



# Ingeniería básica tipo para cogeneración en los sectores residencial y hotelero

Ingeniería Conceptual

**Edición:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Friedrich-Ebert-Allee 40  
53113 Bonn • Alemania  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn • Alemania

**Nombre del proyecto:**

Proyecto Reducción de Emisiones a través de la Aplicación  
de Cogeneración en los Sectores de la Industria y el Comercio en Chile  
Marchant Pereira 150  
7500654 Providencia  
Santiago • Chile  
+56 22 30 68 600  
www.giz.de

**Responsables:**

Rainer Schröer/ Cecilia Figueroa

**En coordinación:**

Ministerio de Energía de Chile  
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II  
Santiago de Chile  
+56 22 367 3000  
www.minenergia.cl

Agencia de Sostenibilidad Energética  
Monseñor Nuncio Sótero Sanz 221  
7500007 Providencia  
Santiago • Chile  
+56 2257 12 200  
www.acee.cl

**Título:**

Estudio de Factibilidad de Cogeneración para Pelarco y Romeral.

**Autor:**

AIGUASOL

Catalina Bravo  
Álex Moreno  
Cristián Vera  
Alfredo González  
Daniel González



9 de febrero de 2021

**Aclaración:**

El presente informe fue preparado por encargo del proyecto "Proyecto Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores Industrial y Comercial en Chile" implementado por el Ministerio de Energía, Agencia Sostenibilidad Energética y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.  
Santiago de Chile, enero, 2021

## Contenido del informe

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
1.1. OBJETIVOS .....	6
1.2. ALCANCES.....	7
<b>2. DISEÑO DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN EDIFICIOS RESIDENCIALES</b> .....	<b>8</b>
2.1. DISEÑOS SELECCIONADOS .....	8
2.2. PLANTEAMIENTO DE LAS CENTRALES DE ENERGÍA .....	9
2.3. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIA DE CONTROL.....	10
2.4. DISPOSICIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS .....	12
<b>3. DISEÑO DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN EDIFICIOS HOTELEROS</b> .....	<b>14</b>
3.1. DISEÑOS SELECCIONADOS .....	14
3.2. PLANTEAMIENTO DE LAS CENTRALES DE ENERGÍA .....	16
3.3. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIA DE CONTROL.....	18
3.3.1. Lógica de control para sistemas conectados a red .....	19
3.3.2. Lógica de control para sistemas en isla.....	21
3.4. DISPOSICIÓN DE EQUIPOS PARA EDIFICIOS HOTELEROS.....	23
3.4.1. Edificios Hoteleros Conectados a la Red.....	23
3.4.2. Edificios Hoteleros en isla .....	24

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ejemplo de sala de calderas en contenedor de 40' (fuente <a href="http://www.profesionalagro.com">www.profesionalagro.com</a> )	9
Ilustración 2. Layout de la sala de calderas de un proyecto residencial tipo	10
Ilustración 3. Esquema hidráulico genérico de sistema conectado a red, a efectos de control	11
Ilustración 4. Esquema de disposición de áreas	13
Ilustración 5. Disposición de tableros en sistema de cogeneración On Grid	13
Ilustración 6. Ejemplo de sala de calderas en contenedor de 40' (fuente <a href="http://www.profesionalagro.com">www.profesionalagro.com</a> )	17
Ilustración 7. Layout de la sala de calderas de un proyecto residencial tipo	18
Ilustración 8. Esquema hidráulico genérico de sistema conectado a red, a efectos de control	20
Ilustración 9. Esquema hidráulico genérico de sistema en isla, a efectos de control	22
Ilustración 10. Disposición de equipo cogenerador, en recinto	23
Ilustración 11. Disposición de equipos en sistema de cogeneración	24
Ilustración 12. Disposición de equipo cogenerador, en recinto	24
Ilustración 13. Disposición de tableros en sistema de cogeneración Off Grid	25

## Índice de Tablas

Tabla 1. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de edificios residenciales.....	8
Tabla 2. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de hoteles on grid .....	14
Tabla 3. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de hoteles off grid .....	15

## 1. Introducción

El Ministerio de Energía, la Agencia Sostenibilidad Energética (AgenciaSE) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania, están desarrollando el proyecto “Reducción de emisiones a través de la aplicación de la cogeneración en los sectores industrial y comercial en Chile”.

Entre el 2011 y el 2015, un proyecto piloto logró insertar el tema cogeneración en la política pública de la eficiencia energética, con plantas pilotos que sirven de ejemplo y muestran resultados que son difundidos por las instituciones chilenas.

Chile, tiene un alto potencial para la cogeneración eficiente, sin embargo no existe de forma masiva, por lo que se desarrollará una campaña importante de difusión de esta tecnología en el sector industrial, comercial y otros, mejorando las informaciones disponibles, apoyando al desarrollo de la normativa y favoreciendo el mercado para la tecnología y para los servicios, para lo cual también se aportará al fortalecimiento de las capacidades locales. El proyecto con foco en el área industrial y comercial contempla apoyar la introducción de la tecnología de la cogeneración en el país, como un importante sustento a la Eficiencia Energética.

En este contexto, se realizó un estudio de prospección en el sector de edificios residenciales para la integración de cogeneración desde la fase de diseño y un estudio de potencial considerando el recambio de calderas existentes por cogeneración.

En el sector residencial, los proyectos de cogeneración desde la fase de diseño que presentaron una mayor rentabilidad son aquellos que poseen una potencia eléctrica mayor 50 kWe, mientras los que poseen una mayor replicabilidad tienen una potencia menor a 25 kWe. En instalaciones existentes de edificios residenciales, el mayor potencial se encontró en el rango de potencia entre los 100 kWe y los 500 kWe, con un potencial total de 51 MWe.

Por otra parte, en instalaciones existentes en el sector Hotelero, el potencial de cogeneración es de 9 MWe, donde la mayoría de estos proyectos tendrían una potencia instalada entre los 50 kWe y los 300 kWe.

### 1.1. Objetivos

#### Objetivo General

Desarrollar un estudio de ingeniería básica típica para la integración de cogeneración que considere edificaciones residenciales y hoteles.

Para edificaciones residenciales, se deberán realizar tres subestudios, cada uno de ellos considerando potencias de equipos diferentes, en total serán tres ingenierías básicas, donde la demanda eléctrica base a considerar son entre 5 y 25 kWe, 30 kWe y 50 kWe.

Para hoteles, se deberán realizar 5 subestudios, cada uno de ellos considerando potencias de equipos diferentes, en total serán 5 ingenierías básicas. Las demandas eléctrica base a considerar son 75 kWe, 150 kWe (on y off grid) y 250 kWe (on y off grid).

Nota: Las potencias de los equipos a seleccionar deberán estar en torno a las potencias eléctricas base enunciadas.

## Objetivos Específicos

1. Elaboración conceptual típica de los proyectos de cogeneración.
2. Elaboración de una ingeniería básica referencial de los proyectos tipo de cogeneración.
3. Presupuesto y análisis económico de los proyectos de cogeneración, considerando financiamiento con capital propio.
4. Análisis de permisos, marco regulatorio y normativo.

### 1.2. Alcances

El presente documento contempla la elaboración conceptual de los proyectos tipo de cogeneración. Se considera:

- Para edificios residenciales: El suministro de energía térmica para agua caliente sanitaria, el suministro de energía eléctrica para áreas comunes del edificio, la venta de excedentes a la red de distribución y la acumulación de energía térmica en periodos de baja demanda térmica.
- Para el sector hotelero:
  - Caso off grid, el suministro de energía eléctrica para la demanda total de la instalación, suministro de energía térmica para ACS y ACC, acumulación durante periodos de baja demanda y disipación de calor.
  - Caso on grid, el suministro de energía térmica (ACS y ACC) para la demanda base de la instalación, acumulación durante periodos de baja demanda y suministro de energía eléctrica para autoconsumo e inyección de excedentes.

