



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Civil

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE OBRA GRUESA DE 3 EDIFICIOS DE ALTURA  
MEDIA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

FELIPE ALEJANDRO CARMONA ARAOS

PROFESOR GUIA:  
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ

MIEMBROS DE LA COMISION:  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS  
CRISTIAN YAÑEZ OTAROLA

SANTIAGO DE CHILE  
SEPTIEMBRE 2010



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Civil

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE OBRA GRUESA DE 3 EDIFICIOS DE ALTURA  
MEDIA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FELIPE ALEJANDRO CARMONA ARAOS

COMISIÓN EXAMINADORA

CALIFICACIONES

PROFESOR GUÍA:  
SR. CARLOS AGUILERA GUTIERREZ.

\_\_\_\_\_

PROFESOR CO-GUÍA:  
SR. MAURICIO TOLEDO VILLEGAS

\_\_\_\_\_

PROFESOR INTEGRANTE:  
SR. CRISTIAN YAÑEZ OTAROLA

\_\_\_\_\_

NOTA FINAL EXÁMEN DE TITULO

\_\_\_\_\_

SANTIAGO DE CHILE  
SEPTIEMBRE 2010

---

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Esta memoria está dedicada con todo mi amor y cariño a mis padres Héctor Carmona Ríos y María Alejandra Araos Guerra y a mi hermano Cristián Carmona Araos por su incondicional apoyo durante mi vida universitaria.

Agradezco también a los señores Carlos Aguilera G., Mauricio Toledo V. y a Cristián Yáñez O. por el gran interés y entusiasmo que pusieron en mi tema de investigación desde el primer día.

Por último se agradece a las empresas constructoras BRIMAC, Santa Beatriz y AXIS por su gran disposición mostrada durante el desarrollo del trabajo.

---

## INDICE

---

<b>CAPITULO 1</b>	
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1 La construcción en Chile y el mundo.....	1
1.2 La construcción de edificios en Chile: tipos, componentes y factores involucrados.....	3
1.3 Le energía y los edificios en Chile.....	5
1.4 Metodologías para la medición de la energía incorporada de un edificio.....	5
1.5 Objetivos.....	8
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>ENERGIA INCORPORADA DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>9</b>
2.1 Antecedentes.....	9
2.1.1 Factores de Conversión.....	10
2.1.2 Participación de los principales productores de insumos de obra gruesa en el mercado Chileno.....	11
2.2 Insumos de obra gruesa.....	12
2.2.1 Acero Estructural.....	12
2.2.2 Hormigón.....	21
2.2.3 Moldaje.....	25
2.3 Transporte de materiales a Obra.....	27
2.4 Resultados.....	28
2.5 Diagrama de Flujo (1) – Valores Unitarios de Energía Incorporada.....	30



<b>CAPITULO 3</b>		
<b>ENERGIA CONSUMIDA EN LA CONSTRUCCION DE OBRA GRUESA.....</b>		<b>31</b>
3.1	Antecedentes.....	31
3.2	Edificio Horizontes.....	32
3.2.1	Descripción de la empresa.....	32
3.2.2	Descripción de la obra.....	33
3.2.3	Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.....	34
3.2.4	Energía en obras directas.....	35
	3.2.4.1 Instalación de faena.....	35
	3.2.4.2 Movimiento de tierra.....	36
	3.2.4.3 Obra gruesa.....	38
3.2.4	Resumen.....	41
3.3	Edificio Graneros.....	43
3.3.1	Descripción de la empresa.....	43
3.3.2	Descripción de la obra.....	45
3.3.3	Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.....	46
3.3.4	Energía en obras directas.....	47
	3.3.4.1 Instalación de faena.....	47
	3.3.4.2 Movimiento de tierra.....	48
	3.3.4.3 Obra gruesa.....	49
3.3.4	Resumen.....	52
3.4	Edificio Alcántara 939.....	54
3.4.1	Descripción de la empresa.....	54
3.4.2	Descripción de la obra.....	55
3.4.3	Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.....	56
3.4.4	Energía en obras directas.....	57
	3.4.4.1 Instalación de faena.....	57
	3.4.4.2 Movimiento de tierra.....	58
	3.4.4.3 Obra gruesa.....	59
3.4.4	Resumen.....	61
3.5	Diagrama de Flujo (2) – Estimación del Consumo Energético.....	63

