

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
**Departamento Ingeniería Civil**

ASIGNATURA  
**PROYECTO FINAL**

# **ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR SUSTENTABLE**

AUTOR  
**RENZO MANCINELLI**

RAFAELA (SF), junio de 2020.







# **ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR SUSTENTABLE**

PROYECTO FINAL

ELABORADO POR

**RENZO MANCINELLI**

BAJO LA DIRECCIÓN DE

ING. CIVIL **HUGO F. BEGLIARDO**

# ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR SUSTENTABLE

Ing. Civil Hugo F. BEGLIARDO Director

## ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR SUSTENTABLE

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN		
Jurado	Jurado Presidente	Jurado

# PRÓLOGO

En el presente trabajo se estudiará un complejo de departamentos a ejecutarse en Rafaela, cuyo propietario busca construir de la forma más sustentable posible, dentro de lo económicamente viable.

El motivo por el cual elegí esta obra para mi Proyecto Final, es mi interés por el diseño y ejecución de construcciones sustentables, específicamente en emprendimientos residenciales.

No se desarrollará el diseño arquitectónico ni el cálculo estructural. Si bien son temas fundamentales que cualquier ingeniero civil debe dominar, prefiero dedicar el último trabajo de mi etapa estudiantil abocándome a un tema sobre el que desearía haber tenido más instrucción durante la misma y no quiero dejar pendiente: la Sustentabilidad.

# ÍNDICE

PRÓLOGO .....	iv
ÍNDICE .....	v
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras .....	xii
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA OBRA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. ASPECTOS A ANALIZAR.....	1
1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	3
CAPÍTULO 2: COMPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURA METÁLICA Y ESTRUCTURA DE HORMIGÓN.....	5
2.1. INTRODUCCIÓN .....	5
2.2. ENERGÍA.....	6
2.3. SOLICITACIONES Y DIMENSIONAMIENTO.....	7
2.3.1. Análisis de la losa .....	7
2.3.1.1. Análisis de cargas.....	8
2.3.2. Solicitaciones en la viga .....	9
2.3.2.1. Viga de hormigón.....	10
2.3.2.2. Viga de acero .....	12
2.3.3. Solicitaciones en columna .....	12
2.3.3.1. Columna de hormigón .....	13
2.3.3.2. Columna de acero .....	14
2.3.4. Comparación de peso de las estructuras de hormigón y de acero.....	14
2.4. COMPARACIÓN DE TRANSPORTE DE LAS ALTERNATIVAS .....	15
2.5. ENERGÍA CONTENIDA .....	20
2.5.1. Importancia de la energía contenida.....	20
2.6. COSTO .....	22
2.7. RECICLAJE .....	24
2.7.1. Reciclaje de hormigón .....	24
2.7.1.1. Hormigón Reciclado en Rafaela .....	25
2.7.2. Reciclaje de acero estructural.....	26
2.7.3. Resultado .....	27

2.8. CONCLUSIONES .....	27
CAPÍTULO 3: REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES .....	29
3.1. ANTECEDENTES .....	29
3.2. PROPUESTA/HIPÓTESIS .....	29
3.3. CONSIDERACIONES .....	30
3.4. ALTERNATIVAS .....	30
3.5. DESARROLLO .....	32
3.5.1. Cañerías internas .....	32
3.5.2. Bajadas .....	33
3.5.3. Alimentación de tanques de reserva .....	34
3.5.4. Resumen de resultados .....	35
3.5.5. Evacuación .....	35
3.5.6. Otros elementos que deben agregarse .....	36
3.5.7. Casos testigo .....	37
3.6. CONCLUSIONES .....	38
CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN EN SECO .....	39
4.1. INTRODUCCIÓN .....	39
4.1.1. Desventajas de los ladrillos .....	39
4.1.2. Construcción en seco .....	40
4.2. MUROS CONVENCIONALES Y MUROS STEEL-FRAME .....	41
4.2.1. Comparación de peso de distintos cerramientos .....	41
4.2.2. Muros de ladrillo .....	42
4.2.3. Muros de 20 cm .....	43
4.2.4. Muros de 10 cm .....	44
4.2.5. Muros de construcción en seco .....	44
4.2.5.1. Muro interior .....	45
4.2.5.2. Muro exterior .....	46
4.3. LOSA DE HORMIGÓN Y LOSA ALIVIANADA .....	47
4.4. RECICLAJE .....	49
4.4.1. Reciclaje de ladrillos .....	49
4.4.1.1. Resultados de ensayos realizados .....	50
4.4.2 Reciclaje de yeso .....	50

4.5. CONCLUSIONES .....	52
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AISLANTES.....	53
5.1. INTRODUCCIÓN .....	53
5.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AISLANTES DEL PROYECTO .....	54
5.3. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS MUROS .....	55
5.3.1. Muros exteriores.....	55
5.3.2. Muros divisorios interiores.....	58
5.4. CAPACIDAD AISLANTE DE LOSAS Y CUBIERTA .....	60
5.4.1. Losas macizas.....	60
5.4.2. Losas alivianadas en obra.....	61
5.4.2.1. Cielorraso aplicado.....	62
5.4.2.2. Cielorraso suspendido.....	63
5.4.3. Cubierta.....	66
5.5. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA TRANSMISIÓN TÉRMICA .....	68
5.5.1. Condición de verano.....	69
5.5.2. Condición de invierno.....	69
5.5.3. Análisis de resultados.....	71
5.5.3.1. Muros .....	71
5.5.3.2. Cubierta.....	72
5.6. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR LA ENVOLVENTE .....	72
5.6.1. Muro medianero en verano.....	73
5.6.2. Aislación para distintas composiciones de los muros.....	74
5.6.3. Renovación de aire.....	75
5.7. COEFICIENTE VOLUMÉTRICO G .....	76
CAPÍTULO 6: ENERGÍA SOLAR.....	81
6.1. INTRODUCCIÓN .....	81
6.2. TERMOTANQUES SOLARES .....	81
6.2.1 Principios de funcionamiento.....	82
6.2.2. Obra analizada .....	84
6.3. ENERGÍA ELÉCTRICA.....	84
6.3.1. Costo de una instalación tipo.....	85

6.3.2. Obra analizada .....	85
CAPÍTULO 7: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	87
7.1. INTRODUCCIÓN .....	87
7.2. DEFINICIONES.....	87
7.3. IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES IMPACTOS .....	88
7.4. METODOLOGÍAS .....	88
7.5. MOMENTO DE INCORPORACIÓN .....	89
7.6. MATRIZ DE LEOPOLD .....	89
7.6.1. Métodos de análisis más usuales .....	89
7.6.1.1. Clasificación de los métodos más utilizados .....	89
7.6.2. Metodología a aplicar – Matriz Semicuantitativa Prognos II .....	90
7.7. MARCO LEGAL .....	94
7.7.1. Leyes nacionales.....	94
7.7.2. Leyes provinciales .....	96
7.8. RESULTADOS.....	96
BIBLIOGRAFÍA .....	97
ANEXO A: USO RACIONAL DEL AGUA.....	99
ANEXO B: CLIMATIZACIÓN SOLAR .....	101
LA ACUMULACIÓN DE CALOR .....	106
BOMBA DE CALOR.....	107
Coeficiente de eficiencia.....	109
CoP real .....	109
Viabilidad de la bomba de calor.....	110
Tipos de bomba de calor .....	111
REFRIGERACIÓN SOLAR .....	111
Análisis de los rendimientos .....	113
ANEXO C: PRESUPUESTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	115
ANEXO D: PLANOS.....	117

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Análisis de peso propio en losa de estudio.....	8
<b>Tabla 2.</b> Análisis de cargas en losa de estudio.....	9
<b>Tabla 3.</b> Comparación de peso de las estructuras.....	15
<b>Tabla 4.</b> Dosaje H <sup>0</sup> para bomba en Rafaela .....	16
<b>Tabla 5.</b> Dosaje de H <sup>0</sup> para canaleta en Rafaela.....	16
<b>Tabla 6.</b> Dosaje H <sup>0</sup> Rafaela .....	17
<b>Tabla 7.</b> Dosaje H <sup>0</sup> Sunchales.....	17
<b>Tabla 8.</b> Dosaje H-30 promedio.....	17
<b>Tabla 9.</b> Transporte requerido por los materiales componentes de 1 m <sup>3</sup> de hormigón H-30 de dosaje promedio.....	18
<b>Tabla 10.</b> Transporte requerido para la elaboración del hormigón necesario para un metro lineal de viga y de columna .....	18
<b>Tabla 11.</b> Transporte requerido por el acero necesario para la armadura de un metro lineal de viga y de columna .....	19
<b>Tabla 12.</b> Transporte de materiales total por metro lineal para una viga y una columna de hormigón armado .....	19
<b>Tabla 13.</b> Transporte necesario por metro lineal de viga y columna de acero, proveniente de Brasil .....	19
<b>Tabla 14.</b> Reducción porcentual de transporte unitario para elementos de acero.....	19
<b>Tabla 15.</b> Costo de materiales de elementos de hormigón y acero .....	23
<b>Tabla 16.</b> Recorrido interno de cañerías sin reutilización de aguas grises .....	32
<b>Tabla 17.</b> Recorrido interno de cañerías con reutilización de aguas grises .....	33
<b>Tabla 18.</b> Bajadas de distribución y cañerías de alimentación de tanques elevados sin reutilización de A <sup>0</sup> G <sup>0</sup> .....	33
<b>Tabla 19.</b> Bajadas de distribución y cañerías de alimentación de tanques elevados con reutilización de A <sup>0</sup> G <sup>0</sup> .....	34
<b>Tabla 20.</b> Alimentación de los depósitos de techo reutilización de aguas grises .....	sin 34
<b>Tabla 21.</b> Alimentación de los depósitos de techo reutilización de aguas grises .....	con 34
<b>Tabla 22.</b> Incremento de longitud de cañerías con instalación de Aguas Grises .....	35
<b>Tabla 23.</b> Recorridos desagües sin instalación de A <sup>0</sup> G <sup>0</sup> .....	35
<b>Tabla 24.</b> Recorridos desagües con instalación de A <sup>0</sup> G <sup>0</sup> .....	36
<b>Tabla 25.</b> Peso de componentes en muros de ladrillo común.....	43

<b>Tabla 26.</b> Peso de muros de ladrillo hueco de 20 cm .....	43
<b>Tabla 27.</b> Peso de muros de ladrillo hueco de 10 cm .....	44
<b>Tabla 28.</b> Peso por m <sup>2</sup> de los componentes del sistema .....	46
<b>Tabla 29.</b> Peso por m <sup>2</sup> de los componentes del sistema .....	47
<b>Tabla 30.</b> Resumen y comparación de valores.....	47
<b>Tabla 31.</b> Peso por m <sup>2</sup> de la losa alivianada.....	49
<b>Tabla 32.</b> Cálculo de K para muro de ladrillo común .....	55
<b>Tabla 33.</b> Cálculo de K para muro de ladrillo común .....	56
<b>Tabla 34.</b> Cálculo de K para muro de ladrillo común .....	56
<b>Tabla 35.</b> Muro de <i>Steel-framing</i> con lana de vidrio .....	57
<b>Tabla 36.</b> Reducción de transmitancia de las distintas variables .....	57
<b>Tabla 37.</b> Cálculo de K para muros divisores .....	58
<b>Tabla 38.</b> Cálculo de K para muros de ladrillos huecos .....	58
<b>Tabla 39.</b> Muros ejecutados en la obra real.....	59
<b>Tabla 40.</b> Muros como los de la obra estudiada .....	59
<b>Tabla 41.</b> Reducción de transmitancia de las distintas variables .....	59
<b>Tabla 42.</b> Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso aplicado .....	60
<b>Tabla 43.</b> Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso suspendido y calor ascendente (invierno).....	60
<b>Tabla 44.</b> Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso suspendido y calor descendente (verano).....	61
<b>Tabla 45.</b> Características aislantes de la zona 1 .....	62
<b>Tabla 46.</b> Características aislantes de la zona 2 .....	63
<b>Tabla 47.</b> Características aislantes de la zona 3 .....	63
<b>Tabla 48.</b> Características aislantes con calor ascendente en zona 1.....	64
<b>Tabla 49.</b> Características aislantes con calor ascendente en zona 2.....	64
<b>Tabla 50.</b> Características aislantes con calor ascendente en zona 3.....	64
<b>Tabla 51.</b> Características aislantes con calor descendente en zona 1.....	65
<b>Tabla 52 .</b> Características aislantes con calor descendente en zona 2.....	65
<b>Tabla 53.</b> Características aislantes con calor descendente en zona 3.....	65
<b>Tabla 54.</b> Resumen de resultados.....	66
<b>Tabla 55.</b> Transmitancia térmica con calor ascendente en la cubierta.....	66
<b>Tabla 56.</b> Transmitancia térmica con calor ascendente en el cielorraso.....	67
<b>Tabla 57.</b> Transmitancia térmica con calor descendente en la cubierta.....	67
<b>Tabla 58.</b> Transmitancia térmica con calor descendente en el cielorraso.....	67

<b>Tabla 59.</b> Resumen de valores.....	68
<b>Tabla 60.</b> Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros.....	69
<b>Tabla 61.</b> Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para techos .....	69
<b>Tabla 62.</b> Datos climáticos de invierno .....	69
<b>Tabla 63.</b> Valores de $K_{MÁX ADM}$ para condición de invierno .....	71
<b>Tabla 64.</b> Valores de transmitancia térmica.....	71
<b>Tabla 65.</b> Valores de cubierta para invierno .....	72
<b>Tabla 66.</b> Valores de cubierta para invierno .....	72
<b>Tabla 67.</b> Condiciones aislantes de muros convencionales.....	74
<b>Tabla 68.</b> Condiciones aislantes de los muros ejecutados en la obra.....	75
<b>Tabla 69.</b> Condiciones aislantes usando materiales aislantes de alta calidad .....	75
<b>Tabla 70.</b> Discriminación de los impactos según sus características.....	91
<b>Tabla 71.</b> Síntesis de los resultados de la matriz.....	92
<b>Tabla 72.</b> Discriminación de los impactos <b>positivos</b> y <b>negativos</b> según sus características.....	93

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Emplazamiento de la obra .....	3
<b>Figura 2.</b> Esquema losa alivianada .....	7
<b>Figura 3.</b> Departamento A 1º y 2º piso .....	8
<b>Figura 4.</b> Esquema viga ejemplo.....	9
<b>Figura 5.</b> Ubicación viga ejemplo .....	10
<b>Figura 6.</b> Detalle viga de hormigón .....	12
<b>Figura 7.</b> Dimensiones perfil IPW200.....	12
<b>Figura 8.</b> Ubicación columna ejemplo .....	13
<b>Figura 9.</b> Detalle columna de hormigón .....	14
<b>Figura 10.</b> Dimensiones perfil IPW150.....	14
<b>Figura 11.</b> Estructura metálica de la obra en la primera planta. ....	16
<b>Figuras 12 y 13.</b> Escombros de hormigón .....	24
<b>Figura 14.</b> Rotura de hormigón de demolición .....	25
<b>Figura 15.</b> Resistencias a la compresión .....	26
<b>Figura 16.</b> Comparación de hormigones no estructurales .....	26
<b>Figuras 17 y 18.</b> Ejemplos de diseño de inodoros combinado con lavamanos .....	31
<b>Figura 19.</b> Sistema ReFlow.....	31
<b>Figura 20.</b> Diagramación de los tanques de reserva y cisterna de agua de pozo y aguas grises .....	36
<b>Figura 21.</b> Diagramación alternativa.....	37
<b>Figura 22.</b> Imagen tomada en la obra analizada durante la ejecución de los cerramientos y revestimientos interiores. ....	40
<b>Figura 23.</b> Esquema muro de ladrillos comunes .....	42
<b>Figura 24.</b> Esquema muro de ladrillos huecos de 20 cm.....	43
<b>Figura 25.</b> Esquema muro de ladrillos huecos de 10 cm.....	44
<b>Figura 26.</b> Diagrama de muro divisor interior de placas de yeso.....	45
<b>Figura 27.</b> Corte horizontal de muros exteriores con placas cementicias.....	46
<b>Figura 28.</b> Esquema losa alivianada .....	48
<b>Figura 29.</b> Sección de los bloques de EPS .....	48
<b>Figura 30.</b> Sección de las viguetas de hormigón.....	48
<b>Figura 31.</b> Yeso de aplicaciones húmedas (YH) .....	52
<b>Figura 32.</b> Yeso recuperado de placas (YS) .....	52
<b>Figura 33.</b> Habitación ejemplo: Living Comedor Dpto. A 1º y 2º piso .....	54
<b>Figura 34.</b> Zonas de la losa alivianada con distinta transmitancia térmica .....	61

<b>Figura 35.</b> Zonas componentes de la losa .....	62
<b>Figura 36.</b> Zonas Bioclimáticas de Argentina .....	68
<b>Figura 37.</b> Distancias de Rafaela a las poblaciones con valores de referencia .....	70
<b>Figura 38.</b> Planta de la habitación estudiada .....	73
<b>Figura 39.</b> Muros de la habitación estudiada.....	74
<b>Figura 40.</b> Valores admisibles de G según Norma IRAM 11604 .....	78
<b>Figura 41.</b> Termotanque de parrilla de hidrobronce .....	82
<b>Figura 42.</b> Termotanque de parrilla de tubos de vacío .....	82
<b>Figura 43.</b> Esquema genérico de un colector solar .....	83
<b>Figura 44.</b> Representación esquemática de un termotanque solar .....	83
<b>Figura 45.</b> Colector simple de circulación delantera.....	102
<b>Figura 46.</b> Colector de placa intermedia .....	102
<b>Figura 47.</b> Colector de placa intermedia con doble vidrio.....	103
<b>Figura 48.</b> Colector de circulación trasera.....	103
<b>Figura 49.</b> Colector de aire sin vidrio.....	103
<b>Figura 50.</b> Instalación por termosifón.....	104
<b>Figura 51.</b> Instalación con ventilación forzada .....	105
<b>Figura 52.</b> Instalación con colectores independientes y ventilación forzada.....	105
<b>Figura 53.</b> Instalación de suelo radiante .....	106
<b>Figura 54.</b> Funcionamiento de una bomba de calor (en frío).....	107
<b>Figura 55.</b> Ciclo de compresión de vapor de una máquina frigorífica .....	108
<b>Figura 56.</b> Ciclo de CoP ideal .....	109
<b>Figura 57.</b> Esquema de un intercambiador de calor.....	113



# CAPÍTULO 1

## DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

### 1.1. INTRODUCCIÓN

La Sustentabilidad es una preocupación creciente en todas las industrias, ya que está evidenciado que la actividad humana tiene un gran impacto en el medio ambiente, no sólo por la emisión de gases de efecto invernadero, sino por el uso excesivo de los recursos naturales.

Muchas veces pareciera que hay poco que la gente común o un simple ingeniero dedicado a la construcción de viviendas puede hacer, pero sí es posible, y éticamente obligatorio, considerar los aspectos ambientales de nuestras obras, cualquiera sea su finalidad y envergadura.

Primero es importante revisar qué se entiende por Sustentabilidad, y la definición actual más aceptada es **“la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual sin que esto suponga la anulación de que las generaciones futuras también puedan satisfacer las necesidades propias”** (WCED, 1987). Esto quiere decir que debemos usar los recursos en una medida menor o igual a la capacidad de la Tierra para regenerar esos recursos. También implica evitar modificar el equilibrio climático con variaciones bruscas, lo cual trae aparejados efectos peligrosos para todos los seres vivos, como sequías, inundaciones, derretimiento de las capas polares, con la consecuente elevación del nivel de los océanos y el avance de las líneas costeras, y el aumento de la frecuencia e intensidad de tormentas otrora excepcionales, como huracanes, tifones y tornados.

Cabe aclarar que todo esto no significa que se deba reducir el nivel de confort. Como se verá, las tecnologías actuales permiten mantenerlo o aumentarlo, con un consumo de materiales y energía reducido. Si bien es cierto que en economías en desarrollo como la nuestra es más difícil aplicar tecnologías sustentables, porque muchas veces implica importar materiales y herramientas que resultan costosos, sí tenemos acceso a ciertos materiales, que a pesar de no ser tecnologías de punta, pueden implicar un ahorro energético de importancia, a cambio de un pequeño incremento en el costo, haciéndolos más económicos a largo o incluso a mediano plazo.

### 1.2. ASPECTOS A ANALIZAR

#### **Comparación entre estructura metálica y estructura de hormigón**



En lugar de utilizar las típicas vigas y columnas de hormigón armado, la estructura del edificio estará compuesta por perfiles de acero IPW, importados de Brasil. Las losas no serán de hormigón macizo, sino de ladrillos de poliestireno expandido (EPS) con viguetas de hormigón prefabricadas y capa de compresión en la cara superior.

La idea es reducir la cantidad de energía incorporada y facilitar el reciclaje de los materiales al final de la vida útil del edificio, además de aportar menos peso a la estructura en general, para así reducir la cimentación (la cual no será analizada en este Proyecto).

### **Reutilización de aguas grises**

Para reducir tanto el agua potable que se utiliza en el edificio como también el agua que se vierte a la red cloacal, el propietario de la obra pretende instalar un sistema de reutilización del agua de las piletas de la cocina y el baño, las duchas y los lavarropas, para cargar los depósitos de los inodoros.

Se estudiarán su viabilidad y posibles ventajas y desventajas.

### **Construcción en seco**

La construcción tradicional con ladrillos aporta mucho peso a un edificio, además de ser costosa, demanda mucho tiempo y genera ruidos y polvo.

En los últimos años se ha visto un importante incremento en las obras hechas con *Steel-frame*, sobre todo en climas fríos, dado su comportamiento térmico (Amundarain, 2007). Esta técnica que, además de ser superior a las tradicionales en los aspectos mencionados, también facilita la *deconstrucción* de las obras de forma más rápida y segura, permitiendo además separar con facilidad los distintos tipos de materiales que la componen, para poder ser incorporados a procesos de reciclaje y/o reutilización.

Este tipo de muros es de muy fácil mantenimiento y modificación.

### **Materiales aislantes**

No es posible hacer un proyecto que intente alcanzar la mayor Sustentabilidad posible sin aumentar la eficiencia energética. Una condición *sine qua non* para lograrlo es reducir la cantidad de energía demandada, reduciendo la demanda de climatización, uno de los consumos de energía más importantes de cualquier vivienda. En nuestra región, los inviernos suelen requerir una moderada cantidad de calefacción, y los veranos requieren una muy importante cantidad de refrigeración para mantener el interior de las viviendas en condiciones confortables. Estas situaciones han empeorado en los últimos años, donde no sólo ha aumentado la temperatura promedio, sino que las temperaturas extremas se han desplazado en ambos sentidos.



Instalando los mejores materiales aislantes disponibles en el mercado actualmente, se podrá reducir notablemente la demanda de energía para la climatización de los ambientes, aprovechando que la construcción con *Steel-frame* mencionada en el inciso anterior deja espacios en su interior donde es posible incorporarlos.

### **Energía solar**

Otra forma de reducir la energía que se debe comprar y hacer llegar a un edificio, es aprovechar aquella que ya está en su entorno inmediato.

En nuestra zona, es abundante la cantidad de radiación solar, gracias a la latitud y a la cantidad de días soleados que hay en un año, lo cual hace de Rafaela una ciudad ideal para instalar termotanques solares, y estudiar la posibilidad de instalar paneles solares fotovoltaicos para generar electricidad.

### **1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La obra se emplaza en un terreno en forma de L, con salidas a calle Paraguay y a Garibaldi, en barrio Central Córdoba, de la ciudad de Rafaela, demarcado en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Emplazamiento de la obra



El proyecto consiste en 7 (siete) unidades habitacionales, 6 (seis) de ellas de dos dormitorios, y una de un dormitorio, repartidas en tres plantas. Hay un departamento en planta baja, tres en el primero, y otros tres en el segundo. La planta baja tendrá además estacionamiento para 6 (seis) autos. La distribución puede verse en los Planos **1/5** y **2/5**.

El edificio, una vez finalizado, tendrá 630 m<sup>2</sup> cubiertos, 99 m<sup>2</sup> semicubiertos y 65,5 m<sup>2</sup> libres, con una superficie ocupada del terreno de 259 m<sup>2</sup>.



## CAPÍTULO 2

# COMPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURA METÁLICA Y ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La propuesta original de este proyecto es que la estructura del edificio sea metálica, porque se espera que tenga ciertas ventajas respecto a una estructura convencional de hormigón:

- Menor tiempo de ejecución y plazo de puesta en servicio, con el consiguiente ahorro en mano de obra.
- Menor generación de residuos.
- Mayor proporción y facilidad de reutilización y/o reciclaje de residuos, tanto de los generados durante la construcción como al momento de la demolición del edificio.
- Mayor durabilidad.

Este capítulo del Proyecto Final consistirá en la comparación de la estructura metálica propuesta con una estructura de hormigón en los aspectos mencionados, poniendo a prueba la hipótesis del proyectista, determinando así cuál es la opción más conveniente.

Los problemas ambientales actuales y futuros dependen fundamentalmente en el modo que estamos utilizando materiales y energía en la industria de la construcción. Debemos ser muy conscientes y cuidadosos de los consumos de estos recursos en las obras que diseñamos y dirigimos. Es por eso que resulta esencial comparar los dos tipos de estructuras más utilizadas a nivel mundial, como lo son las de hormigón armado y las de acero.

La densidad de recursos naturales que se consumen para la construcción de obras civiles debe ser reducida, sobre todo si se espera que los países en situaciones económicas desfavorables logren construir viviendas para los millones de personas que actualmente no viven en condiciones dignas.

Se deben considerar tres aspectos fundamentales, como lo son, la energía (tanto la necesaria para la construcción, como la que demandará la vida operativa del edificio), el consumo de recursos naturales (vírgenes y/o reciclados) y las emisiones de gases contaminantes (provenientes de las fuentes de energía y de la extracción de minerales en sus fuentes naturales).



En nuestra región, el acero sólo se utiliza como armadura en estructuras de hormigón, y en estructuras de galpones y silos. Esto se debe principalmente a que históricamente, ha sido más económico construir con hormigón.

Actualmente, hacer una estructura de acero para un edificio residencial o comercial es impensado, al punto de ser considerado un despropósito, no sólo porque es más costoso, sino porque esta larga tradición de construir con hormigón in situ ha hecho que no tengamos mano de obra capacitada o habituada a las estructuras íntegramente metálicas.

## 2.2. ENERGÍA

Como se ha mencionado, tenemos dos tipos de energía que considerar para nuestra estructura, que se denominarán *energía contenida* y la *energía de operación*.

La energía contenida es la energía requerida para la puesta en funcionamiento de la estructura. Incluye:

- La energía usada para el transporte, tanto de materias primas a las plantas de fabricación y de los materiales a la zona de obra.
- La energía consumida en el proceso productivo de los materiales.
- La energía consumida durante la construcción en obra, por el uso de herramientas y maquinaria.

La energía contenida es la más importante de las dos en nuestro análisis, ya que la energía de operación se verá afectada por otras variables como los revestimientos, aislaciones, y equipamiento, que se analizarán independientemente.

Hacer un análisis completo y pormenorizado de todo consumo para cada tipo de estructura sería laborioso e impreciso, y requeriría un nivel de conocimiento e información que excede al contenido curricular de la carrera de Ingeniería Civil, y serían más adecuados para una tesis de cuarto nivel en Gestión Ambiental.

Lo que sí se puede hacer para acercarse un poco a una respuesta, es determinar la cantidad de material necesario en cada caso, y usando los números de energía requerida en la producción de cada uno por unidad de masa, estimar la energía contenida. Averiguaremos, además, las distancias que deberemos transportarlos.

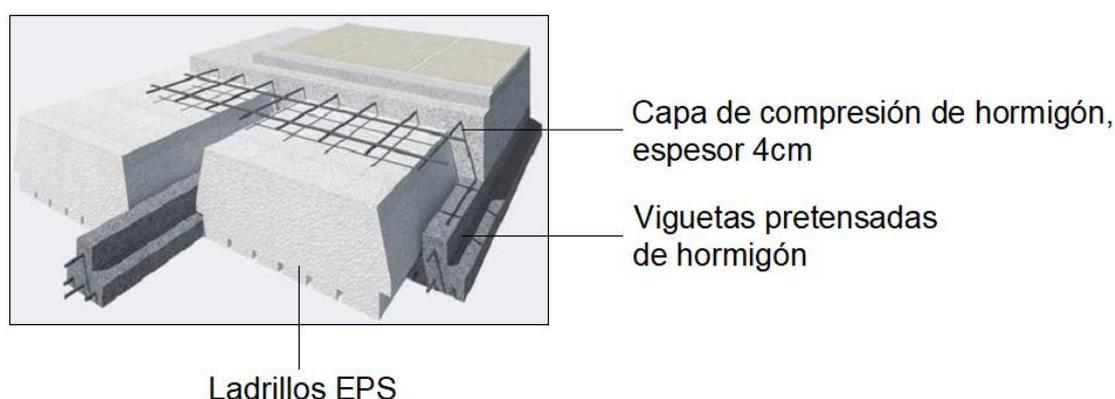
Para comparar las estructuras metálicas y las de hormigón, habrá que comparar igualando condiciones. Obviamente, no podremos comparar el impacto ambiental de la producción de una unidad de masa de los materiales, porque un kilogramo de acero no es equiparable a un kilogramo de hormigón.



## 2.3. SOLICITACIONES Y DIMENSIONAMIENTO

Para hacer la comparación entre las dos alternativas que se plantean (estructura de hormigón y estructura de acero), se calcularán tanto una viga como una columna de hormigón armado de calidad H-30, y se comparará su peso con el de una viga y una columna empleadas en la estructura metálica, dato obtenido del ejemplo real. Antes de poder proceder al cálculo, se deberá calcular el peso de la losa que será sustentada por ella.

### 2.3.1. Análisis de la losa



**Figura 2.** Esquema losa alivianada

La descripción de las losas y su comparación con la alternativa de hormigón se realizará de modo pormenorizado en el CAPÍTULO 4.

Elementos componentes de las losas:

- Ladrillos poliestireno expandido 18x50x200
  - Densidad: 50 kg/m<sup>3</sup>
  - Peso por unidad: 9 kg, según fabricantes
- Hormigón capa de compresión
  - Espesor: 0.04 m
  - Densidad: 2200 kg/m<sup>3</sup>
- Cálculo del peso por m<sup>2</sup> de la losa de viguetas pretensadas alivianadas:
  - Peso vigueta: 60.9 kg
  - Long vigueta: 4.2 mts
  - Peso unitario: 14.5 kg/ml
  - Cantidad por metro lineal: 2



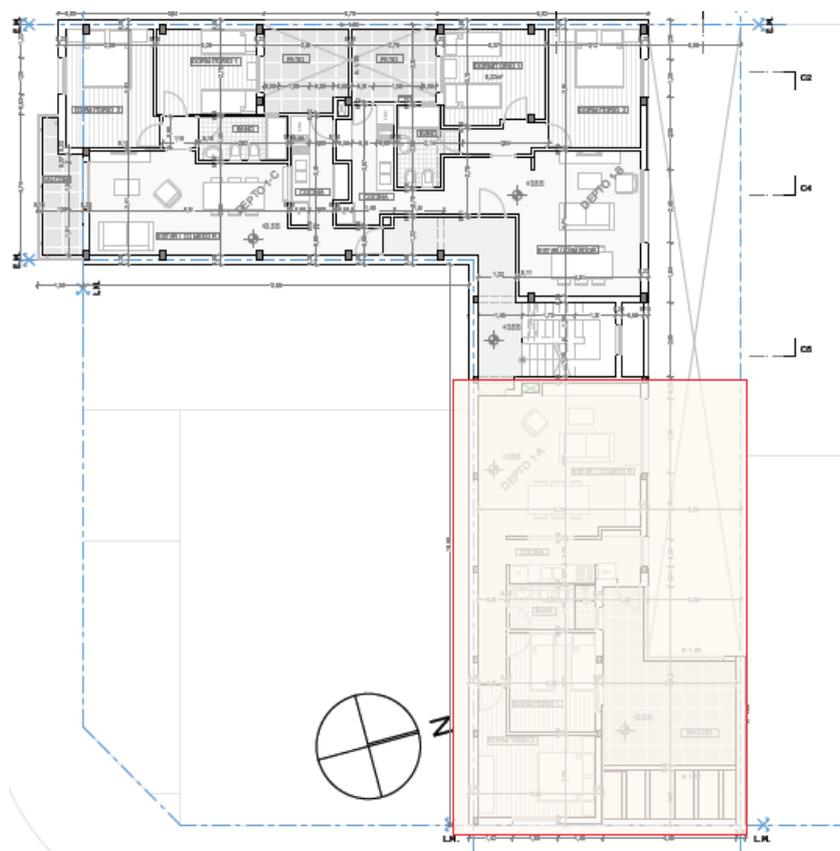
El peso propio por metro cuadrado de la losa será entonces el calculado en la **Tabla 1**. Se usará  $kN$  como unidad, ya que será la unidad usada en el cálculo de la viga.

**Tabla 1.** Análisis de peso propio en losa de estudio

ELEMENTO	DENSIDAD [kN/m <sup>3</sup> ]	ESPESOR [m]	PESO UNITARIO [kN]	UNIDADES por m <sup>2</sup>	CARGA APORTADA [kN/m <sup>2</sup> ]
Vigueta pretensada	-	-	0.14	2	0.284
Ladrillos de EPS	-	-	0.09	2	0.176
Capa de compresión de H <sup>º</sup>	25	0.04	1	-	1.000
					<b>1.46</b>

### 2.3.1.1. Análisis de cargas

Se empieza por el análisis de cargas para la losa del estar-comedor del departamento A de la primera y segunda planta, cuya ubicación se indica en la **Figura 3 (Plano 1/5)**. El detalle del análisis de cargas se representa en la **Tabla 2**.