El documento contiene:

- Caracterización y especificación técnica de los principales componentes del sistema de cogeneración.
- Determinación de condiciones de espacio disponible, suministro de combustible, disponibilidad tecnológica, servicios de post-venta de mantenimiento y cumplimiento de normas.
- Elaborar la lógica de funcionamiento de los equipos en base a la estrategia de operación, sistema de control y monitoreo de la central térmica.
- Consideraciones generales y checklist.

## 2. Diseño de Sistemas de Cogeneración Edificios Residenciales

### 2.1. Diseños Seleccionados

De acuerdo a la metodología descrita en el documento de Resumen y Metodología, a continuación, se resumen las principales características de los proyectos seleccionados para esta tipología.

La tabla a continuación indica las características de todos los proyectos seleccionados y simulados para los edificios residenciales.

El diseño acá presentado es válido para todos aquellos proyectos que contemplen el suministro de ACS para cada vivienda del edificio y de electricidad para las áreas comunes del edificio. De esta forma, no se considera el suministro de energía eléctrica en cada vivienda, ni de equipos de calefacción que pueda poseer el edificio en estudio. Para hacer uso de los diseños presentados, sólo se requiere que los niveles de demanda de energías térmica y eléctrica se encuentren cercanas a los valores que se indican en la tabla. Se recomienda tener especial cuidado con el suministro de energía térmica, al considerar que también se pueden utilizar calderas de gas, tal como se indica en los diseños a continuación.

**Tabla 1. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de edificios residenciales**

		<b>Edificio Pequeños</b>	<b>Edificio Mediano</b>	<b>Edificio Grande</b>
<b>Demanda neta de calor</b>	<i>kWh/a</i>	288.149	547.305	764.452
<b>Pérdidas térmicas de distribución</b>	<i>kWh/a</i>	0	0	0
<b>Demanda total de calor</b>	<i>kWh/a</i>	288.149	547.305	764.452
<b>Demanda de electricidad</b>	<i>kWh/a</i>	115.929	193.215	309.144
<b>Potencia Térmica Caldera</b>	<i>kW</i>	126	239	333
<b>Potencia Térmica CHP</b>	<i>kW</i>	40,40	54,10	75,50
<b>Potencia Eléctrica CHP</b>	<i>kWe</i>	16,00	22	33
<b>Volumen Acumulación</b>	<i>m3</i>	4	2	4
<b>Horas de operación CHP</b>	<i>horas</i>	5.839	6.371	7.136
<b>Producción de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	212.659	309.858	450.729
<b>Perdidas de acumulación</b>	<i>kWh/a</i>	1.705	691	1.825
<b>Aporte neto de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	210.914	309.167	448.876
<b>Aporte neto de Calor CHP</b>	<i>%</i>			
<b>Aporte de calor Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	77.235	238.138	315.576
<b>Producción de electricidad CHP</b>	<i>kWh/a</i>	84.221	126.005	197.007
<b>Electricidad exportada</b>	<i>kWh/a</i>	20.087	23.757	31.231
<b>Electricidad exportada (vs generada)</b>	<i>%</i>	24%	19%	16%
<b>Electricidad autoconsumida</b>	<i>kWh/a</i>	64.135	102.249	165.777
<b>Electricidad autoconsumida (vs demanda)</b>	<i>%</i>	55%	53%	54%
<b>Consumo de Gas Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	87.074	268.476	355.779
<b>Consumo de Gas CHP</b>	<i>kWh/a</i>	272.140	424.981	614.902
<b>Consumo de Gas Total</b>	<i>kWh/a</i>	359.215	693.457	970.681



		<b>Edificio Pequeños</b>	<b>Edificio Mediano</b>	<b>Edificio Grande</b>
<b>Costo Gas</b>	CLP/a	16.115.032	31.109.752	43.546.504
<b>Costo Electricidad</b>	CLP/a	4.449.568	7.814.780	12.316.470
<b>Ingreso electricidad</b>	CLP/a	1.467.875	1.736.056	2.282.248
<b>Factura Neta Energía</b>	CLP/a	19.096.724	37.188.476	53.580.727
<b>Ahorro respecto a caso de referencia</b>	CLP/a	5.436.254	7.091.374	11.641.045
<b>Ahorro respecto a caso de referencia</b>	%	22,16%	16,01%	17,85%
<b>Costo motor</b>	CLP	42.373.901	53.810.492	72.943.775

## 2.2. Planteamiento de las Centrales de Energía

Se propone construir para este proyecto centrales móviles en contenedores de 20' o 40', pensando, estratégicamente, que, si todo va bien en las zonas a analizar, es decir, San Pedro de Atacama, Pucón, Coyhaique y Punta Arenas, a futuro se podrán construir centrales mayores para alimentar éstos y otros edificios. asimismo, las centrales podrán ser transportadas e instaladas en otras localidades de Chile.



**Ilustración 1. Ejemplo de sala de calderas en contenedor de 40' (fuente [www.profesionalagro.com](http://www.profesionalagro.com))**

Cabe destacar que, operar de esta forma, presenta además otras ventajas. A corto plazo, dentro el ámbito del presente proyecto, utilizar salas de calderas en contenedores, asegura la calidad de los sistemas y evita la mayoría de los riesgos técnicos de ejecución, pues éstas pueden ser ensambladas en una maestranza, probadas y certificadas antes de partir hasta su destino final.

Dados los tamaños de las calderas y equipos de cogeneración, así como de los espacios de seguridad entre ellos, en un contenedor de 20 pies caben esencialmente entre 4 y 5 elementos pequeños o 3 de mayor tamaño, con poca dependencia de su potencia, pues la variación de volumen de una caldera con la potencia es muy menor respecto al volumen de la potencia base. Por lo tanto, se espera que en un contenedor quepan todos los elementos para distintos rangos de potencias. En el caso de que los resultados indiquen la necesidad de equipos adicionales, como

podría ser un segundo equipo de cogeneración -por ejemplo- se evaluará la necesidad de utilizar un segundo contenedor en caso de ser necesario o la utilización de un contenedor de 40 pies.

Es importante mencionar que el presente estudio se desarrolla bajo la lógica de que, si bien el sistema debe conectarse a los equipos existentes en caso de tratarse de un edificio ya construido, los contenedores diseñados consideran todos los equipos requeridos para que el sistema opere con total independencia. Esto porque se pretende anticiparse a la situación de que el sistema existente presente obstáculos para su conexión con los equipos de cogeneración, incluyendo problemas de espacio en las salas de máquinas existentes. Por esta razón, a lo largo del estudio los elementos mencionados se trabajan considerando que para estos efectos un edificio nuevo o existente es lo mismo.