<b>CAPITULO 4</b>	
<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
4.1 Comparación de los valores de energía incorporada.....	64
4.2 Comparación del consumo energético de los edificios seleccionados.....	68
4.3 Desempeño del consumo energético de las partidas de un edificio.....	71
4.4 Representación del consumo energético de los edificios estudiados para la ciudad de Santiago.....	72
4.5 Extrapolación de los resultados obtenidos.....	75
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>
Anexo A: Plano de planta y elevación edificio Horizontes.....	84
Anexo B: Plano de planta y elevación edificio Graneros.....	85
Anexo C: Plano de planta y elevación edificio Alcántara 939.....	86
Anexo D: Dashboard – Ficha Eficiencia Energética.....	87

---

## RESUMEN

---

El presente Trabajo de Título pretende cuantificar la energía consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media en la ciudad de Santiago de Chile. Esto es lo que se conoce internacionalmente como “Embodied Energy” y corresponde a la energía consumida en los procesos de extracción, fabricación, y transporte para lograr el producto final. El desarrollo de este trabajo se centra en explorar un área poco conocida en Chile y de alto impacto energético, puesto que el sector edificación representa alrededor del 40% de la energía final consumida en Chile. Se determinarán valores que puedan ser de utilidad en los futuros proyectos de construcción, aportando de esta manera a la eficiencia energética de los procesos constructivos y operacionales. El trabajo se desarrolla en 5 temas cronológicos, partiendo por el estudio de antecedentes teóricos y definición de criterios evaluativos, pasando por la obtención y cuantificación de los consumos energéticos y finalizando con el análisis de los resultados. A partir de esto se espera generar un criterio de balance energético a una estructura particular, de manera de poder cuantificar el gasto de energía en la etapa constructiva para así aplicar proposiciones en beneficio al mejoramiento de los procesos constructivos y materiales utilizados en la construcción en Chile. Se concluye que las energías involucradas son de diversos tipos y deben ser convertidas a una unidad de kilowatt hora de energía final para lograr el objetivo del trabajo. Como energía incorporada se obtienen valores para el acero, hormigón y moldaje de 9.944,63 [kwh/ton acero], 229,87 [kwh/m<sup>3</sup> hormigón] y 1,41 [kwh/m<sup>2</sup> de moldaje] respectivamente y de 0,26 [kwh/ton-km], 0,74 [kwh/m<sup>3</sup>-km] y 0,07 [kwh/m<sup>2</sup>-km] para el transporte de estos a obra. Finalmente se obtiene un total de 4.663.179 [kwh], o bien 636 [kwh/m<sup>2</sup>], en el consumo energético en la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media para la ciudad de Santiago, lo que muestra una leve diferencia a los valores obtenidos en el estudio hecho por Cole y Kernan en Canadá para edificios de oficina 495 [kwh/m<sup>2</sup>], que puede deberse a las aproximaciones y supuestos considerados en el estudio.

---

# CAPITULO 1

## Introducción

---

En el presente capítulo se define lo que se entiende internacionalmente por construcción, para luego mencionar el rol que esta juega en Chile y el mundo. A continuación se habla sobre uno de los sectores de la construcción más consolidados a nivel mundial que es la edificación, destacando cuáles son los tipos de obras más comunes en Chile y la importancia de cuantificar la energía consumida de éstas. Finalmente se mencionan algunos métodos para medir la energía incorporada inicial de un edificio.

### **1.1 La construcción en Chile y el mundo.**

Hoy en día la construcción se puede concebir como una técnica propia del ser humano que se liga y desarrolla en función del crecimiento económico y social de cada país. Internacionalmente se le define como la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles<sup>1</sup>. Esta técnica, hoy en día industrializada, se caracteriza por su calidad de nómada con una gran planta de producción móvil que trabaja y fabrica para perpetuar un producto fijo en el tiempo, el que generalmente, posee propiedades únicas y particulares. Como ejemplo se pueden mencionar los puentes, carreteras, puertos, vías férreas, plantas de energía eléctrica, hidroeléctricas, represas, construcciones industriales, edificaciones, etc. Una característica imperante en la construcción es que ésta no puede desarrollarse sin la compañía de un bien dotado y un mercado de insumos y servicios apropiados, que permitan concretar las obras propuestas. Para esto es sumamente importante el avance de la tecnología, tanto en maquinarias, transporte, así como también en el software computacional que permita

---

<sup>1</sup> <http://www.azc.uam.mx/cyad/procesos/website/grupos/tde/NewFiles/actividad.html> "La construcción actividad clave para el desarrollo del país". Alejandro Viramontes Muciño.

gestionar y desarrollar los proyectos de manera anticipada a la ejecución de las obras. De esta forma, si contemplamos todo el mercado que involucra la construcción y la cantidad de mano de obra no calificada que provee, podríamos comprender su influencia en la economía y el porqué se le cataloga como un pilar fundamental para el desarrollo de un país.