**Figura 3.** Departamento A 1º y 2º piso

**Tabla 2.** Análisis de cargas en losa de estudio

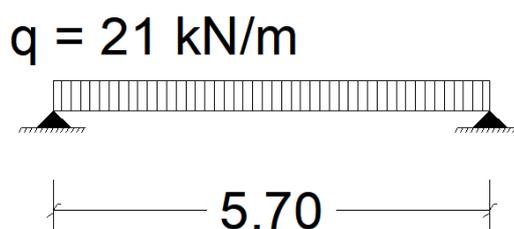
Destino	Material	Peso unitario [kN/m <sup>2</sup> ]	Peso unitario [kN/m <sup>3</sup> ]	Espesor [m]	Peso aportado [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]
Departamentos	Cielorraso suspendido de yeso	0.18	-	-	0.18	6.77
	Losa alivianada	-	-	-	1.46	
	Contrapiso	-	17	0.07	1.19	
	Mortero	-	17	0.02	0.34	
	Porcelanato	0.2	-	-	0.2	
	Muros	1.4	-	-	1.4	
D: cargas permanentes L: sobrecargas				D	4.77	
				L	2	

### 2.3.2. Solicitaciones en la viga

Habiendo determinado las cargas que producirá la losa, se pueden calcular las solicitaciones en la viga, para así proceder a su dimensionamiento.

Para el ejemplo, se usa una viga de la unidad A (**Figura 4**).

$$q = Q \cdot h = 6,77 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,1 m = 21 kN/m$$

**Figura 4.** Esquema viga ejemplo

- Momento en el tramo:

$$M_f = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{21 kN}{m} \frac{(5.7 m)^2}{8} = 85.2 kNm = 8,7 tm$$

- Corte máximo:



$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{21 \frac{kN}{m} \cdot 5,7m}{2} = 59,85 kN = 6,1 tn$$

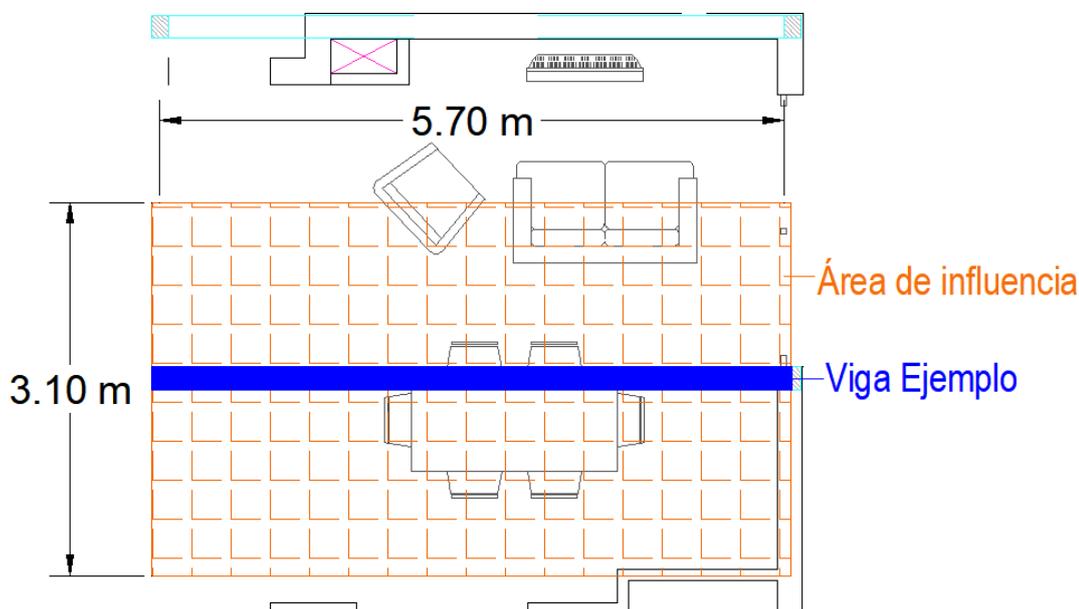


Figura 5. Ubicación viga ejemplo

### 2.3.2.1. Viga de hormigón

- Dimensionamiento por flecha:

Al ser una viga simplemente apoyada:  $h = \frac{l}{16} = \frac{5,70 m}{16} = 0,356m$

La altura mínima para una viga de estas dimensiones es de 20 por 40 centímetros.

- Dimensionamiento:

Se realizará el dimensionamiento usando el procedimiento desarrollado en el Manual de Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado (Pozzi Azzaro, 1980), estudiado en la cátedra Estructuras de Hormigón, el cual aplica la Norma DIN 1045. No es el procedimiento más moderno, pero cumple la función de dar dimensiones necesarias para hacer la comparación pertinente.

Para una altura total  $d$  de 40 cm, la altura útil  $h$  será de 37 cm (restando recubrimiento).

$$k_h = \frac{h [cm]}{\sqrt{\frac{M [tm]}{b [m]}}} = \frac{37}{\sqrt{\frac{8,7}{20}}}$$

$$k_h = 5,61$$



Se busca el  $k_s$  en la tabla T.2. (Pozzi Azzaro)

$$k_s = 0,49$$

Con lo cual la armadura necesaria será:

$$A_s[cm^2] = \frac{M[tm]}{h[m]} \cdot k_s = \frac{8,7 tm}{0,37m} \cdot 0,49 = 11,52 cm^2 \rightarrow 4 barras \varnothing 20mm$$

Si bien no es ideal trabajar con barras de diámetro tan grande, con barras de 16 mm no podría armarse en una sola capa de barras, con lo cual habría que aumentar la altura de la viga, y la idea de este cálculo es obtener las dimensiones más livianas posibles para la estructura de hormigón armado, que es la que se busca reemplazar con acero.

o Verificación al corte:

El esfuerzo de corte máximo se  $Q_i$  se da en los apoyos, con una reacción de 6100kg.

Entonces:

$$\zeta_{0i} = \frac{Q_i}{b_0 \cdot z} = \frac{Q_i}{b_0 \cdot 0,85 \cdot h} = \frac{6100kg}{20cm \cdot 0,85 \cdot 40cm} = 8,97 \frac{kg}{cm^2}$$

Al ser una viga simplemente apoyada,  $\zeta_{0i} = \zeta_{0\text{máx}}$

Según la Tabla T.57 (p. 66):

$$\zeta_{0\text{máx}} < \zeta_{012}$$

Entonces:

$$\zeta_{\text{cál}} = 0,4 \cdot \zeta_{0\text{máx}} = 0,4 \cdot 8,97 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\zeta_{\text{cál}} = 3,6 \frac{kg}{cm^2}$$

Se colocan estribos a 2 ramas de  $\varnothing$  6mm cada 18 cm.

- Cada barra de  $\varnothing$ 20mm tiene un peso de 29,6 kg, por lo que pesará 2,47 kg/m.
- Armadura de corte: se colocan estribos de  $\varnothing$ 6mm cada 18 cm, lo que daría 5,55 estribos por metro de 264 gramos cada uno, multiplicando la longitud del estribo de 1,20 m (dos lados de 36 cm y dos lados de 16 cm, lo que suma 104 cm, que se redondea para considerar los ganchos) por el peso de 220 gramos por metro lineal dado por Acindar para sus barras.
- Perchas, se usarán dos perchas de  $\varnothing$ 8mm, con un peso de 395 gramos por metro lineal cada una.



Peso por metro de la viga:

- Hormigón:  $0,40\text{m} \times 0,20\text{m} \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 184 \text{ kg/ml}$
- Acero armadura principal:  $4 \times 2,47\text{kg/m} = 9,88 \text{ kg/ml}$
- Acero estribos:  $5,55 \times 0,264\text{kg} = 1,47 \text{ kg/ml}$
- Acero para perchas:  $2 \times 0,395 \text{ kg/m} = 0,790 \text{ kg/ml}$

El peso por metro de viga de hormigón será entonces  $196,14 \text{ kg/m}$ , incluyendo  $12,14 \text{ kg}$  de acero. La **Figura 6** muestra una sección de la viga.

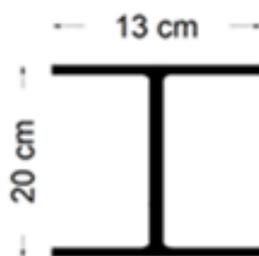


**Figura 6.** Detalle viga de hormigón

### 2.3.2.2. Viga de acero

No se hará el cálculo de los elementos de acero. Se usarán para la comparación los usados en la obra estudiada.

Las vigas fueron construidas con perfiles IPW 200 (**Figura 7**), cuyo peso por metro lineal es de 30 kg.



**Figura 7.** Dimensiones perfil IPW200

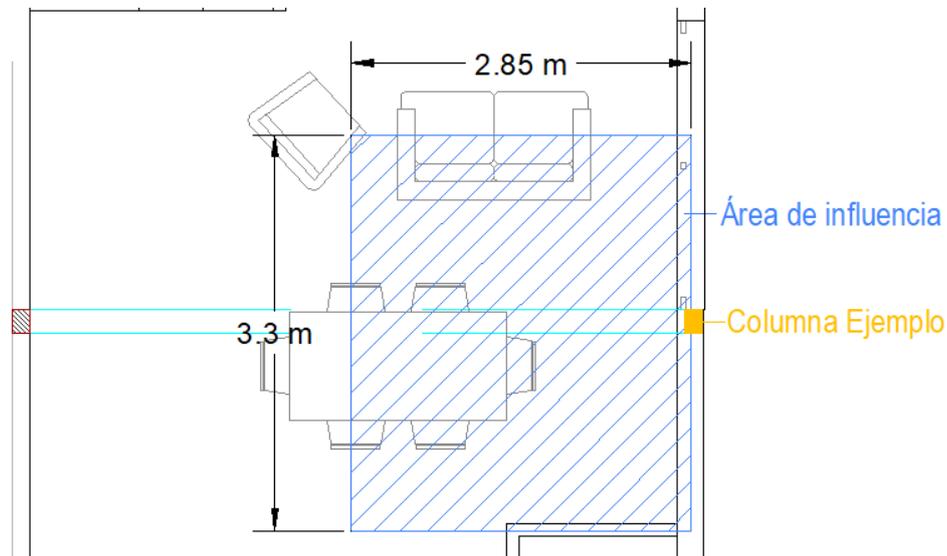
### 2.3.3. Solicitaciones en columna

Área de influencia de la columna  $\approx 9,4 \text{ m}^2$

Carga por  $\text{m}^2 = 8,92 \text{ kN/m}^2$



Carga sobre columna PB: la columna soporta dos plantas, además del peso de la mitad de dos vigas, más su peso propio, estimado para una columna de 20x20cm por 3 metros de altura (**Figura 8**). Se despreciará en esta instancia la carga de la cubierta, a ser tenida en cuenta solamente si las cargas consideradas están muy cerca de la carga límite.



**Figura 8.** Ubicación columna ejemplo

$$P = 2 \cdot \left(8,92 \frac{kN}{m^2}\right) \cdot 9,4m^2 + 2 \cdot 2,3 \frac{kN}{m} \cdot 2,85 m + 2 \cdot 0,2m \cdot 0,2m \cdot 3m \cdot 25 kN/m^3$$

$$P = 186,8 kN$$

Se mayorizan las cargas por el factor 1,6:

$$P_u = 1,6 P = 1,6 \cdot 186,8 kN = 299 kN$$

**P<sub>u</sub>:** carga de cálculo

### 2.3.3.1. Columna de hormigón

Con una columna de dimensiones mínimas reglamentarias, de 20x20cm, y un hormigón H30, que nos brinda una resistencia teórica de 30MPa, o 3kN/cm<sup>2</sup>, la resistencia teórica máxima de la columna será, en condiciones ideales, de 1200 kN. Para estar del lado de la seguridad, y considerando que no se están teniendo en cuenta momentos flectores, podemos suponer una reducción del 25%, o incluso del 50%, en la resistencia, quedando ésta en tan sólo 600 kN. Sigue existiendo un amplio margen respecto a la carga mayorada calculada, y dado que el objetivo es simplemente tener proporciones razonables para hacer la comparación de peso final, el dimensionamiento no requiere mayor desarrollo.

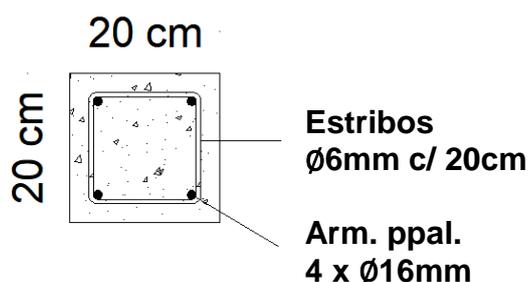


La armadura mínima es de 4 barras de 12mm de diámetro, lo que nos da una cuantía de 1,13%, lo que la coloca entre el 1% y el 8%, factor exigido en el reglamento. Estimamos armadura mínima de corte, con estribos de  $\varnothing 6$  mm cada 20 cm, teniendo así 5 por cada metro de longitud de la columna. El peso de las barras por metro lineal será de 0,888 kg/m cada una, dando un total de 3,55 kg/m de acero por metro lineal. Los estribos pesarán 155 gramos cada uno, para un total de 775 gramos por metro lineal

Peso por metro de la columna:

- Hormigón:  $0,20 \times 0,20 \times 2300 \text{ kg/m}^3 = 92 \text{ kg/m}$
- Acero:  $4 \times 0,888 \text{ kg/m} = 3,55 \text{ kg/m}$
- Acero para estribos:  $5 \times 0,155 \text{ kg/m} = 0,775 \text{ kg}$

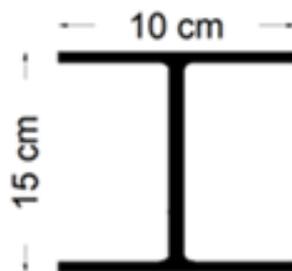
El peso de la columna será entonces de 96,3 kg/m, de los cuales 4,3 kg corresponden al acero. La **Figura 9** muestra la sección de la columna de hormigón calculada.



**Figura 9.** Detalle columna de hormigón

### 2.3.3.2. Columna de acero

Para la estructura de acero, usando perfiles IPW150 (**Figura 10**), el peso es de 20 kg/m:



**Figura 10.** Dimensiones perfil IPW150

### 2.3.4. Comparación de peso de las estructuras de hormigón y de acero

Se hará un breve resumen, acompañado de esquemas, de cada una de los elementos propuestos, y se compararán las cantidades finales en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Comparación de peso de las estructuras

ELEMENTO	TIPO DE ESTRUCTURA	PESO APORTADO [kg/m]		PESO TOTAL [kg]	REDUCCIÓN DE PESO	
		HORMIGÓN	ACERO		[kg]	[%]
VIGAS	HORMIGÓN	184	12.14	196.14	1614	84.7
	ACERO	-	30	30		
COLUMNAS	HORMIGÓN	92	4.3	96.3	76.3	79.2
	ACERO	-	20	20		

Puede verse entonces que, trabajando con acero en lugar de hormigón, se reduciría en un 85% el peso de la viga y en un 79% el de la columna.

## 2.4. COMPARACIÓN DE TRANSPORTE DE LAS ALTERNATIVAS

Una forma de analizar el impacto que tendrán las distintas estructuras, será creando la unidad “Transporte”, en unidades de kilogramo por kilómetro [kgkm]. Este criterio está influenciado por el paper “Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method”, (Werner Johnson, 1996), fuente principal para establecer los criterios empleados en el presente trabajo.

Usando la cuantificación que realizamos de los materiales necesarios para una viga y una columna de la estructura dada, compararemos qué cantidad de transporte será necesario para la puesta en obra, multiplicando esa cantidad de materiales por los km que deberán ser trasladados. El transporte interno en las plantas de fabricación y el traslado urbano de los materiales está fuera de las condiciones de contorno de este análisis.

No se tendrá en cuenta el consumo de recursos y de energía necesarios para la producción de estos materiales, porque eso implicaría un estudio mucho más profundo que excede el alcance de este Proyecto y las incumbencias de la Ingeniería Civil.

La cantidad de material necesaria para la estructura de acero es la dada por el fabricante para los perfiles empleados en obra, no se tendrán en cuenta los insumos para soldado ni para la pintura ignífuga empleada. Para determinar los materiales necesarios para la estructura de hormigón deberemos conocer las dosificaciones de los hormigones usados en nuestra zona y los lugares de origen de esos materiales.

Se usan las dosificaciones de dos empresas, una de la ciudad de Rafaela, y otra de Sunchales, para distintas calidades de hormigón. Las distintas dosificaciones se muestran en las **Tablas 4, 5, 6 y 7.**



En la **Figura 11** se puede ver una imagen de la estructura de la primera planta durante el proceso de construcción.



**Figura 11.** Estructura metálica de la obra en la primera planta.

**Tabla 4.** Dosaje H<sup>0</sup> para bomba en Rafaela

RAFAELA (19mm) BOMBA	COMPONENTES	DOSAJE [kg/m <sup>3</sup> ]		
		H-21	H-25	H-30
	CPC	285	310	360
	Agua	182	183	183
	Arena gruesa	540	560	590
	Arena fina	440	380	310
	Piedra 6-19	920	950	950
	<b>Total</b>	<b>2367</b>	<b>2383</b>	<b>2393</b>

**Tabla 5.** Dosaje de H<sup>0</sup> para canaleta en Rafaela

RAFAELA (19mm) CANALETA	COMPONENTES	DOSAJE [kg/m <sup>3</sup> ]		
		H-21	H-25	H-30
	CPC	280	305	350
	Agua	178	179	179
	Arena gruesa	720	720	720
	Arena fina	250	210	179
	Piedra 6-19	950	970	980
	<b>Total</b>	<b>2378</b>	<b>2384</b>	<b>2408</b>

**Tabla 6.** Dosaje H<sup>0</sup> Rafaela

RAFAELA (25-30mm)	COMPONENTES	DOSAJE [kg/m <sup>3</sup> ]		
		H-21	H-25	H-30
	CPC	275	300	340
	Agua	174	175	175
	Arena gruesa	720	720	720
	Arena fina	250	210	170
	Piedra 6-19	540	550	560
	Piedra 0-30	430	440	440
	<b>Total</b>	<b>2389</b>	<b>2395</b>	<b>2405</b>

**Tabla 7.** Dosaje H<sup>0</sup> Sunchales

SUNCHALES	COMPONENTES	DOSAJE [kg/m <sup>3</sup> ]		
		H-21	H-25	H-30
	CPC	320	342	360
	Agua	165	160	165
	Arena gruesa	201	-	-
	Arena fina	849	1064	1100
	Piedra 6-19	550	537	465
	Piedra 0-30	350	330	350
	<b>Total</b>	<b>2435</b>	<b>2433</b>	<b>2440</b>

Promediando las 4 distintas dosificaciones para el hormigón H-30, el cual decidimos emplear para el dimensionado de los elementos estructurales del edificio, los valores por metro cúbico de cada materia prima serán los descritos en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Dosaje H-30 promedio

COMPONENTE	PESO [kg/m <sup>3</sup> ]	TOTAL [kg/m <sup>3</sup> ]
CPC	-	352,50
Agua	-	175,50
Arena gruesa	623,75	876,00
Arena fina	252,25	
Piedra 6-19	897,50	1007,50
Piedra 10-30	110,00	
		<b>2411,5</b>



La unidad de comparación será un metro lineal de viga y de columna, con las dimensiones especificadas en los incisos **2.3.2.1**, **2.3.2.2**, **2.3.3.1** y **2.3.3.2**.

Se presenta a continuación el cálculo del transporte necesario (en kgkm) para hacer llegar a Rafaela los materiales empleados para elaborar un metro cúbico de hormigón con el dosaje promedio (**Tabla 9**), y luego se obtendrán las proporciones, teniendo en cuenta el volumen de un metro lineal de viga y de columna (**Tabla 10**), a lo que se le sumará el peso de acero estructural calculado en las secciones correspondientes, multiplicándolo por su transporte (**Tabla 11**).

Se tomaron los orígenes de las materias primas para las estructuras de hormigón según las mismas empresas constructoras cuyas dosificaciones se detallaron, y multiplicando las distancias que los separan de Rafaela (usando el trayecto más corto posible) por la cantidad de cada material, se obtuvo la cantidad de transporte necesario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón.

Las arenas finas provienen mayormente de la ciudad de Santa Fe, las gruesas de Santa Fe y Villa Allende (Córdoba). Se considerará que todas las arenas provienen de Santa Fe, dándole la ventaja al hormigón. La piedra proviene mayormente de Córdoba. El origen del acero puede ser Rosario o San Nicolás (Bs. As.), ciudades ubicadas a 260 y 310 kilómetros respectivamente. Se considerará Rosario, al ser la más cercana, nuevamente para dar ventaja a las estructuras de hormigón. Se considerará solamente el transporte interurbano, obviando el urbano.

El transporte total por metro de viga y columna de hormigón armado se muestra en la **Tabla 12**.

**Tabla 9.** Transporte requerido por los materiales componentes de 1 m<sup>3</sup> de hormigón H-30 de dosaje promedio

MATERIAL	PROCEDENCIA	DISTANCIA [km]	Aporte de peso. [kg/m <sup>3</sup> ]	TRANSPORTE UNITARIO [kgkm/m <sup>3</sup> ]
Arena	Santa Fe	100	876,00	87600
Piedra	Córdoba	310	1007,50	312325
Cemento	Olavarría	760	352,50	267900
				<b>667825</b>

**Tabla 10.** Transporte requerido para la elaboración del hormigón necesario para un metro lineal de viga y de columna

ELEMENTO	TRANSPORTE UNITARIO [kgkm/m <sup>3</sup> ]	DIMENSIONES [cm x cm]	SECCIÓN [m <sup>2</sup> ]	TRANSP. [kgkm/m]
VIGA	667825	20 x 40	0,08	<b>60104</b>
COLUMNA		20 x 20	0,04	<b>26713</b>



**Tabla 11.** Transporte requerido por el acero necesario para la armadura de un metro lineal de viga y de columna

ELEMENTO	PROCEDENCIA	DISTANCIA [km]	PESO UNITARIO [kg/ml]	TRANSPORTE UNITARIO [kgkm/m3]
VIGA	Rosario	260	12,14	3156
COLUMNA	Rosario	260	4,30	1118

**Tabla 12.** Transporte de materiales total por metro lineal para una viga y una columna de hormigón armado

ELEMENTO	TRANSP. HORMIGÓN [kgkm]	TRANSP. ACERO [kgkm]	TRANSPORTE [kgkm/m]
VIGA	60104	3156	<b>63260</b>
COLUMNA	26713	1118	<b>27831</b>

A continuación se estudiará cuánto transporte se deberá realizar para construir con perfiles de acero. El origen es Brasil, específicamente Santa María, de donde provienen estos perfiles. La localidad está ubicada en el sur del país, a una distancia de 1250 kilómetros de la ciudad de Rafaela. Se supone para el análisis que el punto de origen y destino se conectan de forma directa, sin ir a centros de distribución intermedios. La **Tabla 13** muestra la cantidad de transporte necesario.

**Tabla 13.** Transporte necesario por metro lineal de viga y columna de acero, proveniente de Brasil

ELEMENTO	PROCEDENCIA	DISTANCIA [km]	Peso lineal [kg/ml]	Transporte [kgkm]
VIGA	Brasil	1250	30,0	37500
COLUMNA	Brasil	1250	20,0	25000

Queda evidenciado a simple vista que, aun trayendo el acero de Brasil, el transporte necesario es menor. La **Tabla 14** muestra la diferencia relativa entre ambas alternativas.

**Tabla 14.** Reducción porcentual de transporte unitario para elementos de acero

ELEMENTO	MATERIAL ESTRUCTURA	TRANSPORTE [kgkm]	REDUCCIÓN [%]
VIGA	Hormigón	63260	40,7
	Acero	37500	
COLUMNA	Hormigón	27831	10,2
	Acero	25000	



Puede verse que la reducción de la cantidad de transporte necesario para una viga es mayor al 40% y 10% para la columna. Si el acero fuera obtenido en el país, la diferencia sería aún mayor.

## 2.5. ENERGÍA CONTENIDA

La *energía contenida* se puede definir como “la suma de los requerimientos energéticos asociados, directa o indirectamente, con la entrega de un bien o servicio” (Griffin *et al.*, 2010). Hay distintas formas de definir la energía incorporada, dependiendo de las *condiciones de borde* del estudio. Las opciones más comunes son *cradle-to-gate* (de la cuna a la puerta), *cradle-to-site* (de la cuna a la obra) y *cradle-to-grave* (de la cuna a la tumba).

- Cradle-to-gate: incluye la energía requerida para producir el producto terminado.
- Cradle-to-site: además de lo anterior, contiene la energía de todos los componentes individuales de la construcción, tanto para la extracción de las materias primas, procesos industriales, armado y transporte a obra.
- Cradle-to-grave: es mucho más útil y completa que las definiciones ya vistas, pero también mucho más difícil de estimar. Se puede descomponer en la *energía inicial*, que es la requerida para ejecutar el edificio (incluyendo la obtención, manufactura y transporte de los materiales), la *energía contenida recurrente*, empleada en el mantenimiento y reparaciones, y la *energía de demolición*, necesaria para demoler y descargar el edificio al final de su vida útil. Cabe aclarar que en este análisis no se tiene en cuenta la energía consumida durante la operación del edificio.

### 2.5.1. Importancia de la energía contenida

Como se ha mencionado anteriormente, determinar con precisión la energía contenida en la construcción del edificio excede el alcance de la Ingeniería Civil y de este trabajo en particular, por lo que este análisis es una versión más acotada.

La producción del acero es un proceso relativamente homogéneo, si bien hay fábricas que incorporan un mayor porcentaje de material reciclado y pueden también tener maquinarias más avanzadas y eficientes. A los fines prácticos, se asume que el Impacto Ambiental de los procesos empleados en las distintas fuentes consideradas es equivalente. El mismo criterio aplica para la obtención de materias primas.

Estudios realizados en Suecia y el Reino Unido afirman que la energía contenida por edificios residenciales de baja densidad representa entre el 40 y el 45% de toda la energía requerida en una vida útil de entre 50 y 60 años (Suzuki y Oka, 1998). En edificios comerciales complejos, ese porcentaje puede exceder el 45%.



Obviamente, los valores serán diferentes para nuestra región, ya que las condiciones no son directamente extrapolables a lugares distantes con distintas condiciones económicas, técnicas y de infraestructura.

La industria de la construcción es la que más recursos consume a nivel mundial, y es también la mayor contribuyente de emisiones de carbono.

Mejorar las especificaciones de los materiales, sobre todo lo más utilizados como el acero y el hormigón, puede tener un enorme impacto positivo en las condiciones ambientales de la industria.

Hay prácticas que pueden llevar a cabo los ingenieros desde la conceptualización de las obras para reducir la energía contenida de los edificios:

- Optimizar el diseño estructural, a fin de reducir la cantidad de materiales necesarios para una edificación.
- Reutilización y recupero de materiales de la demolición.
- Diseño adaptable y flexible para usos futuros, que permitan extender la vida útil cuando los edificios ya no se requieran para el uso originalmente previsto.
- Reducir el desperdicio. Un buen modo de lograrlo es usar servicios de cortado y doblado de fábrica, a modo de recibir en obra solamente los elementos necesarios, los desperdicios son reciclados en la misma fábrica.

Muchas empresas europeas, estadounidenses, y las siderúrgicas más grandes de Argentina han desarrollado herramientas propias para monitorear la energía y las emisiones asociadas a sus proyectos y elaborando Indicadores de Desempeño Ambiental (IDA –también llamadas PED, por sus siglas en Inglés), para demostrar y cuantificar su compromiso con el medioambiente (algo muy demandado por clientes privados y públicos) y también para reducir costos. Desde 2007, World Steel Association implementa una metodología para reportar las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector siderúrgico basada en la ISO 14404.

Durante la investigación realizada para la elaboración de este Proyecto Final, se han consultado numerosos estudios sobre las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a estructuras de hormigón armado y de acero estructural, realizados en base a distintos casos de estudio, ubicados en Canadá, Estados Unidos, Singapur y Europa (Andrade, 1994, Macmath, 2000, Werner Johnson, 2006, Griffin, 2010, Gonzalez Stumpf, 2014). En algunos se hace la comparación de estructuras hechas con las dos alternativas para las mismas demandas, como se hizo en este mismo capítulo, donde se compararon las dimensiones de una columna y una viga ejemplo, y la cantidad de material demandado por cada una, y las distancias que hay que transportar esos materiales. En otros se intenta calcular el impacto ambiental de las estructuras de hormigón, en algunos casos mediante el uso de software especializado.



Para hacer un análisis pormenorizado, se deben tener en cuenta las formas de extracción de las materias primas, la maquinaria y técnicas involucradas en los procesos productivos a los que son sometidas, las fuentes de energía de las fábricas, el tratamiento de los residuos, el tipo y cantidad de material reciclado empleado, si lo hubiese, y otras tantas variables cuya influencia es difícil, sino imposible de aproximar de manera precisa.

En todos estos documentos, el establecimiento de las condiciones de contorno es parte fundamental, además de una de las más extensas. Cada caso particular es muy diferente a los demás, y cada estudio pormenorizado tiene un amplio margen de error, como aclaran sus autores. Resulta entonces imposible extrapolar los resultados ya poco precisos de esos análisis al caso estudiado en este trabajo.

Lo que se puede afirmar es que, para un propósito específico, una estructura de acero reduce notablemente la cantidad de transporte requerido respecto a una de hormigón, lo que no sólo reduce la huella de carbono sino la complejidad de provisión.

Los residuos producidos por la ejecución de estructuras de acero pueden ser recortes y restos de soldadura, mientras que durante la ejecución de piezas de hormigón se suelen producir vuelcos o sobrantes producto de imprecisiones en el cálculo volumétrico o la provisión. En obras de hormigón, si se realizan encofrados de madera, se convertirán en desperdicios con cemento, lo cual atenta contra la biodegradación.

Construir con estructura de acero también ahorrará en plazos de obra y aumentará la calidad final, al ser menos las tareas que se tengan que ejecutar, ya que no será necesario armar encofrados, colocar armadura y velar por el correcto colado y curado del hormigón.

## 2.6. COSTO

El costo del kilogramo de acero usado en esta obra es de 1 dólar (cotización del 5/10/2019: 1 USD = \$38.95 ARS), mientras que el precio del hormigón H-30 puesto en obra era \$3926 + IVA (S/ Cotización Menara al 5/10/18). El precio del kilogramo de barras nervuradas es de \$45 + IVA (S/ Cotización Acerma al 5/10/18).

Con los datos obtenidos, podemos calcular el precio de los materiales básicos necesarios para los distintos elementos estructurales (**Tabla 15**).

El costo de los materiales básicos para las estructuras de acero es superior, 23.5% en la viga y 128% en el caso de las columnas. Sin embargo, no se está teniendo en cuenta el costo de los fenólicos en la estructura, además de las horas de trabajo, donde habrá una considerable diferencia a favor de las estructuras metálicas. No se cuantificarán esos aspectos en este trabajo, pero se puede asegurar que una estructura de hormigón tendrá un costo superior.



Como ya se dijo en apartados anteriores, el tiempo de ejecución de una estructura de acero estructural es menor que el tiempo requerido por una estructura de hormigón.

**Tabla 15.** Costo de materiales de elementos de hormigón y acero

ELEMENTO	TIPO	MATERIAL	CANTIDAD	UNID.	PRECIO UNIT. [AR\$]	SUBTOTAL [AR\$]	TOTAL [AR\$]
VIGA	HORMIGÓN	HORMIGÓN	184	Kg	1,71*	314,08	<b>860,38</b>
		ACERO	12,14	Kg	45	546,30	
	ACERO	ACERO	30	Kg	40	1200,00	<b>1200,00</b>
COLUMNA	HORMIGÓN	HORMIGÓN	92	Kg	1,71*	157,44	<b>350,94</b>
		ACERO	4,3	Kg	45	193,50	
	ACERO	ACERO	20	Kg	40	800,00	<b>800,00</b>

\*Valor obtenido dividiendo el precio del m<sup>3</sup> por la densidad del mismo (2300 kg/m<sup>3</sup> para hormigón sin armar)

Otra diferencia importante, es que para ensamblar una estructura de acero, se requieren los perfiles, los insumos para soldadura y algún tipo de tratamiento para mejorar su resistencia a la corrosión y al fuego, en forma de pintura.

En cuanto al hormigón, hay que tener en cuenta el tiempo de armado de los encofrados y la colocación de la armadura, para lo que necesitaremos madera enchapada, clavos, alambre, además de muchas horas-hombre.

También hay que tener en cuenta el tiempo que tarda una estructura en ser habilitada. Una estructura metálica queda utilizable casi inmediatamente, y aunque haya que hacer algún trabajo en la misma después de ensamblada, puede hacerse simultáneamente a otras actividades que carguen la estructura.

La confiabilidad del material también es un punto a favor del acero, ya que éste proviene de fábricas que emplean alta tecnología y son verificados en ella misma previo a su viaje a obra, mientras que cuando se compra hormigón, no hay un control estricto de los materiales y del proceso, si bien se hace automáticamente en una planta moderna (es el caso en la ciudad de Rafaela). No es posible verificar la resistencia del hormigón hasta varias semanas después, y a través de los ensayos a compresión realizados en un laboratorio.

La composición del acero es siempre muy similar, y más fácil de controlar, mientras que el hormigón que llega a obra proviene de una planta que puede haber hecho un hormigón con áridos distinta granulometría, cemento, asentamiento, y resistencia inmediatamente antes, lo cual puede dar lugar a confusiones por parte de los operarios o mezcla con materiales que no corresponden.



Hay muchos factores que afectan la estabilidad estructural del hormigón, y exigen la correcta realización de varias tareas, como la correcta colocación de las armaduras, armado de encofrados, curado del hormigón fresco, vibración, condiciones climáticas. La falla en cualquiera de estas etapas puede repercutir en la resistencia que desarrollará la estructura, y hace necesario usar factores de seguridad mayores, incrementando así las dimensiones y la cantidad de material necesario.

## 2.7. RECICLAJE

En el análisis del impacto ambiental de la construcción, no puede dejarse de lado lo que sucede con el edificio una vez que su vida útil llega a su fin.

El reciclaje de los residuos de la demolición viene experimentando una importante expansión a nivel mundial, motivado por cuestiones ambientales, así como económicas, ya que los materiales reciclados son menos costosos, además de no necesitar ser extraídos de la corteza terrestre.

Los residuos de la construcción y la demolición (RCD) han llegado a representar el 49% de los residuos urbanos de la ciudad de Rafaela (Tonda *et al.*, 2008).

### 2.7.1. Reciclaje de hormigón

A simple vista, y con una mirada tradicional, pareciera que el hormigón no es un material reciclable. Estamos acostumbrados a ver los escombros desechados sin más análisis. Sin embargo, en los últimos años se han realizado numerosas experiencias e investigaciones (incluyendo una de la UTN FRRa) que demuestran lo contrario. Las **Figuras 12 y 13** muestran escombros empleados en experimentos de reciclaje de hormigón.