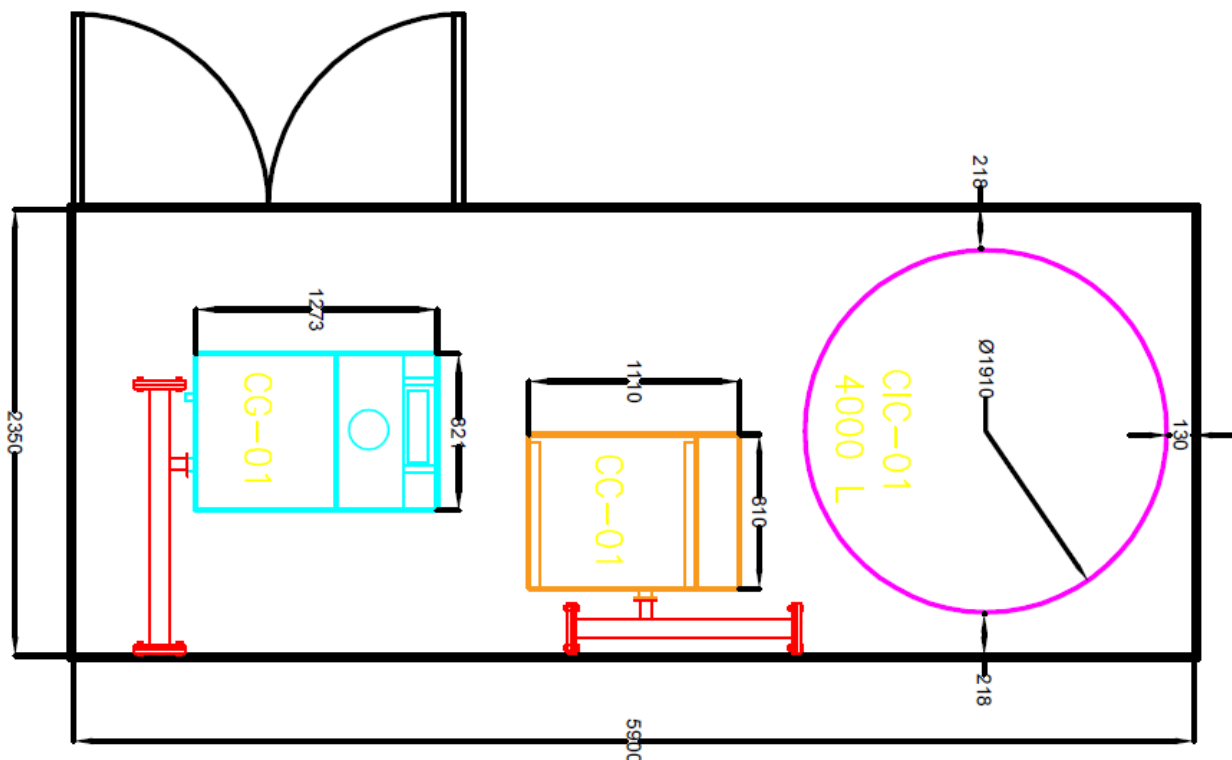


Ilustración 2. Layout de la sala de calderas de un proyecto residencial tipo

### 2.3. Definición de Estrategia de Control

#### Planteamiento General

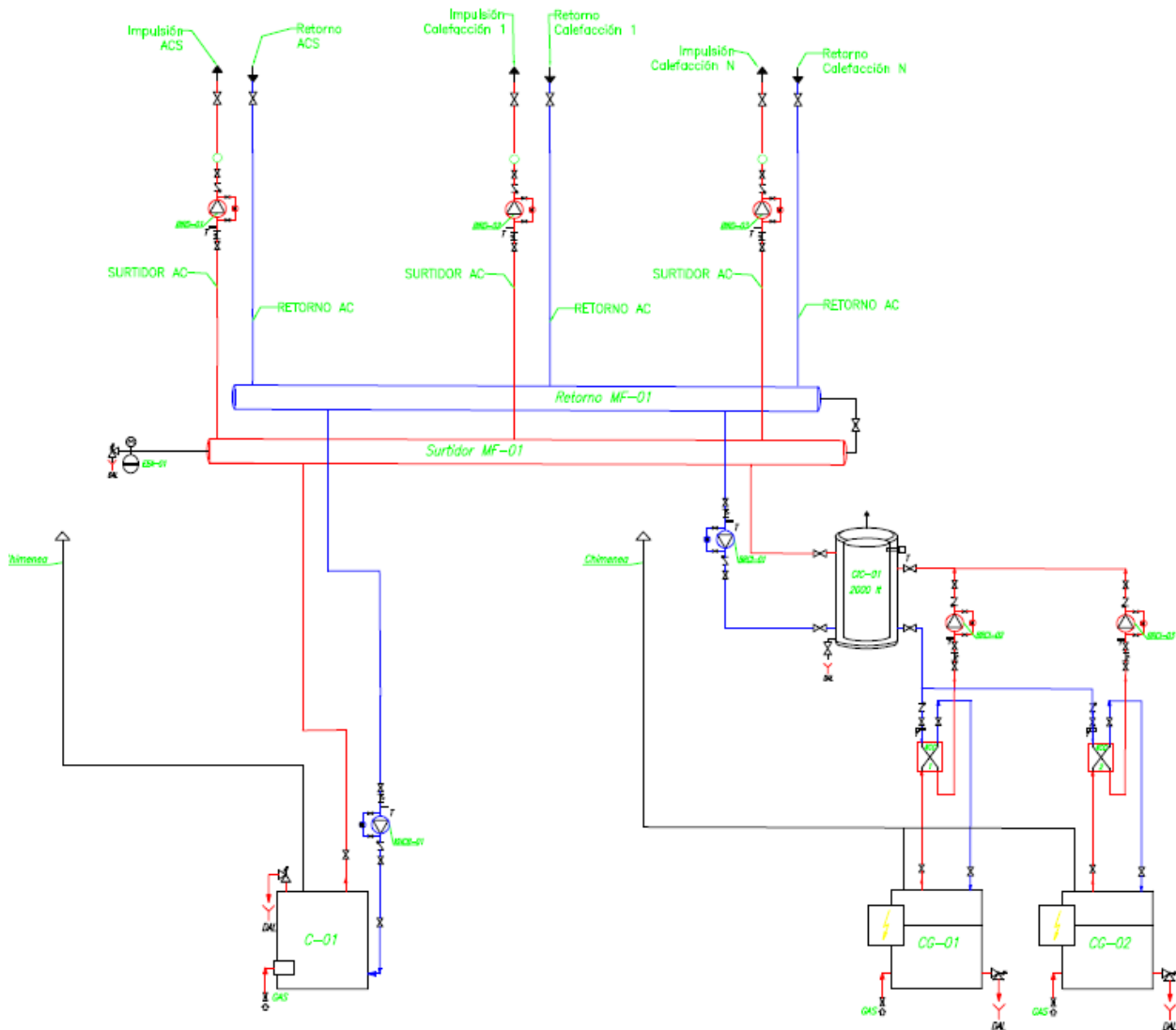
El planteamiento general de funcionamiento para todos los edificios residenciales es que todos los sistemas en este caso funcionarán conectados a la red eléctrica.

La lógica de operación de los sistemas “on-grid” depende principalmente del balance de costos entre combustible y electricidad, del régimen de conexión a la red y de criterios ambientales de diseño. Así, por ejemplo, en los casos en que la electricidad es mucho más costosa que el combustible (del orden de 3 a 1), ya sea en su autoconsumo o venta a la red, podría llegar a ser beneficioso operar la cogeneración sin demanda térmica e, incluso, más allá de su capacidad de almacenamiento, disipando calor al ambiente. Mientras que, en el caso contrario, como sucede mayormente en Chile y en todas las casuísticas objeto de este proyecto (incluso en Punta Arenas) interesa el aprovechamiento total de la energía térmica generada. Por otra parte, la diferencia entre el costo de la electricidad ahorrada y la electricidad vendida a la red condiciona a su vez la rentabilidad de exportarla versus ahorrarla. El actual marco normativo de autoconsumo e

inyección, que penaliza la inyección, hace que la exportación sea menos favorable que el autoconsumo y, por lo tanto, hace recomendable minimizar dicha variable.

Dado lo anterior, para los sistemas “on-grid” se implementará una lógica de control de maximización de horas de operación siguiendo la curva de demanda térmica (thermally driven), optimizando la acumulación térmica para ello y minimizando la electricidad exportada.