En Chile, la construcción está gobernada por dos grandes grupos: el público y el privado. Entre los más destacados del sector público se encuentran el Ministerio de Obras Públicas (MOP), el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), el Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), las municipalidades, las empresas públicas como CODELCO y ENAP y por último, las empresas mixtas como es el caso de Aguas Andinas y Zofri. En el sector privado tenemos las empresas mineras, la industria, el comercio, las inmobiliarias y las telecomunicaciones. En cuanto al marco regulatorio de las obras de construcción, el encargado de normalizar y definir las directrices para el desarrollo constructivo del país es el sector público en conjunto con el gobierno y los distintos organismos municipales. Los sistemas de financiamiento para desarrollar las obras de construcción vienen dados por los presupuestos que cada ministerio, municipalidad y empresa pública disponga, como también por medio de concesiones en el que los ministerios llaman a licitación pública a empresas privadas para asumir el costo de construcción con el futuro reembolso de este por medio de la explotación de la obra. En el caso privado, el financiamiento está dado por el capital propio de las inmobiliarias y constructoras, y también por las llamadas operaciones mixtas entre inmobiliarias, bancos e inversionistas.

Entre las obras más destacadas del país, se encuentran todas las relacionadas con la minería, las centrales de generación eléctrica, las obras viales y la edificación. Es importante destacar que todas estas obras son posibles gracias a la geografía y tipos de recursos naturales que presenta Chile a lo largo de todo el país.

## 1.2 La construcción de edificios en Chile: tipos, componentes y factores involucrados.

Cuando se habla de construcción de edificios en Chile, se refiere principalmente al sector de departamentos habitacionales y de oficinas, los que son esencialmente precedidos por proyectos inmobiliarios de edificios. La oferta de departamentos nuevos en el Gran Santiago, entre los períodos Marzo 1998 y Junio 2010 llegó a un total de 40.000 unidades para el cuarto trimestre del 2008, mostrando una variación positiva del 27% respecto al mismo trimestre del año anterior<sup>2</sup>. Como se puede ver en la figura 1.1 la oferta mensual de departamentos es alta y creciente, transformándolo en un mercado activo y pilar fundamental en la economía del país.

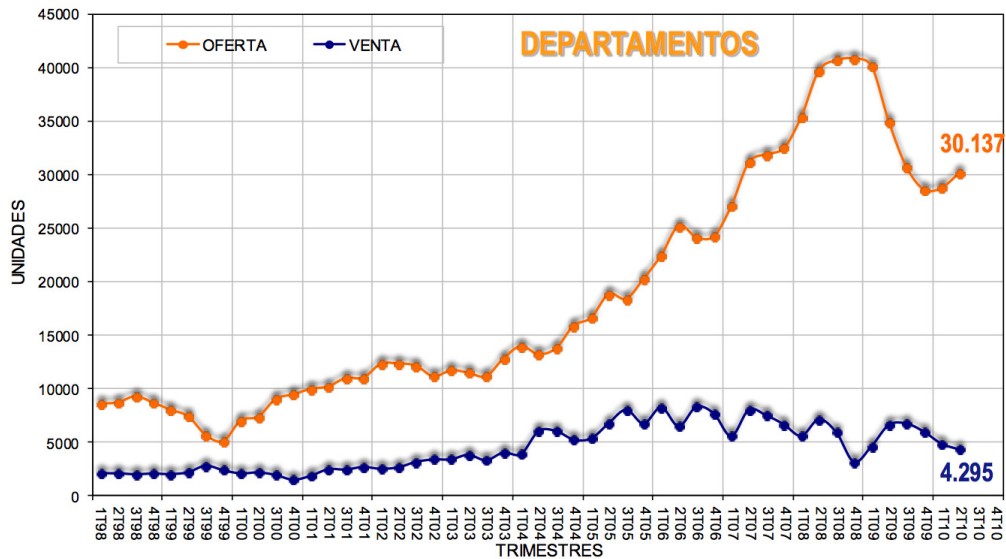


Figura 1.1: Oferta y Venta de departamentos Nuevos en el Gran Santiago (Marzo 1998 – Junio 2010)

En Chile, a diferencia de otros países, la construcción de edificios se hace principalmente en base a una estructura de hormigón armado con algunas variantes

<sup>2</sup> Fuente: "Análisis de Oferta y Venta de Viviendas Nuevas en el Gran Santiago, Segundo Trimestre 2010", COLLECT GFK

dependiendo si se trata de oficinas o departamentos habitacionales, dejando de lado la construcción en acero, madera y albañilería, predominante en baja altura. La principal causa para la preferencia de este tipo de construcción es la actividad sísmica del país, en que las estructuras de hormigón armado presentan una muy buena respuesta, gran disponibilidad de recursos y bajo valor de los insumos.

