 hp (7,5 kW). Se considera que cada persona realiza al menos dos viajes por día. Con la suposición inicial de habitabilidad, 1,5 personas por departamento, se obtienen 6 personas por piso, es decir, 12 viajes por piso si cada persona realiza dos viajes. El ascensor viaja a una velocidad estándar de 1 metro por segundo. Entonces, cada viaje dura lo que su distancia a la planta baja. Además, se le adicionará un 25% del consumo total debido a viajes vacíos. En un cálculo a grandes rasgos se obtiene lo siguiente:

$$P = 7,5 \text{ kW}$$

$$U = P * t$$

$$U = P * N_m * N_v * N_p * \frac{(t_{10} + t_9 + t_8 + t_7 + t_6 + t_5 + t_4 + t_3 + t_2 + t_1)}{3600 \frac{s}{h}} * V_v$$

Donde:

P : potencia motor (kW)

N_m : cantidad de ascensores/motores

N_v : cantidad de viajes por persona

N_p : cantidad de personas por ascensor

$t_{10} \dots t_1$: duración del viaje desde cada piso (segundos)

V_v : cantidad de viajes vacíos (%)

$$U = 7,5 \text{ kW} * 2 * 3 * 2 * \frac{(30 + 27 + 24 + 21 + 18 + 15 + 12 + 9 + 6 + 3) \text{ s}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} * 1,25$$

$$U = 8,6 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$U_{\text{mes}} = 258 \text{ kWh}$$

En este cálculo no se está considerando la energía de arranque, la cual representa una buena porción del gasto energético total. Pero a fines orientativos, se tomará como válido.

15.1.7. Resumen de consumos

En este apartado se resumen todos los consumos eléctricos, tanto del sistema tradicional como del sistema inteligente propuesto. Se recogen los datos de la sección 15.1.

SISTEMA	Potencia [kW]	Día [kWh]	Mes [kWh]	Año [kWh]
Tradicional				
• Bomba Elevadora	1,97	4,5	135	1642,5
• Recirculación central	0,05	0,16	4,8	58,4
• Ascensor	7,5			
TOTAL SISTEMA	9,52	4,66	139,8	1700,9
Inteligente				
• Grupo de Presión	6	3,8	114	1387
• Recirculación Dtos.	0,1	$24,75 \cdot 10^{-3}$	0,74	9
• Recirculación central	0,05	0,16	4,8	58,4
• Ascensor	7,5			
TOTAL SISTEMA	13,65	3,98	120	1454,4

Tabla N°11

Del ascensor sólo nos interesaba conocer la potencia del motor para definir la categoría eléctrica. Por lo que, para no confundir en futuros cálculos, se omite su consumo eléctrico de la sumatoria energética para separarlo del sistema de distribución de agua para futuras cuentas.

Se pueden observar los resultados de la Tabla N°11, donde inmediatamente se manifiesta un ahorro en el consumo eléctrico.

$$A_e = \left[1 - \frac{INTELIGENTE_{ANUAL}}{TRADICIONAL_{ANUAL}} \right] * 100$$

$$A_e = \left[1 - \frac{1454,4 \text{ kWh}}{1700,9 \text{ kWh}} \right] * 100$$

$$A_e = 14,5\%$$

El ahorro (A_e) obtenido resulta en un 14,5% en favor del sistema inteligente propuesto.

De la página de EDENOR observamos que la estructura tarifaria se divide en tres. Primero, se encuentra la Tarifa 1, pequeñas demandas, para aquellos usuarios con una demanda máxima de potencia de 10 kW. En segundo lugar, la Tarifa 2 para medianas demandas, demandas máximas de potencia entre 10 kW y 50 kW. Y, por último, la Tarifa tres para grandes demandas igual o superiores a 50 kW.

Cómo vemos en la Tabla N°11, el sistema tradicional está muy cerca de los 10 kW de potencia, por lo que se asume que la instalación eléctrica final del edificio terminará superando cómodamente los 10 kW. Es así como, se decide considerar a ambos sistemas dentro de la categoría de Medianas demandas (Tarifa 2). Esta categoría implica un cargo variable de la energía de 2,403 \$/kWh (Los cálculos en pesos argentinos se hacen con una equivalencia dólar de AR\$71. Fecha: 26/7/20. Fuente: www.edenor.com)

15.3. Desaprovechamiento térmico

Se estudiará el descenso de temperatura del ACS causado por su paso a través de las cañerías que han perdido su temperatura de trabajo y alcanzado una temperatura de hasta 15 °C.

Para conocer este gasto, se necesitan los patrones de uso y será necesario conocer el consumo de gas natural del edificio para ubicarlo en una categoría y conocer la tarifa que le corresponde.

15.3.1. Categoría gas natural

Para conocer la categoría a la que pertenece el edificio debemos conocer el consumo anual aproximado de gas. El gas natural, en edificios con servicio de ACS central, se cobra por separado. Por lo tanto, solo necesitamos conocer el consumo de gas por parte del termotanque. Este consumo estará definido tanto por los consumos directos de ACS por parte de los usuarios, como también por las pérdidas de calor asociadas a aislación en la distribución.

Las pérdidas de calor en la distribución ya fueron calculadas anteriormente y resumidas en la Tabla N°5 de la sección 12.4. Se extrae únicamente la información pertinente a esta sección (Tabla N°12). Se considerarán todas las cañerías con aislamiento térmico.

El procedimiento de cálculo consta de sumar todas las pérdidas de calor en las montantes, recirculación y colectores del sistema de distribución de ACS simulando un día de funcionamiento del sistema, tanto de recirculación como de consumo, propiamente dicho.

Se considera a continuación que la recirculación toma lugar cada 6 minutos, que es el valor más bajo que se obtuvo en los tiempos de pérdida de calor y corresponde al último tramo DN50mm. Entre las 00:00hs hasta las 5:30hs, según los datos obtenidos del histograma de consumo, se supone que ocurre de manera ininterrumpida. Luego, durante el día desde las 5:30hs hasta las 23:59hs se considera que el agua en las montantes se renueva naturalmente por el propio consumo, considerando que en todo momento de ese rango horario se dará algún consumo.