Según lo planteado anteriormente, se ha implementado una lógica de funcionamiento que busca lograr el máximo de horas de operación, en base al uso de acumulación de inercia específica para la cogeneración. Así el motor opera siempre que la suma de la potencia demandada y la capacidad del acumulador de inercia sea superior a la potencia térmica mínima del cogenerador y lo hace con dicha potencia. La producción eléctrica cogenerada va a cubrir la demanda del edificio, exportándose la parte sobrante, cuando la demanda es inferior a la producción. Por su parte, el acumulador del sistema de cogeneración suministrará calor al sistema, siempre y cuando tenga carga en el nivel térmico adecuado y la potencia demandada sea superior a la del cogenerador, que tiene prioridad de suministro sobre el acumulador. Finalmente, las calderas convencionales aportan energía siempre y cuando la suma de la potencia del cogenerador y la disponible en el acumulador de inercia no sean suficiente para lograr la temperatura de impulsión de diseño.



**Ilustración 3. Esquema hidráulico genérico de sistema conectado a red, a efectos de control**

A efectos de lógica de control específica, el sistema funciona como sigue:

1. Las bombas de recirculación del sistema de distribución a los distintos consumos de ACS y Calefacción funcionan:
  - a. bajo un horario y calendario establecido, según el caso
  - b. y regula su caudal en función de la carga instantánea, para ajustar la potencia servida a la demanda. Para ello usa como referencia la temperatura de retorno de la recirculación (RETORNO AC) como variable objetivo y varía el caudal, mediante un control PID, para ajustar el salto térmico a las condiciones de diseño. Así, partiendo de un caudal mínimo del orden del 30%, mientras la temperatura de retorno sea inferior a la seteada, la bomba incrementará el caudal hasta lograr dicho ajuste y viceversa.
2. Así como la bomba recirculadora (BIRD-02) debe ajustar la temperatura de retorno, garantizando servicio de potencia y eficiencia de intercambio, los sistemas de generación tienen como objetivo mantener en consigna la temperatura de impulsión (SURTIDOR AC), dando prioridad al sistema de cogeneración.
3. Para asegurar este aporte de potencia:
  - a. Mientras la temperatura en SURTIDOR AC sea inferior a su temperatura de seteo más la histéresis de control,
    - i. Si la temperatura en el acumulador de inercia del sistema de cogeneración (CIC-01) es igual o superior a la consigna de impulsión, se encenderá la bomba BRCI-01, que permitirá el aporte de calor desde el acumulador al sistema
      1. Si bajo este estado, tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra, si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
    - ii. Si no, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
4. Por su parte, el motor de cogeneración (CG-01) y la bomba recirculadora del mismo (BRCI-02) de pondrán en marcha siempre que la temperatura en la parte alta del acumulador de inercia (CIC-01) se inferior a la temperatura de seteo de acumulación (a definir, entre 90 y 95°)

#### **2.4. Disposición de Equipos Eléctricos**

Los equipos de cogeneración destinados para edificios residenciales se ubicarán según disponibilidad física en el recinto mismo, sin embargo, a continuación, se presenta esquemáticamente la ubicación típica de mejor conveniencia técnica-económica.

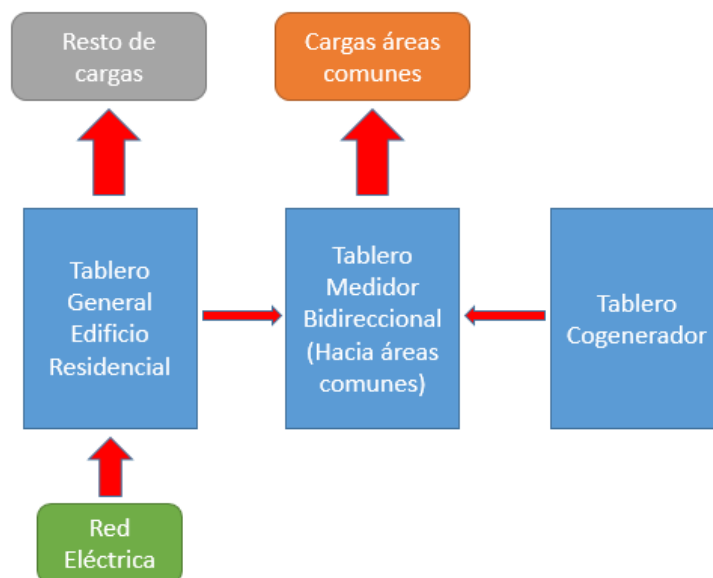
Para el caso de un edificio residencial pequeño, se considera una potencia eléctrica igual a 16 kWe trifásico.

Cabe mencionar que, para el caso de los edificios residenciales, los consumos están destinados a cargas de servicios comunes.



**Ilustración 4. Esquema de disposición de áreas**

Una ubicación de instalación óptima para el equipo cogenerador es estar lo más cerca posible de la sala eléctrica o sala de tableros.



**Ilustración 5. Disposición de tableros en sistema de cogeneración On Grid**

### 3. Diseño de Sistemas de Cogeneración Edificios Hoteleros

#### 3.1. Diseños Seleccionados

De acuerdo a la metodología descrita en el documento de Resumen y Metodología, a continuación, se resumen las principales características de los proyectos seleccionados para esta tipología.

#### Edificios Hoteleros On Grid

Los edificios de uso hoteleros se seleccionaron de forma de elegir un proyecto por cada tamaño, pudiendo elegir entre las localidades propuestas.

Las simulaciones arrojaron el siguiente resultado:

#### Ahorro Factura

	San Pedro	Pucón	Coyhaique	Punta Arenas
Pequeño	19,2%	24,5%	22,4%	29,3%
Mediano	22,3%	27,3%	24,4%	32,5%
Grande	23,9%	27,8%	25,6%	33,1%

#### ROI

	San Pedro	Pucón	Coyhaique	Punta Arenas
Pequeño	30	20	23	16
Mediano	28	19	24	16
Grande	22	16	19	13

El diseño acá presentado es válido para todos aquellos proyectos que contemplen el suministro de calefacción, ACS y electricidad para cada una de las dependencias del hotel. Se debe tener la consideración de que en estos diseños se consideró que la calefacción será provista por completo por el cogenerador, por lo que se desaconseja la instalación de equipos de calefacción anexos, especialmente si éstos son eléctricos. Para hacer uso de los diseños presentados, sólo se requiere que los niveles de demanda de energías térmica y eléctrica se encuentren cercanas a los valores que se indican en la tabla. Se recomienda tener especial cuidado con el suministro de energía térmica, al considerar que también se pueden utilizar calderas de gas, tal como se indica en los diseños a continuación.