En Chile, al ser los edificios principalmente de hormigón armado, se ha logrado estandarizar la forma en que estos se construyen, existiendo metodologías y procesos bien definidos que permiten optimizar todas las variables involucradas en su proceso de construcción. En términos generales, la construcción de un edificio se puede dividir en tres grandes etapas: la de obra gruesa, la de terminaciones y la de instalaciones. Obviamente cada una de estas etapas presenta una serie de diversas partidas que van a estar determinadas por el proyecto en particular y por la forma de proceder de la empresa constructora. La primera de estas etapas, la de obra gruesa, es la encargada de darle forma al edificio, puesto que en esta se construye la estructura principal del edificio o caja, y por lo tanto es la que requiere de la mayor intensidad constructiva. Las otras dos etapas, a pesar de que demandan un mayor tiempo para su ejecución, no son tan intensivas en construcción, debido principalmente a la variedad de los insumos involucrados y el tipo de detalle que solicita su instalación. De más está decir que la etapa de terminaciones involucra todo aquello que no es parte de la estructura del edificio, como tabiques, guardapolvos, puertas, pinturas, etc. Finalmente la etapa de instalaciones, que incluye todo lo referido a la disposición de los productos relacionados con la electricidad, agua potable, calefacción y luminaria.

Entendiendo las etapas que son necesarias para llevar a cabo la construcción de un edificio, se pueden entender los factores involucrados para la realización del proyecto entre los que se encuentran los de tipo legal, como permisos de edificación y normativas previas a la construcción, los de tipo económicos, como son los seguros, créditos y programa mensual de inversiones, y finalmente los de tipo constructivo, como son los procesos constructivos, programación de obra, programación de insumos y disponibilidad de maquinaria. Es fundamental tener claro todos estos factores antes

de la ejecución del proyecto de manera que este pueda llevarse a cabo sin mayores inconvenientes y que no represente mayores costos que los presupuestados.

### **1.3 La energía y los edificios en Chile.**

La importancia y relación entre el consumo energético y un proyecto inmobiliario de edificio radica en que estos representan alrededor del 40% de la energía anual consumida en Chile, lo que no deja de ser considerable si se prevé que la tendencia actual es la construcción en altura debido a la limitación geográfica de las ciudades. A su vez, esta energía sólo considera la gastada en la vida útil del edificio y se desconoce la que se consume por concepto de construcción, demolición o finalización de éste y la conjunta restauración del lugar de emplazamiento y eliminación o reciclado de los materiales involucrados. Es por esta razón que se hace imperante poder determinar las cantidades de energía involucrada en las otras etapas de la vida de un edificio, de manera de poder hacer algo respecto al consumo energético que éstos presentan y que por estadísticas tienden a crecer.

### **1.4 Metodologías para la medición de la energía incorporada de un edificio.**

De manera de hacer frente a los consumos energéticos, se han creado distintos organismos que se dedican a la cuantificación de la energía consumida por un edificio y los han tratado de catalogar en sistemas de puntuación universal. Un ejemplo de esto es el sistema de certificación LEED, desarrollado por el US Green Building Council, el que a través de 4 niveles (certificado, plata, oro y platino) clasifica al edificio según su comportamiento con el medio ambiente, la eficiencia energética, el uso racional del agua, el desarrollo sostenible del sitio y la selección de materiales. Sin embargo, y a pesar de los constantes esfuerzos en el tema de la sustentabilidad en los edificios, que a su vez es bastante nueva y extremadamente dinámica por efecto de la introducción de la tecnología tanto en los procesos constructivos como en los insumos, recién se están empezando a hacer los primeros estudios en relación a éstos.