Tramo	Pérdidas (J/s)
DN50	216
DN75	306
DN90	349
DN110	239
Colector	417
Recirculación	1160
Total	2687
x2 (dos cuerpos de distribución)	5374
x360seg (6 minutos)	1935 kJ (462 kcal)

Tabla N°12

En el período de la noche se dan 55 ciclos de recirculación para mantener el agua a temperatura en el último tramo. Por lo tanto,

$$462 \text{ kcal} \cdot 55 = 25416 \text{ kcal}$$

A lo que se le debe adicionar un 20% de pérdidas por el rendimiento del termotanque.

$$1,2 \cdot 25416 \text{ kcal} = 30.500 \text{ kcal}$$

$$Q_{p\acute{e}rdidas} = 30500 \text{ kcal}$$

Ahora, debido al consumo de ACS de los usuarios me remitiré a lo calculado en el dimensionamiento del termotanque (10.4), donde se obtuvo un consumo de 1320 litros diarios de agua caliente. De esta manera se puede calcular lo necesario para calentar ese volumen de agua desde una temperatura de 15°C, temperatura con la que llega desde la red, hasta una temperatura de 60°C, temperatura de acumulación y distribución.

$$\Delta Q_c = m_{agua} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_c = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,32 \text{ m}^3 \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (60^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q_c = 58398 \text{ kcal}$$

Con un rendimiento del 80%

$$Q_{consumo} = 1,2 * Q_c = 70078 \text{ kcal}$$

Entonces, tenemos que los dos gastos sumados nos dan:

$$Q_{total} = Q_{p\acute{e}rdidas} + Q_{consumo}$$

$$Q_{total} = 100578 \text{ kcal}$$

$$PCI_{GN} = 9300 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$V_{GAS} = \frac{100578 \text{ kcal}}{9300 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{GAS} = 10,815 \frac{\text{m}^3}{\text{DÍA}}$$

Tomando esta cifra como un promedio muy conservador, se estima un consumo anual promedio y se determina la categoría cliente y la tarifa con los datos que ofrece la empresa proveedora Metrogas S.A. en su página de internet (<https://www.metrogas.com.ar/Paginas/Categorias-de-clientes.aspx>. Fecha: 19/7/20).

CATEGORÍA	R1	R21	R22	R23	R31	R32	R33	R34
DESDE / HASTA (M3/AÑO)	0/500	501/650	651/800	801/1000	1001/1250	1251/1500	1501/1800	1801/--->

Figura N°57. Fecha de captura: 19/7/20. Fuente: <https://www.metrogas.com.ar/Paginas/Categorias-de-clientes.aspx>

El consumo anual del edificio será:

$$V_{GAS_AÑO} = V_{GAS} * 365 \text{ DÍAS} = 10,815 \frac{\text{m}^3}{\text{DÍA}} * 365 \text{ DÍAS}$$

$$V_{GAS_AÑO} = 3947,5 \text{ m}^3$$

Con este consumo anual, el edificio se sitúa en la categoría más alta, la R34, para consumos anuales mayores a 1801 metros cúbicos. Luego, en esta categoría, la tarifa de gas se compone principalmente de dos valores, uno fijo y otro variable (por consumo). El que nos interesa es el variable y se sitúa en los 14,382326 \$/metro cúbico de gas natural para Capital Federal.

CARGO POR M3 DE CONSUMO		
CATEGORÍA / SUBZONA	CAPITAL FEDERAL	BUENOS AIRES
R1	10,895903	11,007847
R2 1°	10,895903	11,007847
R2 2°	11,620575	11,751689
R2 3°	11,920277	12,070561
R3 1°	12,869705	13,058329
R3 2°	12,869705	13,058329
R3 3°	14,382326	14,622068
R3 4°	14,382326	14,622068
P1 y P2	0 a 1.000 m3	9,605617
	1.001 a 9.000 m3	9,492246
	más de 9.000 m3	9,378886
P3	0 a 1.000 m3	10,224302
	1.001 a 9.000 m3	10,031570
	más de 9.000 m3	9,838859
GNC INTERRUMPIBLE		7,346188
GNC FIRME		8,013987
SDB (2)		1,570883
		1,754391

Figura N°58. Fuente: <https://www.metrogas.com.ar/hogares/paginas/cuadros-tarifarios.aspx>

15.3.2. Pérdida de calor por cañerías frías

A continuación, se procede a estudiar el descenso de temperatura del agua caliente al encuentro con las cañerías a frías. Se supondrá una temperatura de 15°C.

Tramo baño principal

Largo: 7,65 metros

DN: 20 mm

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \text{Caud} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5 \times 10^{-5} = 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{tramo} = \frac{(55 - 15)K}{\frac{1}{\pi \cdot 0,0144 \text{ m} \cdot 7,65 \text{ m} \cdot 8508 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} + \frac{\ln \left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}} \right)}{2\pi \cdot 7,65 \text{ m} \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} = 223,81 \text{ W}$$

La temperatura del agua a la salida de la cañería (la cual se encuentra a 15°C) será:

$$T_{salida} = T_{entrada} - \frac{Q_{tramo}}{\dot{m} \cdot c_{agua}} = 55^{\circ}\text{C} - \frac{94,45 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{0,05 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 53,91^{\circ}\text{C}$$

Este descenso de temperatura se traduce en calorías que el termotanque debió invertir.

Este descenso de temperatura, si bien resulta despreciable a simple vista, debe extrapolarse a todas las cañerías del edificio para observar sus consecuencias reales.

Se continúa con los demás tramos de cañería.

Tramo cocina y baño secundario

Largo: 3,23 metros

DN: 20 mm

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \text{Caud} = 983,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5 \times 10^{-5} = 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{tramo} = \frac{(55 - 15)K}{\frac{1}{\pi \cdot 0,0144 \text{ m} \cdot 3,23 \text{ m} \cdot 8508 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + \frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 3,23 \text{ m} \cdot 0,0634 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 94,45 \text{ W}$$

$$T_{salida} = T_{entrada} - \frac{Q_{tramo}}{\dot{m} \cdot c_{agua}} = 55^{\circ}\text{C} - \frac{94,45 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{0,05 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 54,54^{\circ}\text{C}$$

A continuación, se traduce este descenso de temperatura a gasto energético por parte del termotanque.

- El termotanque seleccionado consume 12500 kcal/h
- Rendimiento térmico del 80%
- Poder Calorífico Inferior del gas natural 9300 kcal/m³
- Calor específico del agua 1 kcal/kg°C

Con base en la fórmula del calor específico y teniendo en cuenta el rendimiento del termotanque seleccionado anteriormente para las instalaciones calculamos el calor desperdiciado, en kilo calorías, debido al descenso de temperatura ($\Delta T_{baño\ ppa}$ y ΔT_{cocina}) calculado anteriormente.

$$\Delta T_{\text{baño ppal}} = 1,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{cocina}} = 0,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_e = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$\Delta Q = C_e \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\Delta Q_{\text{baño ppal}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,225 \text{ kg} \cdot 1,08^\circ\text{C} = 1,44 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_{\text{cocina}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,517 \text{ kg} \cdot 0,46^\circ\text{C} = 0,24 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_{\text{depto}} = \Delta Q_{\text{baño ppal}} + \Delta Q_{\text{cocina}} = 1,68 \text{ kcal}$$

Con un rendimiento del 80%, es decir un 20% de pérdidas, tenemos

$$1,2 * \Delta Q_{\text{depto}} = 2,02 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_{\text{edificio}} = 40 * 2,02 \text{ kcal} = 80 \text{ kcal}$$

De lo descrito al principio de este título sabemos que al menos 4 veces al día se tienen picos de consumo y cada uno es seguido de un período de inactividad. Lo que se traduce en considerar 4 veces las calorías totales consumidas en todo el edificio:

$$4 * \Delta Q_{\text{edificio}} = 4 * 80 \text{ kcal} = 320 \text{ kcal}$$

Se comprueba que el desaprovechamiento energético por pérdida de calor del agua caliente al encuentro con las cañerías frías es despreciable.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se da otro desaprovechamiento energético mucho mayor que se da de manera simultánea al anterior y corresponde al agua que se dejó quieta, se enfrió junto a las cañerías luego de ser utilizada y se descartó en el siguiente uso de agua caliente. Toda esta agua perdió por completo el calor que había ganado en el termotanque mediante el uso del combustible, pero no fue utilizada.