Tabla 2. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de hoteles on grid

		Hotel Pequeño	Hotel Mediano	Hotel Grande
<b>Demanda neta de calor</b>	<i>kWh/a</i>	546.191	1.054.240	2.199.029
<b>Pérdidas térmicas de distribución</b>	<i>kWh/a</i>	0	0	0
<b>Demanda total de calor</b>	<i>kWh/a</i>	600.810	1.159.664	2.199.029
<b>Demanda de electricidad</b>	<i>kWh/a</i>	332.377	565.448	1.054.399

		<b>Hotel Pequeño</b>	<b>Hotel Mediano</b>	<b>Hotel Grande</b>
<b>Potencia Térmica Caldera</b>	<i>kW</i>	227	436	822
<b>Potencia Térmica CHP</b>	<i>kW</i>	105,9	109	209
<b>Potencia Eléctrica CHP</b>	<i>kWe</i>	50	70	133,00
<b>Volumen Acumulación</b>	<i>m3</i>	4	4	2
<b>Horas de operación CHP</b>	<i>horas</i>	6.299	8.103	8.323
<b>Producción de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	526.773	798.847	1.501.941
<b>Perdidas de acumulación</b>	<i>kWh/a</i>	1520	709	1
<b>Aporte neto de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	525.172	798.063	1.501.940
<b>Aporte de calor Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	75.638	361.601	697.089
<b>Producción de electricidad CHP</b>	<i>kWh/a</i>	248.713	513.021	955.780
<b>Electricidad exportada</b>	<i>kWh/a</i>	42.645	68.759	132.386
<b>Electricidad exportada (vs generada)</b>	<i>%</i>	17%	13%	14%
<b>Electricidad autoconsumida</b>	<i>kWh/a</i>	206.068	444.262	823.394
<b>Electricidad autoconsumida (vs demanda)</b>	<i>%</i>	62%	79%	78%
<b>Consumo de Gas Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	85.274	407.667	785.896
<b>Consumo de Gas CHP</b>	<i>kWh/a</i>	734.200	1.495.090	2.529.584
<b>Consumo de Gas Total</b>	<i>kWh/a</i>	819.474	1.902.757	3.315.480
<b>Costo Gas</b>	<i>CLP/a</i>	32.511.784	75.489.886	132.619.191
<b>Costo Electricidad</b>	<i>CLP/a</i>	10.850.960	10.410.858	19.845.241
<b>Ingreso electricidad</b>	<i>CLP/a</i>	3.116.349	5.024.676	9,674.408
<b>Factura Neta Energía</b>	<i>CLP/a</i>	40.246.395	80.876.068	142.790.025
<b>Ahorro respecto a caso de referencia</b>	<i>CLP/a</i>	15.180.684	19.570.340	46.958.617
<b>Ahorro respecto a caso de referencia</b>	<i>%</i>	27,39%	19,48%	24,75%
<b>Costo motor</b>	<i>CLP</i>	99.628.690	103.199.646	140.726.790

## Edificios Hoteleros Off Grid

Tabla 3. Detalle de todos los parámetros de interés de cada uno de los diseños seleccionados de hoteles off grid

		<b>Hotel Mediano</b>	<b>Hotel Grande</b>
<b>Demanda neta de calor</b>	<i>kWh/a</i>	625.434	1.369.980
<b>Pérdidas térmicas de distribución</b>	<i>kWh/a</i>	0	0
<b>Demanda total de calor</b>	<i>kWh/a</i>	687.977	1.506.978
<b>Demanda de electricidad</b>	<i>kWh/a</i>	565.448	1.054.399
<b>Potencia Térmica Caldera</b>	<i>kW</i>	350	734
<b>Potencia Térmica CHP</b>	<i>kW</i>	214,50	314,00
<b>Potencia Eléctrica CHP</b>	<i>kWe</i>	140,00	235,00
<b>Volumen Acumulación</b>	<i>m3</i>	8	8



		<b>Hotel Mediano</b>	<b>Hotel Grande</b>
<b>Potencia Disipador</b>	<i>kW</i>	191	303
<b>Horas de operación CHP</b>	<i>horas</i>	8.760	8.760
<b>Producción de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	866.347	1.408.856
<b>Perdidas de acumulación</b>	<i>kWh/a</i>	4.933	3.910
<b>Aporte neto de Calor CHP</b>	<i>kWh/a</i>	589.452	1.054.491
<b>Aporte neto de Calor CHP</b>	<i>%</i>	86%	70%
<b>Aporte de calor Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	98.525	452.487
<b>Calor Disipado</b>	<i>kWh/a</i>	271.777	350.270
<b>Producción de electricidad CHP</b>	<i>kWh/a</i>	565.448	1.054.399
<b>Electricidad exportada</b>	<i>kWh/a</i>	0	0
<b>Electricidad exportada (vs generada)</b>	<i>%</i>	0%	0%
<b>Electricidad autoconsumida</b>	<i>kWh/a</i>	565.448	1.054.399
<b>Electricidad autoconsumida (vs demanda)</b>	<i>%</i>	100%	100%
<b>Horas sin Suministro</b>	<i>horas</i>	0	0
<b>REE</b>	<i>%</i>	83%	87%
<b>Consumo de Gas Caldera</b>	<i>kWh/a</i>	111.077	510.132
<b>Consumo de Gas CHP</b>	<i>kWh/a</i>	1.653.128	2.799.765
<b>Consumo de Gas Total</b>	<i>kWh/a</i>	1.764.205	3.309.898
<b>Costo Gas</b>	<i>CLP/a</i>	79.145.442	148.488.046
<b>Factura Neta Energía</b>	<i>CLP/a</i>	79.145.442	148.488.046
<b>Costo motor</b>	<i>CLP</i>	215.718.351	318.170.159
<b>Costo acumulador</b>	<i>CLP</i>	7.076.945	15.472.848
<b>Total Inversión</b>	<i>CLP</i>	448.739.188	670.853.891

### 3.2. Planteamiento de las Centrales de Energía

Se propone construir para este proyecto centrales móviles en contenedores de 20' o 40', pensando, estratégicamente, que, si todo va bien en las zonas a analizar, es decir, San Pedro de Atacama, Pucón, Coyhaique y Punta Arenas, a futuro se podrán construir centrales mayores para alimentar éstos y otros edificios. asimismo, las centrales podrán ser transportadas e instaladas en otras localidades de Chile.





**Ilustración 6. Ejemplo de sala de calderas en contenedor de 40' (fuente [www.profesionalagro.com](http://www.profesionalagro.com))**

Cabe destacar que, operar de esta forma, presenta además otras ventajas. A corto plazo, dentro del ámbito del presente proyecto, utilizar salas de calderas en contenedores, asegura la calidad de los sistemas y evita la mayoría de los riesgos técnicos de ejecución, pues éstas pueden ser ensambladas en una maestranza, probadas y certificadas antes de partir hasta su destino final.

Dados los tamaños de las calderas y equipos de cogeneración, así como de los espacios de seguridad entre ellos, en un contenedor de 20 pies caben esencialmente entre 4 y 5 elementos pequeños o 3 de mayor tamaño, con poca dependencia de su potencia, pues la variación de volumen de una caldera con la potencia es muy menor respecto al volumen de la potencia base. Por lo tanto, se espera que en un contenedor quepan todos los elementos para distintos rangos de potencias. En el caso de que los resultados indiquen la necesidad de equipos adicionales, como podría ser un segundo equipo de cogeneración -por ejemplo- se evaluará la necesidad de utilizar un segundo contenedor en caso de ser necesario o la utilización de un contenedor de 40 pies.

Es importante mencionar que el presente estudio se desarrolla bajo la lógica de que, si bien el sistema debe conectarse a los equipos existentes en caso de tratarse de un edificio ya construido, los contenedores diseñados consideran todos los equipos requeridos para que el sistema opere con total independencia. Esto porque se pretende anticiparse a la situación de que el sistema existente presente obstáculos para su conexión con los equipos de cogeneración, incluyendo problemas de espacio en las salas de máquinas existentes. Por esta razón, a lo largo del estudio los elementos mencionados se trabajan considerando que para estos efectos un edificio nuevo o existente es lo mismo.