**Figuras 12 y 13.** Escombros de hormigón (Tonda *et al.*, 2008)



Los hormigones reciclados pueden emplearse para hacer veredas, ya sea dejándose rendijas para filtración de agua o elaborando un hormigón pobre para impermeabilizar la superficie, como base para pavimentos, generar arrecifes en zonas costeras, postes o bancos en espacios públicos, y también pueden emplearse estructuralmente, como se verá a continuación

### 2.7.1.1. Hormigón Reciclado en Rafaela

Un artículo publicado a través del departamento de Ingeniería Civil de la UTN FRRa (Tonda *et al.*, 2008) analiza la posibilidad de emplear hormigones con distinta proporción de agregado reciclado en la construcción de elementos estructurales y no estructurales, con mejores resultados que los esperables intuitivamente.

El material a reutilizar fue fraccionado con una trituradora (**Figura 14**), y tanto los agregados vírgenes como los reciclados se sometieron al ensayo de desgaste Los Ángeles.



**Figura 14.** Rotura de hormigón de demolición (Tonda *et al.*, 2008)

Se elaboraron tres hormigones, manteniendo la misma resistencia característica de rotura a compresión de 25 MPa. La proporción de material reciclado fue de 25%, 50% y 75%.

Se hicieron ensayos a compresión simple, tracción por compresión diametral, determinación del módulo de elasticidad estático, coeficiente de Poisson y observaciones con lupa.

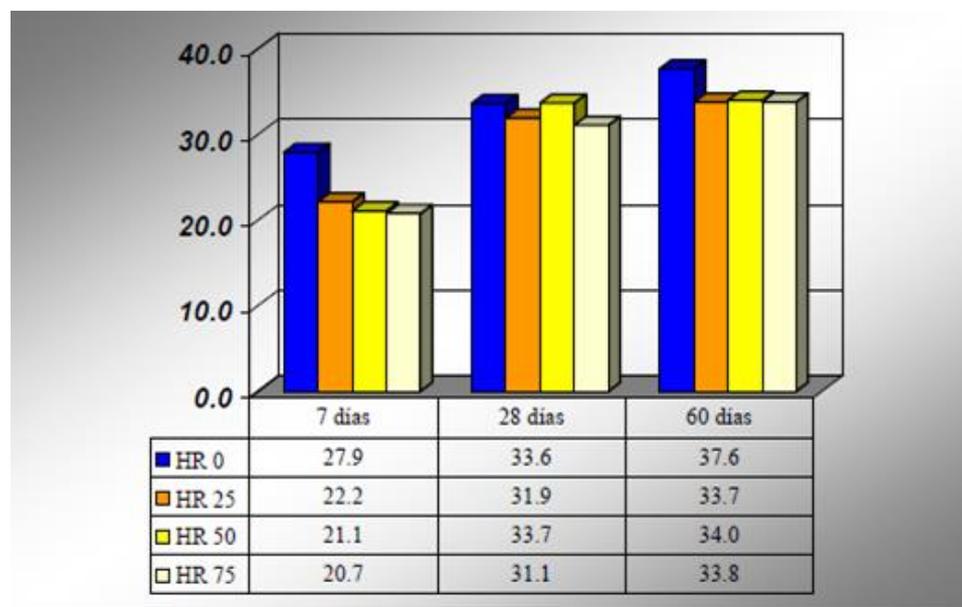
Con el incremento de agregados reciclados, descendió el módulo elástico, lo cual está relacionado directamente con la cantidad de mortero adherido. Mientras tanto, el coeficiente de Poisson se redujo. Estos resultados coinciden en todos los casos con los de otros autores. Las resistencias tempranas de compresión de los hormigones estructurales fueron menores en los reciclados.

A los 28 días, las resistencias a compresión de los hormigones reciclados se ubicaron entre 92 y 100% de las obtenidas en hormigones nuevos, por lo que no hubo diferencia considerable. A 60 días, las resistencias se estabilizaron a un valor del 90% respecto al hormigón de referencia.

Las tensiones medias de tracción a 28 días fueron iguales para ambos tipos, y estuvieron en el orden del 9 o 10% de las resistencias a compresión obtenidas (**Figura 15**).



También se elaboró un hormigón no estructural, para un contrapiso, que fue comparado con un hormigón de referencia. En el primero, se reemplazaron las partes de arena y polvo de ladrillo por el agregado más fino del reciclado. La única premisa fue obtener asentamientos dentro del rango de la consistencia plástica (**Figura 16**).



**Figura 15.** Resistencias a la compresión [MPa] (Tonda *et al.*, 2008)

Hormigón n/e de cascotes		Hormigón n/e de AR	
Material	Partes	Material	Partes
Cal	1	Cal	1
Cemento CPN 40	1/4	Cemento CPN 40	1/4
Arena mediana	3	AR 9,5	5
Polvo de ladrillo	2	AR 37,5	10
Cascote de ladrillo	10		

n/e: no estructural

**Figura 16.** Comparación de hormigones no estructurales

### 2.7.2. Reciclaje de acero estructural

No es necesario ahondar demasiado en este tema, ya que es evidente la facilidad de reciclaje de cualquier material metálico. Para separarse la parte metálica de la no metálica de los escombros, pueden usarse medios electromagnéticos. Para una estructura compuesta enteramente de acero, este proceso se simplifica y puede hacerse más eficientemente, aumentando la cantidad y calidad del material reciclado.



La desventaja que tiene el proceso de reciclaje es que debe realizarse en una planta metalúrgica, requiriendo transporte adicional, mientras que la reutilización de hormigón puede realizarse en obra (para ser reutilizado en el mismo emplazamiento) o en una planta hormigonera cercana.

Las ventajas más importantes son dos. La primera, es que la producción de material virgen ya puede incorporar material reciclado, proveniente de chatarra. En Argentina, los aceros provenientes de las fábricas más importantes se realizan con más de 30% de material reciclado (Acindar, 2017). La segunda ventaja importante del reciclaje de acero es que, al igual que con el material original, se puede garantizar con mayor confianza la calidad del material, y con ello sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

### **2.7.3. Resultado**

Ambos materiales ofrecen posibilidades de reciclaje, aunque con diferencias en cuanto a simplicidad y eficiencia.

El hormigón puede reciclarse en obra, no requiriendo transporte si va a ser empleado en el mismo lugar, y también puede hacerse en una planta hormigonera preparada para tal fin.

El acero debe ser enviado a una planta metalúrgica para ser procesado y reciclado, con una mayor calidad que el hormigón, pero requiriendo mayor distancia de traslado, ya que la abundancia de este tipo de instalaciones es muy inferior a la de las plantas de hormigón.

No es posible cuantificar las cualidades de cada material en este sentido, pero es alentador saber que existen métodos para ambos, lo cual permitiría reutilizar los materiales empleados en edificios existentes, además de pensar en que ambos pueden ser empleados a futuro.

## **2.8. CONCLUSIONES**

Después del análisis de las estructuras propuestas, se puede concluir que la cantidad en peso necesaria de acero es mucho menor que la de hormigón para obtener las mismas prestaciones, haciéndola menos demandante en términos de transporte.

El reciclaje es posible en ambos casos, aunque con el hormigón se pierde más calidad y la cantidad de material recuperado es menor en el producto final. El acero puede reciclarse con mayor calidad final, con la desventaja de que enviarlo a una planta de fundición requerirá un mayor transporte que con el hormigón. Para el caso del acero, al ser mayor la calidad del material reciclado, podrá emplearse con menores coeficientes de seguridad, haciendo necesarios



elementos estructurales con menor tamaño, reduciendo así el peso de la estructura en el segundo ciclo de vida.

Comprar el acero necesario para la estructura es más costoso que adquirir hormigón para tal fin, pero una vez llegado el material a obra, el tiempo de ejecución y el que se debe esperar para ponerlo en funcionamiento es muy inferior, con lo cual se acelerará el fin de obra y con ello la puesta en marcha y el inicio del recupero de la inversión. Es imposible en esta instancia hacer un cálculo preciso, pero se puede concluir que, una vez adquirido el material, el acero es más rentable que el hormigón, achicando, y probablemente eliminando la brecha de precio inicial.

Se ha demostrado también que la reducción de peso de la estructura en general es muy grande usando acero, con lo cual la demanda a la cimentación y sobre el suelo será menor, ahorrando no sólo en materiales, sino también en trabajo de suelos para poder soportar la estructura.



## CAPÍTULO 3

# REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

### 3.1. ANTECEDENTES

El agua es un recurso fundamental para la humanidad, y sus aplicaciones son muchas, empezando por el consumo humano para beber y cocinar, para nuestra higiene personal y la de nuestros edificios y lugares públicos, como medio de transporte para desechos, entre muchos otros.

La escasez de este recurso, tanto en cantidad como calidad es un problema muy grave para muchas personas en el planeta, y si bien nuestra región no se encuentra en una situación severa, es cierto que las condiciones son mejorables.

Para lograr la mejoría necesaria, es fundamental hacer el uso más inteligente posible del agua que llega a los domicilios, comercios, industrias y dependencias públicas.

### 3.2. PROPUESTA/HIPÓTESIS

Lo primero a analizar es el uso que se le da al agua que llega a nuestros hogares, para determinar así la calidad necesaria para cada uno, ya que no necesitamos la misma calidad de agua para el aseo personal, el lavado de la ropa, la limpieza de los pisos o para beber y cocinar, siendo estas últimas las únicas que deben contar con calidad óptima.

Con la Ordenanza N° 3893 del año 2006 (que fuera reemplazada con la ordenanza N° 4556 del 2012), la ciudad de Rafaela comenzó a exigir que en las construcciones nuevas se incluya una instalación de bombeo para extraer agua subterránea para usos que no impliquen riesgo para la salud de las personas, reduciendo así la demanda de agua potable.

La idea del proyectista del edificio analizado en este trabajo, es usar agua potable solamente en la canilla de la cocina, del lavatorio y el bidet. El agua freática se reserva para el riego de macetas, limpieza de piso, lavarropas y ducha. El agua freática de Rafaela, que se encuentra en la región geológica Pampa Norte, con un alto contenido de salitre, tiene cierta *dureza*, cualidad que la hace poco apta para el aseo personal, si bien no implica un riesgo sanitario *per se*.

Con el fin de reducir la cantidad de agua que se desecha a través del desagüe cloacal, se propone para este proyecto reutilizar aguas grises, provenientes del lavamanos del baño, la ducha, la pileta de la cocina y de los lavarropas, en las descargas de los inodoros.



Para lograrlo, se debería instalar un tanque de reserva en la planta baja, o enterrado, para luego bombear el agua a otro tanque en la parte superior del edificio, que a través de una cañería dedicada a ese fin, cargará los depósitos de los inodoros de las viviendas. En caso de haber un exceso de agua en la cisterna inferior, deberá preverse un sistema de volcamiento directo al desagüe cloacal, mientras que, si se diera el caso contrario, y no hubiera aguas grises suficientes para llenar los depósitos de los inodoros, se usaría agua subterránea.

Se deberá incorporar también una trampa de grasa, dado que el agua de la pileta de la cocina y el lavarropas contiene grasas provenientes de los detergentes.

Las aguas grises, una vez eliminadas las grasas, son apropiadas para riego, pero como este edificio no tendrá zonas verdes considerables, más que algunas posibles macetas en los departamentos, el único uso planificado para las aguas grises será la descarga de los inodoros y se usará agua de napa para las canillas de servicio.

### 3.3. CONSIDERACIONES

- Las aguas grises no son lo mismo que las aguas recicladas, que son aguas altamente tratadas en plantas diseñadas a tal fin (Allen, 2015).
- Se recomienda no almacenar aguas grises por más de 24 horas, no permitir su estancamiento o escorrentía, y minimizar su contacto con personas y animales, porque pueden contener patógenos.
- El sistema debe diseñarse de la manera más simple posible.
- En teoría, el mantenimiento requiere solamente una revisión anual de los filtros, y no requiere personal especializado.
- Este tipo de instalaciones sólo se justifica económicamente si se considera en la etapa de construcción, ya que hacer las modificaciones necesarias para instalarlas en edificios existentes es demasiado complejo y costoso.

### 3.4. ALTERNATIVAS

Existen en la actualidad sistemas que logran la reutilización de las aguas grises del baño y que no requieren una instalación de agua adicional, sino que todos los elementos necesarios, incluyendo las cañerías, filtros y el depósito, se colocan dentro del mismo baño. Estas instalaciones son modernas, poco difundidas y no se producen en el país, por lo que tienen precios elevados (**Figuras 17, 18 y 19**).



**Figuras 17 y 18.** Ejemplos de diseño de inodoros combinado con lavamanos



**Figura 19.** Sistema ReFlow: diseñado y producido en Canadá, reutiliza agua del lavamanos y la ducha dentro de la habitación, usando el tanque (que en la imagen está entre el inodoro y el lavamanos) en la descarga del inodoro. La última información data de 2015, cuando la empresa intentaba empezar a producirlo comercialmente.



### 3.5. DESARROLLO

A simple vista, instalar cañerías para recuperar aguas grises para el uso en descargas de inodoros no parece una alternativa justificable desde lo económico y técnico, pero al ser este un trabajo de investigación, deberá analizarse un poco más profundamente antes de descartarse.

Para ello se debe analizar la instalación con las dos alternativas, una incluyendo la instalación de reutilización de las aguas grises y otra sin incluirla, y determinar los materiales y la complejidad agregada, para así decidir si es provechosa en función de los beneficios que aportará.

Una tercera alternativa sería no hacer la instalación completa en la etapa de construcción inicial del proyecto, sino colocar solamente las cañerías, para instalar a posteriori las bombas, cisterna, tanque de reserva y trampa de grasa, si en el futuro se decide completar la instalación para reutilizar aguas grises por cuestiones legislativas o económicas. Esta posibilidad no se desarrollará en este trabajo.

En las siguientes secciones se diagramarán las instalaciones tanto con recuperación de aguas grises como sin ella, y se compararán las longitudes de cañerías que se tendrían que instalar para cada uno de los casos, a fin de cuantificar la diferencia entre ambas alternativas. Por simplicidad, no se incluye el cómputo de los elementos como codos, y tes, puesto que interesa solamente ilustrar las diferencias globales entre las distintas instalaciones.

#### 3.5.1. Cañerías internas

Con una instalación que use agua bombeada del acuífero freático para la descarga de los inodoros las cañerías necesarias para cada departamento son las detalladas en la **Tablas 16**, y para el caso de utilizar recuperación de aguas grises, las cañerías necesarias se detallan en la **Tabla 17** (ilustradas en los **Planos 3.1 a 3.6**).

**Tabla 16.** Recorrido interno de cañerías sin reutilización de aguas grises [metros]

INTERNO (S/ AºGº)	CANILLAS SERVICIO	DPTO. PB	DPTO. A (1º y 2º)	DPTO. B (1º y 2º)	DPTO. C (1º y 2º)	TOTAL
Agua Caliente	-	3	3,3	3,5	6,5	<b>30</b>
Agua Pozo	28	2,8	3	5,4	4,8	<b>57</b>
Agua Potable	-	2	3,2	3,5	6,3	<b>28</b>
					<b>GLOBAL</b>	<b>115</b>

Las unidades A, B y C se suman dos veces, al repetirse la planta de modo idéntico en el 1º y 2º piso

AºGº: Aguas Grises


**Tabla 17.** Recorrido interno de cañerías con reutilización de aguas grises [metros]

INTERNO (C/ AºGº)	CANILLAS SERVICIO	DPTO. PB		DPTO. A (1º y 2º)		DPTO. B (1º y 2º)		DPTO. C (1º y 2º)		TOTAL
Agua Caliente	-	3		3,3		3,5		6,5		30
Agua Pozo	28	2,2		1,4		4,3		4		50
Agua Potable	-	2		3,2		3,5		6,3		28
Aguas Grises	-	0,8		2,4		4,2		4,8		24
									<b>GLOBAL</b>	<b>132</b>

Se reducen los caños necesarios en la instalación de agua de pozo en 7 metros, y se deben instalar 24 metros para la instalación de aguas grises, que de otro modo no serían necesarios, por lo cual habría un incremento de 17 metros, o un 15%, sobre la instalación total. Se considera que todas las cañerías son similares, para simplificar la estimación.

### 3.5.2. Bajadas

Las cañerías necesarias aumentan de 162 metros lineales a 208, lo que implica un incremento del 27%.

Las instalaciones de agua caliente, de pozo, y potable son para estos casos idénticas, ya que no cambian los recorridos. El objetivo de reiterar los datos es evidenciar la variación de complejidad entre los sistemas

La longitud de cañerías necesarias para bajadas de distribución para una instalación sin reutilización de aguas grises se detalla en la **Tablas 18**, mientras que las cañerías para el mismo propósito pero con reutilización de aguas grises se detalla en la **Tabla 19 (Planos 3.7 a 3.10)**.

Las distribuciones en PB y terraza se ilustran en los **Planos 3.7 a 3.11**.

**Tabla 18.** Bajadas de distribución y cañerías de alimentación de tanques elevados sin reutilización de AºGº [metros]

BAJADAS S/ AºGº	CANILLAS SERVICIO		DPTOS. A (PB, 1º y 2º)		DPTOS. B (1º y 2º)		DPTOS. C (1º y 2º)		TOTAL	
	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.		
Agua Caliente	-	-	10	22	6,5	2,5	6,5	2,2	50	
Agua Pozo	10	1,7	10	21,5	6,5	2,4	6,5	4,1	63	
Agua Potable	-	-	10	20	6,5	0,4	6,5	5,1	49	
									<b>GLOBAL</b>	<b>162</b>

**Tabla 19.** Bajadas de distribución y cañerías de alimentación de tanques elevados con reutilización de A<sup>o</sup>G<sup>o</sup> [metros]

BAJADAS C/ A <sup>o</sup> G <sup>o</sup>	CANILLAS SERVICIO		DPTOS. A (PB, 1 <sup>o</sup> y 2 <sup>o</sup> )		DPTOS. B (1 <sup>o</sup> y 2 <sup>o</sup> )		DPTOS. C (1 <sup>o</sup> y 2 <sup>o</sup> )		TOTAL
	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	
Agua Caliente	-	-	10	22	6,5	2,5	6,5	2,2	<b>50</b>
Agua Pozo	10	1,7	10	21,5	6,5	2,4	6,5	4,1	<b>63</b>
Agua Potable	-	-	10	20	6,5	0,4	6,5	5,1	<b>49</b>
Aguas Grises	-	-	9,5	24	6	0,2	6	0,6	<b>46</b>
								<b>GLOBAL</b>	<b>208</b>

### 3.5.3. Alimentación de tanques de reserva

Las cañerías necesarias para la alimentación de los tanques de reserva, en instalaciones sin y con reutilización de agua se detallan en las **Tablas 20 y 21 (Planos 3.9 y 3.10)**.

**Tabla 20.** Alimentación de los depósitos de techo sin reutilización de aguas grises [metros]

SUBIDAS S/ A <sup>o</sup> G <sup>o</sup>	HORIZONTAL	VERTICAL	TECHO	TOTAL
Agua Caliente	-	-	3,3	<b>3</b>
Agua Pozo	2	10	11,3	<b>23</b>
Agua Potable	24,2	10	9	<b>43</b>
			<b>GLOBAL</b>	<b>69</b>

**Tabla 21.** Alimentación de los depósitos de techo con reutilización de aguas grises [metros]

SUBIDAS C/ A <sup>o</sup> G <sup>o</sup>	HORIZONTAL	VERTICAL	TECHO	TOTAL
Agua Caliente	-	-	3,3	<b>3</b>
Agua Pozo	2	10	11,3	<b>23</b>
Agua Potable	24,2	10	9	<b>43</b>
Aguas Grises	2,1	10	16	<b>28</b>
			<b>GLOBAL</b>	<b>97</b>

La instalación de recupero de aguas grises incrementa 28 metros (o un 41%) la cantidad de cañerías necesarias.

El incremento global (considerando subidas de alimentación y bajadas de distribución) es de un 32% al total de cañerías necesarias.



### 3.5.4. Resumen de resultados

La **Tabla 22** exhibe un resumen de las diferencias que implica añadir la instalación de recuperación de aguas grises en el edificio.

**Tabla 22.** Incremento de longitud de cañerías con instalación de Aguas Grises

	LONGITUD DE CAÑERÍAS [m]				INCREMENTO	
	INTERNAS	SUBIDAS	BAJADAS	TOTAL	metros	%
Sin AºGº	115	162	69	346	<b>91</b>	<b>26</b>
Con AºGº	132	208	97	437		

### 3.5.5. Evacuación

Las cañerías de evacuación deberán separarse, enviando las aguas negras, provenientes del inodoro y bidet, además de la pileta de piso del baño, por cuestiones higiénicas, al desagüe cloacal.

El agua de la ducha, pileta de cocina, lavamanos y lavarropas, se canaliza hacia la cisterna de aguas grises y desde allí se bombeará al tanque elevado.

La diferencia en la instalación puede verse en los **Planos 3.11 a 3.18**.

Se mostrará un cómputo de las instalaciones de desagüe sin y con recuperación de aguas grises, para comparar la cantidad de cañerías necesarias en ambos casos (**Tablas 23 y 24**).

Como puede verse, el sistema de aguas grises implica la instalación de 65 metros de cañerías, si se tienen en cuenta los desagües dentro de los departamentos y las bajadas generales. Sin embargo, no reducen las cañerías necesarias para la evacuación de los inodoros y los troncales de 4".

**Tabla 23.** Recorridos desagües sin instalación de AºGº

SIN AºGº	PB	DPTO. A (1º y 2º)	DPTOS. B y C (1º y 2º)	TOTAL [mts]		
AºNº 1"	6,9	7,9	13,8	29	<b>69</b>	<b>TOTAL CAÑOS 1"</b>
AºNº 4"	2,5	3,5	15,7	22		<b>TOTAL CAÑOS 4"</b>
<b>BAJADAS</b>	32,4	7,3	8	48		

AºNº: Aguas Negras

**Tabla 24.** Recorridos desagües con instalación de A°G°

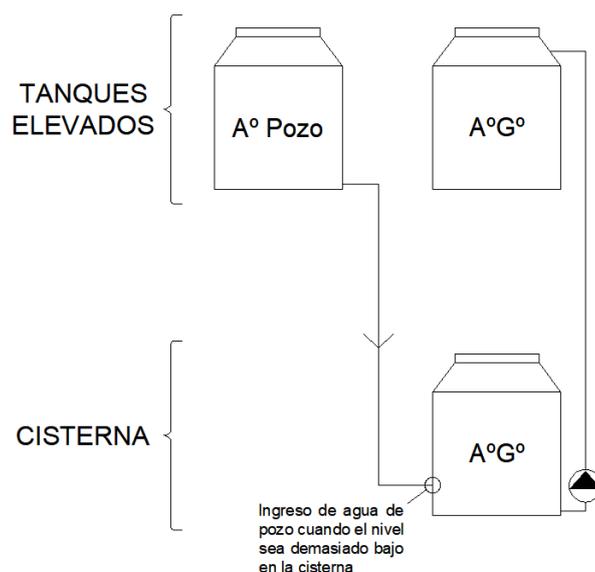
CON A°G°	PB	DPTO. A (1º y 2º)	DPTOS. B y C (1º y 2º)	TOTAL [mts]		
A°G°	9,6	8,5	21,8	40	70	TOTAL CAÑOS 1"
A°Nº 1"	0,9	1,5	3	5		
BAJADAS A°G°	7,9	7,9	9,2	2		
A°Nº 4"	2,5	3,5	15,7	22	69	TOTAL CAÑOS 4"
BAJADAS A°Nº	32,4	7,3	8	48		

Si se suponen las cañerías tanto para las aguas grises como las de la cañería de desagüe secundario (en la instalación sin recupero de aguas grises), la primera tendrá 70 metros, y la segunda 29, aumentando así el costo.

Aumentaría también la complejidad de la instalación, y con ello los puntos de falla, sobre todo teniendo en cuenta que al ser una práctica no estandarizada en la región, es posible no contar con suficiente personal debidamente especializado.

### 3.5.6. Otros elementos que deben agregarse

Para la recuperación de aguas grises se deben agregar dos tanques, uno que hará de cisterna, y uno de depósito elevado en la terraza, además de una bomba y una trampa de grasa. Para suplir la escasez, si se diera el caso en el que el agua gris no alcanzara para llenar los depósitos de los inodoros, se agregará un caño que alimente desde el depósito elevado de agua de pozo la cisterna de aguas grises para bombear desde ahí al depósito elevado de A°G° (**Figura 20**).

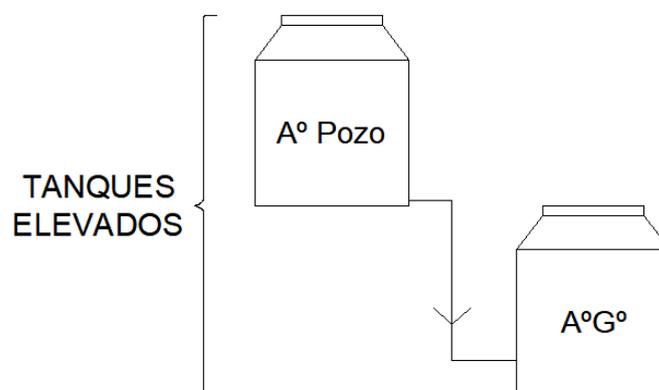
**Figura 20.** Diagramación de los tanques de reserva y cisterna de agua de pozo y aguas grises.



Cuando haya excesiva cantidad de agua gris, superando la capacidad del tanque elevado y la cisterna, deberá preverse que el exceso sea evacuado directamente al desagüe cloacal. Esto puede resolverse haciendo una perforación adicional en la cisterna, a una altura apenas superior a la de la cañería de ingreso, de modo que al llegar a ese nivel, el agua excedente evacúe inmediatamente.

La cisterna debería colocarse bajo el nivel del terreno, para que el agua proveniente de la planta baja ingrese en ella sin bombeo.

Otra alternativa, más simple que la anterior (**Figura 21**), sería colocar el tanque de reserva de agua de pozo a un nivel superior al tanque de reserva de aguas grises, de modo de poder llenarlo sin hacer pasar el agua por la cisterna para recién después elevarlo nuevamente.



**Figura 21.** Diagramación alternativa

### 3.5.7. Casos testigo

La empresa Kohler Co., con sede en Estados Unidos, dedicada a la fabricación de elementos sanitarios, hizo una prueba de un año reutilizando de aguas grises de los vestuarios de su planta para las descargas de los inodoros, cuyos resultados se describen en “Is Gray-Water Reuse Ready for Prime Time?” (Kuru *et al.*, 2012), usando cuatro distintos métodos de limpieza, desde una simple filtración y cloración, hasta membranas bioreactivas.

En todos los casos, incluyendo los sistemas más complejos y costosos, la calidad del agua se vio disminuida, generando en algunos casos olores, reducción del tamaño y rigidización de las válvulas de los inodoros y obstrucciones. Varios métodos, sobre todo los más económicos, requirieron mantenimiento periódico, y al final del período de prueba de un año, los resultados no fueron satisfactorios.

Otros estudios en Australia y Nueva Zelanda (Muñoz, 2016) concluyen que, incluso en economías desarrolladas y con subsidios estatales, el recupero de la inversión en la



implementación de sistemas de recuperación de aguas grises se logra en plazos largos de tiempo, y en algunos casos nunca se logra recuperar.

### **3.6. CONCLUSIONES**

La única ventaja obtenida al agregar la instalación para la reutilización de aguas grises es reducir el agua residual que se evacuará a la red cloacal, al usar dos veces el agua de las duchas, lavamanos, cocina y lavarropas. Si esta práctica se generaliza, el rendimiento de la planta de tratamiento de efluentes podría aumentar y esto sería un beneficio para la ciudad, aunque no sea percibido en la vida cotidiana. Esto sólo se lograría si se regulara, ya que el ciudadano común no incurrirá en gastos y complicaciones para mejorar una situación que no lo afecta de manera directa y evidente. Cabe aclarar que si bien la cantidad de agua residual a tratar sería menor, el tratamiento necesario para una misma cantidad sería mayor, ya que habría mayor densidad de residuos sólidos en la misma.

No habrá ningún ahorro económico en la situación de servicio actual, porque de no reutilizar las aguas grises, se usará agua freática para los inodoros. El aumento del costo de la instalación no será prohibitivo, pero puede que sea innecesario, sobre todo teniendo en cuenta el aumento en la complejidad de la misma.

En los casos testigo estudiados, los beneficios económicos son escasos, en caso de existir, y eso es teniendo en cuenta que el agua ahorrada es agua potable, por la cual se debe pagar a la empresa proveedora del servicio. Ese no sería el caso que se analiza en este trabajo, ya que de no reutilizar las aguas grises, el agua empleada en las descargas de los inodoros será obtenida del lecho freático.

Con la información recabada, no puede concluirse que instalar un sistema de recupero de aguas grises sea conveniente desde lo económico ni desde lo técnico, dadas las condiciones tecnológicas actuales.



## CAPÍTULO 4

# CONSTRUCCIÓN EN SECO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Las tradiciones son importantes para las comunidades, porque forman parte de su cultura e identidad. Existen tradiciones nacionales, regionales, y propias de diversas religiones, grupos étnicos e incluso en distintas profesiones.

La Industria Constructiva no es una excepción, y una de sus tradiciones más arraigadas es la construcción de muros medianeros y divisores con ladrillos cerámicos, tanto comunes (los típicos ladrillos de 30x15x5 cm) como huecos (portantes y no portantes). Muchas personas, incluyendo a profesionales de la construcción, no cuestionan su uso, considerándolo prácticamente omnipotente, razonando que, si algo se usa desde hace mucho tiempo sin variaciones, será porque tiene que existir para siempre de ese modo.

Pero el objetivo de este Proyecto es desafiar nociones y costumbres propias de la Ingeniería actual, como un ejercicio académico e intelectual. Es por ello que este aspecto no quedará sin explorar.

Los ladrillos aportan solidez a los edificios, creando divisiones firmes y soportando muchas veces buena parte de la carga estructural, siempre y cuando no sean edificaciones de gran envergadura. Es un material resistente al paso del tiempo y a condiciones climáticas adversas, como también a los maltratos a los que los someten los habitantes, como los golpes producidos por movimientos de muebles.

Si bien sus virtudes son varias, los ladrillos también tienen sus limitaciones e inconvenientes.

#### 4.1.1. Desventajas de los ladrillos

**Peso:** si bien son autoportantes y muchas veces soportan sobrecarga, los ladrillos aportan mucho peso, que recaerá sobre la estructura, y deberá ser soportado por vigas, columnas, fundaciones y en algunos casos por losas.

**Impacto ambiental:** el material cerámico de los ladrillos necesita cocerse a temperaturas muy elevadas (que pueden llegar a los 1000°C) durante un largo período, para lo cual se requiere gran cantidad de combustible, produciendo una importante cantidad de emisiones.

**Obra húmeda:** construir con ladrillos implica preparar mortero y hacer obra húmeda, para lo cual hay que tomar recaudos, sobre todo cuando se hace una modificación y ya existen



instalaciones, para no afectar el entorno. La obra húmeda requiere un importante tiempo de ejecución y de medidas para evitar la futura aparición de humedad y otras patologías.

#### 4.1.2. Construcción en seco

La propuesta para este edificio es emplear técnicas de construcción en seco para la división interna entre las unidades, haciendo los muros exteriores con ladrillos, por exigencia reglamentaria.

Estas técnicas presentan una serie de ventajas:

- La construcción en seco, usando placas de yeso o cemento, con estructura de metal (*Steel-Framing*) pueden ejecutarse en una menor cantidad de tiempo, y complementarse con materiales aislantes con mayor facilidad.
- Las reducción del polvillo y demás residuos contribuyen a una obra más limpia durante su ejecución, y las construcciones están listas para habitarse rápidamente luego del fin de obra, mientras que las construcciones con materiales convencionales siguen liberando polvillo durante varios días después de terminadas. Se puede observar la limpieza de obra en la **Figura 22**.



**Figura 22.** Imagen tomada en la obra analizada durante la ejecución de los cerramientos y revestimientos interiores.



- Permite desensamblar los elementos constructivos en lugar de demolerlos, como sucede con los muros de ladrillo, los cuales, al ser construidos, pasan a formar un solo elemento. Si usamos placas montantes y tornillos más el material aislante a emplearse en el interior, no estamos formando un elemento monolítico, sino simplemente ensamblando componentes de modo que podemos hacer el proceso inverso cuando necesitemos desmontar ese tabique. De ese modo, podemos disponer de manera práctica, rápida y limpia de cada elemento componente ya sea para enviarlo a reciclaje o incluso reutilizarlo en otro tabique, en la misma o en otra construcción.
- El desperdicio también es menor que con ladrillos, pudiendo calcularse con mayor precisión las cantidades necesarias, reduciendo el costo.
- La factibilidad de reciclaje es mucho mayor que con ladrillos, ya que pueden reconstituirse totalmente y regenerar materiales con las mismas propiedades que los originales, sin perder calidad y versatilidad.
- Mejor resistencia al fuego y la humedad, incluso en las placas convencionales, y existen placas especiales con prestaciones mucho mayores.
- Los materiales empleados tienen propiedades uniformes y una calidad estándar superior a la provista por los ladrillos.
- Según profesionales de la Construcción que trabajan con estas técnicas, el tiempo de ejecución se reduce entre un 30 y un 35%.

## **4.2. MUROS CONVENCIONALES Y MUROS STEEL-FRAME**

El peso de los muros es de los más importantes entre las cargas en un edificio, por lo que reducirlo es clave para reducir el tamaño de la estructura, y con ello la cantidad de recursos necesarios para construirla, lo cual significará una disminución no sólo de costos, sino de recursos materiales, y su consecuente impacto ambiental.