Antes, para saber si el agua y las cañerías calientes llegan a enfriarse lo suficiente (15°C) en estos períodos de inactividad, para cualquier tramo de departamento tengo que:

Tramo DN 20mm

$$d_{int} = 0,0144 \text{ m}$$

$$d_{ext} = 0,0248 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{2\pi k_{tubo_CA}}} = \frac{40 \text{ K}}{\frac{\ln\left(\frac{0,0248 \text{ m}}{0,0144 \text{ m}}\right)}{2\pi \cdot 7,65 \text{ m} \cdot 0,0634 \frac{W}{m \cdot K}}} = 224 \text{ W}$$

Luego,

$$V_{agua} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{agua} = 1,225 \text{ kg}$$

Para $\Delta T_{enf} = 40 \text{ K}$

$$\Delta t = \frac{1,225 \text{ kg} \cdot 4185 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 40 \text{ K}}{224 \frac{J}{s}} = 915,5 \text{ s}$$

$$\boxed{\Delta t = 15'}$$

Se demuestra que bastaría con períodos de inactividad de tan sólo 15 minutos para que el agua y las cañerías alcancen los 15 °C. De esta manera, sabemos que esta situación se da con comodidad durante los períodos de inactividad en todos los departamentos del edificio.

15.4. Análisis volumétrico de agua desperdiciada

Se hace un cálculo sencillo del volumen de agua que se desperdicia al esperar obtener el agua caliente.

Para el sistema tradicional de distribución se considera la totalidad del agua contenida en las cañerías de agua caliente que se enfrió al no usarse y que deberá ser desplazada por el agua caliente proveniente de la montante ante la demanda del usuario en cualquiera de los artefactos, multiplicado por la cantidad de usos por día.

15.4.1 Sistema tradicional

Para el cálculo se considerará la ocupación de 1,5 personas por departamento (60 personas en total) de la sección 10.3.

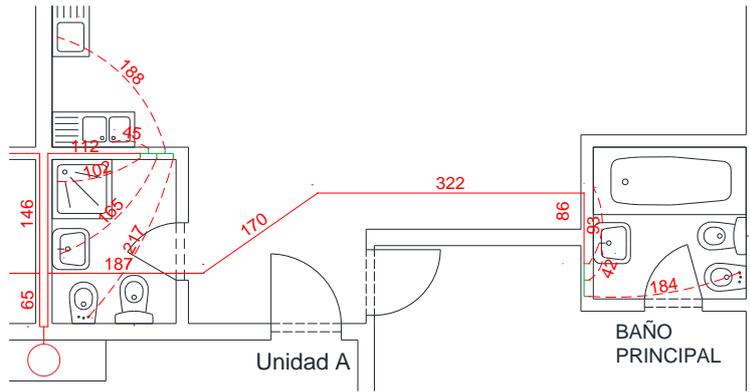


Figura N°59

Con los datos anteriores mencionados se simula un día promedio de usos mínimos de ACS. Es decir, el uso de la ducha del baño principal una vez por persona por día y el uso del lavabo de cocina dos veces por día.

Usando la Ducha principal

$$V_{65} = S_{int} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,83 \text{ cm})^2}{4} \cdot 65 \text{ cm} = 408,86 \text{ cm}^3$$

$$V_{765} = S_{int} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,3 \text{ cm})^2}{4} \cdot 765 \text{ cm} = 3178,26 \text{ cm}^3$$

$$V_{Ducha} = V_{65} + V_{765} = 3587,26 \text{ cm}^3$$

Usando la bacha de cocina

$$V_{65} = S_{int} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,83 \text{ cm})^2}{4} \cdot 65 \text{ cm} = 408,86 \text{ cm}^3$$

$$V_{258} = S_{int} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,3 \text{ cm})^2}{4} \cdot 258 \text{ cm} = 1071,93 \text{ cm}^3$$

$$V_{bacha} = V_{65} + V_{258} = 1480,79 \text{ cm}^3$$

Volumen total desperdiciado en edificio

$$V_{Edif} = N_{personas} \cdot (V_{Ducha} \cdot N_{usos} + V_{bacha} \cdot N_{usos})$$

$$V_{Edif} = 60 \cdot (3587,26 \text{ cm}^3 \cdot 1 + 1480,79 \text{ cm}^3 \cdot 2)$$

$$V_{Edif} = 392980 \text{ cm}^3 = 392 \text{ litros/día}$$

Se observa que al hacer el mínimo uso del ACS en un edificio de departamentos de dos ambientes se está desperdiciando una cantidad de agua que en conjunto con el resto de los departamentos suman un volumen muy importante. Si extrapolamos esta cifra a todas las

viviendas de la Ciudad de Buenos Aires encontraremos que convivimos con un sistema de distribución de ACS muy antiguo que desperdicia un recurso natural con elevado valor agregado, y que podría solucionarse modificando las normas.

15.4.2. Sistema inteligente

Con la recirculación dentro del departamento se logra reducir las distancias entre el agua caliente y el artefacto en uso. De esta manera, el volumen de agua que se desperdicia se reduce notablemente. Esencialmente, se descartará el agua contenida en los tramos de cañería que van desde los colectores, ubicados en los mismos cuartos húmedos, hasta los artefactos de consumo. Este volumen también se estará descartando en el caso del sistema tradicional. Por lo que, por este motivo, y para hacer una comparación justa, se considerará que con el sistema inteligente no se desperdicia agua.

16. EMISIONES CO₂

Estas cifras, por pequeñas que pueden parecer en el resumen de cuenta de cada habitante de la Ciudad de Buenos Aires, tiene un impacto de mayor importancia en lo que respecta a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) durante la combustión de los combustibles fósiles y de todo el proceso de obtención de estos.

Relacionado a esto último, permitirse estos derroches de agua potabilizada significa tirar al drenaje toda una serie de procesos en donde se ha invertido energía y dinero para lograr obtener el producto final y a disposición de cada usuario. En este caso, la planta San Martín de la empresa potabilizadora AySA invierte dinero y energía en producir hasta 3.178.806 m³ por día (promedio más alto correspondiente al mes de marzo 2018; Informe Anual 2018). El proceso de potabilización implica un consumo eléctrico de 184.814 kWh por día.

La Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) pone a disposición todos los años un reporte de especial importancia, el factor de emisión de red. Este reporte engloba a todas las máquinas térmicas utilizadas en la generación de energía eléctrica para abastecer al país. Algunos de los datos que expone son los distintos combustibles utilizados y sus proporciones (gas natural, fuel oil, carbón, gasoil), sus consumos, la generación eléctrica y las emisiones de CO₂. Con estos datos, mostrados en la Tabla H (Anexo), obtiene un factor de emisión para cada año, expresado en toneladas de dióxido de carbono por cada Megawatt hora generado.

16.1. Proceso de potabilización en CABA

A continuación, se calculan los valores de emisión tanto para el agua total producida en planta San Martín como también las correspondientes al agua desperdiciada por el sistema de distribución de agua caliente en esta región.