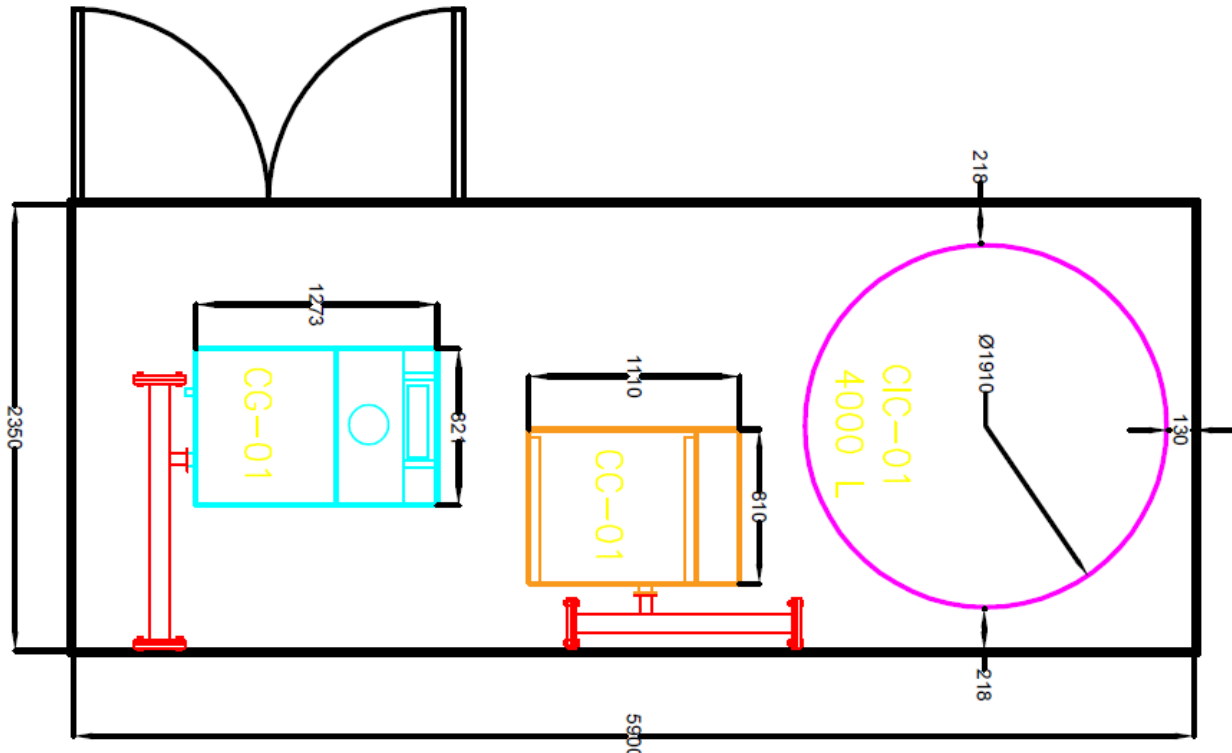


Ilustración 7. Layout de la sala de calderas de un proyecto residencial tipo

### 3.3. Definición de Estrategia de Control

#### Planteamiento General

Según se ha mencionado anteriormente, se han diseñado sistemas bajo dos lógicas distintas de operación, condicionadas en su origen por el acceso o no a la red eléctrica.

Por un lado, se han diseñado sistemas conectados a la red, trabajando en paralelo con la misma, conocidos también como sistemas “on-grid”, mientras que por otro ha sido necesario plantear y diseñar sistemas para ubicaciones sin acceso a la red eléctrica, los cuales deben operar en isla, y los que se denominan también “off-grid”.

La lógica de operación de los sistemas “on-grid” depende principalmente del balance de costos entre combustible y electricidad, del régimen de conexión a la red y de criterios ambientales de diseño. Así, por ejemplo, en los casos en que la electricidad es mucho más costosa que el combustible (del orden de 3 a 1), ya sea en su autoconsumo o venta a la red, podría llegar a ser beneficioso operar la cogeneración sin demanda térmica e, incluso, más allá de su capacidad de almacenamiento, disipando calor al ambiente. Mientras que, en el caso contrario, como sucede mayormente en Chile y en todas las casuísticas objeto de este proyecto (incluso en Punta Arenas) interesa el aprovechamiento total de la energía térmica generada. Por otra parte, la diferencia entre el costo de la electricidad ahorrada y la electricidad vendida a la red condiciona a su vez la rentabilidad de exportarla versus ahorrarla. El actual marco normativo de autoconsumo e inyección, que penaliza la inyección, hace que la exportación sea menos favorable que el autoconsumo y, por lo tanto, hace recomendable minimizar dicha variable.

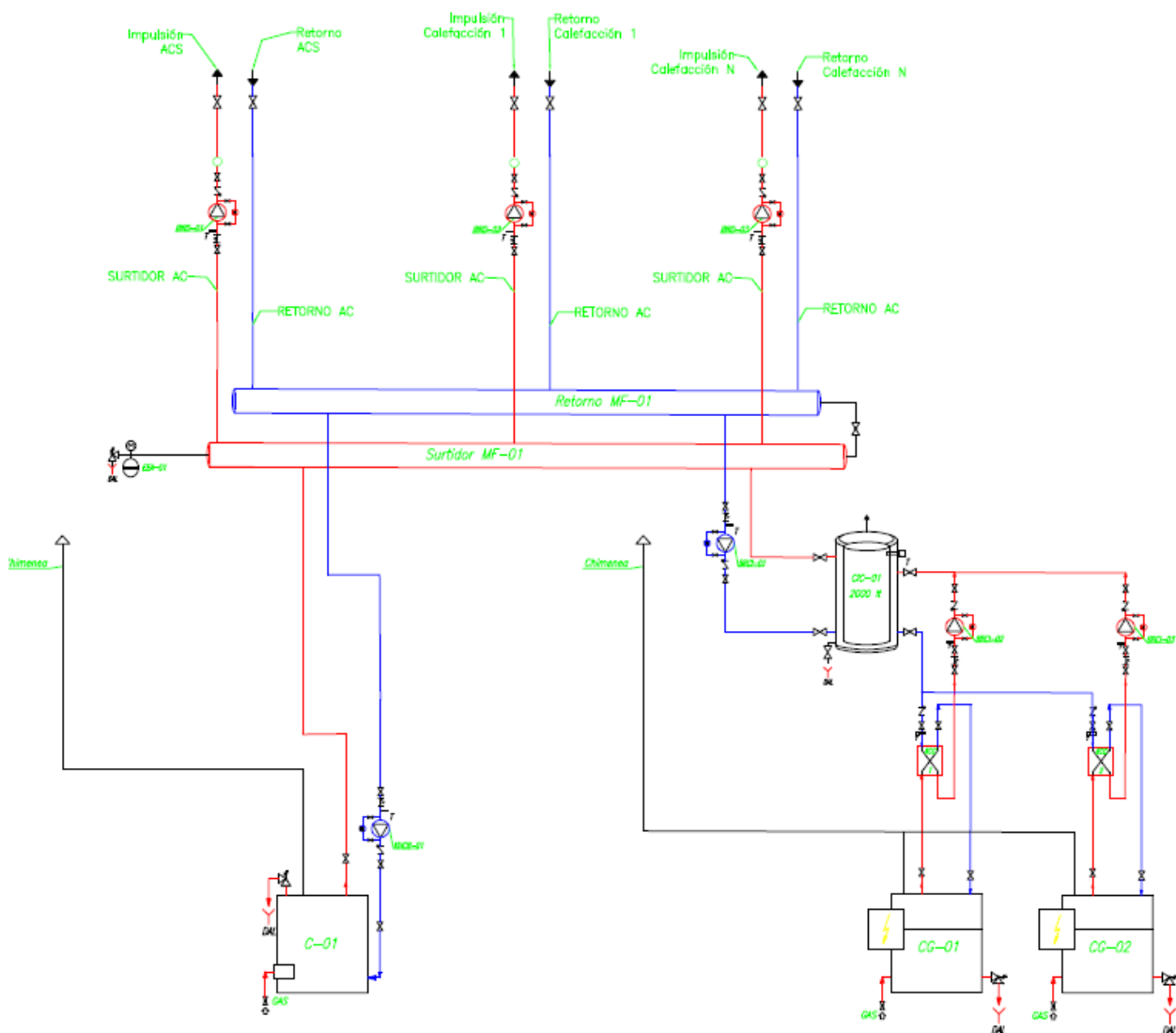
Dado lo anterior, para los sistemas “on-grid” se implementará una lógica de control de maximización de horas de operación siguiendo la curva de demanda térmica (thermally driven), optimizando la acumulación térmica para ello y minimizando la electricidad exportada.