### **4.2.1. Comparación de peso de distintos cerramientos**

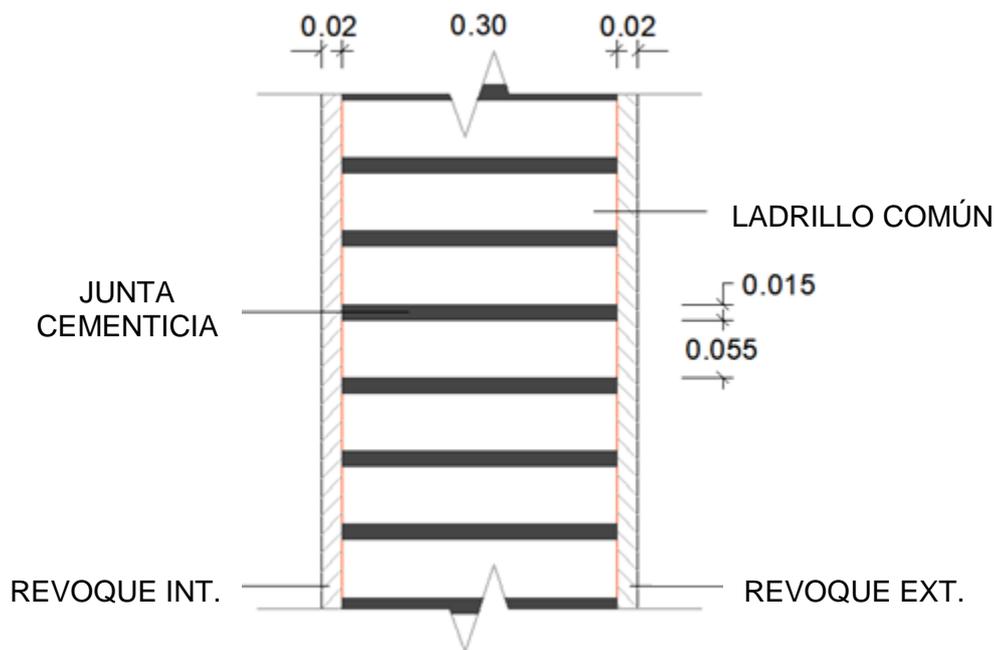
Como se mencionó anteriormente, el cambio de técnica constructiva puede significar una importante reducción de peso de la estructura y el cerramiento.

Se procederá a describir las diferencias en peso en los cerramientos internos y los de la envolvente, comparando las dos técnicas, por un lado los ladrillos, tanto comunes como huecos, y por otro las alternativas de construcción en seco.



#### 4.2.2. Muros de ladrillo

Los ladrillos comunes tienen una densidad que varía entre los 1600 y los 2000 kg/m<sup>3</sup> (según la Norma IRAM 11601, tabla A.1, aunque hay marcas comerciales que escapan a este espectro). Se tomará una densidad de referencia de 1700 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del mortero cementicio es de 1600 kg/m<sup>3</sup>. No se usarán los pesos propios más elevados, dado que la idea es comprobar los beneficios de la construcción en seco, y lo más justo es compararlos con la situación más *favorable* para los materiales convencionales. El muro exterior analizado se esquematiza en la **Figura 23**.



**Figura 23.** Esquema muro de ladrillos comunes

Los revoques, tanto exteriores como interiores, tienen un peso propio estimado de 1900 kg/m<sup>3</sup>, según la Norma IRAM 11601 (Tabla A1).

Por simplicidad, se considerarán los muros como franjas horizontales de ladrillos de 5,5 cm de espesor, intercalados con franjas de mortero cementicio de 1,5 cm. Se despreciarán de este modo las juntas verticales, cuya diferencia de peso con el volumen de ladrillos sería despreciable.

En un metro de altura, habrá 14 franjas de ladrillos y 14 de mortero (esto suma 98 cm, los 2 cm restantes se compensarán aumentando el peso resultante en un 2%). Se realiza el cálculo en la **Tabla 25**.

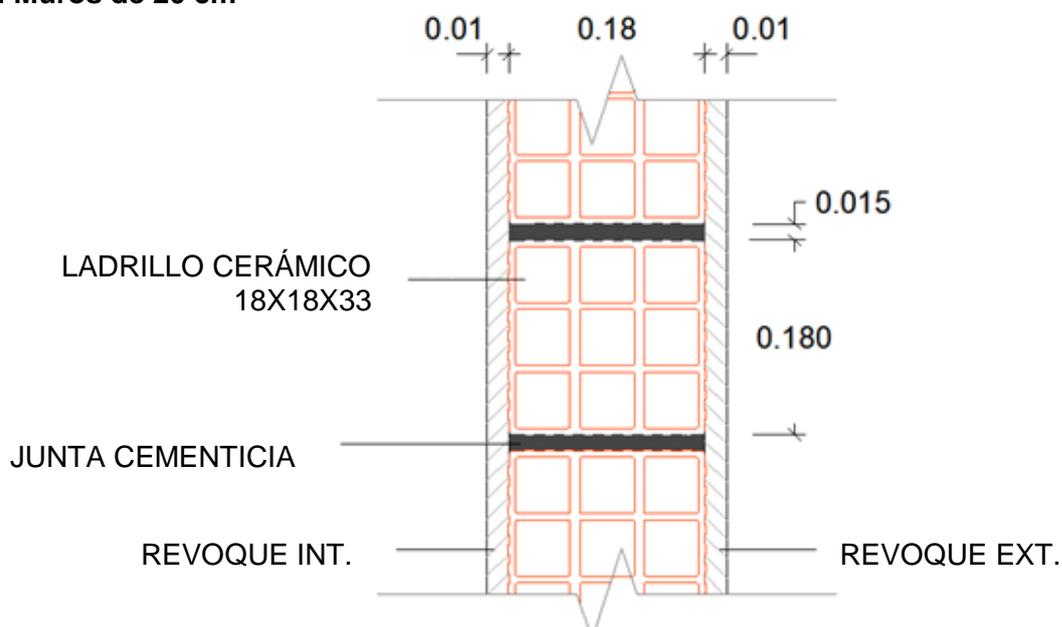
Para muros divisorios el esquema es diferente, ya que por su mayor uniformidad, los revoques se reducen a 1 cm.



**Tabla 25.** Peso de componentes en muros de ladrillo común

ÍTEM	DENSIDAD [kg/m <sup>3</sup> ]	SECCIÓN HORIZ. [m]	ESPESOR VERT. [m]	CANTIDAD [unid/m <sup>2</sup> ]	CORRECCIÓN	PESO [kg/m <sup>2</sup> ]
LADRILLOS	1700	0,24	0,055	14	1,02	320,4
JUNTAS	1600	0,30	0,015	14	1,02	102,8
REVOQUES	1900	0,04	1	1	1	76
						<b>499,3</b>

### 4.2.3. Muros de 20 cm



**Figura 24.** Esquema muro de ladrillos huecos de 20 cm

Como en el caso anterior, tendremos que hacer una corrección para calcular el peso aportado por los ladrillos y las juntas. La suma de la altura de los ladrillos (18 cm) y de las juntas (1,5 cm) es de 19,5 cm, por lo que en un metro de altura habrá 5 hileras, que sumarán 97,5 cm (**Figura 24**). Para compensar los 2,5 cm restantes, al producto de las densidades por los volúmenes y las cantidades, se les agregará un 2,6% (**Tabla 26**). La densidad de los ladrillos huecos es de 1400 kg/m<sup>3</sup>.

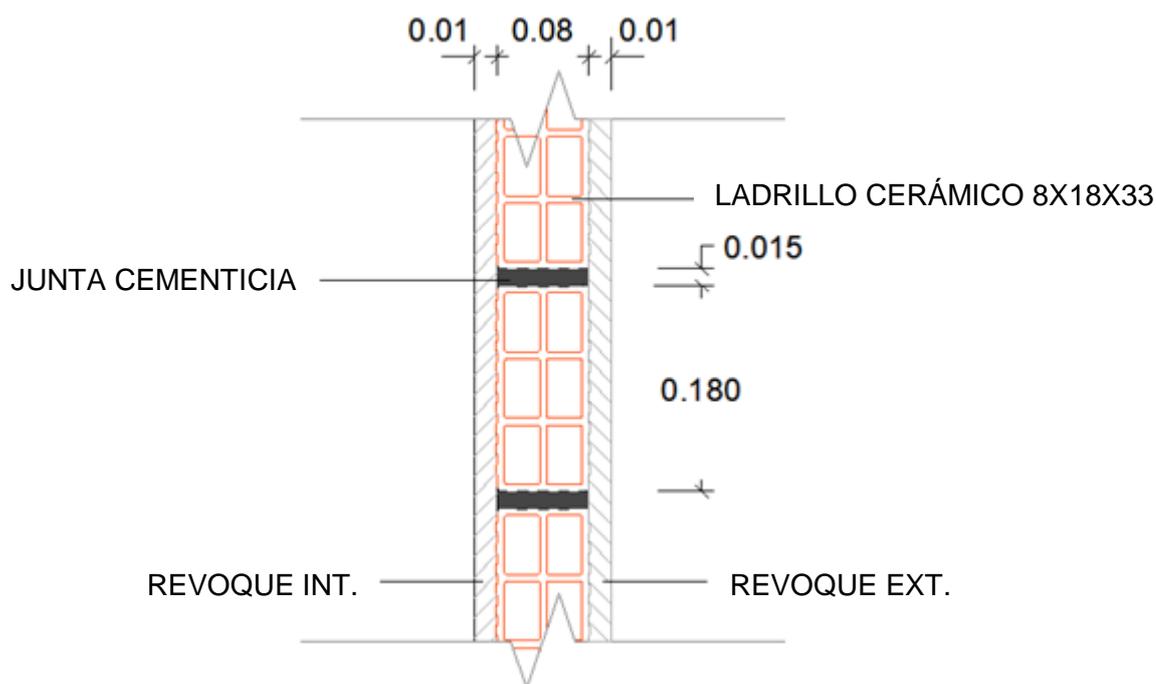
**Tabla 26.** Peso de muros de ladrillo hueco de 20 cm

ÍTEM	DENSIDAD [kg/m <sup>3</sup> ]	SECCIÓN HORIZ. [m]	ESPESOR VERT. [m]	CANTIDAD [unid/m <sup>2</sup> ]	CORRECCIÓN	PESO [kg/m <sup>2</sup> ]
LADRILLOS	1400	0.18	0.18	5	1.026	232.7
JUNTAS	1600	0.18	0.015	5	1.026	22.2
REVOQUES	1900	0.02	1	1	1	38
						<b>292.9</b>



#### 4.2.4. Muros de 10 cm

Se repite el cálculo anterior, modificando tan sólo la sección horizontal de los ladrillos y las juntas, ya que las demás características y dimensiones se repiten (**Figura 25** y **Tabla 27**).



**Figura 25.** Esquema muro de ladrillos huecos de 10 cm

**Tabla 27.** Peso de muros de ladrillo hueco de 10 cm

ÍTEM	DENSIDAD [kg/m <sup>3</sup> ]	SECCIÓN HORIZ. [m]	ESPESOR VERT. [m]	CANTIDAD [unid/m <sup>2</sup> ]	CORRECCIÓN	PESO [kg/m <sup>2</sup> ]
LADRILLOS	1400	0.10	0.18	5	1.026	129.3
JUNTAS	1600	0.1	0.015	5	1.026	12.3
REVOQUES	1900	0.02	1	1	1	38
						<b>179.6</b>

#### 4.2.5. Muros de construcción en seco

Los muros construidos con técnicas de construcción en seco, normalmente denominados *Steel-framing*, tienen un peso muy inferior a los de los construidos con ladrillos.

Usando los manuales de Superboard y de Durlock, las dos marcas más reconocidas de placas cementicias y de yeso respectivamente, es posible estimar el peso de un metro cuadrado de un muro ejecutado con estos materiales.

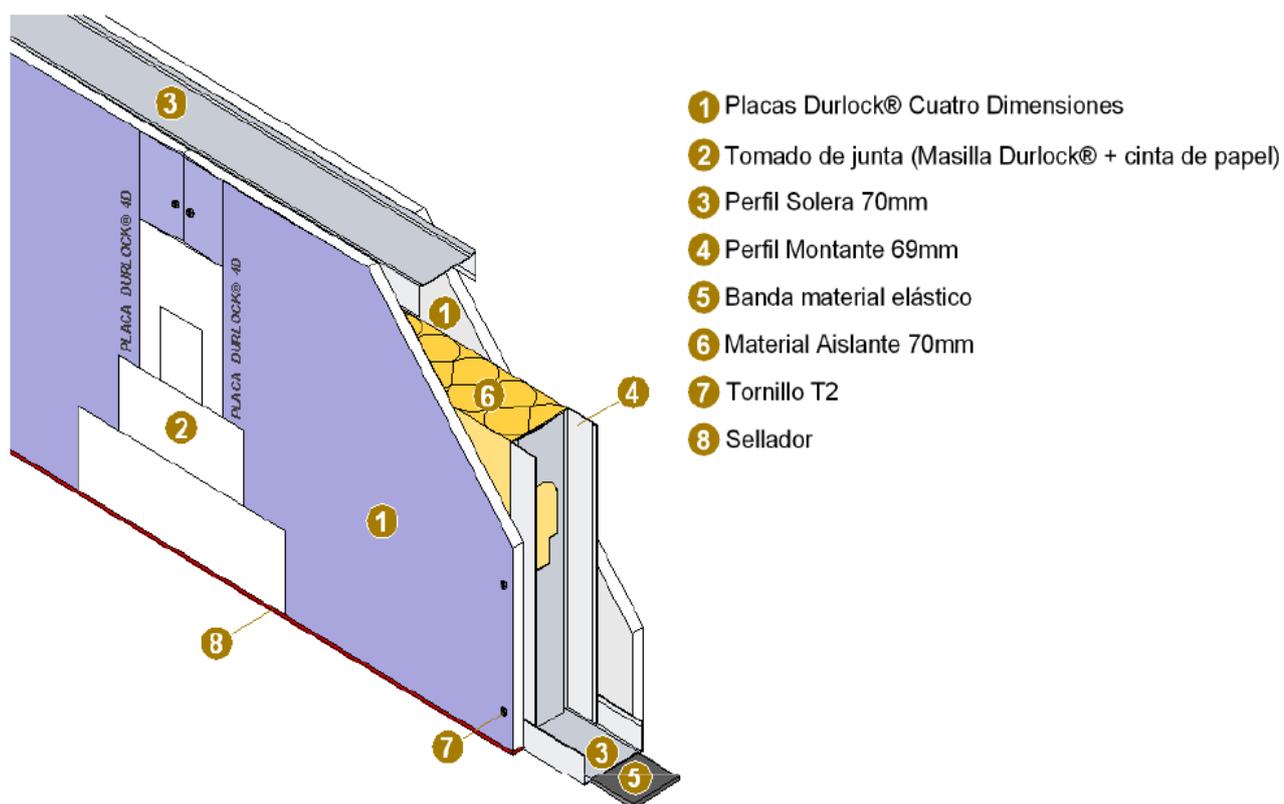


Los pesos son similares tanto para muros de 30, 20 y 10 cm de espesor, ya que solamente se ensancha la estructura pero utilizando prácticamente los mismos elementos.

Se detallarán dos tipos de muro, uno para divisiones interiores, usando placas de yeso, y uno para cerramientos con placas cementicias del lado exterior.

#### 4.2.5.1. Muro interior

Los muros interiores se componen de placas de yeso de 12,5 mm de ambos lados, con una estructura metálica que soportará su peso y le dará rigidez (**Figura 26**). También se incluye una aislación de lana de vidrio que rellena el espacio interior, y que se analizará pormenorizadamente en el Capítulo 5 de este proyecto. El peso de los componentes se describe en la **Tabla 28**.



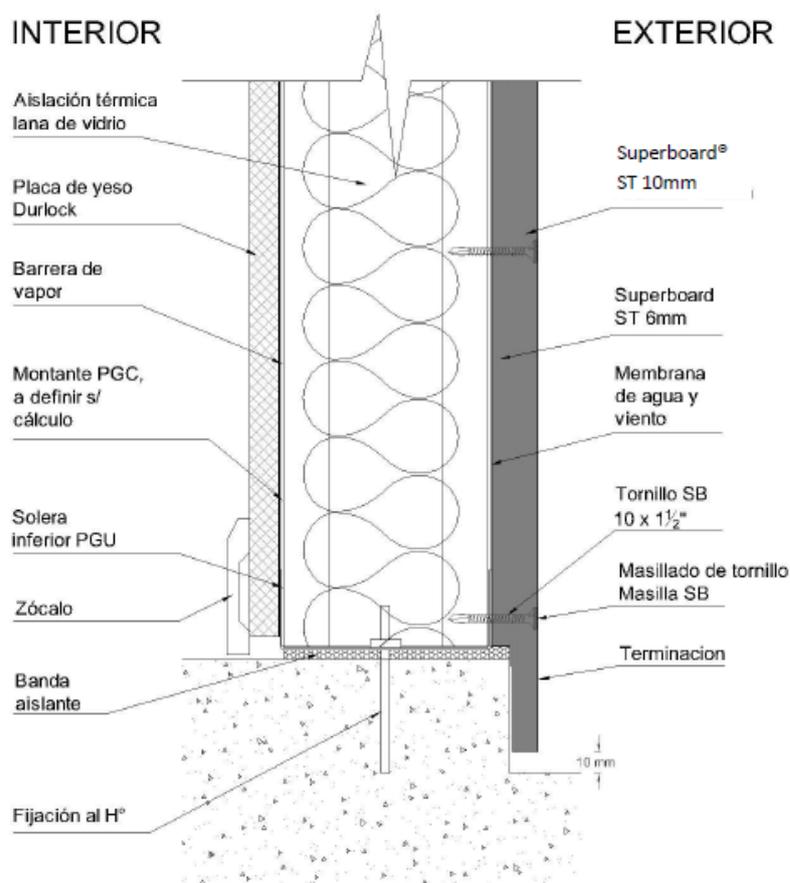
**Figura 26.** Diagrama de muro divisor interior de placas de yeso (Durlock)

**Tabla 28.** Peso por m<sup>2</sup> de los componentes del sistema

ELEMENTO	USO POR m2	UNIDAD	PESO POR UNIDAD [KG]	PESO TOTAL [KG]
PLACA DURLOCK 12,5mm	1.05	m2	10.8*	14.4
ESTRUCTURA PGC	3.33	ml	1.32*	4.40
ESTRUCTURA PGU	2.5	ml	1.40*	3.50
LANA DE VIDRIO (50mm)	1.05	m2	16.8	12.6
PLACA DURLOCK 12,5mm	1.05	m2	10.8*	11.3
MASILLA	-	kg	-	0.14
*Según manuales de Durlock				<b>48.4</b>

#### 4.2.5.2. Muro exterior

Para este caso, el lado interior llevará una placa de yeso marca Durlock, al igual que los tabiques interiores, mientras que el lado exterior llevará una placa cementicia tipo Superboard, que resiste mejor los embates climáticos (**Figura 27**). La **Tabla 29** detalla el peso de esta alternativa.

**Figura 27.** Corte horizontal de muros exteriores con placas cementicias (Superboard)

**Tabla 29.** Peso por m<sup>2</sup> de los componentes del sistema

ELEMENTO	USO POR m <sup>2</sup>	UNIDAD	PESO POR UNIDAD [KG]	PESO TOTAL [KG]
PLACA SUPERBOARD 6mm	1.05	m <sup>2</sup>	8.30*	8.72
PLACA SUPERBOARD 10mm	1.05	m <sup>2</sup>	13.7	14.4
PLACA DURLOCK 12,5mm	1.05	m <sup>2</sup>	10.8	11.3
ESTRUCTURA PGC	3.33	ml	1.32	4.40
ESTRUCTURA PGU	2.5	ml	1.40	3.50
LANA DE VIDRIO (50mm)	1.05	m <sup>2</sup>	12.0	12.6
MASILLA	-	kg	-	0.14
*Según manuales de Superboard				<b>55.1</b>

Como puede verse, en el peor de los casos, un muro hecho con *Steel-framing* pesa menos de 55,1 kg por metro cuadrado, mientras que un muro con ladrillos huecos de tan sólo 8 cm de espesor aporta al menos 180 kg a la carga que debe soportar una estructura, por lo que un muro divisorio de 5x2.65mts, dimensiones que se hallan en el edificio en análisis, pesarían aproximadamente 610 kg realizados con *Steel-framing* y no menos de 2385 kg si son hechos de ladrillos huecos de 8cm.

Un muro exterior de 30 cm construido con *Steel-framing* pesaría aproximadamente 730 kg usando las mismas dimensiones, mientras que si se construyen con ladrillos comunes pesaría más de 7600 kg. La **Tabla 30** detalla las diferencias porcentuales entre las alternativas.

**Tabla 30.** Resumen y comparación de valores

TIPO DE MURO	PESO [kg]		REDUCCIÓN [%]
	MATERIAL		
	LADRILLO	STEEL-FRAME	
DIVISORIOS 10cm	<b>180</b>	<b>48</b>	<b>73</b>
DIVISORIOS 20cm	<b>293</b>		<b>83</b>
EXTERIORES 30cm	<b>499</b>	<b>55</b>	<b>89</b>

#### 4.3. LOSA DE HORMIGÓN Y LOSA ALIVIANADA

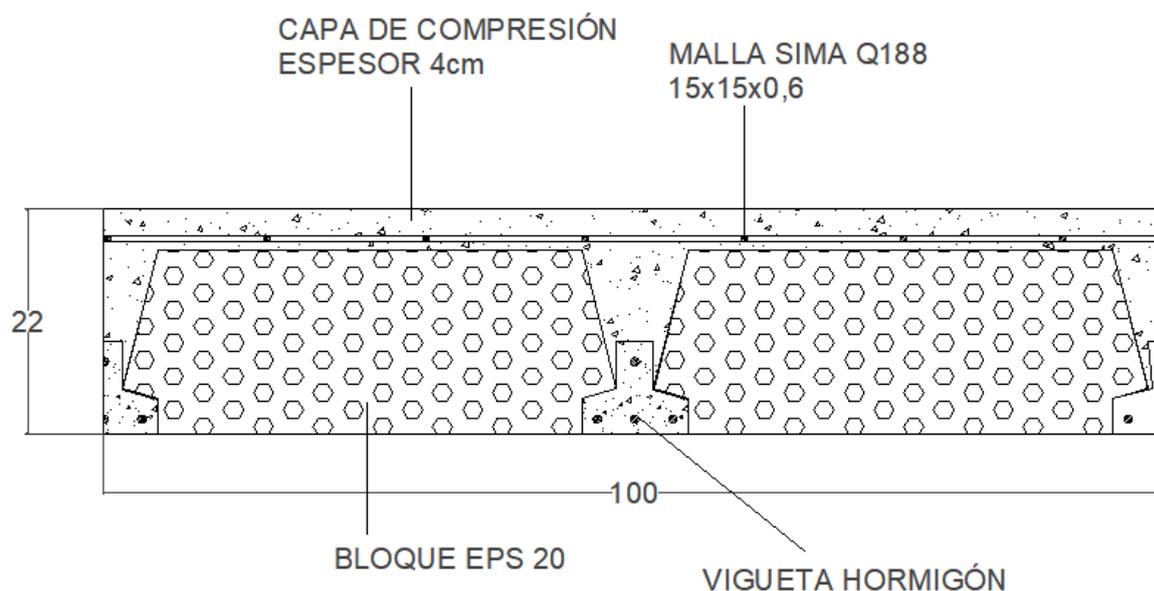
En este inciso se compararán las alternativas para las losas, que son una losa de hormigón macizo, y una losa alivianada.

Una losa de hormigón de 12 cm tendría un peso de:

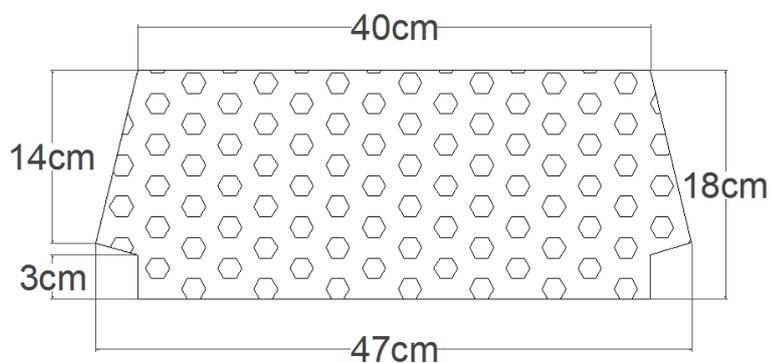
$$2400 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,12 m = 288 \frac{kg}{m^2}$$



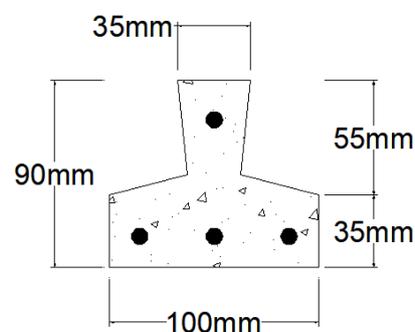
En la obra se utilizará una losa alivianada (**Figura 28**), compuesta por bloques de poliestireno expandido (**Figura 29**) y una capa de compresión de 4 cm, con viguetas pretensadas de hormigón (**Figura 30**).



**Figura 28.** Esquema losa alivianada



**Figura 29.** Sección de los bloques de EPS



**Figura 30.** Sección de las viguetas de hormigón

Un metro cuadrado de losa tendrá un volumen de  $0,22 \text{ m}^3$ . Este volumen será dividido en dos materiales básicos, el EPS de los bloques, y el hormigón de las viguetas y de la capa de compresión (se despreciarán las barras de acero de las viguetas y la malla Sima de la capa de compresión).

La sección transversal de los bloques de EPS es de  $767 \text{ cm}^2$ , y habrá dos bloques con esta sección y un metro de largo por metro cuadrado de losa. El peso se calcula en la **Tabla 31**.

**Tabla 31.** Peso por m<sup>2</sup> de la losa alivianada

ELEMENTO	SECCIÓN TRANSV. [m2]	DENSIDAD [kg/m3]	APORTE DE PESO [kg/m2]
EPS 20 (x2)	0.153	20	3.07
HORMIGÓN	0.067	2400	159.84
	Σ 0.220		<b>162.9</b>

El peso de la losa se reduce de 288 kg/m<sup>2</sup> (de la ecuación realizada al principio de este inciso) a 162,9 kg/m<sup>2</sup>, o un **44,5%**.

#### 4.4. RECICLAJE

##### 4.4.1. Reciclaje de ladrillos

El reciclaje y la reutilización de ladrillos procedentes de la defectuosa fabricación podrían conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad.

Los residuos de ladrillo permiten la obtención de un material fragmentado que es ampliamente utilizado como agregado reciclado. Numerosas experiencias a nivel mundial lo comprueban. Algunos casos son los descritos a continuación, según detalla Pérez Rojas (2012).

- Holanda: se han llevado a cabo varios proyectos piloto donde se ha reemplazado el 20% del agregado grueso por una mezcla de concreto y ladrillo triturado en la construcción de un viaducto. Se usaron alrededor de 300 m<sup>3</sup> de concreto con agregado reciclado de hormigón y ladrillo, en las obras de compuerta. Desde 1994 se permite un reemplazo de hasta 20% del agregado grueso. Se construyeron 272 casas unifamiliares con un 100% de agregado reciclado ya entre 1997 y 1998.
- Alemania: el uso de agregado reciclado data desde 1950 y se usa principalmente en construcción de viviendas.
- Reino Unido: se hizo una losa fuertemente armada de 50cm de espesor para una segunda planta, con 20% de agregado grueso reciclado, unas 100 toneladas de ese material. La dosificación del hormigón fue la misma que la losa de la primera planta, obteniendo ambos resultados similares (60kN/m<sup>2</sup> a los 90 días). Tampoco hubo diferencias en cuanto al bombeo y la puesta en obra.
- Estados Unidos: se usan 2.7 millones de toneladas anuales de agregado, entre el 10 y el 15% en pavimentación, 20 a 30% en construcción de carreteras y otros trabajos de mantenimiento, y entre 60 y 70% en hormigón estructural.



- España: para hacer lugar para la Ciudad Olímpica de Barcelona, se demolieron construcciones que generaron un 1.5 millones de toneladas de escombros, que luego se utilizaron en construcción de calles y rutas de la ciudad, además de escolleras en la línea litoral.
- Japón: se estudiaron por más de 25 años las posibilidades de reutilización de agregados de demolición para la elaboración de hormigones, pero dada la rigurosidad de las normas JIS A-5308 de ese país, se utiliza más del 96% de los agregados reciclados como subbases en carreteras.
- Hong Kong: el parque Wetland Park (completado en 2005), cuenta con 10000m<sup>2</sup>, y en su construcción se emplearon hormigones con un 20, 30 y hasta 35% de agregados recuperados.

#### **4.4.1.1. Resultados de ensayos realizados**

Los ensayos realizados demuestran que el hormigón con porciones de hasta 30% de agregado grueso reemplazado por triturado de ladrillos provenientes de la fabricación defectuosa, demolición o desperdicios en obra puede usarse sin problema con fines estructurales.

Las propiedades químicas son casi idénticas a las de los hormigones vírgenes, la absorción de agua se elevó levemente, debido a la mayor porosidad y la forma irregular del triturado de ladrillos. El asentamiento se mantiene relativamente constante, y la trabajabilidad es uniforme.

La resistencia a compresión y flexión se reduce conforme se aumenta la proporción de material reciclado, pero no más de un 6% en compresión y un 2% en flexión.

Donde se hallan diferencias más notables es en la absorción del hormigón endurecido, lo que puede mejorarse con aditivos plastificantes.

Es conveniente, de todas maneras, hacer pruebas con los materiales que se tengan a disposición antes de proceder a la construcción.

#### **4.4.2 Reciclaje de yeso**

El yeso es un material de origen mineral, aunque también puede producirse sintéticamente por procesos como la desulfatación de gases de combustión.

Su rol en la industria de la construcción mundial es importantísimo, ya que tiene variadas aplicaciones, gracias a cualidades como fácil moldeo, liviandad, estética, adherencia, fraguado rápido, aislación térmica y acústica y buena resistencia al fuego.

Las propiedades mencionadas fueron descubiertas hace siglos, por lo que además de ser un material muy empleado actualmente, está presente en muchas construcciones que han sido demolidas ya sea por el hombre o el paso del tiempo. Esto lo hace un material con una gran



presencia en vertederos y rellenos sanitarios. Es por esto que muchos países han dictado medidas sobre el descarte de estos productos.

Asimismo, muchas empresas e instituciones fomentan desde hace algunas décadas procesos de reciclado y reutilización de desperdicios de la industria yesera, tanto del producto de la demolición de edificios como del reciclaje interno en las plantas de fabricación (algo similar a lo visto en la industria metalúrgica).

Existe en Europa una organización sin fines de lucro denominada Eurogypsum ([www.eurogypsum.com](http://www.eurogypsum.com)), fundada en 1961 en Bélgica, dedicada a promover el ciclo CTC (*cradle to cradle*, de la *cuna a la cuna* en español) del yeso. Participan en ella varias de las empresas más importantes de la industria de ese continente. Los principales desafíos que se encuentran, según voceros de la institución, son la estimulación de las empresas para *deconstruir* los edificios, en lugar de *demolerlos*. Al deconstruir, los distintos tipos de componentes pueden separarse de forma más eficiente y limpia, para facilitar su posterior reciclaje. También es extremadamente importante una eficiente comunicación entre los distintos actores del proceso, como demolición (deconstrucción), transporte, reciclaje, distribución, contratistas. El objetivo principal es generar y distribuir información en la industria para lograr establecer una verdadera *economía circular*.

En la Facultad Regional Rafaela de la UTN se ha realizado, en 2013, un estudio sobre la posibilidad de utilizar yesos reciclados en aplicaciones nuevas (Begliardo *et al.*, 2013).

Este estudio consistió en reutilizar yeso recuperado de obras, aplicado en condiciones húmedas y secas, en tres proporciones distintas, de 10%, 20% y 30%, además de un grupo de control sin yeso reciclado, para formar matrices que fueron sometidas distintos ensayos físicos y determinaciones físico-químicas. La porción de material virgen empleada fue en todos los casos de la misma marca comercial, a fin de homogeneizar todo lo posible sus cualidades.

La resistencia a flexo-compresión se redujo conforme aumentó la proporción de material reciclado, aprobando sólo las probetas que contenían 10% y algunas con 20% de material reutilizado, midiendo con una norma exigente (utilizada en Chile). Usando como referencia la norma europea, todas las muestras serían aprobadas.

En el análisis de finura, usando la norma IRAM 1607, todas las muestras certifican el tipo A. Todas las muestras con hasta 20% de material reciclado aprueban con la misma calificación de la norma en los análisis físico-químicos, llegando el resto al tipo B.

Los tiempos de fraguado alcanzaron en todos los casos el nivel máximo.

Se puede concluir a partir de este estudio que es posible reutilizar el yeso proveniente de aplicaciones húmedas (**Figura 31**) o de placas (**Figura 32**) en productos nuevos, reemplazando hasta el 30% del material virgen, manteniendo buenas propiedades mecánicas, químicas y de trabajabilidad.



**Figura 31.** Yeso de aplicaciones húmedas (YH), (Begliardo *et al.*, 2013)



**Figura 32.** Yeso recuperado de placas (YS), (Begliardo *et al.*, 2013)

De todas maneras, es necesaria mayor investigación al respecto para mejorar los procedimientos de recuperación y los productos resultantes.

#### 4.5. CONCLUSIONES

Se pudo comprobar que se produce una importante reducción del peso cuando los cerramientos y divisiones se ejecutan con *Steel-frame*, haciendo necesarias estructuras de menores dimensiones.

El tiempo de ejecución es menor que con ladrillos, y la puesta en servicio puede darse inmediatamente, ya que no hay que esperar el fraguado de la pasta cementicia.

La limpieza de una obra seca es evidentemente mayor a la de una obra de ladrillos, donde debe prepararse mortero, generando manchas y polvo. Esto cobra especial importancia a la hora de hacer mantenimiento o modificaciones en la obra a posteriori, reduciendo tiempos, generando menos perturbaciones para los ocupantes y vecinos, y permitiendo en ciertos casos la reutilización de los mismos materiales. Los residuos que se producen son fácilmente clasificables para ser enviados a procesos de reciclaje.

Lo que no puede confirmarse de momento es la durabilidad que se tendrá con estos materiales, ya que su uso en la región comenzó recientemente.

Las dos metodologías de construcción ofrecen posibilidades de reciclaje de los materiales. En el caso de los ladrillos comunes, puede hacerse en obra, pero perdiendo calidad, mientras que con la construcción en seco, la calidad de los materiales obtenidos en el reciclaje será mejor, pero deben hacerse en una planta especializada.