- Concesión Planta San Martín: Tigre, San Fernando, San Isidro, Vicente López, Grl. San Martín, Tres de Febrero, Morón, Ituzaingó, Hurlingham, La Matanza y Ciudad Autónoma de Buenos Aires completa.

- Caudal diario promedio más alto del 2018 (marzo). Total Concesión: **3.178.806 m³/día**
- Total usuarios concesión CABA: **3.068.043 habitantes**.
- Total usuarios concesión Prov. BsAs: **2.638.981 habitantes**.
- Energía eléctrica total concesión: **2.013.713,54 kWh/día**

El rendimiento energético del proceso de potabilización es:

$$\eta_{pot} = \frac{2.013.713,54 \text{ kWh}}{3.178.806 \text{ m}^3} = 0,6335 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Del caudal diario total, a CABA le corresponden

$$Q_{CABA_{pot}} = Q_{TOTAL} \times \frac{N_{CABA}}{N_{TOTAL}}$$

$$Q_{CABA_{pot}} = 3178806 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{3068043 \text{ hab}}{3068043 \text{ hab} + 2638981 \text{ hab}}$$

$$Q_{CABA_{pot}} = 1708897 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Entonces, para la Ciudad de Buenos Aires se tiene un consumo de energía diario promedio para el mes de marzo de:

$$U_{CABA_{pot}} = Q_{CABA} \times \eta_{pot}$$

$$U_{CABA_{pot}} = 1.082.586 \text{ kWh}$$

Por lo que, con un factor de emisión (Tabla H, Anexo) de $5,08 \cdot 10^{-4} \text{ tCO}_2/\text{kWh}$, se obtienen las emisiones para la CABA,

$$E_{CABA_{pot}} = 5,08 \cdot 10^{-4} \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} \times U_{CABA_{pot}}$$

$$E_{CABA_{pot}} = 550 \frac{\text{tCO}_2}{\text{día}}$$

El resultado anterior, corresponde a las emisiones de dióxido de carbono debido al consumo eléctrico dedicado al proceso de potabilización de agua para la Ciudad de Buenos Aires en un solo día. Ahora, de este total existe una porción que se habrá hecho en vano, ya que será agua que no fue aprovechada debido a un sistema de ACS antiguo.

16.2. Emisiones debido al descarte de agua potable

A continuación, se toma el volumen de agua descartada de las cañerías de ACS del modelo de edificio en estudio, y se lo analiza en emisiones de dióxido de carbono producidas por el proceso de potabilización realizado en vano:

- Volumen de agua desperdiciado edificio: 392 lts/día

- Volumen de agua desperdiciado por mes: 11760 lts/mes
- Volumen de agua desperdiciado por año: 143080 lts/año

Con un rendimiento de potabilización de $0,6335 \text{ kWh/m}^3$, se obtiene la porción de energía que en el edificio se está desperdiciando de este proceso:

$$U_{des} = 143,08 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \times 0,6335 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

$$U_{des} = 91 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Es decir, se utilizaron 91 kWh por año para potabilizar un volumen de agua que se dejó ir por el drenaje sin ningún uso en un solo edificio. No resulta mucho, pero si extrapolamos a la cantidad de edificios de 10 pisos que hay en la Ciudad de Buenos Aires (Tabla G, Anexo) obtenemos un aproximado de la porción de energía desperdiciada en el proceso de potabilización, sólo en edificio con estas características:

$$U_{CABA_{des}} = 91 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 5962$$

$$U_{CABA_{des}} = 542.542 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Este número da una idea de la magnitud del derroche de energía ($U_{CABA_{des}}$) que se podría estar evitando en el proceso de potabilización.

Este derroche energético se traduce en emisiones debido a un sistema de distribución de agua antiguo (sistema tradicional):

$$\Delta E_{\frac{trad}{int}POT} = 542.542 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 5,08.10^{-4} \frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\Delta E_{\frac{trad}{int}POT} = 276 \frac{\text{tCO}_2}{\text{año}}$$

16.3. Sistema eléctrico de distribución domiciliario

Si ahora analizamos los consumos desde el punto de vista de los sistemas de distribución en los edificios y supusiéramos que el sistema de distribución inteligente propuesto en este trabajo se aplicase a todos los edificios de la Ciudad de Buenos Aires el consumo eléctrico para edificios residenciales de 10 pisos se reduciría de la siguiente manera:

- Consumo anual sistema tradicional (Tabla 11): 1700,9 kWh
- Consumo anual sistema inteligente (Tabla 11): 1454,4 kWh

$$U_{Trad_{CABA}} = 1700,9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 5962 = 10.140.766 \text{ kWh}$$

$$U_{Int_{CABA}} = 1454,4 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 5962 = 8.671.133 \text{ kWh}$$

$$\Delta U_{\frac{trad}{int}CABA} = 1.469.633 \text{ kWh}$$

Se puede, una vez más, traducir esta energía eléctrica a emisiones de dióxido de carbono, multiplicando por el factor de emisiones:

$$E_{Trad_{ELEC}} = U_{Trad_{CABA}} \times 5,08.10^{-4} \frac{tCO_2}{kWh} = 5152 \text{ tCO}_2$$

$$E_{Int_{ELEC}} = U_{Int_{CABA}} \times 5,08.10^{-4} \frac{tCO_2}{kWh} = 4405 \text{ tCO}_2$$

$$\Delta E_{\frac{trad}{int}ELEC} = 747 \frac{tCO_2}{año}$$

Se observa que mediante la implementación del sistema inteligente se logra una importante mitigación de las emisiones desde el punto de vista eléctrico a nivel edificio.

16.4. Tabla comparativa

A continuación, se resumen las cifras recolectadas:

	Emisiones anuales CABA [tCO ₂]		TOTAL
	Proceso de potabilización	Sist. Eléctrico Edificio	[tCO ₂]
TRADICIONAL	276	5152	5428
INTELIGENTE	0	4405	4405
Diferencia	276	747	1023

Tabla N°15

La Tabla N°15 muestra un resumen de emisiones debido al uso de ambos sistemas, tradicional e inteligente propuesto.

Esto, también, muestra la importancia de un Código de Edificación redactado cuidadosamente y pensado de manera integral, en conjunto con el cuidado ambiental.

17. ANÁLISIS DE COSTOS

17.1 Costo térmico. Agua derrochada

Se analiza el impacto de la pérdida de calor del agua que queda en los caños de ACS luego de haber sido utilizada. Este análisis se realiza únicamente a modo informativo ya que no se ofrece una solución en este trabajo y el sistema inteligente propuesto no ha sido diseñado para mitigarlo. Aun así, pienso que es importante tener una idea y punto de partida para futuros trabajos.