Por otro lado, los sistemas “off-grid” tienen su cometido principal en generar toda la demanda eléctrica requerida, segundo a segundo, independientemente de la existencia simultánea de demanda térmica o de capacidad de acumulación térmica, debiendo disipar el calor generado cuando es imposible consumirlo o acumularlo. Por el contrario, dada la inexistencia de red o acumulación eléctrica, el sistema no puede operar para producir calor si no hay demanda eléctrica.

Dado lo anterior, para los sistemas “off-grid” se implementará una lógica de control de seguimiento de la curva de demanda eléctrica y se buscará optimizar el volumen de acumulación para minimizar el calor sobrante, que será disipado por un sistema de aros convectores diseñados ad-hoc.

### **3.3.1. Lógica de control para sistemas conectados a red**

Según lo planteado anteriormente, se ha implementado una lógica de funcionamiento que busca lograr el máximo de horas de operación, en base al uso de acumulación de inercia específica para la cogeneración. Así el motor opera siempre que la suma de la potencia demandada y la capacidad del acumulador de inercia sea superior a la potencia térmica mínima del cogenerador y lo hace con dicha potencia. La producción eléctrica cogenerada va a cubrir la demanda del edificio, exportándose la parte sobrante, cuando la demanda es inferior a la producción. Por su parte, el acumulador del sistema de cogeneración suministrará calor al sistema, siempre y cuando tenga carga en el nivel térmico adecuado y la potencia demandada sea superior a la del cogenerador, que tiene prioridad de suministro sobre el acumulador. Finalmente, las calderas convencionales aportan energía siempre y cuando la suma de la potencia del cogenerador y la disponible en el acumulador de inercia no sean suficientes para lograr la temperatura de impulsión de diseño.



**Ilustración 8. Esquema hidráulico genérico de sistema conectado a red, a efectos de control**

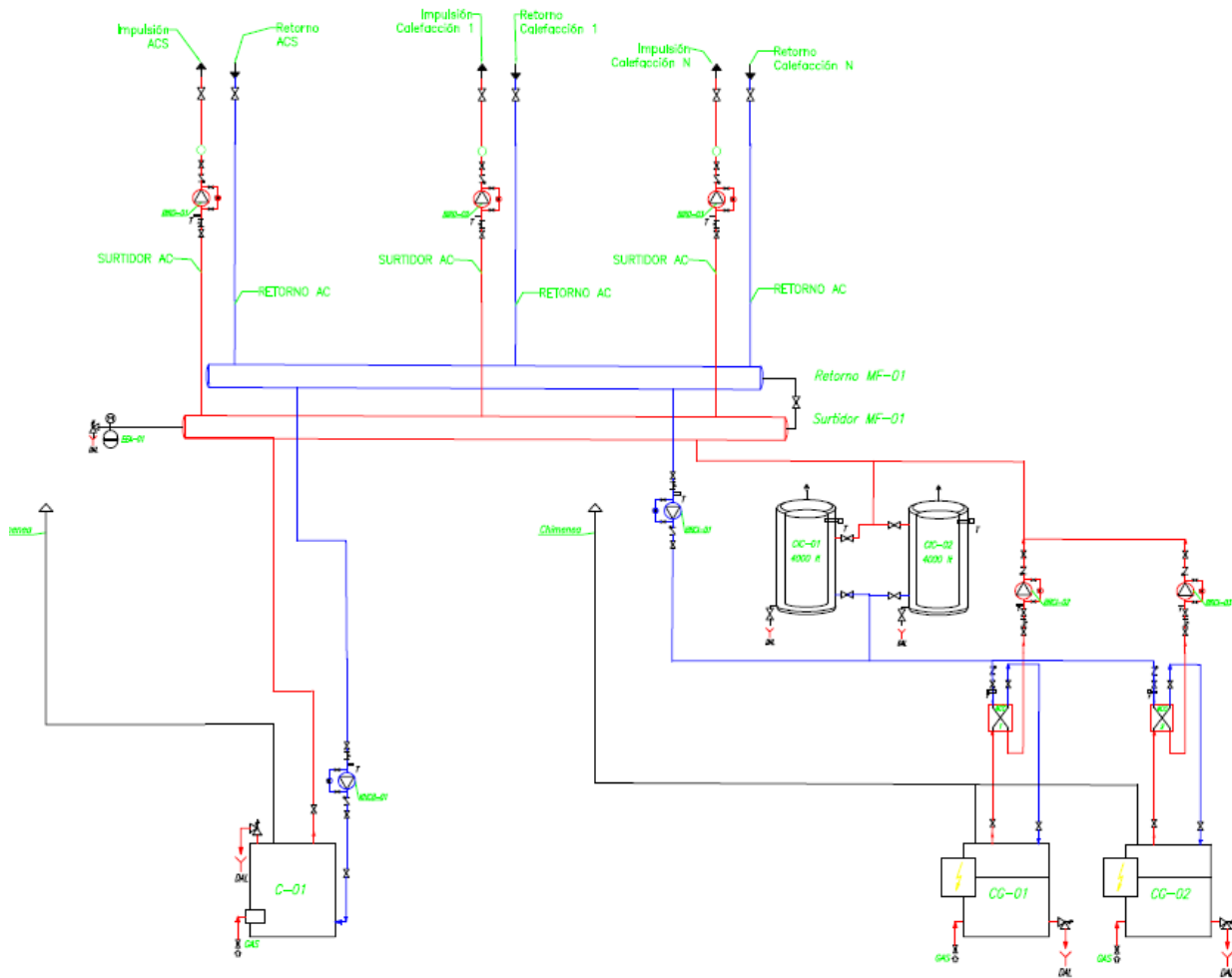
A efectos de lógica de control específica, el sistema funciona como sigue:

5. Las bombas de recirculación del sistema de distribución a los distintos consumos de ACS y Calefacción funcionan:
  - a. bajo un horario y calendario establecido, según el caso
  - b. y regula su caudal en función de la carga instantánea, para ajustar la potencia servida a la demanda. Para ello usa como referencia la temperatura de retorno de la recirculación (RETORNO AC) como variable objetivo y varía el caudal, mediante un control PID, para ajustar el salto térmico a las condiciones de diseño. Así, partiendo de un caudal mínimo del orden del 30%, mientras la temperatura de retorno sea inferior a la seteada, la bomba incrementará el caudal hasta lograr dicho ajuste y viceversa.
6. Así como la bomba recirculadora (BIRD-02) debe ajustar la temperatura de retorno, garantizando servicio de potencia y eficiencia de intercambio, los sistemas de generación tienen como objetivo mantener en consigna la temperatura de impulsión (SURTIDOR AC), dando prioridad al sistema de cogeneración.
7. Para asegurar este aporte de potencia:

- a. Mientras la temperatura en SURTIDOR AC sea inferior a su temperatura de seteo más la histéresis de control,
  - i. Si la temperatura en el acumulador de inercia del sistema de cogeneración (CIC-01) es igual o superior a la consigna de impulsión, se encenderá la bomba BRCI-01, que permitirá el aporte de calor desde el acumulador al sistema
    1. Si bajo este estado, tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra, si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
  - ii. Si no, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
8. Por su parte, el motor de cogeneración (CG-01) y la bomba recirculadora del mismo (BRCI-02) de pondrán en marcha siempre que la temperatura en la parte alta del acumulador de inercia (CIC-01) se inferior a la temperatura de seteo de acumulación (a definir, entre 90 y 95°)