## CAPÍTULO 5

# ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AISLANTES

### 5.1. INTRODUCCIÓN

El consumo energético es uno de los aspectos fundamentales a revisar en cualquier obra, donde reducir el Impacto Ambiental (IA) constituye un objetivo.

Para proveer energía a cualquier edificio, sea de uso institucional, comercial, industrial, o residencial, hace falta una gran infraestructura, además de una o varias fuentes de energía, lo cual producirá su propio IA. Cuando la energía empleada provenga de combustibles fósiles, tendrá los efectos ambientales que ya conocemos, principalmente la liberación de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos de gran toxicidad. Si contamos con fuentes de energía eléctrica renovable, ésta será generada en instalaciones que también habrán tenido IA en su construcción y operación.

Lo que debemos entender es que, cualquiera sea la proveniencia de la electricidad, es fundamental hacer el uso más eficiente posible, lo cual significará además beneficios económicos, ya que reduciremos la energía que deberemos comprar.

El ahorro energético también tiene efectos colectivos. Si una cantidad importante de viviendas, comercios e industrias redujeran su consumo para satisfacer sus necesidades, podrían reducirse o evitarse los problemas de abastecimiento que suelen darse en épocas de alta demanda, y con eso los cortes eléctricos en verano y la falta de presión de gas en invierno, así como las averías en los sistemas de generación y distribución.

La climatización de los ambientes, que funciona desplazando o convirtiendo energía en forma de calor, utiliza mecanismos de alta demanda de energía. Sabiendo esto, será nuestra tarea hacer estos procesos lo más eficientes posibles.

Una forma de reducir el consumo energético eléctrico y de gas en climatización, es equipar a las viviendas con equipos eficientes, como ser calefactores y acondicionadores de aire tipo Split con capacidad correcta para nuestras necesidades (si son demasiado chicos o demasiado grandes consumirán más energía de la necesaria). Estos equipos de climatización son lo que se denomina sistemas “activos”, dado que producen cambios en las condiciones climáticas del espacio donde operan mediante acciones que alteran el estado atmosférico de la habitación.

Se debe complementar con sistemas “pasivos”, término que refiere a que no consumen energía, porque no funcionan mecánicamente o quemando combustibles, sino reduciendo los intercambios de temperatura indeseados a través de la utilización de distintos materiales



dispuestos a este fin. El concepto de *Passivhaus*, ideado en Europa en la década del '70, incorpora por ejemplo paños de vidrio fijos a modo de producir un efecto invernadero dentro de la casa, para aumentar la temperatura en el período invernal aprovechando la radiación solar.

La forma más simple y comúnmente empleada en sistemas pasivos es la aislación. El objetivo básico de la aislación es reducir el flujo de energía calórica con ambientes adyacentes o con el exterior. Una buena aislación no sólo mejorará la economía, sino que aportará al confort, ya que aunque contemos con dispositivos que aporten la cantidad calórica necesaria, al haber calor fluyendo constantemente, habrá diferenciales de temperatura en la habitación, lo que reducirá la comodidad.

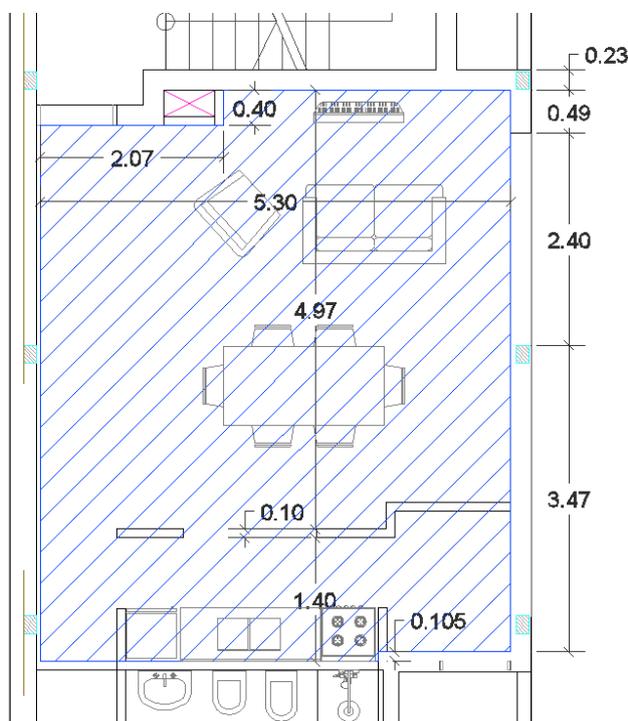
El edificio en estudio está ubicado, como ya se vio, cerca del centro de la ciudad, por lo que estará inmerso en la “isla de calor” del casco urbano. Esto significa que estará rodeado por una “nube” caliente que dificultará su refrigeración en verano.

En este capítulo se analizarán las posibilidades para aislar los distintos ambientes del edificio, buscando alternativas viables a nivel local y regional que optimicen los costos de materiales, instalación y operación.

## 5.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AISLANTES DEL PROYECTO

Se procederá a analizar las propiedades aislantes de los materiales usados convencionalmente en la Industria, se compararán con los empleados en la obra en cuestión, y también se plantearán alternativas actuales en el mercado local.

Los materiales más comunes usados en la actualidad en nuestra región para la aislación de muros y cielorrasos son el poliestireno expandido (EPS, llamado también Telgopor) y la lana de vidrio, esta última con mejores propiedades aislantes pero mayor costo. Para los techos de chapa se suele usar una membrana de espuma poliuretánica con una capa antirradiación metalizada (nombres comerciales usuales: Mexpol, Isolant), producto usado en este proyecto también.



**Figura 33.** Habitación ejemplo: Living Comedor Dpto. A 1º y 2º piso



Para el análisis, se estudiarán las condiciones de envolvente del living-comedor del departamento A (**Figura 33**), en primera y segunda planta, donde tendremos las mismas condiciones en los muros y losas, con cielorrasos diferentes.

### 5.3. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS MUROS

Se compararán las características térmicas de los muros convencionales de ladrillos cerámicos con las de los muros a construirse en esta obra, para luego compararlos con una construcción de tipo *Steel-framing*, a modo de referencia. No se tendrán en cuenta puentes térmicos en este análisis.

Se calcularán, para cada caso, la transmitancia térmica  $K$  (medida en  $w/m^2 \cdot K$ ) de los muros, que es la inversa de la *resistencia térmica*  $R$ , calculada a partir de la *conductividad térmica*  $k$  de sus materiales y su espesor.

$$R = \frac{L}{k}$$

$$K = \frac{1}{R}$$

L: espesor del elemento

k: conductividad térmica del material

#### 5.3.1. Muros exteriores

Para muro de ladrillo común de 30 cm de espesor, el valor de resistencia  $R$  y conductividad térmica  $K$  se calcula en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.** Cálculo de  $K$  para muro de ladrillo común

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Revoque exterior	0,93*	0,02	0,022	
Ladrillo común 30cm	0,8*	0,26	0,325	
Revoque interior	1,16*	0,02	0,017	
Capa de aire sup. Interior	-	-	0,13*	
Capa de aire sup. exterior	-	-	0,04*	
		<b>0,3</b>	<b>0,534</b>	<b>1,874</b>

k: conductividad térmica del material

L: espesor de la capa

R: resistencia térmica

K: transmitancia térmica total

\*según Tabla 2 IRAM 11601



En la obra se incorpora una placa de poliestireno expandido de 2cm, y placas de yeso de tipo Durlock en el interior. En la **Tabla 33** se ven sus características térmicas.

**Tabla 33.** Cálculo de K para muro de ladrillo común con EPS 10 de 2 cm

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Aislante EPS 10	0,043*	0,02	0,465	
Revoque exterior	0,93	0,02	0,022	
Ladrillo común 30cm	0,8	0,26	0,325	
Durlock interior	0,44*	0,015	0,034	
Capa de aire sup. Interior	-	-	0,130	
Capa de aire sup. exterior	-	-	0,040	
		<b>0,315</b>	<b>1,016</b>	<b>0,985</b>

\*Según manuales técnicos

La transmitancia térmica se reduce de 1.874 a 0,985  $\frac{w}{Km^2}$ , una reducción del 47,5%, usando EPS de 10 kg/m<sup>3</sup>. Si usáramos EPS de 20 kg/m<sup>3</sup>, tendríamos una reducción algo mayor, pero no una mejora drástica. Esto se evidencia en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.** Cálculo de K para muro de ladrillo común con EPS 20 de 2 cm

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Aislante EPS 20	0,0384	0,02	0,521	
Revoque exterior	0,93	0,02	0,022	
Ladrillo común 30cm	0,8	0,26	0,325	
Durlock interior	0,44	0,015	0,034	
Capa de aire sup. Interior	-	-	0,130	
Capa de aire sup. exterior	-	-	0,040	
		<b>0,315</b>	<b>1,071</b>	<b>0,933</b>

Con esta composición, la reducción en la transmitancia adicional es del 2%, lo cual deberá compararse con la diferencia en el precio del EPS y el ahorro energético adicional aportado. En una construcción con *steel-framing*, incorporando lana de vidrio de 80 kg/m<sup>3</sup> como aislante, los valores son los de la **Tabla 35**. Se hace una obvia sobresimplificación, en un caso real habría otros elementos constitutivos, que afectarían la resistencia térmica.

**Tabla 35.** Muro de *Steel-framing* con lana de vidrio

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Lana de vidrio 80	0,037*	0,1	2,703	
Placa Superboard	0,28*	0,04	0,143	
Cámara de aire	-	0,025	0,17**	
Cámara de aire	-	0,025	0,17**	
Placa Durlock	0,44*	0,02	0,045	
Capa de aire sup. interior	-	-	0,130	
Capa de aire sup. exterior	-	-	0,040	
		<b>0,3</b>	<b>3,401</b>	<b>0,294</b>

\*Según manuales técnicos

\*\*Según Tabla A.5 IRAM 11601

La **Tabla 36** muestra un resumen y comparación de las variantes.

**Tabla 36.** Reducción de transmitancia de las distintas variables de muros exteriores

ÍTEM	TIPO	K [w/m2.K]	Reducción [%]		
1	Ladrillo común de 30 cm sin aislante	1.874	-	-	-
2	*Ladrillo común con EPS 10	<b>0.985</b>	47.5	-	-
3	Ladrillo común con EPS 20	0.933	50.2	5.2	-
4	Construcción <i>steel-framing</i> (30 cm)	0.294	<b>84.3</b>	<b>70.1</b>	68.5

\*Características puestas en obra

Las reducciones se calculan respecto a los ítems 1, 2 y 3 respectivamente

La reducción de la transmitancia térmica utilizando *steel-framing* es del orden del 84% sobre una construcción convencional, y un 70% inferior a la de los muros a construirse. Como sabemos, no está permitido por el Código Urbano de Rafaela constituir de este modo un muro medianero, pero si estuviéramos trabajando en el interior de un terreno, y si la normativa recientemente aprobada en el país en 2017 permite el trabajo con *steel-framing*, aplicando estas técnicas con estos materiales, el ahorro energético para climatización, sin mencionar las demás ventajas de la construcción en seco (tratadas en el capítulo anterior), será enormemente significativa, como también lo será el aumento del confort interior.

El ahorro previsible para la construcción a realizarse en el proyecto es de todas maneras significativo, ya que la transmitancia se ve reducida en un 47,5% respecto al mismo muro sin aislación.



### 5.3.2. Muros divisorios interiores

Los muros que separan unas unidades de otras suelen hacerse con ladrillos huecos de 18cm, para un espesor total de 20 cm (**Tabla 37**).

**Tabla 37.** Cálculo de K para muros divisorios con ladrillos de 18 cm

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Ladrillo hueco 18cm	-	0,18	0,330*	
Revoque interior (x2)	1,16	0,02	0,017	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,130	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,2</b>	<b>0,52</b>	<b>1,933</b>

\*Según Tabla A.2 IRAM 11601

La transmitancia es elevada. Si bien no son para muros en contacto con el exterior, en caso de que en el pasillo o escaleras se den temperaturas elevadas o bajas, o que una habitación climatizada esté contigua a una deshabitada o no climatizada, estos muros serán una fuente de intercambio térmico que reducirá significativamente la comodidad.

Los muros que separan unas habitaciones de otras dentro de la misma unidad pueden hacerse a veces de ladrillos de 8, con sus respectivos revoques, dando los valores expresados en la **Tabla 38**.

**Tabla 38.** Cálculo de K para muros de ladrillos huecos de 8 cm

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Ladrillo hueco 8cm	-	0,08	0,210	
Revoque interior (x2)	1,16	0,04	0,034	
Capa de aire sup. Interior	-	-	0,130	
Capa de aire sup. exterior	-	-	0,040	
		<b>0,12</b>	<b>0,414</b>	<b>2,413</b>

En este caso también tendremos una alta transmisión térmica, que obligará a los sistemas de climatización a trabajar más exigidos, reduciendo su vida útil y consumiendo más energía.

En la **Tabla 39** se puede ver la conformación de los muros empleados en la obra estudiada.



**Tabla 39.** Muros ejecutados en la obra real

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Cámara de aire	-	0,07 0.17*	0,170	
Placa Durlock (x2)	0,44	0,03	0,068	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,260	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,080	
		<b>0,1 0,2*</b>	<b>0,578</b>	<b>1,730</b>

\*Se hace el mismo cálculo para los muros de 20 y 10cm, ya que en ambos casos las cámaras de aire aportan la misma capacidad aislante, según Tabla 3 IRAM 11601

Puede verse que incluso sin incorporar aislantes, las placas de yeso y las cámaras de aire son suficientes para reducir la transmitancia en un 14% para muros entre unidades y un 28% para muros interiores.

Si agregamos lana de vidrio de 80 kg/m<sup>3</sup>, podemos aumentar en más de un 200% la capacidad aislante (**Tabla 40**).

**Tabla 40.** Muros como los de la obra estudiada con lana de vidrio

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Lana de vidrio 80	0,037	0,05	1,351	
Placa Durlock (x2)	0,44	0,04	0,091	
Cámara aire	-	0,01	0,160	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,130	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,1</b>	<b>1,772</b>	<b>0,564</b>

En la **Tabla 41** se comparan las transmitancias de las alternativas.

**Tabla 41.** Reducción de transmitancia de las distintas variables de muros interiores

ÍTEM	TIPO	K [w/m2.K]	Reducción [%]		
<b>1</b>	Ladrillo hueco de 18cm	1.933	0	-	-
<b>2</b>	Ladrillo hueco de 8cm	2.413	-24.8	0	-
<b>3</b>	*Durlock sin aislante (10cm)	<b>1.730</b>	10.5	28.3	0
<b>4</b>	Durlock con lana de vidrio (10cm)	0.564	70.8	76.6	67.4

\*Características puestas en obra



## 5.4. CAPACIDAD AISLANTE DE LOSAS Y CUBIERTA

Se compararán las propiedades térmicas de las dos alternativas, una losa maciza convencional de 12 cm de espesor, y la losa alivianada descrita en incisos anteriores en este trabajo.

### 5.4.1. Losas macizas

Como se describió en el capítulo anterior, las losas no serán de hormigón macizo, sino de viguetas pretensadas de hormigón, bloques de poliestireno expandido y una capa de compresión de hormigón de 4cm de espesor. Los cielorrasos serán de yeso, en algunos casos en estructuras suspendidas y en otros aplicados directamente sobre la losa.

En las losas con cielorrasos suspendidos, los valores variarán en invierno y en verano, ya que las cámaras de aire horizontales no tienen la misma transmitancia térmica cuando el calor es descendente y cuando es ascendente.

La transmitancia para una losa maciza de hormigón con cielorraso de yeso aplicado se calcula en la **Tabla 42**.

**Tabla 42.** Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso aplicado

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m <sup>2</sup> /w]	K [w/m <sup>2</sup> .K]
Losa de Hº armado	1,7	0,12	0,071	
Cielorraso yeso aplicado	0,49	0,015	0,660	
		<b>0,135</b>	<b>0,731</b>	<b>1,369</b>

Las transmitancias térmicas en losas con cielorrasos suspendidos en invierno y en verano se calculan en las **Tablas 43 y 44** respectivamente.

**Tabla 43.** Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso suspendido y calor ascendente (invierno)

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m <sup>2</sup> /w]	K [w/m <sup>2</sup> .K]
Losa de Hº armado	1,7	0,12	0,071	
Cielorraso yeso suspendido	0,38	0,015	0,660	
Cámara aire	-	0,2	0,140	
		<b>0,335</b>	<b>0,871</b>	<b>1,149</b>



**Tabla 44.** Transmitancia térmica de losas de hormigón armado macizo con cielorraso de yeso suspendido y calor descendente (verano)

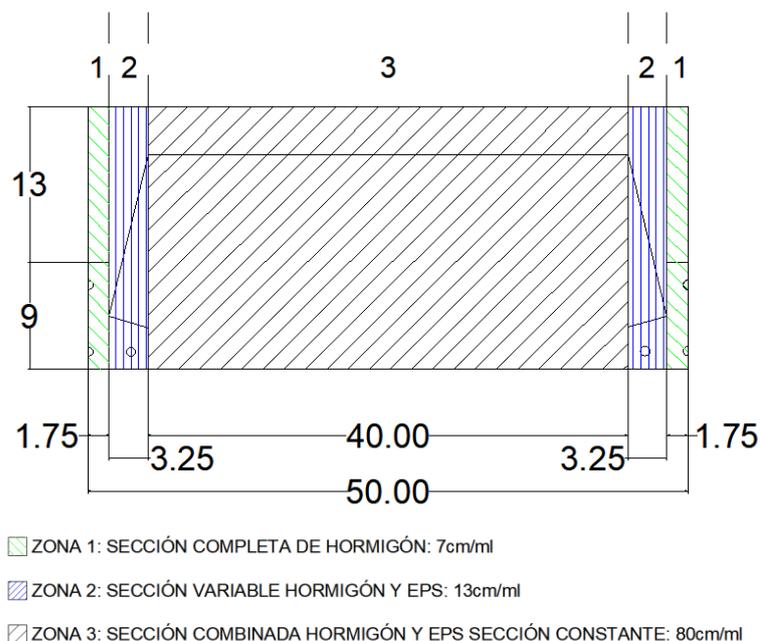
MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Losa de Hº armado	1,7	0,12	0,071	
Cielorraso yeso suspendido	0,38	0,015	0,660	
Cámara aire	-	0,2	0,210	
		<b>0,335</b>	<b>0,941</b>	<b>1,063</b>

#### 5.4.2. Losas alivianadas en obra

Las losas construidas en la obra tienen una composición compuesta, con distinto valor de conductividad térmica, como indica la **Figura 34**.

Cuando se calculen las pérdidas y ganancias de calor totales en la habitación, se deberán diferenciar las distintas características térmicas. Para el cálculo de la zona 2, se hace un promedio del espesor de cada material.

Obviamente el comportamiento real será más complejo, al producirse en la losa flujos de calor internos en dirección horizontal, cuyo análisis sería extremadamente complejo y requeriría herramientas informáticas de difícil acceso, es por eso que se hace este análisis simplificado aproximado.



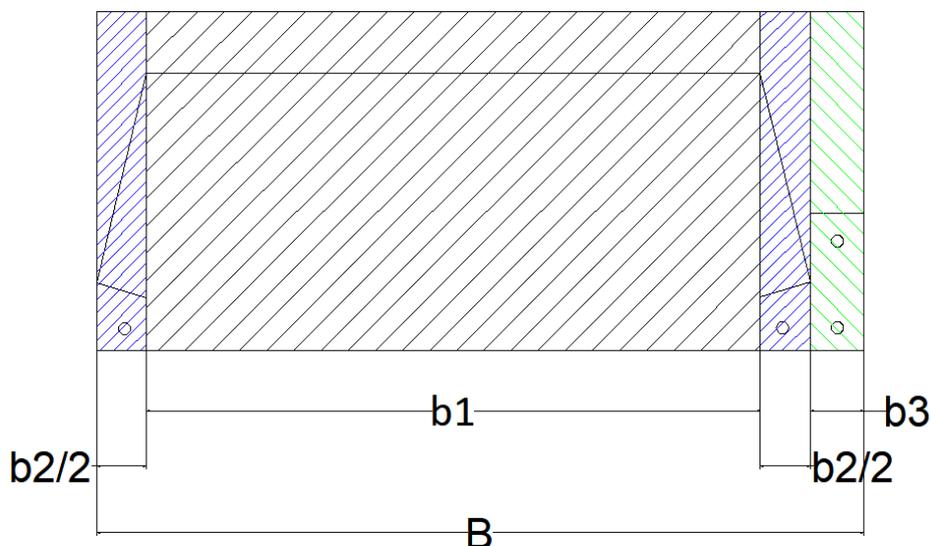
**Figura 34.** Zonas de la losa alivianada con distinta transmitancia térmica



### 5.4.2.1. Cielorraso aplicado

Se obtendrán tres valores separados. Estos valores son confusos vistos de manera aislada, por lo que será más conveniente obtener un valor de K único para cada situación, que deberá ser la sumatoria de las transmitancias, y multiplicado por el ancho (horizontal) de cada capa, para así obtener el  $K_{eq}$  de la losa. La **Figura 35** esquematiza las referencias usadas en la ecuación.

$$K_{eq} = \frac{K_1 \cdot b_1 + K_2 \cdot b_2 + K_3 \cdot b_3}{B} = \frac{K_1 \cdot 0,07m + K_2 \cdot 0,13m + K_3 \cdot 0,8m}{1m}$$



**Figura 35.** Zonas componentes de la losa

- Zona 1: ésta es la zona donde, como ilustra la **Figura 33**, está ubicada el alma de la vigueta y la capa de compresión, por lo que habrá solamente hormigón, además del cielorraso aplicado de yeso de 1,5 cm de espesor. Al haber dos viguetas por metro de losa (**Figura 27**), ésta zona representará 7 cm por metro. La transmitancia térmica de esta sección se calcula en la **Tabla 45**.

**Tabla 45.** Características aislantes de la zona 1

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,22	0,129	
Enlucido yeso 1tn/m <sup>3</sup>	0,49	0,015	0,660	
		<b>0,235</b>	<b>0,789</b>	<b>1,267</b>



- Zona 2: la transmitancia de esta zona de transición (**Figura 33**), se calcula promediando el espesor de las secciones de EPS y de hormigón. Cada “ala” de los bloques mide 3,25 cm de ancho, y habrá 4 en total por metro, ya que hay dos bloques, por lo que habrá 13 cm por metro de losa. El cálculo se hace en la **Tabla 46**.

**Tabla 46.** Características aislantes de la zona 2

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,147	0,086	
EPS 15	0,0413	0,073	0,660	
Enlucido yeso 1tn/m <sup>3</sup>	0,49	0,015	0,100	
		<b>0,235</b>	<b>0,846</b>	<b>1,181</b>

- Zona 3: la zona más ancha, comprende la el espesor completo de los bloques de EPS, además de la capa de compresión y el enlucido de yeso. Por cada bloque, el ancho es de 40 cm, y un 80 cm por metro de losa. La transmitancia es calculada en la **Tabla 47**.

**Tabla 47.** Características aislantes de la zona 3

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,04	0,024	
EPS 15	0,0413	0,18	0,660	
Enlucido yeso 1tn/m <sup>3</sup>	0,49	0,015	0,100	
		<b>0,235</b>	<b>0,784</b>	<b>1,276</b>

Cálculo del  $K_{eq}$ :

$$K_{eq} = \frac{1,267 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,07m + 1,181 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,13m + 1,276 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,8m}{1m}$$

<b>Keq</b>	<b>1,263 w/m<sup>2</sup>.K</b>
------------	--------------------------------

#### 5.4.2.2. Cielorraso suspendido

Las transmitancias para este caso no sólo deberán dividirse según las zonas, sino según el calor sea ascendente o descendente (condición de invierno y de verano respectivamente).

En las **Tablas 48 a 50** se calculan las transmitancias para cielorrasos suspendidos de las zonas 1, 2 y 3 con calor ascendente.

**Tabla 48.** Características aislantes con calor ascendente en zona 1

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,22	0,129	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,660	
Cámara aire	-	0,2	0,140	
		<b>0,235</b>	<b>0,929</b>	

**Tabla 49.** Características aislantes con calor ascendente en zona 2

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,147	0,086	
EPS 15	0,0413	0,073	0,660	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,100	
Cámara aire	-	0,2	0,140	
		<b>0,235</b>	<b>0,986</b>	<b>1,014</b>

**Tabla 50.** Características aislantes con calor ascendente en zona 3

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,04	0,024	
EPS 15	0,0413	0,18	0,660	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,100	
Cámara aire	-	0,2	0,140	
		<b>0,235</b>	<b>0,924</b>	<b>1,083</b>

$$K_{eq} = \frac{1,076 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,07m + 1,014 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,13m + 1,083 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,8m}{1m}$$

<b>Keq</b>	<b>1,074 w/m<sup>2</sup>.K</b>
------------	--------------------------------

Cuando en verano el calor descienda por las losas desde el exterior, las transmitancias de las distintas zonas serán las dadas por las **Tablas 51 a 53**.



**Tabla 51.** Características aislantes con calor descendente en zona 1

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,22	0,129	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,660	
Cámara aire	-	0,2	0,210	
		<b>0,235</b>	<b>0,999</b>	<b>1,001</b>

**Tabla 52 .** Características aislantes con calor descendente en zona 2

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,147	0,086	
EPS 15	0,0413	0,073	0,660	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,100	
Cámara aire	-	0,2	0,210	
		<b>0,435</b>	<b>1,056</b>	<b>0,947</b>

**Tabla 53.** Características aislantes con calor descendente en zona 3

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	R [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Capa de comp. Hº	1,7	0,04	0,024	
EPS 15	0,0413	0,18	0,660	
Cielorr. yeso susp.	0,38	0,015	0,100	
Cámara aire	-	0,2	0,210	
		<b>0,435</b>	<b>0,994</b>	<b>1,007</b>

$$K_{eq} = \frac{1,001 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,07m + 0,947 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,13m + 1,007 \frac{w}{m^2.K} \cdot 0,8m}{1m}$$

<b>Keq</b>	<b>0.999 w/m<sup>2</sup>.K</b>
------------	--------------------------------

En la **Tabla 54** se resumen las transmisividades de las distintas losas:



**Tabla 54.** Resumen de resultados

CIELORRASO	TIPO		K [w/m2.K]	Reducción [%]
APLICADO	Losa maciza de Hº		1,369	7,3
	Losa alivianada		1,263	
SUSPENDIDO	Losa maciza de Hº	Calor Asc.	1,149	6,5
		Calor Desc.	1,063	
	Losa alivianada	CalorAsc.	1,074	
		Calor Desc.	0,999	

### 5.4.3. Cubierta

La cubierta es de chapa, con aislación de membrana de espuma poliuretánica de 10mm con capa anti-radiación metalizada (tipo Mexpol). Debajo de ella habrá un ático de espesor variable, dado por la inclinación de la cubierta. El forjado será el cielorraso de la segunda planta, consistente en placas de yeso de 20 mm de espesor.

Para el cálculo de la aislación se consulta la norma IRAM 11601, en su Anexo B, dedicado a los áticos. Existen tres categorías, según su nivel de ventilación, que varía entre *áticos sin ventilación o débilmente ventilados*, *áticos medianamente ventilados* y *áticos muy ventilados*. Considerando el caso en estudio como un ático *débilmente ventilado*, la Norma indica que la Resistencia Equivalente ( $R_T$ ) es:

$$R_T = 0,85 (R_f + R_c)$$

$R_f$ : Resistencia térmica del forjado

$R_c$ : Resistencia térmica de la cubierta

Para el cálculo, como estamos considerando que hay contacto con el aire exterior, se tienen en cuenta los intercambios superficiales. Los valores para la transmitancia térmica en **invierno** (calor ascendente) para la cubierta y el cielorraso, se expresan en las **Tablas 55** y **56**.

**Tabla 55.** Transmitancia térmica con calor ascendente en la cubierta

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	Rc [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Chapa de acero	50	0,00055	0,000	
Mexpol (invierno)	-	0,01	0,660	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,100	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,011</b>	<b>0,800</b>	<b>1,250</b>

**Tabla 56.** Transmitancia térmica con calor ascendente en el cielorraso

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	Rf [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Placa Durlock	0,44	0,02	0,045	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,100	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,020</b>	<b>0,185</b>	<b>5,392</b>

Por lo que el valor de resistencia total será:

$$R_T = 0,85 \left( 0,185 \frac{K.m^2}{w} + 0,8 \frac{K.m^2}{w} \right)$$

$$R_T = 0,84 \frac{K.m^2}{w}$$

Los valores para **verano**, con calor descendente, serán los dados en las **Tablas 57 y 58**.

**Tabla 57.** Transmitancia térmica con calor descendente en la cubierta

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	Rc [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Chapa de acero	50	0,00055	0,000	
Mexpol (verano)	-	0,01	1,070	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,170	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,011</b>	<b>1,280</b>	<b>0,781</b>

**Tabla 58.** Transmitancia térmica con calor descendente en el cielorraso

MATERIAL	k [w/m.K]	L [m]	Rf [K.m2/w]	K [w/m2.K]
Placa Durlock	0,44	0,02	0,045	
Capa de aire sup. int.	-	-	0,170	
Capa de aire sup. ext.	-	-	0,040	
		<b>0,020</b>	<b>0,255</b>	<b>3,915</b>

Para un valor de resistencia total de:



$$R_T = 0,85 \left( 0,255 \frac{K \cdot m^2}{w} + 1,28 \frac{K \cdot m^2}{w} \right)$$
$$R_T = 1,305 \frac{K \cdot m^2}{w}$$

La **Tabla 59** ofrece un resumen de lo calculado en este inciso:

**Tabla 59.** Resumen de valores

ESTACIÓN	ELEMENTO	k [w/m2.K]	R [K.m2/w]	Rt [K.m2/w]	K [w/K.m2]
Invierno	Cubierta	1,250	0,800	0,84	1,19
	Cielorraso	5,392	0,185		
Verano	Cubierta	0,781	1,280	1,305	0,77
	Cielorraso	3,915	0,255		

## 5.5. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA TRANSMISIÓN TÉRMICA

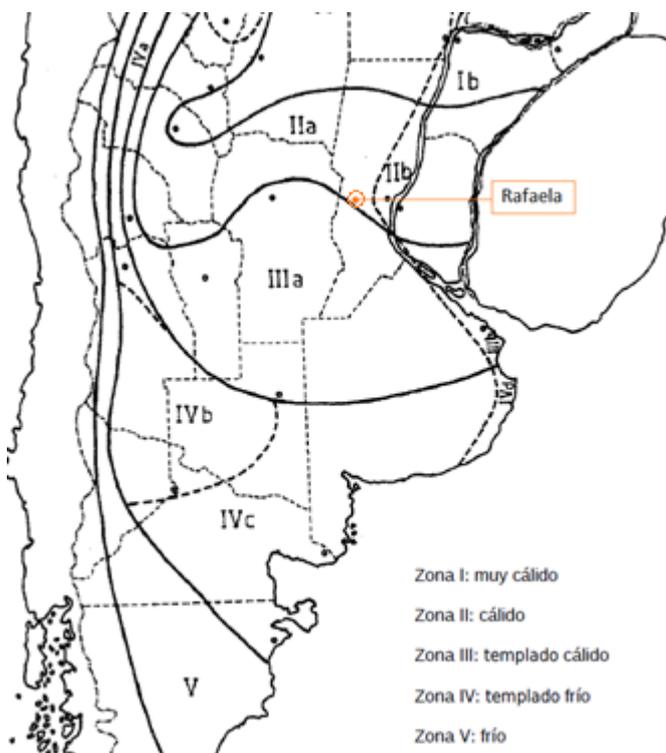
La norma IRAM 11603 establece lo que se denominan Zonas Bioambientales. El territorio nacional se divide en seis zonas, según el tipo de clima de cada una.

Rafaela se ubica en la Zona II, de clima cálido, cerca de la frontera con la zona de clima templado cálido, pero para estar del lado más desventajoso, sobre todo teniendo en cuenta el cambio climático, podemos afirmar con seguridad que el clima actual de la Ciudad puede clasificarse como cálido.

Dentro de la zona II, Rafaela se halla en la subzona IIa, lo que indica que hay amplitudes térmicas superiores a los 14°C (**Figura 36**).

La norma IRAM 11605 establece los valores máximos que pueden admitirse para

los distintos componentes de la envolvente del edificio. Existen tres niveles (A, B y C) en orden decreciente de capacidad aislante. Este valor difiere para invierno y para verano.



**Figura 36.** Zonas Bioclimáticas de Argentina



### 5.5.1. Condición de verano

La Norma IRAM 11605 establece los valores máximos admisibles en condiciones de verano para la Zona Bioambiental II (**Tablas 60 y 61**). Los resultados se analizarán en el inciso **5.5.3**.

**Tabla 60.** Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros [ $W/m^2K$ ]

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,45	1,10	1,80
III y IV	0,50	1,25	2,00

en  $W/m^2.K$

**Tabla 61.** Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para techos [ $W/m^2K$ ]

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,18	0,45	0,72
III y IV	0,19	0,48	0,76

en  $W/m^2.K$

### 5.5.2. Condición de invierno

Para calcular la condición de invierno, es necesario establecer la temperatura de diseño que se obtiene de la tabla A.1 de la Norma IRAM 11603 (**Tabla 62**), que contiene datos climáticos de invierno de distintas localidades del país, obtenidos del período 1980-2009. En la misma no existen datos específicos de Rafaela, por eso se usan los de las dos localidades más cercanas que cuentan con datos, que son Ceres y Sauce Viejo, ambas en la provincia de Santa Fe.