Usando los datos de volumen de agua desperdiciada en el edificio (V_{edif}), obtenidos en el último apartado (15.4.1), se determina la potencia calorífica invertida para calentar ese volumen de agua en cada caso:

Con

- $\Delta T = 60^{\circ}C - 15^{\circ}C = 45^{\circ}C$
- $m_{agua} = \rho * V_{edif} = 983,13 \frac{kg}{m^3} * 0,392 m^3 = 385 kg$
- $C_e = 1 \frac{kcal}{kg.^{\circ}C}$

$$\Delta Q = C_e \cdot m_{agua} \cdot \Delta T$$

$$\Delta Q = 1 \frac{kcal}{kg.^{\circ}C} * 385 kg * 45^{\circ}C$$

$$\Delta Q = 17325 \frac{kcal}{día}$$

Con un rendimiento térmico en el termotanque del 80% se tiene que la potencia requerida es:

$$P_N = 1,2 * \Delta Q = 20790 \frac{kcal}{día}$$

Luego, teniendo en cuenta el poder calorífico inferior del Gas Natural (PCI_{GN}) y que el precio del Gas Natural a noviembre de 2019 es de 14,382326 pesos por metro cúbico para la categoría de usuario definida en apartados anteriores,

$$PCI_{GN} = 9300 \frac{kcal}{h.m^3}$$

$$V_{GN} = \frac{P_N}{PCI_{GN}}$$

$$V_{GN} = \frac{20790 kcal/día}{9300 kcal/m^3}$$

$$V_{GN} = 2,24 \frac{m^3}{día}$$

Se obtiene que se está desperdiciando un total de:

$$C = 14,382326 \frac{\$}{m^3} \cdot 2,24 \frac{m^3}{día}$$

Es decir:

$$C = 32,2 \frac{\$}{día}$$

$$C = 966 \frac{\$}{MES}$$

$$C = 11592 \frac{\$}{\text{AÑO}}$$



$$V_{GN} = 818 \frac{m^3}{\text{año}}$$

17.2. Bomba elevadora. Sistema tradicional

Se obtuvo anteriormente que el costo variable del kilowatt hora es de 2,403 pesos. Luego, de la Tabla N°11 de la sección 15.1.6 se tiene que la bomba elevadora consume un total de 135 kilowatt hora por mes. Entonces,

$$C_{pres} = 135 \frac{kWh}{mes} * 2,403 \frac{\$}{kWh}$$

$$C_{pres} = 324 \frac{\$}{MES}$$

17.3. Bombas de presión central. Sistema inteligente

Nuevamente, de la Tabla N°11 de la sección 15.1.6 se tiene que el grupo de presión consume en total alrededor de 114 kilowatt hora por mes. Entonces,

$$C_{pres} = 114 \frac{kWh}{mes} * 2,403 \frac{\$}{kWh}$$

$$C_{pres} = 274 \frac{\$}{MES}$$

17.4. Recirculación departamentos

De la Tabla N°11 tenemos que la recirculación de departamentos implica un consumo energético de 0,74 kWh/mes. Por lo tanto,

$$C_{rec.dtos} = 0,74 \frac{kWh}{mes} * 2,403 \frac{\$}{kWh}$$

$$C_{rec.dtos} = 1,78 \frac{\$}{MES}$$

17.5. Resumen de costos

SISTEMA	Equipo	Costo (AR\$/MES)	Total
TRADICIONAL	Bomba elevadora	324	324
INTELIGENTE	Equipo de presión	274	276
	Recirculación Dtos	1,78	
Diferencia			48(15%)

Tabla N°16

17.6. Costo de equipamiento

En el desarrollo del cálculo de amortización se utilizarán los consumos eléctricos de los grupos de presión únicamente y se dejarán afuera del cálculo la bomba de recirculación de departamentos y recirculación central.

Se reúnen a continuación los precios al día de la fecha (19/7/20). Se toma tipo de cambio minorista de la moneda Euro de la fuente de datos del Banco Central (BCRA) al día de la fecha 19/7/20 con cierre en 84,825 pesos argentinos por cada euro:

SISTEMA	MODELO	CANTIDAD	PRECIO (AR\$/un)	TOTAL (AR\$)
TRADICIONAL	Tanque ROTOPLAS Tricapa 2750L	4	22.000	88.000
	Bomba elevadora Grundfos CM 10-3	1	78.548	78.548
	Caño termofusión x4m IPS 110	9	10.429	93.861
	Total sistema			260.409
INTELIGENTE	Bomba presión Grundfos CRE 3-11	1	301.383	301.383
	Bomba presión Grundfos CRE 10-5	2	437.273	874.546
	Bomba Fluvial Flu1	40	6.200	248.000
	Caño termofusión agua caliente x4m IPS 20	110	334	36.740
	Colectores Tee Tubofusión 20x10u	24	245	5.880
	Total sistema			1.466.549

Tabla N°17

Se observa la importante diferencia a invertir entre un sistema y el otro. Pero es de esperar en un sistema que, hoy en día, es una innovación tecnológica y que promete una vida útil tan larga, la cual está en el orden de los 15 a 20 años según el fabricante. En años venideros, debemos esperar que el valor de estos sistemas decrezca y se vuelva la norma a la hora de instalar nuevos sistemas de distribución de agua.

18. Estándares de eficiencia energética

Se debe hacer un reparo a las cifras obtenidas en el trabajo. Es importante destacar que Argentina aún no tiene una legislación vigente sobre los niveles mínimos de eficiencia energética.

Niveles Mínimos de Eficiencia de acuerdo con las Normativas

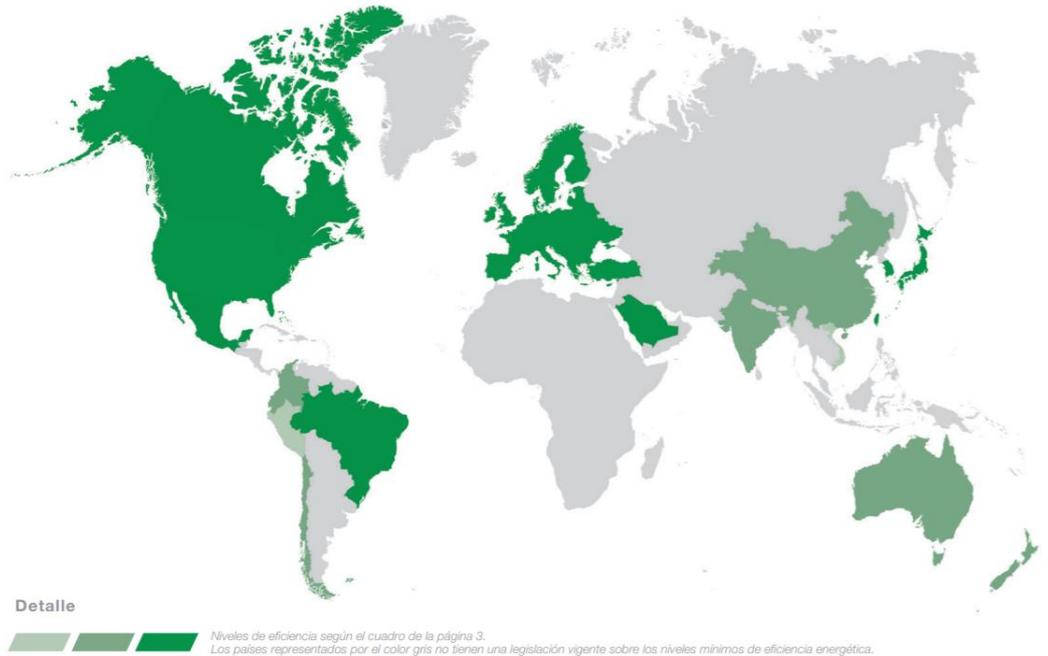


Figura N°60. Fuente: www.weg.net (Fecha de captura: 27/7/20)

Por lo tanto, la tecnología en motores eléctricos en uso actualmente, muy atrasada al resto del mundo (Figura N°60), no es eficiente eléctricamente cómo lo son los motores de las bombas GRUNDFOS elegidas en este trabajo para el sistema tradicional (bomba elevadora) evaluado, con clase de eficiencia IE4. Cómo se puede observar en la Figura N°62, el rendimiento de un motor con eficiencia IE4 comienzan en el 86%. Mientras que antiguos estándares de eficiencia, cómo los utilizados en nuestro país, comienzan dentro del 74% al 79% de eficiencia.