### 3.3.2. Lógica de control para sistemas en isla

Por su parte, para el caso en isla, se ha implementado una lógica de funcionamiento que busca lograr el máximo aprovechamiento térmico de la cogeneración, que opera siguiendo la curva de demanda eléctrica. Así el motor opera siempre que exista demanda eléctrica, suministrando el 100% de la demanda. El calor generado simultáneamente, es servido, por este orden de prioridad a (1) la demanda instantánea de calor, (2) el acumulador de inercia y (3) el disipador de calor. Por su parte, la demanda térmica tomará energía, también por orden de prioridad (1) del cogenerador, (2) del acumulador o (3) de las calderas



**Ilustración 9. Esquema hidráulico genérico de sistema en isla, a efectos de control**

A efectos de lógica de control específica, el sistema funciona como sigue:

1. Las bombas de recirculación del sistema de distribución a los distintos consumos de ACS y Calefacción funcionan:
  - a. bajo un horario y calendario establecido, según el caso
  - b. y regula su caudal en función de la carga instantánea, para ajustar la potencia servida a la demanda. Para ello usa como referencia la temperatura de retorno de la recirculación (RETORNO AC) como variable objetivo y varía el caudal, mediante un control PID, para ajustar el salto térmico a las condiciones de diseño. Así, partiendo de un caudal mínimo del orden del 30%, mientras la temperatura de retorno sea inferior a la seteada, la bomba incrementará el caudal hasta lograr dicho ajuste y viceversa.
2. Así como la bomba recirculadora (BIRD-02) debe ajustar la temperatura de retorno, garantizando servicio de potencia y eficiencia de intercambio, los sistemas de generación tienen como objetivo mantener en consigna la temperatura de impulsión (SURTIDOR AC), dando prioridad al sistema de cogeneración.
3. Para asegurar este aporte de potencia:
  - a. Mientras la temperatura en SURTIDOR AC sea inferior a su temperatura de seteo más la histéresis de control,
    - i. Si la temperatura en el acumulador de inercia del sistema de cogeneración (CIC-01) es igual o superior a la consigna de impulsión, se encenderá la

bomba BRCI-01, que permitirá el aporte de calor desde el acumulador al sistema

1. Si bajo este estado, tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra, si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
- ii. Si no, se pondrán en marcha las calderas de apoyo y sus respectivas bombas (KHCB) de forma escalonada, encendiendo primero una y después la otra si tras un período de tiempo ( $\tau$  del sistema a calcular) no se logra la temperatura de seteo en SURTIDOR AC
4. Por su parte, el motor de cogeneración (CG-01) y la bomba recirculadora del mismo (BRCI-02) de pondrán en marcha siempre exista demanda eléctrica, modulando su potencia a la misma, siempre que la temperatura en la parte alta del acumulador de inercia (CIC-01) se inferior a la temperatura de emergencia del acumulador (a definir, entre 90°C y 95°C)
5. Finalmente, el disipador de calor actuará siempre que la temperatura en la parte alta del acumulador de inercia (CIC-01) sea superior a la temperatura de emergencia del acumulador menos un  $\Delta T$  a definir, del orden de 5K)

### 3.4. Disposición de Equipos Para Edificios Hoteleros

#### 3.4.1. Edificios Hoteleros Conectados a la Red

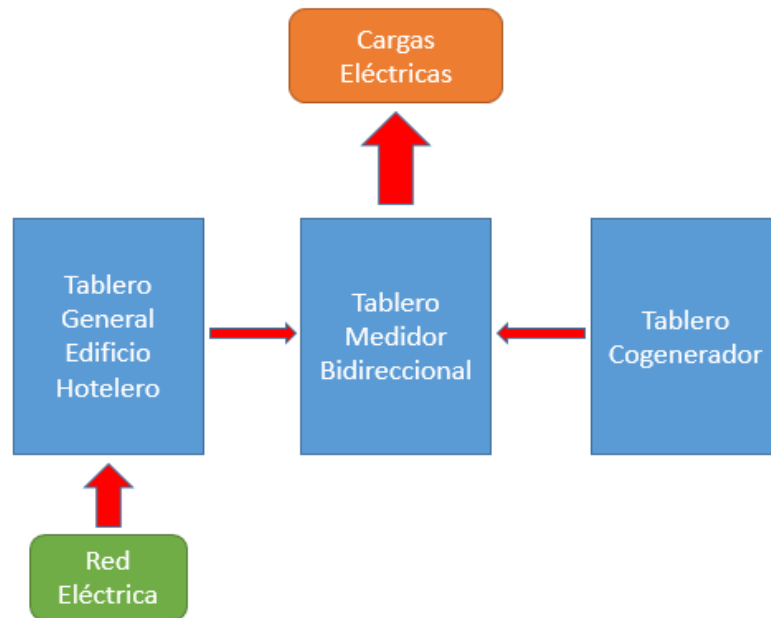
Para los equipos de cogeneración On Grid, destinados para edificios de uso hotelero, se ubicarán según disponibilidad física en el recinto mismo, sin embargo, a continuación se presenta, esquemáticamente, la ubicación típica de mejor conveniencia técnica-económica.

Para hoteles pequeños On Grid, se considera potencias de equipo igual a 66 kW<sub>e</sub>



**Ilustración 10. Disposición de equipo cogenerador, en recinto**

Al igual que para un sistema Off Grid, una ubicación de instalación óptima para el equipo cogenerador es estar lo más cerca posible de la sala eléctrica o sala de tableros.



**Ilustración 11. Disposición de equipos en sistema de cogeneración**

### 3.4.2. Edificios Hoteleros en isla

Los equipos de cogeneración Off Grid, destinados para edificios de uso hotelero, se ubicarán según disponibilidad física en el recinto mismo, sin embargo, a continuación se presenta esquemáticamente la ubicación típica de mejor conveniencia técnica-económica.

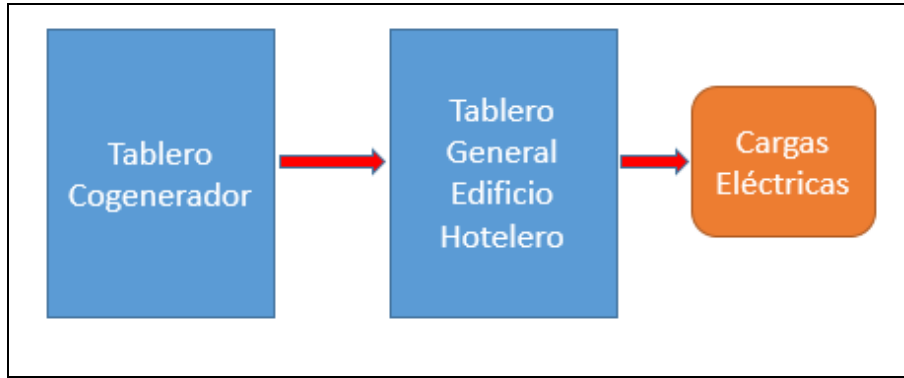
Para hoteles medianos Off Grid, se considera potencias de equipo igual a 144 kWe.



**Ilustración 12. Disposición de equipo cogenerador, en recinto**

Una ubicación de instalación óptima para el equipo cogenerador es estar lo más cerca posible de la sala eléctrica o sala de tableros.





**Ilustración 13. Disposición de tableros en sistema de cogeneración Off Grid**