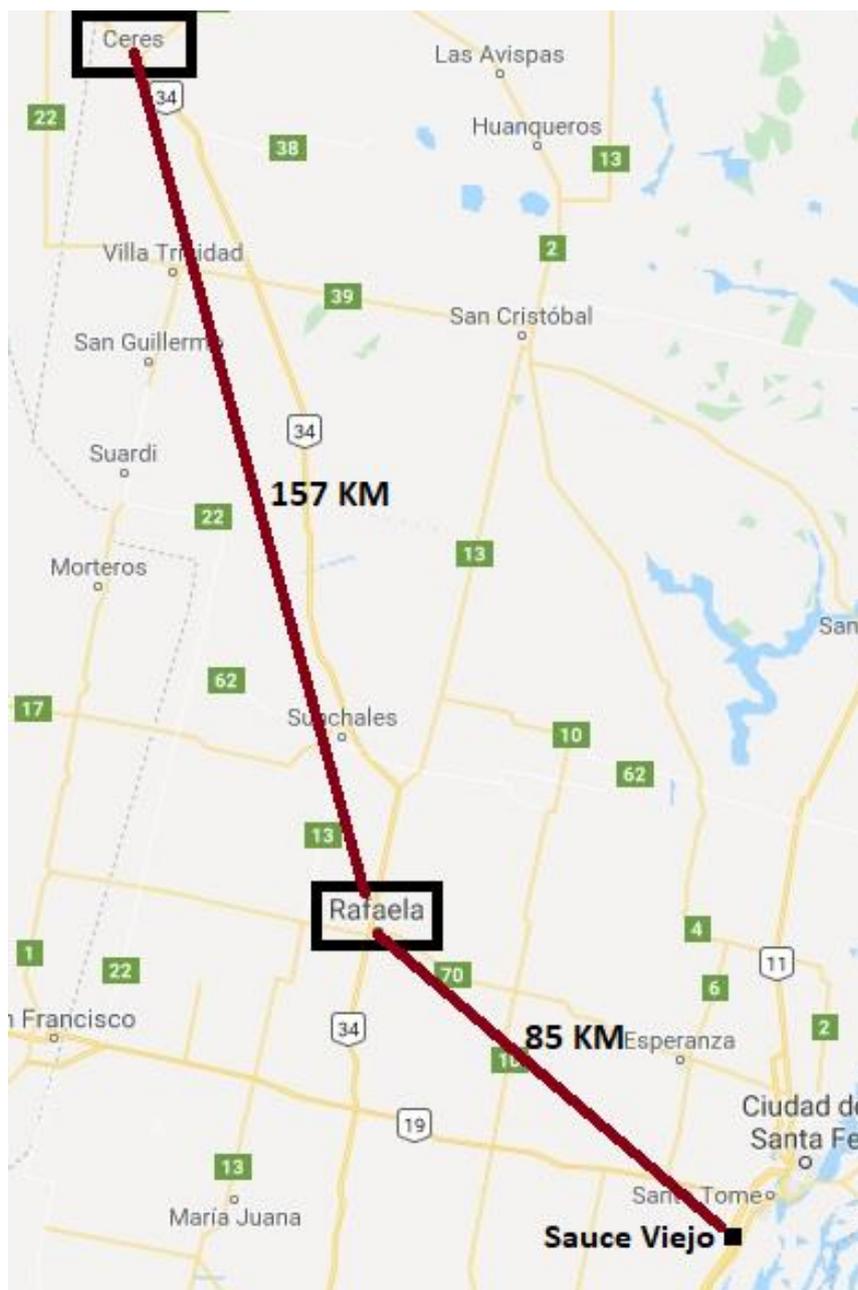
**Tabla 62.** Datos climáticos de invierno (IRAM 11603)

ESTACIÓN	P	LAT	LONG	ASNM	TMED	TMÁX	TMÍN	TMA	TDMN	PREC	HR	HELRE	VM	GD16	GD18	GD20	GD22
SANTIAGO DEL ESTERO (AERO)	SE	-27,77	-64,30	199	14,77	22,2	7,4	-8,5	-5,1	29	67	5,5	7,8	331	543	820	1166
CERES (AERO)	SF	-29,88	-61,95	88	14,17	20,3	7,9	-6,6	-3,4	84	79	5,6	12,4	424	678	999	1400
RECONQUISTA (AERO)	SF	-29,18	-59,70	53	15,65	20,8	10,2	-6,0	-1,0	164	79	5,8	11,4	321	526	801	1153
SAUCE VIEJO (AERO)	SF	-31,70	-60,82	18	13,84	19,0	8,6	-5,0	-2,6	134	81	5,6	13,0	454	714	1044	1452
ROSARIO (AERO)	SF	-32,92	-60,78	25	12,20	17,9	6,5	-7,8	-4,0	147	80	5,4	13,0	651	970	1365	1840
SAN JUAN (AERO)	SJ	-31,57	-68,42	598	10,61	18,5	2,7	-8,0	-5,6	13	58	7,0	9,2	778	1096	1465	1891
SAN LUIS (AERO)	SL	-33,27	-66,35	713	11,77	18,2	5,4	-9,4	-4,2	44	59	6,6	13,6	676	1001	1397	1872
VILLA REYNOLDS (AERO)	SL	-33,73	-65,38	486	10,19	18,6	1,8	-14,6	-10,0	73	72	5,5	8,6	936	1313	1767	2303
RIVADAVIA	ST	-24,02	-62,90	205	17,69	24,4	11,6	-5,0	-1,0	39	66	-	7,4	146	277	465	716
ORÁN (AERO)	ST	-23,15	-64,32	357	17,18	23,0	11,4	-1,9	0,6	37	78	3,8	5,5	143	278	480	761
TARTAGAL (AERO)	ST	-22,65	-63,82	450	16,87	22,9	11,0	-3,3	-0,5	37	73	4,9	5,2	164	311	528	826
SALTA (AERO)	ST	-24,85	-65,48	1221	12,74	20,6	4,9	-8,0	-4,7	17	72	5,8	7,0	549	855	1262	1789
RIO GRANDE B.A.	TF	-53,80	-67,75	22	1,18	4,4	-2,1	-22,2	-13,6	101	86	3,0	18,4	3735	4463	5192	5922
TOLHUIN	TF	-54,70	-67,25	105	0,02	3,8	-3,8	-23,5	-16,0	146	-	-	-	4194	4922	5649	6377
BASE ESPERANZA	TF	-63,40	-57,00	24	-9,73	-5,48	-13,69	-31,8	-27,3	166	79	0,89	29,4	7520	8247	8974	9702
ISLAS ORCADAS	TF	-60,7	-44,7	12	-7,64	-4,06	-11,54	-36,0	-30	316	87	0,41	24,0	6975	7702	8429	9157
BASE BELGRANO II	TF	-77,87	-34,57	256	-19,52	-16,9	-23,55	-47,5	-39,5	101	60	0,50	22,3	10908	11636	12365	13094
BASE JUBANY	TF	-62,23	-58,63	11	-4,98	-2,32	-7,98	-27,3	-22,6	128	88	0,32	34,7	6423	7151	7879	8606
BASE MARAMBIO	TF	-64,23	-56,72	198	-14,02	-9,8	-17,8	-36,8	-32,0	59	81	0,66	34,8	8815	9544	10272	11001
BASE SAN MARTIN	TF	-68,13	-67,13	7	-9,53	-5,9	-14,2	-46,2	-36,5	158	78	0,14	17,8	7630	8359	9088	9817
USHUAIA (AERO)	TF	-54,80	-68,32	57	2,54	5,4	-0,4	-13,8	-8,6	203	84	2,1	10,3	3651	4376	5104	5832
FAMAILLA (INTA)	TU	-27,05	-65,42	363	13,94	20,3	7,6	-4,0	-1,7	89	79	4,6	5,6	379	629	952	1354
TUCUMÁN (AERO)	TU	-26,85	-65,10	450	14,62	20,5	8,7	-2,5	-0,2	55	73	5,6	8,2	319	548	850	1233



Sauce Viejo se encuentra a 85 kilómetros al ESE de Rafaela (en línea recta), y la Temperatura Mínima de Diseño (TDMN) es  $-2,6^{\circ}\text{C}$ , y Ceres, a 157 kilómetros al NNO, y su TDMN es de  $-3,4^{\circ}\text{C}$ . Promediando éstas, usamos para Rafaela una TDMN de  $-3,0^{\circ}\text{C}$  (**Figura 37**).

Con la TDMN, ingresamos a la **Tabla 63**, obteniendo los valores admisibles máximos de K para la condición de invierno para los niveles prescriptos.



**Figura 37.** Distancias de Rafaela a las poblaciones con valores de referencia



**Tabla 63.** Valores de  $K_{M\acute{A}X\ ADM}$  para condición de invierno

en  $W/m^2K$

Temperatura exterior de diseño ( $t_{ed}$ ) [°C]	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
- 15	0,23	0,20	0,60	0,52	1,01	1,00
- 14	0,23	0,20	0,61	0,53	1,04	1,00
- 13	0,24	0,21	0,63	0,55	1,08	1,00
- 12	0,25	0,21	0,65	0,56	1,11	1,00
- 11	0,25	0,22	0,67	0,58	1,15	1,00
- 10	0,26	0,23	0,69	0,60	1,19	1,00
- 9	0,27	0,23	0,72	0,61	1,23	1,00
- 8	0,28	0,24	0,74	0,63	1,28	1,00
- 7	0,29	0,25	0,77	0,65	1,33	1,00
- 6	0,30	0,26	0,80	0,67	1,39	1,00
- 5	0,31	0,27	0,83	0,69	1,45	1,00
- 4	0,32	0,28	0,87	0,72	1,52	1,00
- 3	0,33	0,29	0,91	0,74	1,59	1,00
- 2	0,35	0,30	0,95	0,77	1,67	1,00
- 1	0,36	0,31	0,99	0,80	1,75	1,00
$\geq 0$	0,38	0,32	1,00	0,83	1,85	1,00

### 5.5.3. Análisis de resultados

Se compararán las exigencias de los distintos niveles con los valores obtenidos en el inciso anterior.

#### 5.5.3.1. Muros

Los valores requeridos para muros exteriores tanto en invierno como en verano, los de la obra a construirse y los que se obtendrían con *Steel-framing* se resumen en la **Tabla 64**.

**Tabla 64.** Valores de transmitancia térmica [ $W/m^2K$ ]

NORMA IRAM		OBRA	STEEL-FRAMING
	VERANO		
Nivel A	0,45	0,33	0,99
Nivel B	1,10	0,91	
Nivel C	1,80	1,59	

Los muros exteriores construidos en la obra certifican el **Nivel C** en invierno y el **Nivel B** en verano, ya que su transmitancia térmica es **0.985**  $W/m^2K$ .



También pueden verse los valores para la construcción con *Steel-framing* con placas cementicias (Superboard), con una conductividad de **0,294 W/m<sup>2</sup>K**, la cual sería la única forma de cumplir con la máxima exigencia de la norma dentro de las alternativas consideradas.

### 5.5.3.2. Cubierta

Comparando la cubierta superior, obviando de momento la losa (se está revisando solamente la envolvente), los valores son los dados en las **Tablas 65 y 66**.

**Tabla 65.** Valores de cubierta para invierno [W/m<sup>2</sup>K]

NORMA IRAM		OBRA
	INVIERNO	
<i>Nivel A</i>	0,29	<b>1,19</b>
<i>Nivel B</i>	0,74	
<i>Nivel C</i>	1,00	

**Tabla 66.** Valores de cubierta para invierno [W/m<sup>2</sup>K]

NORMA IRAM		OBRA
	VERANO	
<i>Nivel A</i>	0,18	<b>0,76</b>
<i>Nivel B</i>	0,45	
<i>Nivel C</i>	0,72	

Puede verse que esta composición no verifica el Nivel C ni en verano ni en invierno.

## 5.6. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR LA ENVOLVENTE

Lo que se hizo hasta ahora fue calcular las propiedades térmicas de la envolvente, pero esto es sólo una parte de la información necesaria. La cantidad de energía intercambiada con el exterior, que determinará el gasto energético para climatización, dependerá de la temperatura interior deseada y de la temperatura exterior.

Para el cálculo de la energía total por unidad de superficie, se emplea la fórmula:

$$q = K \cdot (t_i - t_e)$$

q: flujo de calor por unidad de superficie

K: coeficiente de transmitancia térmica del cerramiento considerado

( $t_i - t_e$ ): diferencia de temperatura entre el interior y el exterior



Para calcular las pérdidas a través de una superficie, tanto horizontal como vertical, el cálculo a realizar es:

$$Q = A \cdot q = A \cdot K \cdot (t_i - t_e)$$

A: área del muro, piso o cubierta

Finalmente, para calcular las pérdidas totales en una habitación por sus superficies, tendremos:

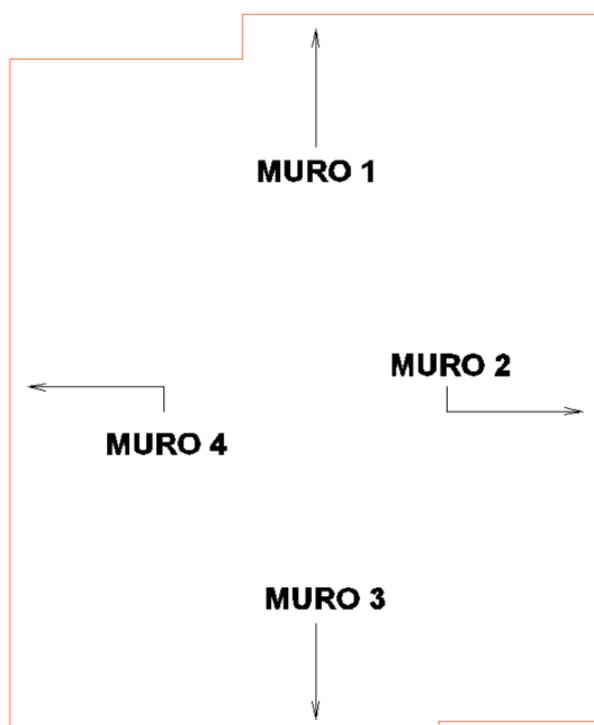
$$Q_t = \sum A_i \cdot K_i \cdot (t_i - t_e)$$

### 5.6.1. Muro medianero en verano

En verano, las temperaturas pueden llegar e incluso superar los 40°C, y esto sucede más a menudo cada año. Sin embargo, la frecuencia y duración de estos eventos siguen sin ser lo suficientemente altas como para justificar su empleo, dada la relación entre el gasto de la aislación y la energía ahorrada que representaría considerar esta circunstancia en el diseño.

La temperatura de 32°C es una temperatura mucho más frecuente, y prácticamente diaria durante los días de verano.

Se calcularán las pérdidas para una hora con 32°C en la habitación elegida para el análisis, cuyas superficies son descriptas en las **Figuras 38 y 39**.



**Figura 38.** Planta de la habitación estudiada

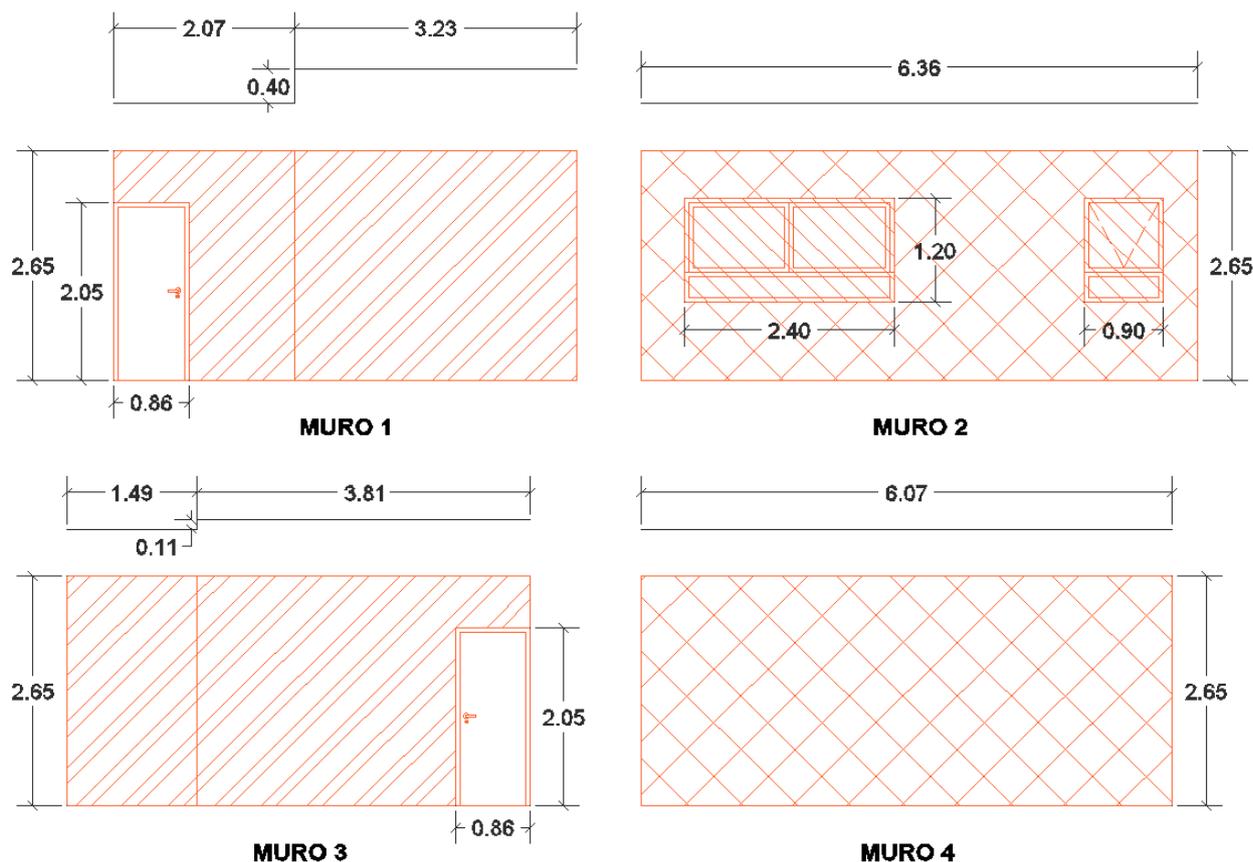


Figura 39. Muros de la habitación estudiada

### 5.6.2. Aislación para distintas composiciones de los muros

El calor transmitido en habitaciones con muros convencionales y losa de hormigón macizo, para una temperatura externa de 32°C, se calcula en la **Tabla 67**.

**Tabla 67.** Condiciones aislantes de muros convencionales

SUPERFICIE	ÍTEM	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	te [°C]	ti [°C]	K [w/m <sup>2</sup> .K]	Q [w]
MURO 1	PARED LADRILLO 8cm S/A	13,34	32	24	2,41	257,55
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 2	PARED LAD. COMÚN 30cm S/A	12,89	32	24	1,87	193,31
	VENTANA (VIDRIO)**	3,96	32	24	5,82	184,38
MURO 3	PARED LADRILLO 8cm	12,57	32	24	2,41	242,72
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 4	PARED LAD. COMÚN 30cm S/A	16,09	32	24	1,87	241,15
TECHO	CUBIERTA CIELORRASO Y CHAPA	33,30	32	24	0,76	202,46
PISO	LOSA Hº MACIZO 20cm C. APLIC.	33,30	32	24	1,29	342,59
						<b>1673,57</b>

\*transmitancia s/ IRAM 11601 Tabla A.1

\*\*transmitancia para vidrio incoloro común s/ IRAM 11601 Tabla A.5

Se desprecian puentes térmicos, marcos de ventanas y puertas



La estructura tal como se ejecutará en la obra tiene los valores de la **Tabla 68**.

Usando los valores óptimos obtenidos anteriormente, con aislación de lana de vidrio sobre el cielorraso de la cubierta y dentro de las paredes, todas ellas ejecutadas con técnicas en seco, los valores son los arrojados por la **Tabla 69**.

**Tabla 68.** Condiciones aislantes de los muros ejecutados en la obra

SUPERFICIE	ÍTEM	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	te [°C]	ti [°C]	K [w/m <sup>2</sup> .K]	Q [w]
MURO 1	PARED LAD. 8cm C/EPS10	13,34	32	24	1,12	119,07
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 2	PARED LAD. COMÚN 30cm C/ EPS10	12,89	32	24	0,98	101,56
	VENTANA (VIDRIO)**	3,96	32	24	5,82	184,38
MURO 3	PARED LAD. 8cm C/EPS10	12,57	32	24	1,12	112,21
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 4	PARED LAD. COMÚN 30cm C/ EPS10	16,09	32	24	1,12	143,55
TECHO	CUBIERTA CIELORRASO Y CHAPA	33,30	32	24	0,76	202,46
PISO	LOSA VIGUETAS, EPS10, C. APL.	33,30	32	24	1,26	336,54
						<b>1209,16</b>

**Tabla 69.** Condiciones aislantes usando materiales aislantes de alta calidad

SUPERFICIE	ÍTEM	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	te [°C]	ti [°C]	K [w/m <sup>2</sup> .K]	Q [w]
MURO 1	DURLOCK C/ LANA DE VIDRIO	13,34	32	24	0,56	60,23
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 2	PARED LAD. COMÚN 30cm C EPS10	12,89	32	24	0,29	30,33
	VENTANA ( DOBLE VIDRIO)*	3,96	32	24	3,23	102,33
MURO 3	DURLOCK C/ LANA DE VIDRIO	12,57	32	24	0,56	56,76
	PUERTA MADERA	1,76	32	24	0,33	4,70
MURO 4	PARED LAD. COMÚN 30cm C EPS10	16,09	32	24	0,56	72,61
TECHO	CUBIERTA CIELORRASO Y CHAPA C/ L.V.	33,30	32	24	0,41	108,57
PISO	LOSA VIGUETAS, EPS10, C. APL.	33,30	32	24	1,00	265,95
						<b>706,17</b>

### 5.6.3. Renovación de aire

Es necesario considerar el cambio de la masa de aire en la vivienda, ya que es no sólo inevitable, sino necesario, por cuestiones de salubridad y confort.



Cuando las puertas y ventanas se mantienen cerradas, se infiltra aire por las juntas de las aberturas, además de producirse ventilación a través de orificios, rejillas (como las instaladas en la instalación de calefactores). La ventilación puede ayudarse con dispositivos mecánicos, como extractores. Cuando se emplean estos últimos, se denomina *ventilación controlada*, mientras que las rejillas y chimeneas producen con lo que se denomina *ventilación natural*.

El aire “nuevo” que entra en la habitación, tiene que ser tenido en cuenta para el cálculo de la energía térmica.

Es recomendado que se realice por lo menos una renovación completa del aire por hora.

Este cálculo puede realizarse independientemente, pero puede ser realizado como parte del cálculo del **Coefficiente G**, en el inciso siguiente.

## 5.7. COEFICIENTE VOLUMÉTRICO G

Hasta el momento, se han analizado las cualidades térmicas de la vivienda, comparando distintos tipos de materiales. Se obtuvieron valores de *Transmitancia Térmica* para distintas composiciones y se calcularon variaciones de energía estimadas para una condición específica.

Lo visto hasta ahora nos permite obtener un coeficiente, denominado G, que indica el comportamiento térmico de una vivienda y no depende de la temperatura, lo que lo hace más versátil para hacer la comparación entre distintas propuestas.

Su denominación es “**coeficiente volumétrico G de pérdida de calor**”, y representa “la energía que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen, unidad de tiempo y unidad de diferencia de temperatura, en régimen estacionario, que debería suplir el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura interna del local” (Cámara Industrial de la Cerámica Roja, 1998).

$$G = \frac{Qt}{V(ti - te)} = \frac{\sum S.K}{V} + Ce \cdot \frac{Vr}{V}$$

También puede escribirse:

$$G = \frac{\sum Km \cdot Sm + \sum Kv \cdot Sv + \sum \gamma \cdot Kr \cdot Sr + Per \cdot Pp}{V} + 0,35 \cdot n$$

Donde:

**Km:** transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos opacos que lindan con el exterior (muros y techos opacos a la radiación solar) [W/m<sup>2</sup>C]

**Sm:** superficie interior de los cerramientos opacos anteriores [m<sup>2</sup>]



$K_v$ : transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos no opacos que lindan con el exterior (Aventamiento de todo tipo y puertas exteriores) [W/m<sup>2</sup>°C]

$S_v$ : superficie interior de los cerramientos no opacos anteriores [m<sup>2</sup>]

$\gamma$ : factor de corrección de la transmitancia térmica " $K_r$ " de los cerramientos que lindan con locales no calefaccionados, valor que surge de la fórmula:

$$\gamma = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum K_i \cdot S_i + \sum K_r \cdot S_r}$$

$K_i$ : transmitancia térmica de los cerramientos del local no calefaccionado que no pertenece a la envolvente [W/m<sup>2</sup>°C]

$S_i$ : área de los cerramientos anteriores [m<sup>2</sup>]

El cálculo de  $\gamma$  puede evitarse usando los valores siguientes:

$\gamma$ : 0,5 para cerramientos que lindan con locales pertenecientes a locales contiguos calefaccionados

$\gamma$ : 1 en cualquier otro caso

$K_r$ : transmitancia térmica de los cerramientos del local no calefaccionado que linda con el local calefaccionado en estudio [W/m<sup>2</sup>°C]

$S_r$ : área de los cerramientos anteriores [m<sup>2</sup>]

$\alpha$ : factor de corrección por inercia térmica del terreno, cuando la temperatura media diaria es menor de 18°C, valor dado por la Norma IRAM 11604 en la Tabla 3

$K_p$ : transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos en contacto con el terreno [W/m<sup>2</sup>°C]

$Per$ : perímetro del piso en contacto con el aire exterior [m]

$Pp$ : pérdidas por el piso en contacto con el terreno

$n$ : número de renovaciones de aire del edificio vivienda calefaccionado

El valor calculado de  $G$  no debe sobrepasar el valor máximo admisible dado por la norma IRAM 11604 (**Figura 40**).

a) En el caso de **muros convencionales** (**Tabla 67**), sin ningún tipo de aislante, será:

$$\sum K_m \cdot S_m = K_{muro \text{ div.}} (S_{muro 1} + S_{muro 3}) + K_{muro \text{ ext.}} (S_{muro 2} + S_{muro 4})$$

$$\sum K_m \cdot S_m = 2.41 \frac{W}{m^2 C} (13.34m^2 + 12.57m^2) + 1.87 \frac{W}{m^2 C} (12.89m^2 + 16.09m^2)$$

$$\sum K_m \cdot S_m = 62.44 \frac{W}{C} + 54.19 \frac{W}{C} = 116.63 \frac{W}{C}$$

$$\sum K_v \cdot S_v = K_{vidrio} S_{vidrio} = 5.82 \frac{W}{m^2 C} \cdot 3.96m^2 = 23.05 \frac{W}{C}$$

$$\gamma = 1$$

$$\sum K_r \cdot S_r = K_{muro \text{ div.}} (S_{muro 1} + S_{muro 3}) = 62.44 \frac{W}{C}$$

El término  $Per \cdot Pp$  es nulo, al no haber contacto con el terreno.



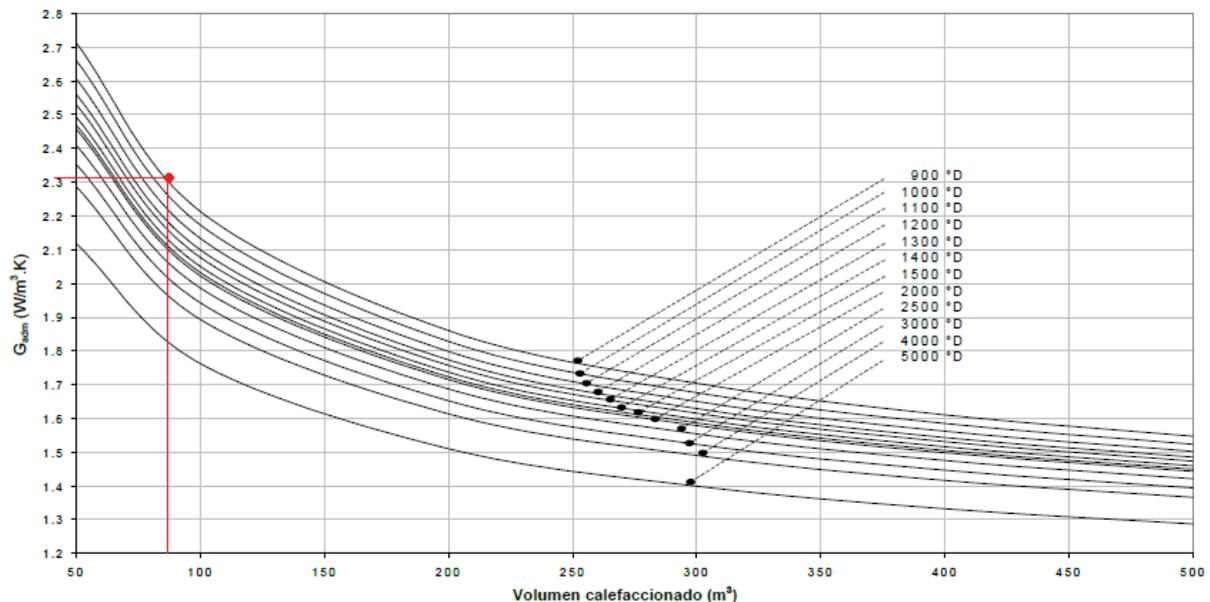
$$V = 88.2m^3$$

$$n = 2$$

$$S_{vi} = 1.7m^2$$

$$G = \frac{\sum Km. Sm + \sum Kv. Sv + \sum \gamma. Kr. Sr + Per. Pp}{V} + 0,35. n$$
$$G = \frac{116,63 \frac{W}{\text{°C}} + 23,05 \frac{W}{\text{°C}} + 1.62,44 \frac{W}{\text{°C}} + 0}{88.2m^3} + 0,35 \frac{W}{\text{°C}m^3} .2$$
$$G = 2,99 \frac{W}{\text{°C}m^3}$$

El valor admisible lo da la **Figura 40**, extraída de la norma IRAM 11604.



Valores máximos admisibles ( $G_{adm}$ ) para edificios de vivienda en función del volumen calefaccionado (rango 50 m<sup>3</sup> a 500 m<sup>3</sup>).

**Figura 40.** Valores admisibles de G según Norma IRAM 11604

Como puede verse, se supera el valor de 2,3 W/m<sup>3</sup>K dado, por lo que no se verifican las condiciones.



- b) Se procede a hacer el cálculo para la opción construida en obra (**Tabla 68**), con muros externos de ladrillos comunes de 30cm, con EPS como aislante, con muros divisorios de paneles de yeso Durlock sin aislante.

$$\sum Km. Sm = K_{muro\ div.} (S_{muro\ 1} + S_{muro\ 3}) + K_{muro\ ext.} (S_{muro\ 2} + S_{muro\ 4}).$$
$$\sum Km. Sm = 1.73 \frac{W}{m^2 C} (13.34m^2 + 12.57m^2) + 0.985 \frac{W}{m^2 C} (12.89m^2 + 16.09m^2)$$

$$\sum Km. Sm = 44.82 \frac{W}{C} + 28.54 \frac{W}{C} = 73.37 \frac{W}{C}$$

$$\sum Kv. Sv = K_{vidrio} S_{vidrio} = 3.23 \frac{W}{m^2 C} \cdot 3.96m^2 = 12.79 \frac{W}{C}$$

\*se usa doble vidriado

$$\gamma = 1$$

$$\sum Kr. Sr = K_{muro\ div.} (S_{muro\ 1} + S_{muro\ 3}) = 44.82 \frac{W}{C}$$

El término *Per. Pp* es nulo, al no haber contacto con el terreno.

$$V = 88.2m^3$$

$$n = 2$$

$$S_{vi} = 1.7m^2$$

$$G = \frac{\sum Km. Sm + \sum Kv. Sv + \sum \gamma. Kr. Sr + Per. Pp}{V} + 0,35. n$$

$$G = \frac{73.37 \frac{W}{C} + 12.79 \frac{W}{C} + 1.44.82 \frac{W}{C} + 0}{88.2m^3} + 0,35 \frac{W}{Cm^3} \cdot 2$$

$$G = 2,2 \frac{W}{Cm^3}$$

Podemos ver que esta configuración de muros sí verifica las condiciones exigidas por la norma.





## CAPÍTULO 6

# ENERGÍA SOLAR

### 6.1. INTRODUCCIÓN

Se trató hasta ahora la energía contenida de los materiales de construcción y de las formas de reducir el consumo en climatización a través de una elección racional de los materiales aislantes.

Lo que se tratará en este capítulo son las posibilidades de obtener energía para el consumo del entorno inmediato del edificio, ya que alrededor de él fluyen constantemente considerables cantidades de energía, parte de las cuales podemos aprovechar.

Las dos fuentes principales de energía que se puede obtener en un edificio residencial son la *eólica* y la *solar*. La primera no es abundante en el Litoral argentino, ya que las regiones donde se puede obtener en cantidad suficiente son aquellas con terrenos montañosos, cerca de las costas marítimas y en latitudes alejadas del Ecuador. Lo que sí abunda en esta región es la energía *solar*.

Existen dos formas principales de aprovechar la radiación proveniente del Sol. Una es usar el calor radiante para calefaccionar los ambientes o para obtener agua caliente para usos sanitarios. La segunda forma es usar paneles fotovoltaicos para convertir la luz solar en electricidad.

En esta parte del análisis, se han hecho cálculos de costos, que al momento de entregar este trabajo han quedado desactualizados por variaciones macroeconómicas recientes, pero no se los ha obviado, esperando que puedan reflejar al menos de manera aproximada los beneficios y costos de estas alternativas.

### 6.2. TERMOTANQUES SOLARES

En un año, un metro cuadrado de la superficie terrestre recibe 5.4 gigajoules de energía, la misma cantidad de energía contenida en 200 kilogramos de carbón, o lo mismo que un barril de petróleo (WEC, 2007). Una forma de aprovechar parte de esta energía (no hay actualmente forma de extraer la energía contenida en todo el espectro de la luz solar), es exponiendo el agua u otro fluido a la luz solar, para que eleve su temperatura y así poder luego transportar la energía contenida para poder utilizarla.

Los termotanques solares están ganando lugar en el mercado desde hace ya algunos años, tanto por sus cualidades ecológicas como por el ahorro económico que significan, sobre todo teniendo en cuenta los aumentos de tarifas de energía que han afectado nuestro país en los



últimos años. También se está extendiendo su uso en zonas rurales, donde otrora se utilizaba leña para calentar agua, y donde no hay redes de gas natural y conseguirlo envasado es muy costoso.

Algunos tipos de paneles solares para uso doméstico son los descritos a continuación:

- Colectores planos: pueden ser abiertos o cerrados, en los primeros la circulación es natural, los cerrados necesitan bombas para funcionar (**Figura 41**).
- Colectores de tubos evacuados: son los más utilizados, los hay de baja y alta presión (**Figura 42**).
- Colectores de tubos de calor.