ARGENTINA



Reglamento	PCI 007/17	
Norma	IRAM 62409:2014	IRAM 62405:2012
Sistema suministrador de energía	Monofásico	Trifásico
Nivel mínimo de eficiencia	IE0	IE0
Nivel mínimo de eficiencia cuando apto para uso con convertidor de frecuencia	No aplicable	IE0
Potencia (kW)	0,12 a 7,5 kW	0,75 a 30 kW
Polaridad	2 / 4 / 6	2 / 4 / 6
Tensión (V)	hasta 200 V	hasta 380 V
Frecuencia (Hz)	50 Hz o 50/60 Hz	
Régimen de servicio	S1	
Método de enfriamiento	TEFC, ODP	
Grado de protección	IP 2X a IP 66	
Área clasificada	Área segura	
Altitud	Todas	
Temperatura ambiente	Todas	
Documentación exigida	Certificado	

* Motores multialimentación que tengan 200 V (monofásicos) o 380 V (trifásicos) como una de sus tensiones de operación están cubiertos por el alcance.

Requisitos

■ Etiqueta de nivel de eficiencia.



Nivel mínimo de eficiencia: a regulamentação não define o nível mínimo de rendimento para os motores.

Figura N°61. Fuente: www.weg.net (Fecha de captura: 27/7/20)

Dicho esto, es justo suponer que la eficiencia utilizada en motores eléctricos hoy en día en nuestro país es del tipo IE2, la cual no supera el 80% (Figura N°62) para potencias bajas como las utilizadas en este trabajo (1,7 kW).

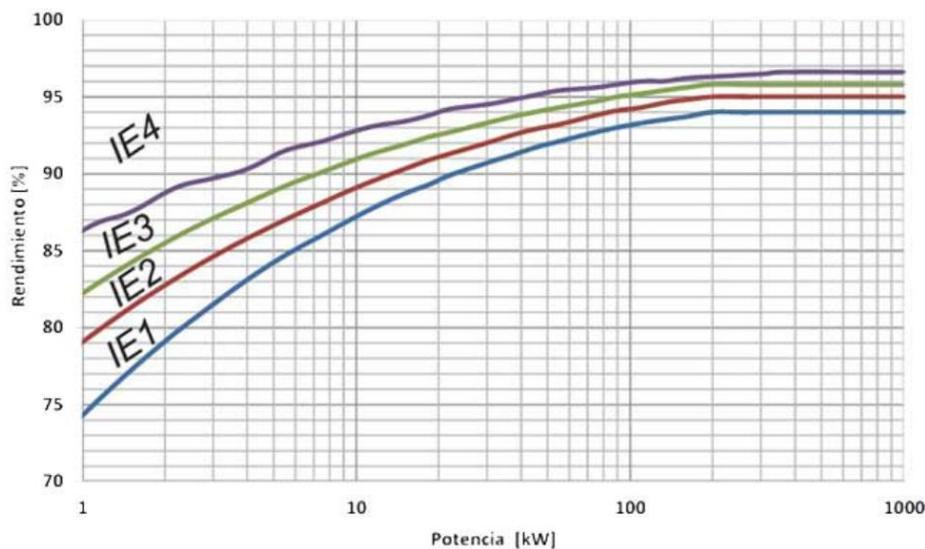


Figura N°62. Fuente: https://motordirect.es/WIKI/eficiencia_energetica_en_motores_electricos.html (Fecha de captura: 27/7/20)

Una diferencia del 6% hasta un 10% da resultados más alentadores al momento de diseñar una instalación.

19. CONCLUSIÓN

A lo largo del trabajo, se puede observar detalladamente y contabilizar donde un sistema de distribución de agua de un edificio domiciliario necesita especial atención. Desde la elección del sistema de presurización hasta la correcta aislación de sus cañerías.

Las cifras obtenidas reflejan la necesidad de realizar modificaciones en el código de edificación de nuestro país para cuidar los valiosos recursos de nuestro planeta. Este debe ser reemplazado por un Código actualizado a la realidad de hoy día y a las necesidades del ser humano presente.

En lo que respecta a los resultados obtenidos, un ahorro energético del 15% y especialmente su traducción en reducción de emisiones es más que alentadora para considerar su aplicación. Pero, también, es prudente admitir que con un costo inicial de inversión de cinco veces y media la de un sistema tradicional, resulta difícil creer que se vaya a aplicar, más que en casos especiales como en proyectos sustentables dedicados o proyectos industriales con volúmenes de fluidos mucho mayores y tiempos de funcionamiento más prolongados. Es claro que, en nuestro país, esta tecnología está hoy, y por unos años más, adelantada a nuestra economía para ser aplicada en proyectos domiciliarios de esta envergadura.

Aún así, aunque no se implementará este sistema, puede darse un importante paso con la incorporación de arrancadores suaves y el uso de estándares de eficiencia IE4 como mínimo en los motores de bombas elevadoras.

ANEXO I

Tablas

SECCIÓN DE CAÑERÍAS DE BAJADA Y DE DISTRIBUCIÓN		TIPO Y CANTIDAD DE ARTEFACTOS QUE ABASTECERÁ LA CAÑERÍA													SECCIÓN NECESARIA	
		DEPÓSITO DE INODORO	LAVATORIO	BIDET	DUCHA	BAÑERA	PILETA DE COCINA	PILETA LAVACOPAS O ARTEF. LAVAVAJILLA	PILETA DE LAVAR O ARTEF. LAVARROPA	CANILLA DE SERVICIO	ARTEFACTO DE USO POCO FRECUENTE	DEPÓSITO AUTOMÁTICO DE MINGITORIOS	FUENTE DE BEBER	SALIVADERA	PARA AGUA FRÍA	PARA AGUA CALIENTE
VIVIENDAS	1 BAÑO PRINCIPAL + 1 BAÑO DE SERVICIO + 1 CONJUNTO ARTEFACTOS COCINA-LAVADERO	2	2	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	0,71 cm ²	0,62 cm ²
	1 BAÑO PRINCIPAL + 1 CONJUNTO ARTEFACTOS COCINA-LAVADERO	1	1	1	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	0,62 cm ²	0,53 cm ²
	1 BAÑO DE SERVICIO + 1 CONJUNTO ARTEFACTOS COCINA-LAVADERO	1	1	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	0,62 cm ²	0,53 cm ²
	1 BAÑO PRINCIPAL + 1 BAÑO DE SERVICIO	2	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62 cm ²	0,53 cm ²
	1 BAÑO PRINCIPAL	1	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53 cm ²	0,44 cm ²
	1 BAÑO DE SERVICIO	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53 cm ²	0,44 cm ²
	1 CONJUNTO DE ARTEFACTOS COCINA-LAVADERO	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	0,53 cm ²	0,44 cm ²
	CADA ARTEFACTO (UNO SOLO DE CADA TIPO)	-	-	-	●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	0,44 cm ²	0,36 cm ²
	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	0,36 cm ²	0,27 cm ²	
EDIFICIOS PÚBLICOS	1 BAÑO COMPLETO ("EL PRIVADO")	1	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53 cm ²	0,44 cm ²
	CADA TOILETTE (HABIENDO VARIOS)	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36 cm ²	0,27 cm ²
	CADA ARTEFACTO (UNO SOLO DE CADA TIPO)	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	0,36 cm ²	0,27 cm ²
		-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	0,27 cm ²	0,18 cm ²