**Figura 41.** Termotanque de parrilla de hidrobronce (INTA)



**Figura 42.** Termotanque de parrilla de tubos de vacío (INTA)

### 6.2.1 Principios de funcionamiento

El mecanismo es sencillo. Por el colector circula el agua a calentar, provista desde el tanque de reserva del edificio. El colector tiene una tapa transparente que produce efecto invernadero, lo que eleva la temperatura en su interior. El agua ingresa por la zona inferior, y a medida que aumenta su temperatura y su densidad baja, asciende hasta salir por una cañería que transportará el agua caliente para su uso, o a un termotanque auxiliar, que puede ser eléctrico o a gas, que complementará, de ser necesario, el calor obtenido por radiación. El sistema se esquematiza en las **Figuras 43 y 44**.

Hay modelos de colectores que incorporan aislación térmica en la parte inferior, lo que ayuda a conservar el calor en su interior. Los materiales más utilizados son la lana de vidrio y el poliuretano expandido.

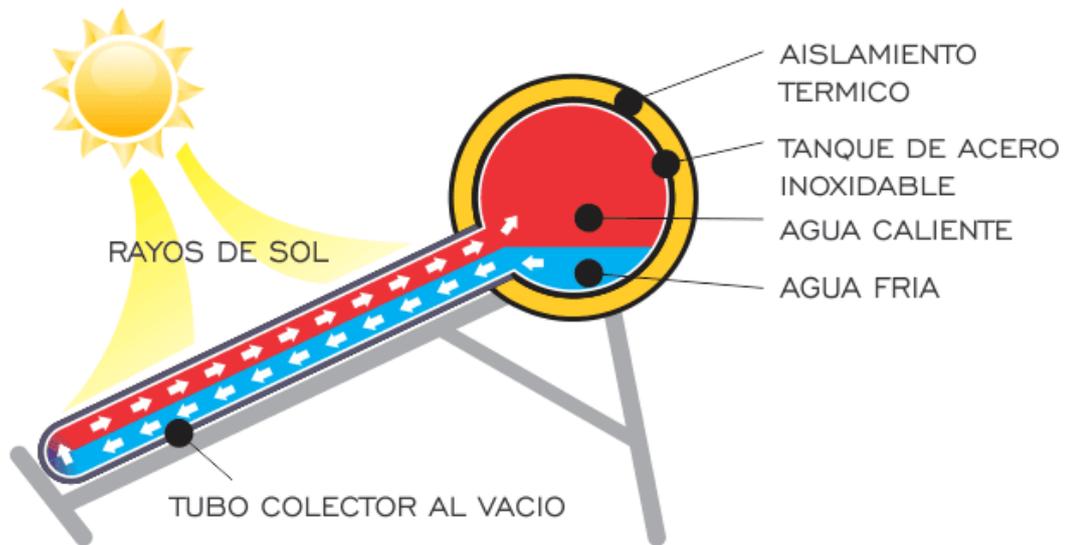


Figura 43. Esquema genérico de un colector solar

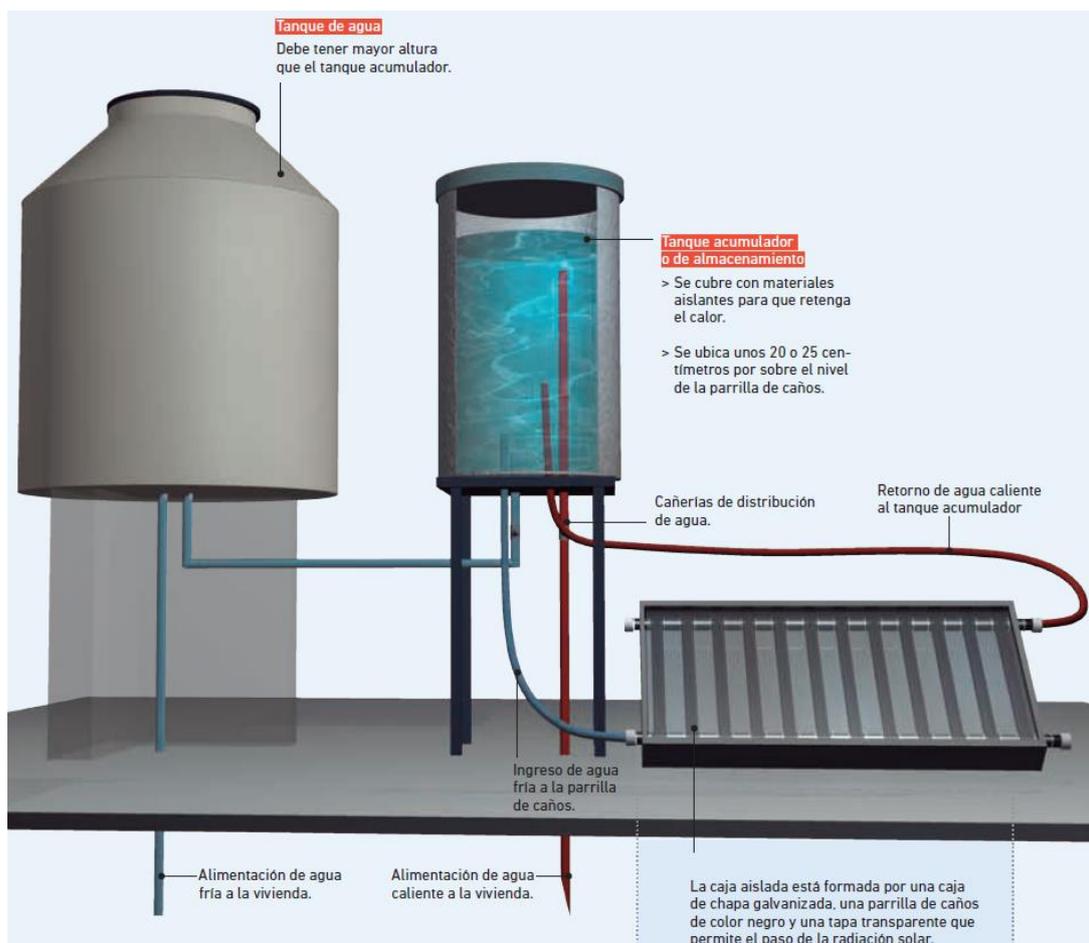


Figura 44. Representación esquemática del funcionamiento de un termotanque solar (INTA)



### 6.2.2. Obra analizada

El uso de termotanques solares en la región es relativamente reciente, por lo cual hay pocos casos testigo que puedan brindar información suficiente para hacer una estimación precisa del rendimiento que se obtendrá con su instalación, así como el tamaño, la cantidad, y el o los sistemas suplementarios necesarios.

Si bien existen métodos de cálculo sugeridos por distintos entes, como la Secretaría de Energía de la Nación, es sabido que el aprovechamiento de la energía solar depende de la latitud, cantidad de días soleados en un año, hábitos de la población, diseño de los colectores y del edificio, entre otros factores.

A pesar de estas incertidumbres, y teniendo en cuenta que estos sistemas se aplican desde hace varios años en todo el mundo, incluyendo regiones más frías, la apuesta por la instalación de termotanques solares promete un importante ahorro energético, sobre todo teniendo en cuenta que el agua calentada por gas representa el 10% de la energía consumida en la Argentina, y que asimismo, el gas representa más del 50% de la matriz energética primaria del país, y su consumo aumentó 3,3% anual en los últimos 10 años, mientras la producción se redujo (Ministerio de Hacienda, 2019). Esta situación deriva en la necesidad de importar energía, con lo cual los costos pueden seguir incrementándose, haciendo del empleo de energías renovables ya no una opción, sino una necesidad.

### 6.3. ENERGÍA ELÉCTRICA

El 83% de la población mundial tiene acceso a energía eléctrica, y depende de ella en su rutina diaria. Se usa electricidad para cocinar, limpiar, climatizar ambientes, entre muchos otros usos.

Este nivel de confort ha mejorado la calidad y expectativa de vida en miles de millones de personas, pero ha tenido un costo ambiental muy elevado, con su resultado principal siendo el cambio climático. Quedan todavía 1200 millones de personas sin electricidad en el mundo, y ese número se reduce en aproximadamente 84 millones anualmente (Prentice, 2016). El aumento de la demanda obliga a cambiar el origen de la energía eléctrica, ya que no es la energía eléctrica en sí misma la responsable de esto, sino su generación.

La energía eléctrica solar, así como otras fuentes renovables, está reduciendo notablemente su costo en todo el mundo, y el crecimiento en su adopción es tanto causa y resultado de esta reducción de costos.

La vida útil de un sistema doméstico de energía solar es superior a los 25 años, tiempo durante el cual se congelan los costos de la energía, y puede incluso ayudar a elevar el precio de la propiedad.



La desventaja de la energía solar es su intermitencia, ya que hay varios factores que afectan su disponibilidad, como el momento del día, la estación del año y la nubosidad. De más está decir que en horario nocturno, cuando la necesidad suele ser mayor, la producción es nula.

Una forma de equilibrar el sistema, almacenando la energía sobrante cuando la generación supera el consumo, y poder hacer uso de ella cuando se da la situación inversa, es incorporar baterías en la instalación.

Otra alternativa, menos costosa, es entregar la energía sobrante a la red, recibiendo un pago por parte de la empresa proveedora a cambio. En la provincia de Santa Fe, existe el Programa Prosumidores, por el cual los usuarios con generación propia pueden hacerlo. Este programa paga a usuarios residenciales con una producción de hasta 5 kW un precio de \$6/kWh, y \$6,50/kWh si la producción no excede los 2kW (datos de Octubre de 2017).

### **6.3.1. Costo de una instalación tipo**

Una instalación de 6 paneles, con 1.560 W de generación pico, que según cálculos de instaladores (Ingesol S.A., se adjunta estimación y presupuesto de la empresa en Anexo C) arrojaría una producción anual de aproximadamente 2300Wh, cuesta entre US\$ 4.400 y US\$ 5.100 (presupuestos de agosto y octubre de 2017, US\$ 1,00=AR\$ 17,90).

La instalación descrita es la estimada para una vivienda tipo. Suponiendo una instalación con esa producción, y vendiendo la mitad de esa energía a \$ 6,50/kWh, se obtendría un beneficio de \$ 7.500 anuales.

### **6.3.2. Obra analizada**

No se planea hacer una instalación de este tipo en la obra en cuestión, ya que no fue terminada y los costos deben determinarse poco tiempo antes de la instalación, dada la imprevisibilidad de las variables macroeconómicas.

Sin embargo, y complementando con almacenamiento, en condiciones económicas estables, puede generar grandes beneficios.





## CAPÍTULO 7

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Si bien todo este proyecto puede considerarse una forma de Estudio de Impacto Ambiental, es importante que todos los trabajos académicos incorporen criterios homogéneos de análisis. Es por eso que este último capítulo desarrolla la teoría más *formal* empleada para el Estudio de Impacto Ambiental.

### 7.2. DEFINICIONES

Un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es un documento formal empleado para predecir las consecuencias ambientales de proyectos, tanto de gran escala como obras menores, destinadas a mejorar la calidad de vida de la población.

Los objetivos principales de cualquier EsIA son:

- Prevenir y mitigar impactos.
- Potenciar los beneficios del proyecto.
- Minimizar los impactos negativos a largo plazo.

Un EsIA es un instrumento gerencial, lo que quiere decir que está destinado a funcionarios y administradores que tomarán las decisiones fundamentales sobre una obra o plan.

Se incluye documentación sobre las condiciones existentes, se identifican los impactos y se elabora un Plan de Gestión ante las conclusiones obtenidas.

La información requerida es:

- Descripción del proyecto.
- Descripción del ambiente circundante al mismo.
- Marco legal.
- Identificación de posibles impactos.
- Análisis de alternativas y selección de la alternativa óptima.
- Desarrollo del Plan de Gestión Ambiental.
- Preparación de un documento escrito.



Dada la envergadura de la obra estudiada en este Proyecto Final, no existiría exigencia legal de realizar un EsIA por parte de las autoridades, pero resulta importante incluirlo, dada la naturaleza del análisis y del proyecto en sí mismo.

### 7.3. IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES IMPACTOS

Es el primer paso del análisis, y para darle inicio, es fundamental identificar los Componentes Valiosos del Ecosistema (CVE), para así estimar cualitativamente y cuantitativamente (de ser posible), cómo se verán afectados por la ejecución del proyecto. Los CVE incluyen componentes sociales, económicos y biofísicos dentro de su área de influencia.

Los pasos a seguir para su identificación y valoración son los descriptos a continuación:

- 1- Se confecciona un listado preliminar de los CVE.
- 2- Se identifica y evalúa cómo y cuánto se los afecta.
- 3- Se efectúa un *screening* Matricial Preliminar: constituye una herramienta que caracteriza el impacto de una acción sobre cada componente del medio, en término del signo, importancia, probabilidad de ocurrencia, duración y extensión.

### 7.4. METODOLOGÍAS

La mayoría de los métodos empleados comúnmente refieren a impactos específicos y ninguna de ellas está completamente desarrollada, lo cual dificulta el EsIA por tres motivos principales.

- Los cambios en los elementos afectados obligan a cambiar el método.
- Sólo se puede usar un tipo de método por cada actividad.
- Hay varios métodos diferentes para estudiar un mismo factor.

Esto hace que los especialistas usualmente no se vean satisfechos por los estudios, debido a que:

- Lo difuso del contenido ambiental en Economía y las Ciencias Sociales.
- Los métodos de análisis no presentan soluciones.
- No se analizan tanto el riesgo como la incertidumbre.
- Falta de costumbre de ser cuestionados por gente no versada en la materia.
- Subjetividad.

Una metodología útil debe analizar los sistemas ecológicos, naturales y acciones tecnológicas del hombre para entender el comportamiento del sistema. Debe comenzarse acotando el universo



de análisis, e incluir medidas para reciclar agua, recuperar energía, aprovechar subproductos y residuos, e incluir un apartado referido a la vigilancia de elementos medioambientales.

## 7.5. MOMENTO DE INCORPORACIÓN

A grandes rasgos, hay tres momentos en los cuales puede incorporarse el EsIA, dependiendo de ello el tipo de análisis que se realizará.

Si se realiza en la etapa de planificación, antes de definir los detalles del proyecto, se lo denomina **adaptativo**. Es el enfoque más conveniente porque permite prever los posibles impactos y desarrollar el proyecto teniendo en cuenta tanto los factores ambientales como las necesidades a satisfacer.

Cuando el EsIA se efectúa durante la etapa de proyecto, se denomina **semiadaptativo**.

Lo menos recomendable es hacer el EsIA ya en la etapa de explotación, porque ya están definidos y ejecutados todos los elementos de la obra. A este enfoque se lo denomina **reactivo**.

## 7.6. MATRIZ DE LEOPOLD

El método (Leopold, 1971) se presenta como un cuadro de doble entrada, con los factores ambientales susceptibles de ser afectados en las filas y las acciones que puedan causar impactos en las columnas. Los factores ambientales considerados son 88 y las acciones son 100, obteniendo como potenciales interacciones 8800, aunque suele presentarse una matriz reducida con las verdaderamente importantes, que no suelen ser más de 50.

### 7.6.1. Métodos de análisis más usuales

Existe un elevado número de modelos y procedimientos empleados para llevar a cabo un EIA, algunos profesionales intentan desarrollar métodos universalmente aplicables, mientras otros son buscan poder analizar situaciones específicas. Existen métodos íntegramente cualitativos, otros se basan en grandes bases de datos e instrumentos de cálculo complejos. Hay metodologías de carácter estático y otras de carácter dinámico.

#### 7.6.1.1. Clasificación de los métodos más utilizados

- Sistemas de red y gráficos:
  - Matrices causa-efecto: método cualitativo, preliminar. Cada cuadrícula de interacción se divide en diagonal, con la magnitud y el signo (positivo o negativo) del impacto en la parte superior y la importancia en la parte inferior. Las estimaciones se realizan de manera subjetiva.



- Listas de chequeo: también empleadas en evaluaciones preliminares, y se utilizan como un método muy simple de identificar los impactos más importantes. Se adjuntará un informe detallado de los factores ambientales considerados.

Existen otros métodos muy empleados, que no serán descriptos individualmente porque eso excedería la profundidad correspondiente a este Proyecto Final, pero que vale la pena mencionar.

- Sistemas cartográficos: se realizan analizando cuestiones fundamentalmente ecológicas a través del análisis de planos y datos sobre variables como el clima, la geología, hidrología, flora, fauna y demás objetos de interés, los cuales pueden estar organizados de manera matricial.
  - Métodos basados en indicadores, índices e integración de evaluaciones: algunos son estáticos y cualitativos, otros intentan evaluar y sopesar globalmente los beneficios y costos sociales, y otros pretenden evaluar los impactos ambientales a través de un proceso integrado de planificación.
  - Métodos cuantitativos: se emplean indicadores homogéneos para realizar una planificación a medio y largo plazo.

#### 7.6.2. Metodología a aplicar – Matriz Semicuantitativa Prognos II

Basado en la Matriz de Leopold, el Método “PROGNOS II de Evaluación de Impacto Ambiental mediante el Desarrollo de Matrices Semicuantitativas” es también desarrollado como un cuadro de doble entrada.

Las matrices tienen una estructura adaptable a las necesidades del proyecto analizado.

Se distinguen cuatro tipos de acciones sujetas a evaluación:

- 1) Acciones durante el período de Movilización de Obra
- 2) Acciones durante la construcción
- 3) Demandas inducidas por el Proyecto
- 4) Medidas preventivas y de mitigación

Por comodidad, suele dividirse la tabla en dos partes (A y B) y se elabora una Tabla Síntesis.

Se hará una prognosis de los beneficios potenciales al Medio Socio-Económico, y de los posibles impactos negativos, principalmente sobre el medio Biofísico.

Es una metodología altamente experimentada, que lleva más de 20 años siendo utilizada.

La **Tabla 70** detalla la simbología empleada para describir las interacciones entre las acciones y los factores susceptibles de impactos.

Luego de confeccionada la matriz, se procede a hacer una matriz resumen, donde se expresan porcentualmente los impactos positivos, los negativos y los que son difíciles de evaluar en la



etapa considerada. También se expresarán porcentualmente las características de los impactos positivos y negativos.

Las **Tablas 71 y 72** son muestras genéricas de cómo se ven las tablas resumen.

Se puede también confeccionar una tercera matriz en la cual se relaciona el desarrollo de cada una de las acciones generadoras de impactos negativos con las correspondientes Medidas de Mitigación.

**Tabla 70.** Discriminación de los impactos según sus características (Kaczan, 2009)

<b>ORDEN SECUENCIAL EN EL CASILLERO</b>	<b>CARACTERÍSTICA DEL IMPACTO</b>	<b>SÍMBOLO UTILIZADO EN LA MATRIZ</b>
<b>1</b>	<b>SIGNO</b>	(+) - Positivo (-) - Negativo (X) - Probable, pero difícil de calificar en esta etapa (.....) - No considerado en la evaluación
<b>2</b>	<b>IMPORTANCIA</b>	(1) - Menor (2) - Mediana (3) - Mayor
<b>3</b>	<b>PROBABILIDAD O RIESGO DE OCURRENCIA</b>	(C) - Cierta (P) - Posible
<b>4</b>	<b>DURACIÓN</b>	(T) - Temporaria (V) - Recurrente (S) - Permanente
<b>5</b>	<b>TÉRMINO DE OCURRENCIA</b>	(E) - Inmediato (M) - Mediato (L) - A largo plazo
<b>6</b>	<b>REVERSIBILIDAD</b>	(B) - Reversible a corto plazo (D) - Reversible a mediano plazo (H) - Reversible a largo plazo (I) - Irreversible (K) - No considerado
<b>7</b>	<b>EXTENSIÓN AREAL</b>	(F) - Focalizada (A) - Local (R) - Regional (G) - Global
<b>8</b>	<b>NECESIDAD DE MONITOREAR LOS EFECTOS CONSIDERADOS</b>	(Y) - Sí (N) - No

**Tabla 71.** Síntesis de los resultados de la matriz (Kaczan, 2009)

<b>Elementos analizados</b>	<b>Parte A</b>	<b>Parte B</b>	<b>Total</b>	<b>% Casilleros</b>	<b>% Impactos</b>
<b><i>Casilleros de la Matriz</i></b>					
<b>Nº de casilleros que DEMANDAN Evaluación</b>					---
<b>Nº de casilleros que NO DEMANDAN Evaluación</b>					---
<b>Cantidad total de casilleros</b>					---
<b><i>Impactos</i></b>					
<b>POSITIVOS</b>				---	
<b>NEGATIVOS</b>				---	
<b>X-----Y</b>				---	



**Tabla 72.** Discriminación de los impactos **positivos** y **negativos** según sus características (Kaczan, 2009)

Escala de Evaluación	Parte A	Parte B	Total A + B	%
<b><i>Importancia</i></b>				
Menor (1)				
Mediana (2)				
Mayor (3)				
<b><i>Probabilidad o Riesgo de Ocurrencia</i></b>				
Cierta (C)				
Posible (P)				
<b><i>Duración</i></b>				
Temporaria (T)				
Recurrente (V)				
Permanente (S)				
<b><i>Término de Ocurrencia</i></b>				
Inmediato (E)				
Mediato (M)				
A Largo Plazo (L)				
<b><i>Reversibilidad</i></b>				
Reversible a Corto Plazo (B)				
Reversible a Mediano Plazo (D)				
Reversible a Largo Plazo (H)				
Irreversible (I)				
No Considerada (K)				
<b><i>Extensión Areal</i></b>				
Focalizada (F)				
Local (A)				
Regional (R)				
Global (G)				



## 7.7. MARCO LEGAL

Existe legislación en nuestro país que regula tanto los requisitos ambientales como la documentación a presentar y las autoridades de implementación que determinarán si el proyecto será aprobado o no, y las modificaciones que deban realizarse, si las hubiese.

### 7.7.1. Leyes nacionales

- Constitución Nacional: Consagra en su Artículo 41 el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo de actividades productivas, impone el deber de preservarlo y la obligación prioritaria de recomponerlo cuando sea dañado.
- Ley Nacional N°25675 “Ley General del Ambiente” (2002): establece presupuestos mínimos para la gestión sustentable y adecuada del ambiente, preservación y protección de la diversidad biológica e implementación del Desarrollo Sustentable.
  - Objetivos principales de una política ambiental:
    - Preservación de los recursos naturales.
    - Uso racional de los recursos naturales.
    - Promover cambios de valores.
    - Minimización de riesgos.
  - Principios esenciales:
    - Precautorio: ante peligro de daño grave o irreversible, la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces.
    - De equidad intergeneracional: se deberá velar por el uso y goce del ambiente por parte las generaciones presentes y futuras.
    - Responsabilidad: el generador de los efectos degradantes es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas.
    - Sustentabilidad: el desarrollo económico y el social no deben comprometer las posibilidades de generaciones presentes y futuras.
  - EIA: toda obra de actividad susceptible de degradar el medio ambiente o afectar la calidad de vida de la población en forma significativa, estará sujeta a un procedimiento de EIA, previo a la ejecución:
    - 1- Personas físicas o jurídicas inician el trámite con una declaración jurada donde se manifiesta si las obras afectarán el medio ambiente.
    - 2- Las autoridades competentes determinan la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, con requerimientos en ley particular y emiten una



Declaración de Impacto Ambiental decidiendo la aprobación o rechazo de los estudios.

3- Los Estudios de Impacto Ambiental deberán contener una descripción detallada del proyecto, identificación de las consecuencias sobre el ambiente y las acciones mitigadoras.

- Ley Nacional N°25612 “Gestión de Residuos Industriales y de Actividades de Servicio” (2002):

Esta ley define al Residuo Industrial como “cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su proveedor, productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga obligación legal de hacerlo”.

Esta ley es relevante en la Industria de la Construcción porque considera al hormigón como un desecho industrial.

Es cuestionada por ser “ambigua” y “defectuosa”, por denominar como **peligrosos** a todos los residuos provenientes de procesos industriales y actividades de servicio, por lo cual ha sido modificada seis veces desde su aprobación.

- Ley Nacional N°25916 “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas” (2002).

Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de cursos y cuerpos de agua naturales o artificiales, superficiales y subterráneos. Ha sido modificada cuatro veces desde su aprobación.

- Ley Nacional N°25831 “Régimen de Libre Acceso a la Información Pública Ambiental” (2003). Se destacan algunos artículos del texto de la ley.
  - Artículo 1, Objeto: derecho al acceso a la información ambiental en manos del Estado (en todos sus niveles), entes autárquicos y empresas proveedoras de servicios.
  - Artículo 2, Definición de Información Ambiental: toda información [...] relacionada con el ambiente, los recursos naturales o culturales y el desarrollo sustentable.
    - Estudio del ambiente o alguno de sus componentes.
    - Políticas, planes, programas y acciones referidas a la gestión del ambiente.
  - Artículo 3: el acceso a la información será libre y gratuito para toda persona física o jurídica, excepto los gastos vinculados a la entrega de la información, sin acreditar razones de interés determinado o presentar solicitud formal.



- Artículo 8: el Plazo para la resolución de solicitudes es de 30 días hábiles.

### 7.7.2. Leyes provinciales

- Ley Provincial N°11717 “Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable” (1999).

Establece a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable como la autoridad de Aplicación. Algunos artículos importantes son:

- Artículo 1: establece los objetivos.
- Artículo 2: establece lo que se entiende por preservación, conservación, mejoramiento y recuperación del Medio Ambiente.
- Artículo 18: establece la obligatoriedad de presentar Estudio e Informe de Impacto Ambiental para todas las etapas de proyectos que puedan afectar el Medio Ambiente.
- Decreto N°63/99: veta y modifica parcialmente la Ley 11717.
- Decreto 827/00: promulga la Ley 11717 con las modificaciones del Decreto 63/99.
- Decreto 101/03: reglamenta los artículos 18 a 21 de la Ley 11717. Establece los pasos para la Categorización Ambiental, la EIA, la Certificación de Aptitud Ambiental y las Audiencias Públicas. También crea el Registro de Consultores, Expertos y Peritos.

### 7.8. RESULTADOS

Para la realización del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto analizado, se empleará la Matriz Semicuantitativa PROGNOS II.

Se evaluarán los posibles impactos de la obra en cuestión, sin compararlos con el impacto de una obra convencional.

En las estimaciones de demandas de materiales y mano de obra, se considera positivo incrementar la demanda y negativo reducirla, ya que la evaluación se realiza desde el punto de vista del ambiente y no de la economía de la propia obra. Con respecto a la demanda de energía, se considera positivo que esta disminuya, ya que tiene efectos positivos económicamente para la obra y ambientalmente.

En las **Tabla 73 y 74** se exponen los resultados del medio socio-económico y el físico respectivamente, y en la **Tabla 75** un resumen de los mismos.



## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, L., (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises*. Greywater Action. Pág. 2.
- Acindar. (2017). *Reporte de Sustentabilidad*. Pág. 58.
- Amundarain, A., Torero, J., Usmani, A., Al-Remal, A. (2007). *Light Steel Framing: Improving the Integral Design*. Pág. 1.
- Andrade, C. (1994). *Vida útil de estructuras de hormigón armado: Obras nuevas y deterioradas*. Instituto de Ciencias de la Construcción. Madrid.
- Begliardo, H. F., Panigatti, M. C., Tonda, M. (2008). *Una Propuesta de Reciclado de Hormigón para Rafaela*. UTN FRRa. Rafaela.
- Begliardo, H. F., Panigatti, M. C., Sánchez, M., Garrapa, S. (2013). *Reutilización de yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilenas*. UTN FRRa. Rafaela.
- Cámara Industrial De La Cerámica Roja. (1998). *Comportamiento térmico de mampuestos y techos cerámicos*. Pág. 18.
- Gonzalez Stumpf, M. A., Kulakowski, M., Breitenbach, L., Kirch, F. (2014). *A case study about embodied energy in concrete and structural masonry buildings*, Revista de Construcción.
- Griffin, C.T., Reed, B., Hsu, S. (2010). *Comparing the embodied energy of structural systems in buildings*. Portland State University. Pág. 4.
- Kaczan, L. (2009). *Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*. Dirección de posgrado UTN, FRSF. Santa Fe.
- Kuru, B., Luetngen, M., Kohler Co. (2012). *Is Gray-Water Reuse Ready for Prime Time?*
- Macmath, Richard. (2000). *Carbon Dioxide Intensity Ratios: A Method of Evaluating the Upstream Global Warming Impact of Long-Life Building Materials*. Center for Maximum Potential Building Systems, Inc.
- Muñoz, N. J. (2016). *What is The Economic Feasibility of Implementing Gray Water Infrastructure at the City Level?* University of San Francisco.
- Norma IRAM 11549. (1993). *Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. INTI. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11601. (1996). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. INTI. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. INTI. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11604. (1990). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G. de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. INTI. Buenos Aires.



Norma IRAM 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. INTI. Buenos Aires.

Ordenanza Municipal N° 4556. (2012). *Sistema de suministro de agua potable de red*. Municipalidad de Rafaela.

Pérez Rojas, A. (2012). *Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto*. Pág. 117-119.

Prentice, M. (2016). *Solar Power: The Ultimate Guide to Solar Power Energy and Lower Bills*. Inext Corp. Pág. 9.

Subsecretaría De Energías Renovables y Eficiencia Energética. (2019). *Sistemas Solares Térmicos Compactos para ACS*. Ministerio de Hacienda de la Nación. Buenos Aires. Pág. 8.

Suzuki, M., Oka, T. (1998). *Estimation of Life Cycle Energy Consumption and CO2 Emission of Office Buildings in Japan*. Energy and Buildings.

Tonda, M., Begliardo, H. F., Panigatti, M. C., Fornero, G. (2008). *Áridos y Reciclados*. UTN FRRa. Rafaela.

WEC, Survey of Energy Resources. (2007). *Solar Radiation Resources*. World Energy Council.

Werner Johnson, T. (1996). *Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method*. Department of Civil and Environmental Engineering. U.S. Military Academy.

WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our Common Future*. Cap. 2. ONU.



## ANEXO A

### USO RACIONAL DEL AGUA

El IDSR (Instituto para el Desarrollo Sustentable de Rafaela) se realizan campañas anuales de cuidado del agua, con el objetivo de ahorrar este recurso haciendo un uso racional de él.

Con ese objetivo, en 2012 se sancionó la ordenanza municipal N° 4556, bajo la cual todas las construcciones nuevas en la ciudad deberán contar con el sistema de doble cañería. Una de ellas, con un tanque de reserva en el techo, se destinará al uso del agua potable de red, para aprovisionar artefactos, instalaciones y aparatos dedicados a usos que puedan generar riesgo para la salud humana. La segunda instalación, constituida por cañerías, tanque de reserva y una bomba, se alimentará del acuífero libre, y se empleará para la descarga de inodoros (de doble descarga) y mingitorios, además del riego de cultivos no comestibles, usos industriales, recreo y demás usos que no pongan en riesgo la salud humana.

Esta doble instalación disminuirá el uso de agua potable y contribuirá al descenso del elevado nivel freático, que ha experimentado un incremento dramático, consecuencia de los excesos de precipitaciones de los últimos años.

El Municipio también realiza auditorías a grandes consumidores industriales, con el fin de identificar pérdidas en instalaciones sanitarias, cocinas, patios y otras fuentes de agua potable. Se instalan en los sitios visitados aireadores para canillas, botellas para mochilas externas de inodoros y pistolas de agua para mangueras, elementos que ayudan a ahorrar agua. También se instruye en recomendaciones de mantenimiento. En el palacio municipal se redujo en más de un 50% el consumo de agua empleando estas técnicas y elementos.

#### Fuentes de información

Ordenanza 4.556, 22 de noviembre de 2012, Municipalidad de Rafaela





## ANEXO B

### CLIMATIZACIÓN SOLAR

En el presente anexo se describirán técnicas para aprovechar la energía radiante del Sol para climatizar ambientes, una alternativa no incluida en el cuerpo principal del trabajo porque no se consideró en el diseño original, pero que podría ofrecer una buena posibilidad en la ciudad.

Con el objetivo de reducir la huella de carbono y el costo de la climatización en el edificio, se deben buscar alternativas que permitan evitar usar energía eléctrica o gas natural, y es allí donde entra en juego la fuente de energía más abundante en casi todo el planeta, que es la energía térmica que llega a la superficie terrestre mediante la radiación solar.

Hay dos formas básicas de recolectar energía solar térmica para climatización, usando como fluido caloportador el aire o el agua.

Entre las ventajas que se pueden mencionar para las instalaciones por agua, la principal es su capacidad para transportar energía térmica, ya que puede contener cuatro veces más calor por unidad de masa que el aire (con un calor específico de 1 cal/g, mientras que el aire tiene 0.24 cal/g), además de tener mayor densidad (1000 kg/m<sup>3</sup>, la del aire es 1,225 kg/m<sup>3</sup>). Esto significa que para transportar la misma cantidad de calor es necesario un volumen 3400 veces mayor de aire que de agua.

Lo anterior no significa que el aire no sea una solución viable, dado que presenta sus propias ventajas. La primera es que no tiene los problemas de congelamiento y ebullición del agua, lo que amplía los límites térmicos de operación. Tampoco habrá problemas de fugas, al trabajar en circuito abierto con la atmósfera. Las instalaciones por aire son también más sencillas que las de agua, porque al no tener que transferir el calor de un medio a otro, sólo se necesitan colectores, conductos y un dispositivo de circulación.

Como se mencionó anteriormente, el agua es susceptible de congelarse, lo que hace necesario incorporar anticongelante para evitar roturas cuando haya bajas temperaturas nocturnas. El anticongelante es tóxico, y hace necesaria la instalación de un circuito secundario, con su respectivo intercambiador de calor, comunicado con el acumulador de agua.

Las instalaciones de calefacción por agua son solamente efectivas en combinación con suelo radiante, que es muy costoso y complejo de implementar en edificios existentes, por lo que tiene que considerarse antes de la construcción, a diferencia de las instalaciones por aire, que son mucho más fáciles de agregar a edificios ya operativos.