TABLA A. Fuente: Manual práctico de instalaciones sanitarias, Nisnovich.

TABLA DE SECCIONES Y DIÁMETROS				
MEDIDA DE LAS CAÑERÍAS			SECCIÓN LÍMITE ADMITIDA	
DIÁMETRO	DIÁMETRO APROXIMADO	SECCIÓN REAL	PARA BAJADAS	PARA COLECTOR
PULGADAS	MM	CM2	CM2	CM2
3/8	9	0,71	0,90	-
½	13	1,27	1,80	1,66
¾	19	2,85	3,59	3,41
1	25	5,07	6,02	5,78
1 ¼	32	7,92	9,08	8,79
1 ½	38	11,40	14,36	13,62
2	50	20,27	24,07	23,12
2 ½	60	31,67	36,31	35,15
3	75	45,60	57,42	54,47
4	100	81,07	97,27	92,47
5	125	126,68	145,26	140,62

TABLA B. Fuente: Manual práctico de instalaciones sanitarias, Nisnovich.

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Qu	Qt	A	B	C
Viviendas	<0,5	≤20	0,682	0,450	-0,140
	≥0,5	≤1	1,000	1,000	0,000
	≥0,5	≤20	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	>20	1,700	0,210	-0,700

TABLA C. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central. ATECYR

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones		
Tipo de edificio	Litros/día a 60°C	Energía
Viviendas unifamiliares	30 por persona	573 kWh/año persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona	420 kWh/año persona
Hospitales y clínicas	55 por cama	1050 kWh/año cama
Hotel 4*	70 por cama	1337 kWh/año cama

TABLA D. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central. ATECYR

Estimación del número de personas en función del número de dormitorios de la vivienda								
N° de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	>7
N° de personas	1,5	3	4	6	7	8	9	N° Dormitorios

TABLA E. Fuente: Guía técnica de agua caliente sanitaria central. ATECYR

Tubos IPS

	Maxum S3,2 Super Aislante		20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm
	(Multicapa IPS Fusión S3,2 + Aislante térmico) Uso: agua caliente + radiadores *	Nº Artículo	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929
		Espesura de pared	5.2mm	5.9mm	7.1mm	8.5mm	10.1mm	12.2mm	14.2mm	16.5mm	19.6mm
		Diámetro interno	14.4	18	23	28.3	36.2	45.6	54.2	65	79.6
		Normas	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*Recomendado por AOGA											
	Multicapa Fusión Reforzado		20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm
	Con sello IRAM para los Ø 20, 25 y 32 mm Uso: agua caliente	Nº Artículo	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609
		Espesura de pared	3.4mm	4.2mm	5.4mm	6.7mm	8.4mm	10.9mm	12.5mm	15mm	18.4mm
		Diámetro interno	13.2	16.6	21.2	26.6	33.2	42	50	60	73.2
		Normas	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Multicapa IPS Fusión S3,2		20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm
	Uso: agua caliente	Nº Artículo	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909
		Espesura de pared	2.8mm	3.5mm	4.5mm	5.6mm	6.9mm	8.7mm	10.4mm	12.5mm	15.2mm
		Diámetro interno	14.4	18	23	28.3	36.2	45.6	54.2	65	79.6
		Normas	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Tubo IPS Fusión		32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm		
	Uso: agua fría	Nº Artículo	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509		
		Espesura de pared	3mm	3.7mm	4.6mm	5.8mm	6.9mm	8.2mm	10.0mm		
		Diámetro interno	26	32.6	40.8	51.4	61.2	73.6	90		
		Normas	*	*	*	*	*	*	*		

Los tubos se comercializan en tiras de 6 m.

Figura N°61. Cañerías Sistema IPS Fusión. Fuente: IPS

Pérdidas de carga puntuales

Reducciones de diámetro							
a/de	25m	32m	40m	50m	63m	75m	90m
20m	0,10m	0,18m	0,21m	0,24m	0,31m	0,32m	0,86m
25m		0,12m	0,2m	0,25m	0,30m	0,32m	0,81m
32m			0,17m	0,23m	0,26m	0,28m	0,72m
40m				0,22m	0,24m	0,25m	0,63m
50m					0,19m	0,20m	0,54m
63m						0,18m	0,45m
75m							0,36m

Tabla F. Fuente: IPS

Cámbios de dirección								
	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm
Codo a 90°	0,4m	0,5m	0,6m	0,8m	1,0m	1,2m	1,4m	1,7m
Codo a 45°	0,2m	0,2m	0,3m	0,4m	0,5m	0,7m	0,9m	1,0m
Curva a 90°	0,2m	0,3m	0,3m	0,4m	0,4m	0,5m	0,6m	0,7m
Te a 90° Pasaje directo	0,2m	0,3m	0,3m	0,4m	0,5m	0,7m	0,9m	1,1m
Te a 90° salida de lado	0,5m	0,6m	0,7m	0,9m	1,2m	1,5m	1,7m	2,0m
Te a 90° salida bilateral	0,4m	0,5m	0,7m	0,8m	1,0m	1,3m	1,6m	1,9m

Tabla G. Fuente: IPS

Edificaciones por cantidad de pisos.

Cantidad de pisos	Total	%	Edificios	%	Edificios de destino único	%	Edificios Productivos	%
Menos de 2	227.215	76,6	210.656	76,8	10.616	70,7	5.943	81,9
3-5	39.568	13,3	34.761	12,7	3.526	23,5	1.281	17,7
6-9	18.470	6,2	17.802	6,5	640	4,3	28	0,4
10-11	6.087	2,1	5.962	2,2	124	0,8	1	0,1
12-15	3.846	1,3	3.768	1,4	77	0,5	1	0,1
Más de 15	1.347	0,5	1.314	0,5	33	0,2	-	-
Total	296.533	100	274.263	100	15.016	100	7.254	100

Fuente: Unidad Sistemas de Inteligencia Territorial, Subsecretaría de Planeamiento, Ministerio de Desarrollo Urbano, GCBA.