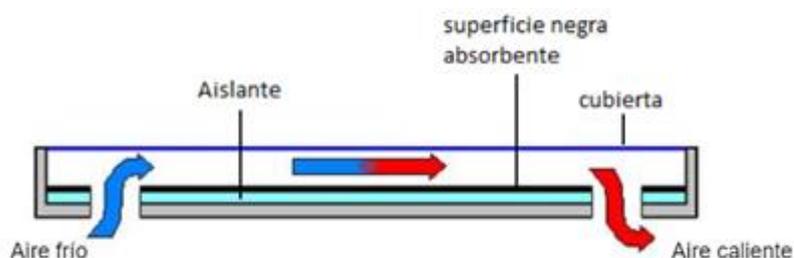
Elementos componentes de una instalación de calefacción solar por aire:



- Colectores: exteriormente no son distinguibles de uno de agua. En el interior no cuentan con la parrilla de conductos que tienen los colectores con agua. La entrada y la salida son más grandes, porque los conductores también lo son, dadas las características de la fluidez de las distintas sustancias. No existen modelos estandarizados de colectores por aire, ya que estas instalaciones no están todavía muy difundidas, y por consiguiente tampoco hay pruebas oficiales que midan el rendimiento (las fuentes varían sus estimaciones entre el 10% y el 90% de rendimiento inferior a los colectores por agua).

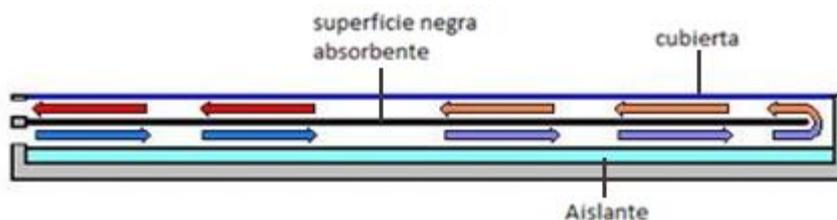
Existen distintos tipos de colectores:

- Colector simple de circulación delantera: la placa absorbente está en el fondo de la caja. El aire circula entre ella y el vidrio. Es el de menor rendimiento (**Figura 45**).



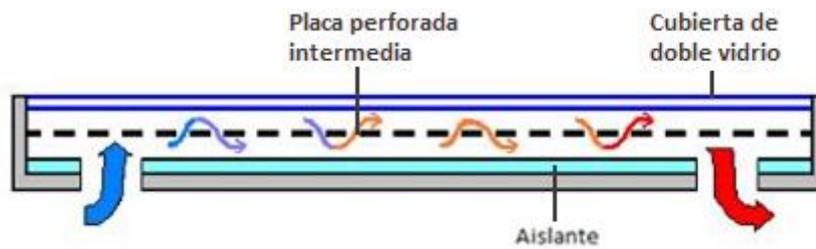
**Figura 45.** Colector simple de circulación delantera  
(www.sitiosolar.com)

- Colector de placa intermedia: la placa se encuentra en el medio de la caja, y el aire hace un doble recorrido, primero por detrás y luego por delante de ella (**Figura 46**).



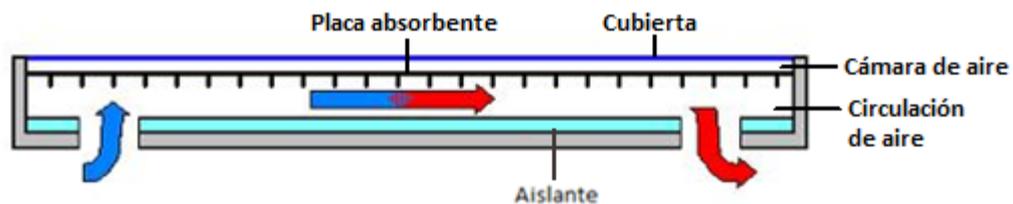
**Figura 46.** Colector de placa intermedia  
(www.sitiosolar.com)

- Colector de placa intermedia con doble vidrio: la placa está perforada, y el aire circula libremente entre los espacios por delante y detrás de ella. Para mejorar la eficiencia se necesita instalar doble cristal con aire estanco entre ellos (**Figura 47**).



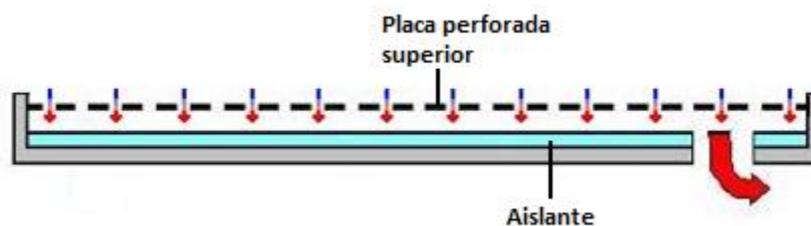
**Figura 47.** Colector de placa intermedia con doble vidrio  
(www.sitiosolar.com)

- Colector de circulación trasera: la placa absorbente está también en posición intermedia, pero el aire sólo circula por detrás de ella, con una cámara de aire entre el vidrio y la placa (Figura 48).



**Figura 48.** Colector de circulación trasera  
(www.sitiosolar.com)

- Colector de aire sin vidrio: consiste simplemente en una plancha de metal negro mate calada con pequeños agujeros (Figura 49).



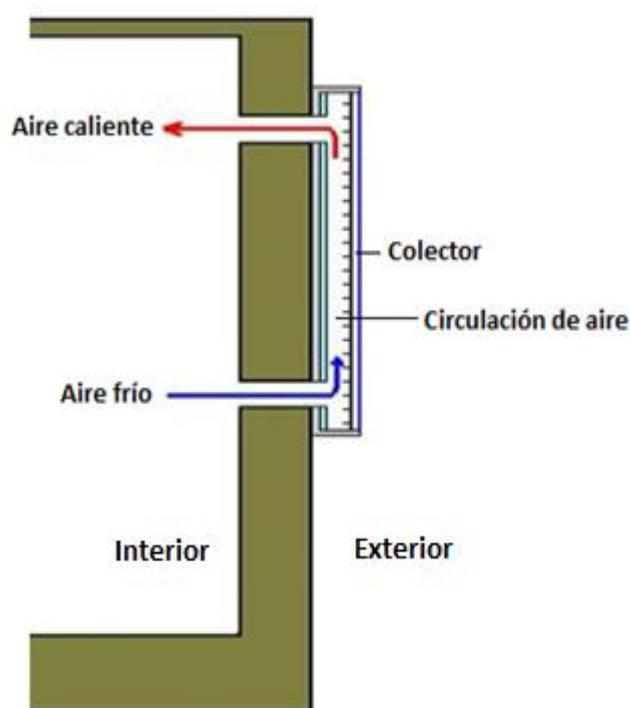
**Figura 49.** Colector de aire sin vidrio  
(www.sitiosolar.com)

- Aerocirculador y conductos de aire: se usan los mismos que en ventilación. Conviene aislarlos térmicamente, especialmente en los tramos externos al edificio.
- Elementos automatizados de control: son similares a los empleados en instalaciones térmicas de agua y aire convencionales, constan de sensores térmicos dispuestos en



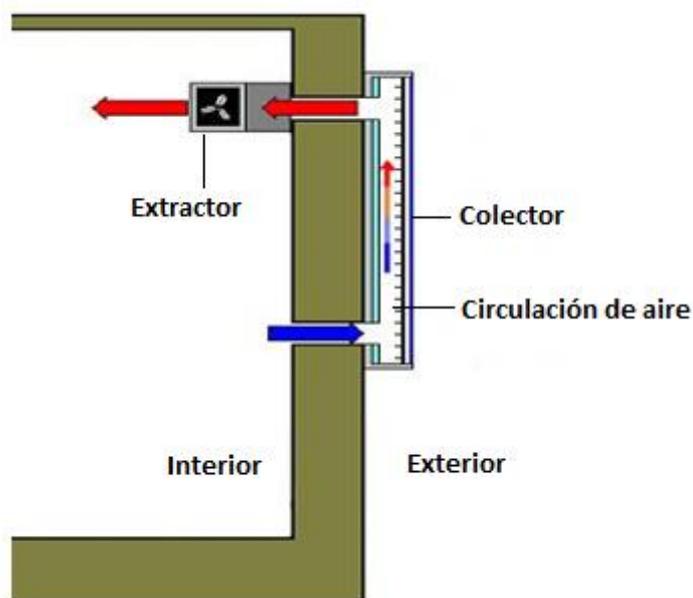
colectores, acumuladores y el interior del edificio, además de un termostato diferencial que recibe información de ellos y activa o desactiva el aerogenerador.

- Modelos de instalación: existen tres modelos básicos
- Instalación por termosifón: emplea el cambio de densidad del aire a distintas temperaturas para producir su circulación. El colector se sitúa en vertical sobre la superficie externa del muro, de modo que el aire calentado en él ascienda y entre al edificio, mientras el aire frío proveniente del interior ocupe el espacio liberado. Se necesita una fachada de orientación al ecuador, donde no se proyecten sombras, para la colocación del colector (**Figura 50**).



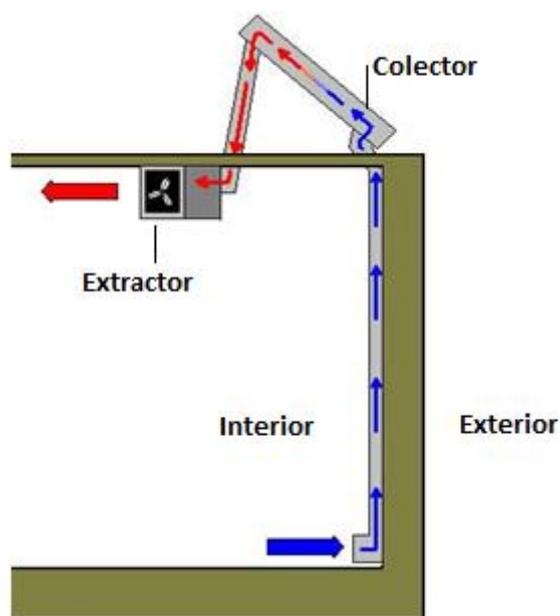
**Figura 50.** Instalación por termosifón  
([www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com))

- Instalación con ventilación forzada: es como la anterior, con la única diferencia de incorporar un extractor que hace más eficiente la circulación del aire (**Figura 51**).



**Figura 51.** Instalación con ventilación forzada  
(www.sitiosolar.com)

- Con colectores independientes y circulación forzada: los colectores son independientes al muro, colocándose en tejados o el suelo. Una toma de aire del interior de la casa lo lleva a los colectores mediante un aerocirculador. El aire calentado ingresa luego nuevamente al interior del edificio. La toma de aire debe realizarse lo más cerca posible del suelo, ya que sólo se calentará el volumen de aire sobre ella hasta el techo (**Figura 52**).

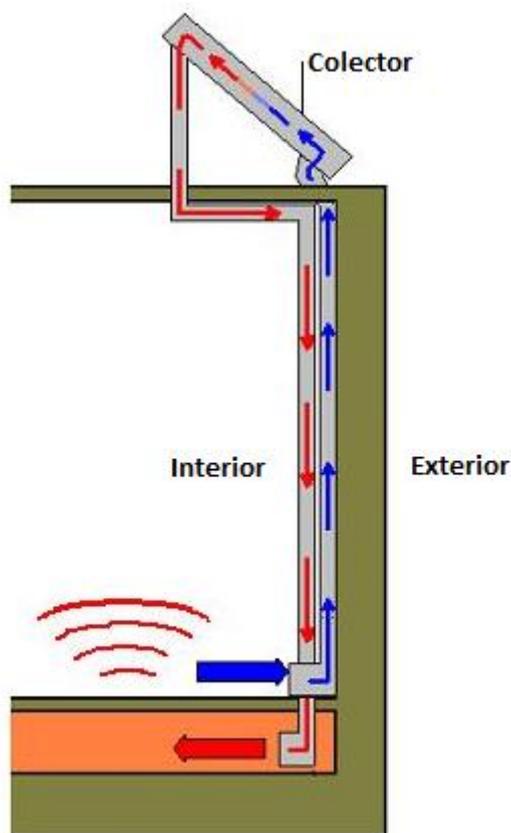


El

**Figura 52.** Instalación con colectores independientes y ventilación forzada  
(www.sitiosolar.com)



- Suelo radiante por aire caliente: es una instalación como la anterior, pero en este caso el aire calentado no va a la habitación, sino a conductos bajo el suelo, que irradiarán la energía al interior. Esta instalación debe realizarse al momento de la construcción de la casa, debido a que es muy compleja para agregarla a una construcción existente. La inercia térmica de este sistema lo hace poco recomendable para climas con gran amplitud térmica durante el día, como el de nuestra región (**Figura 53**).



**Figura 53.** Instalación de suelo radiante  
([www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com))

## LA ACUMULACIÓN DE CALOR

La radiación solar llega a la Tierra una parte del tiempo, de día, y no lo hace constantemente tampoco, variando en función de la nubosidad. Además, la cantidad de radiación recibida en la superficie terrestre es inversamente proporcional a la necesidad de las personas, ya que cuando más la necesitamos, en invierno y durante la noche, es cuando menor cantidad tenemos disponible.

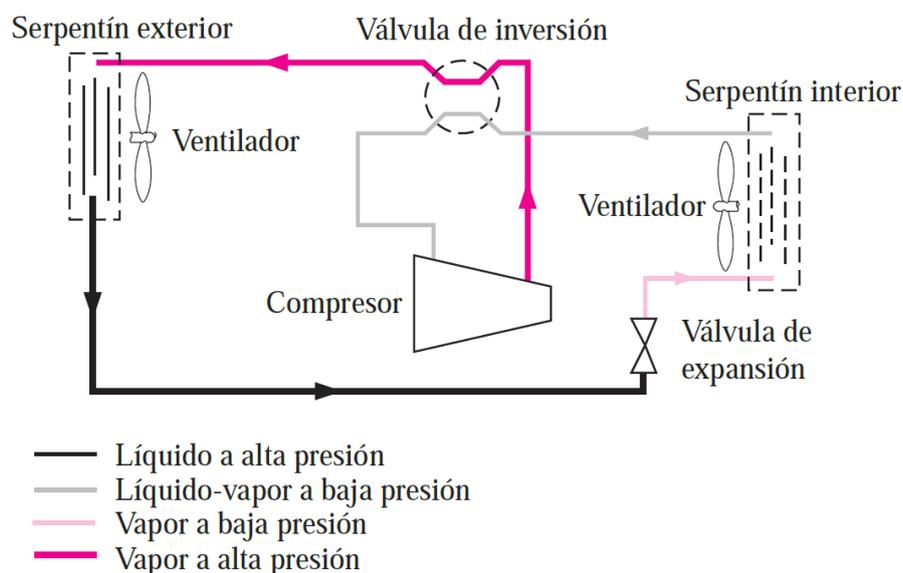


Es por ello que se hace necesario contar con elementos que acumulen la energía del Sol para ser aprovechada cuando no tengamos su luz a nuestra disposición.

- Acumulación en pilas de cantos rodados: un volumen con cantos rodados o grava en su interior. Las piedras almacenan calor que pasa al ambiente cuando la temperatura del aire es baja. Se pueden usar forzando aire a través el volumen de piedras o usándolas de masa térmica sin que el aire pase directamente por ellas.
- Acumulación en los muros del mismo edificio: hay quienes proponen usar los mismos elementos estructurales del edificio, como los muros, el piso e incluso el mobiliario como elementos de acumulación. Sostienen que forzar aire a través de una tina de piedras es extremadamente difícil de controlar.
- Acumulación en conductos masivos en suelo radiante: se instalan conductos masivos que acumulan el calor proveniente del aire caliente, liberándolo cuando desciende la temperatura del aire.

## BOMBA DE CALOR

Una bomba de calor es una máquina frigorífica que toma calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente, gracias a un trabajo aportado desde el exterior (**Figura 54**).

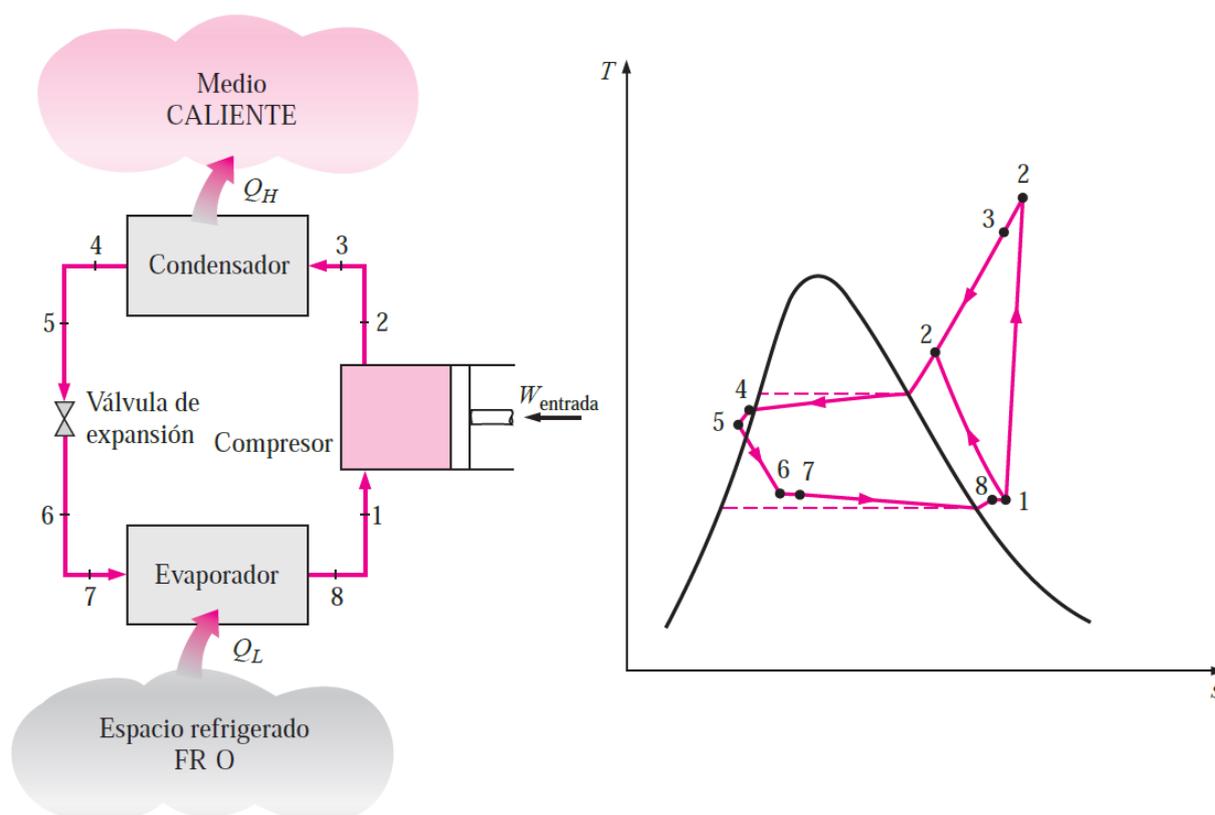


**Figura 54.** Funcionamiento de una bomba de calor (en frío)  
(Yunus y Michaels, 2009)



El ciclo más empleado en la bomba de calor es el de compresión de vapor (**Figura 55**), al igual que en la máquina frigorífica, empleando los mismos refrigerantes, elementos y etapas del proceso.

Las máquinas reversibles incorporan una válvula inversora de cuatro vías, que se intercala en el circuito frigorífico y cuenta, generalmente, con un conmutador invierno-verano. Al ser accionada, la válvula cambia el sentido de circulación del fluido frigorífico, convirtiendo el evaporador en condensador y viceversa.



**Figura 55.** Ciclo de compresión de vapor de una máquina frigorífica (Yunus y Michaels, 2009)

La reversibilidad de la máquina no implica un problema en el mecanismo, sólo un aumento en las horas de trabajo, ya que cumplirá dos funciones opuestas, lo que aumentará su desgaste y la necesidad de mantenimiento.

El único componente que soportará condiciones extraordinarias será la unidad exterior, cuyo intercambiador puede llegar a necesitar evaporar con temperaturas exteriores que pueden, en algunas regiones, llegar a los  $10^{\circ}$  en invierno y condensar a  $40^{\circ}$  en verano, por lo que se deberá dimensionar con cuidado la superficie de intercambio.



### Coeficiente de eficiencia

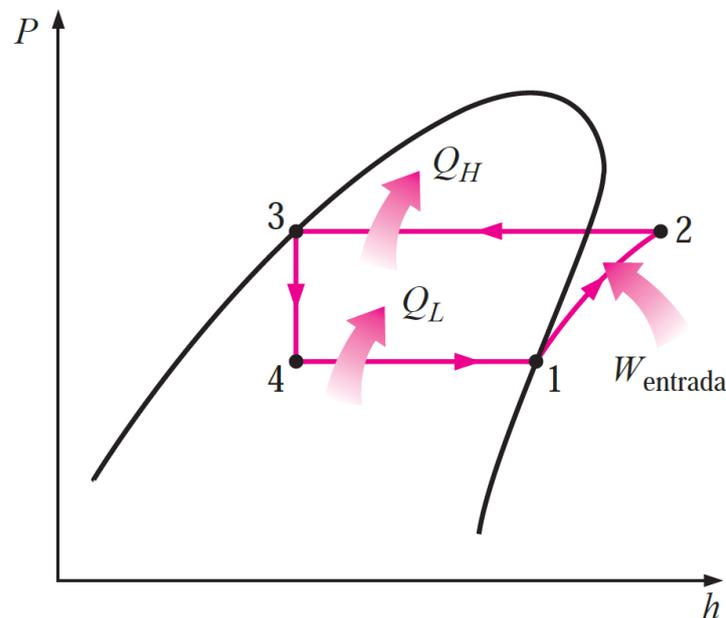
El Coeficiente de Eficiencia (CoP, por sus siglas en Inglés) es el nombre que se le da al *rendimiento* de este tipo de máquinas. Al ser de doble función, tendrá dos coeficientes, uno como máquina frigorífica (de verano) y otro como bomba de calor (de invierno).

$$CoP_{invierno} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{1}{1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

$$CoP_{veramp} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}$$

La única diferencia entre ambos es el numerador, el cual determina el beneficio, o sea, el valor depositado en el caliente en invierno el calor disipado en el lado frío en verano, o lo que es lo mismos, las respectivas temperaturas absolutas en el lado caliente y el lado frío.

El CoP es el máximo teórico que en condiciones de 0°C en el exterior y 20°C en el interior, da un valor de 14,65, lo que representarían 14.65 kW de calor por kW eléctrico consumido. En la práctica, el CoP máximo es un 15% del máximo teórico. El ábaco que se emplea para determinar el rendimiento máximo se muestra en la **Figura 56**.



**Figura 56.** Ciclo de CoP ideal  
(Yunus y Michaels, 2009)

### CoP real

Pérdidas de eficiencia de una máquina frigorífica de compresión como bomba de calor:



- El intercambio, o sea, la eficacia con que el evaporador y el condensador intercambian calor con el aire ambiente, depende en gran parte del salto térmico entre la temperatura del refrigerante y el ambiente. Cuanto mayor sea esta diferencia, mejor será la eficiencia, aunque su aumento implica aumentar la temperatura de condensación y disminuir la de evaporación, reduciendo la eficiencia. La solución de compromiso ronda los 10°C. En la práctica depende principalmente del tipo de intercambiador.
- Se pueden usar ventiladores para mejorar el rendimiento en el evaporador y el condensador, y su consumo debe ser sumada a la consumida por el compresor.
- La compresión del gas produce pérdidas de calor y rozamientos, propias de los sistemas termodinámicos reales.
- Cuando la temperatura de evaporación es menor a 0°C, el vapor de agua del aire en contacto con el serpentín se condensa, para luego congelarse, formando una capa de hielo que dificulta el intercambio. Debe hacerse un “desescarche” periódico, cuya energía consumida debe agregarse a la total.
- El sistema motriz del compresor suele ser de elevada eficiencia, pero siempre por debajo de la unidad, por lo que deben tenerse en cuenta sus pérdidas.
- También deben considerarse las pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías.

Con una buena máquina se obtienen CoP muy superiores a 1, logrando proporcionar más energía que la consumida, y se considera como *energía renovable*, dado que recupera calor de fuentes más frías, que de otra manera no podría ser aprovechado. Si el rendimiento es menor a 1, se pierde la ventaja de la bomba de calor.

### **Viabilidad de la bomba de calor**

Se puede decir que la “calidad” de la energía es su disposición para convertirse en trabajo; la energía eléctrica se considera de “alta calidad”, porque aplicada a un motor eléctrico, puede tener un rendimiento superior al 90%.

La calidad de la energía térmica depende su temperatura. En una central térmica convencional, se produce vapor a alta temperatura a partir de un combustible, que impulsa una turbina a que convierte su energía cinética en energía eléctrica, con un rendimiento aproximado del 30%, o sea, algo menos de 1kW de electricidad cada 3kW térmicos. Si 1kW de electricidad obtenido de esa manera produce 1kW térmico, estaríamos teniendo el mismo rendimiento de 30%, por lo que, usar energía eléctrica generada en una central térmica sólo se justifica si tenemos un rendimiento mayor al 100% en nuestro sistema de calefacción, algo que sólo se logra con una bomba de calor. De todas formas, conviene hacer un estudio de viabilidad de la instalación para verificar si en todo momento tendremos un rendimiento mayor a la unidad.



La potencia térmica y potencia absorbida en distintas condiciones, por cada modelo de bombas puede consultarse en las tablas provistas por los fabricantes. Se necesitaría un CoP estacional de 3 para recuperar la energía térmica empleada en la producción de la electricidad utilizada. En centrales térmicas de ciclo combinado pueden obtenerse rendimientos de 50%, por lo que con un CoP de 2 estaríamos recuperando la “inversión térmica”.

La viabilidad del sistema se determina comparando el precio del kW eléctrico y el kW térmico para distintas circunstancias y combustibles.

### **Tipos de bomba de calor**

- Aire-aire: las más utilizadas, sobre todo por su precio. Son las típicas máquinas que toman aire del exterior y lo ceden a un canal de recirculación dentro del local
- Aire-agua: se usa aire como fuente de calor, y lo cede a un circuito de agua. Empleados principalmente en suelos radiante, dada su baja temperatura de funcionamiento
- Agua-aire: toman calor de una corriente de agua, superficial o subterránea, y lo ceden al aire del local a calefaccionar
- Agua-agua: el intercambio es entre agua de una corriente y agua usada en el circuito de calefacción
- Tierra-aire y tierra-agua: iguales a las anteriores, pero no es el agua la fuente de calor, sino un fluido auxiliar que toma agua del terreno, donde la temperatura es prácticamente constante. Son como las bombas utilizadas en instalaciones geotérmicas

El agua subterránea tiene menor variabilidad que la superficial, y más aún respecto al aire atmosférico, y las instalaciones que la aprovechen pueden por consiguiente diseñarse con más precisión.

### **REFRIGERACIÓN SOLAR**

Por supuesto, es posible usar la energía solar para generar electricidad con paneles fotovoltaicos, con la cual alimentar equipos convencionales de acondicionamiento de aire o bombas de calor. Pero existe otra alternativa, que no requiere esta instancia, aumentando el rendimiento, permitiendo reducir las instalaciones de colección de luz solar, una ventaja cuando tenemos poco espacio, como es el caso de estudio.

Es posible, a través de reacciones físico-químicas entre un refrigerante y un absorbente, producir el cambio de estado que permite extraer calor de un ambiente más frío y extraerlo a uno



más caliente, como lo hacen los acondicionadores de aire eléctricos convencionales a través de un compresor y un vaporizador.

Los dos primeros principios físicos elementales son los mismos para el sistema que analizaremos que para un acondicionador de aire eléctrico, además de un tercero:

1. Cuando un fluido se evapora absorbe calor y cuando se condensa cede calor
2. La temperatura de ebullición de un líquido varía en función de la presión, bajando o aumentando con ella
3. Hay parejas de productos químicos que tienen cierta afinidad a la hora de disolver el uno al otro

En un ciclo convencional, el fluido refrigerante en estado líquido fluye por el evaporador, el medio a enfriar cede calor mientras el refrigerante se evapora. El vapor a baja presión pasa al compresor incrementando su presión y temperatura hasta un punto en el que el vapor se licúa cediendo calor al medio a calentar utilizado en el condensador. El líquido refrigerante va desde el condensador a un elemento de expansión en el que su presión y temperatura se reducen a las del evaporador.

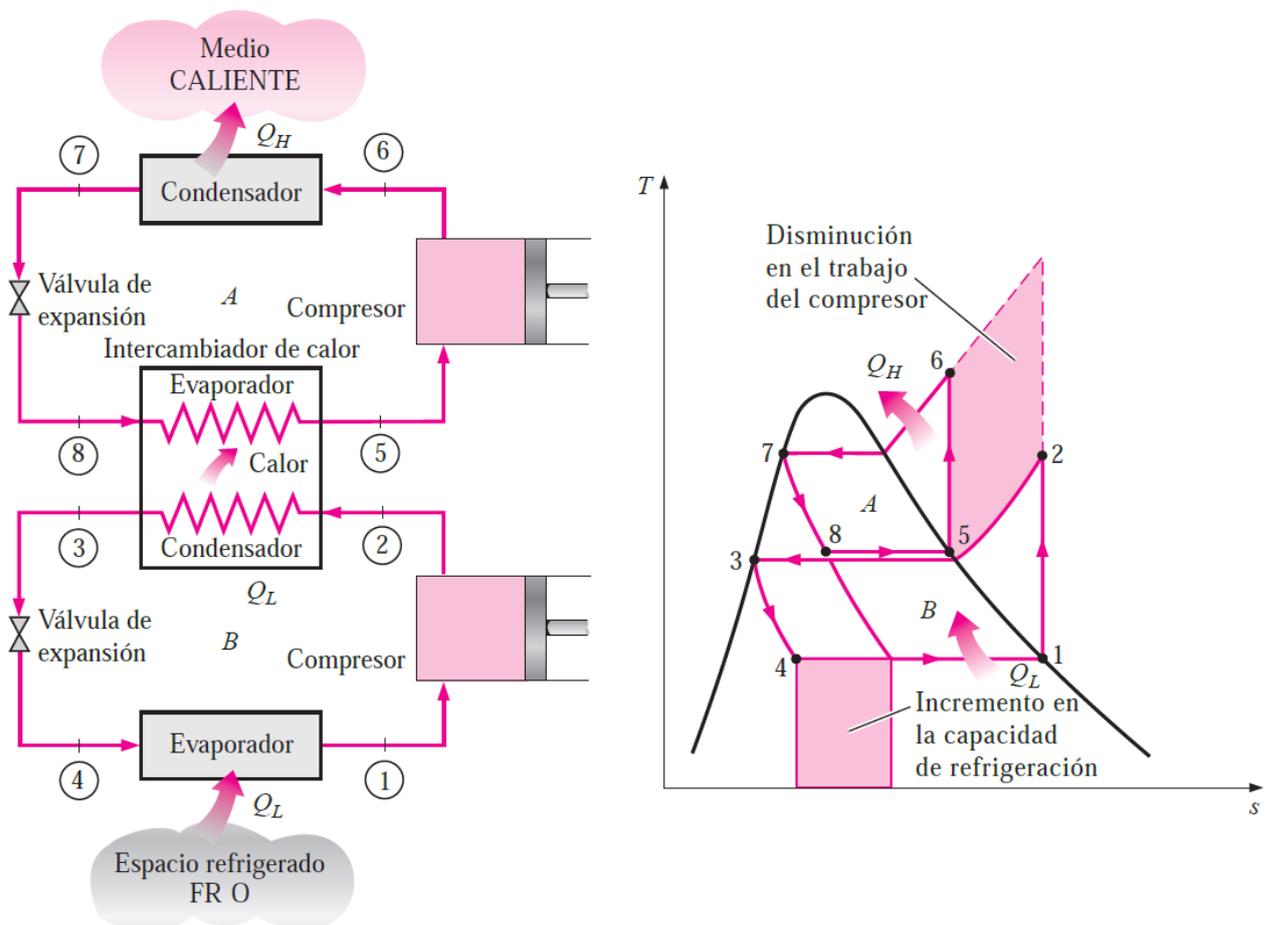
Si sustituimos el compresor mecánico del ciclo de refrigeración anterior por un compresor térmico compuesto por un absorbedor y un generador, obtenemos un ciclo de refrigeración por absorción.

En el ciclo con agua y bromuro de litio como refrigerante y absorbedor respectivamente, el vapor del refrigerante liberado en el evaporador se absorbe en la solución absorbente y ésta se diluye. Para reconcentrar la solución, se bombea al generador, donde mediante el aporte de calor se libera el refrigerante por destilación. La solución se envía al absorbedor para volver a absorber el refrigerante. El vapor refrigerante liberado en el generador a mayor presión y temperatura pasa al condensador.

También se puede incorporar un intercambiador de calor, para precalentar la solución antes de pasar al calentador. Se esquematiza el sistema en la **Figura 57**.

Este ciclo es el más empleado, por la capacidad del bromuro de litio para absorber agua, y porque luego puede deshidratarse mediante calor.

Los únicos elementos mecánicos de este sistema son dos bombas, una que lleva la solución concentrada al generador y otra (ausente en el esquema), que lleva el calor a la torre de enfriamiento.



**Figura 57.** Esquema de un intercambiador de calor (Yunus y Michaels, 2009)

El ciclo amoníaco-agua funciona de la misma manera, pero con el amoníaco como refrigerante y el agua como absorbente. Tiene menor eficiencia energética, pero puede conseguir temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ , por lo que se emplea en máquinas congeladoras.

### Análisis de los rendimientos

El rendimiento, medido por el CoP, es menor que en el método por compresión (entre 0,8 y 1,2, frente a 3,3 y 5, los límites del CoP del segundo), pero esta clasificación tiene en cuenta la energía eléctrica provista en un ciclo por compresión, y no la energía térmica que la originó (con un rendimiento inferior al 25%, contra un 90% de los paneles solares térmicos).

El rendimiento del conjunto completo de paneles solares térmicos y bomba de calor con absorción se ubica entre 0.72 y 1.08, mientras que una instalación eléctrica por compresión entre 0.54 y 1.1.



Fuentes de información

Yunus, A, Boles, M. A. (2009) Termodinámica. McGraw Hill.

[www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)

[www.heat-pump-pro.com](http://www.heat-pump-pro.com)



## **ANEXO C**

# **PRESUPUESTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**





## **ANEXO D**

### **PLANOS**