Tabla G. Edificaciones por cantidad de pisos. Fuente: Unidad Sistemas de Inteligencia Territorial, Subsecretaría de Planeamiento, Ministerio de Desarrollo Urbano, GCBA.

FACTOR DE EMISION DE LA RED		
	Margen de Operación	
Año	Ex-post tCO ₂ /MWh	Ex-ante tCO ₂ /MWh
2007	0,514	0,510
2008	0,534	0,525
2009	0,525	0,524
2010	0,515	0,525
2011	0,568	0,536
2012	0,585	0,556
2013	0,562	0,572
2014	0,531	0,560
2015	0,528	0,540
2016	0,517	0,525
2017	0,480	0,508

Tabla H. Factor de emisión de red. Fuente: Archivo CAMMESA (Fecha de Captura: 22/02)

Nomograma

Nomograma IPS Fusión para verificación de caudal y pérdida de carga de sus cañerías.

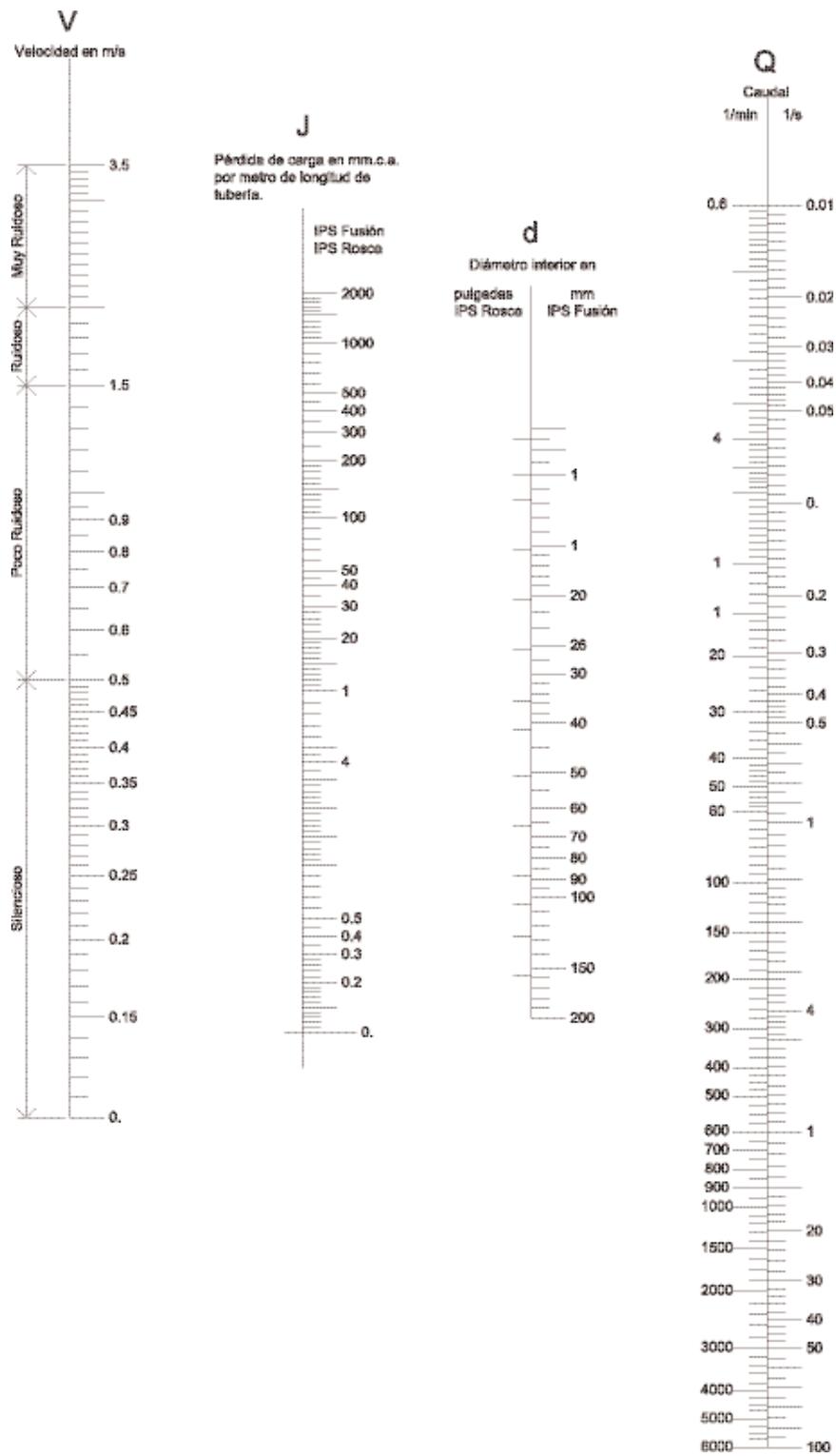


Figura N°62. Fuente: IPS

BIBLIOGRAFÍA

- ÇENGEL, YUNUS A. (2007). Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico. McGraw-Hill Interamericana S.A. México, D.F.
- Anexo I. Documento Complementario del Código de la Edificación DCC N° IV. REGLAMENTO SOBRE INSTALACIONES SANITARIAS. CAPÍTULO 6. AGUA.
- Guía técnica de agua caliente sanitaria central. De la serie Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid, junio de 2010.
- Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos de la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización”. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid, febrero de 2007.
- Nisnovich, Jaime. Manual práctico de instalaciones sanitarias: tomo 1: agua fría y caliente/Jaime Nisnovich; con colaboración de Araceli Mugica. - 5ª ed. - Buenos Aires: Nisno, 2008.
- Informe de Niveles de Servicio Año 2018. AySA.
- Informe de Proyecciones de población por Municipio provincia de Buenos Aires 2010-2025. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) en conjunto con el Departamento de Estudios Sociales y Demográficos. Lic. María Silvia TOMÁS. Ministerio de Economía. Subsecretaría de Coordinación Económica. Dirección Provincial de Estadística. Junio de 2016.
- Informe. Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica. Secretaría de Gobierno de Energía. Ministerio de Hacienda. Presidencia de la Nación. 2007-2017.
- Informe de Energía eléctrica (mw) facturada por tipo de usuario. Ciudad de Buenos Aires. Años 1996/2018. Dirección General de Estadística y Censos (Ministerio de Economía y Finanzas GCBA) sobre la base de datos Edenor SA. y Edesur SA. Buenos Aires Ciudad.
- DOSSIER TÉCNICO IPS FUSIÓN. IPS Argentina. Buenos Aires. Agosto de 2005
- <https://ecoinventos.com/22-soluciones-para-ahorrar-agua-en-el-hogar/> acceso el 7 de Agosto 2019
- <https://orbital-systems.com/> acceso el 7 de agosto 2019.
- <http://www.aquareturn.com/> acceso el 7 de agosto 2019.
- <https://esferic.com/es/> acceso el 7 de agosto 2019.
- <http://www.leho.com.co/secco/> acceso el 7 de agosto 2019.
- Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos. Velitchko G. Tzatchkov (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y Víctor H. Alcocer-Yamanaka (Comisión Nacional del Agua).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300115 acceso el 20 de Abril de 2020.