Para entender de mejor manera los estudios relacionados con la cuantificación del consumo energético en los edificios de altura, se debe entender primero los puntos de aplicación en que éstos se basan y los parámetros que involucran. En primer lugar tenemos la energía incorporada inicial (Initial Embodied Energy), que representa la energía no renovable consumida en la adquisición de materias primas, su procesamiento, su fabricación, su transporte a obra y la construcción propiamente tal. Esta energía tiene dos componentes, la directa y la indirecta. La primera se refiere a la energía usada para transportar los insumos a la obra, y luego construir el edificio; y la segunda, se refiere a la energía usada para obtener, procesar y fabricar los insumos de construcción, incluyendo todos los transportes relacionados con estas actividades. Luego tenemos la energía incorporada recurrente (Recurring Embodied Energy), que representa la energía no renovable consumida para mantener, reparar, restituir, restaurar o reponer material, componentes o sistemas durante la vida útil del edificio. Finalmente el término del edificio, que involucra su demolición, la restauración del lugar de emplazamiento y el reciclado o eliminación adecuada de los materiales involucrados.

Una metodología para determinar la energía indirecta inicial incorporada de un edificio fue desarrollada por la Universidad Inglesa University of Bath a través del Sustainable Energy Research Team (SERT), publicada con el nombre de Inventory Of Carbon & Energy (ICE) por el Profesor Geoff Craig Jones, 2008. En este documento, se describen los criterios utilizados, entre los que se destacan el uso de materiales certificados, condiciones de borde, origen de la información (referente al material) y la actualidad de los datos. Entre las notas de importancia mencionan el transporte y la forma de considerar los materiales que son altamente reutilizables como el caso del metal. Para el estudio consideraron además un sistema único de unidades (MJ/kg), el tipo-uso-destino de los desechos y por último, el mantenimiento que requiere cada material. Finalmente, el documento presenta los valores para la energía incorporada de los distintos insumos involucrados en la construcción de un edificio. La tabla 1.1 muestra los valores para los insumos principales de obra gruesa.

Tabla 1.1: Energía incorporada Inicial Indirecta para principales insumos de obra gruesa.

Insumo	MJ/kg
Hormigón	0,95
Acero	24,40

En una investigación llevada a cabo por R.J. Cole y P.C. Kerman<sup>3</sup> se determinó la energía incorporada inicial de 3 edificios de oficina tipo de alrededor de 4600[m<sup>2</sup>]. En este caso, aparte de cuantificar la energía indirecta, también se cuantificó la energía directa mediante el catastro de consumos energéticos in situ de la obra. La figura 1.2 muestra los resultados obtenidos en la investigación.

**Average Total Initial Embodied Energy 1.340 kwh/m<sup>2</sup>**

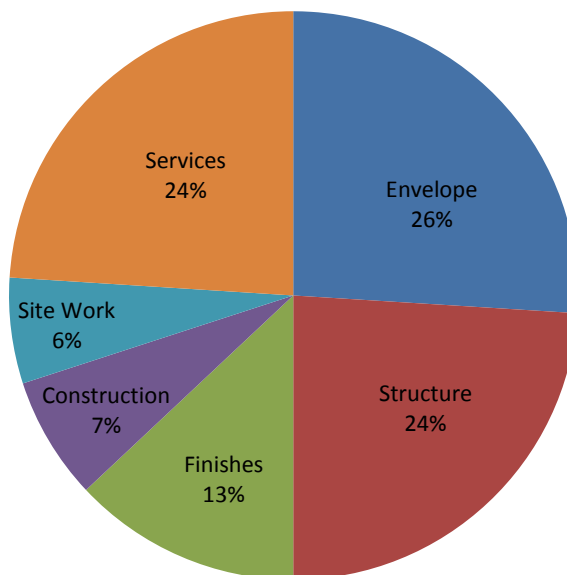


Figura 1.2: Distribución de la energía incorporada inicial de un edificio de oficina tipo.

<sup>3</sup> Cole, R.J. and Kerman, P.C. (1996), Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317.

De la figura 1.2 anterior se puede ver que el consumo energético que aporta la etapa de obra gruesa del edificio, es decir Construction, Site Work y Structure, es cerca del 37% del total del edificio y por lo tanto una etapa muy importante de analizar.

### **1.5 Objetivos.**

Se planea conocer en términos generales el gasto energético en obras de edificación, durante la etapa de construcción de obra gruesa.

Los objetivos específicos planean determinar y cuantificar la energía consumida en:

- a) Energía incorporada en los materiales.
- b) En la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media en la ciudad de Santiago de Chile

---

## **CAPITULO 2**

### **Energía Incorporada de los Materiales**

---

El siguiente capítulo presenta los criterios con que se evaluará la energía incorporada de los materiales. Para esto se ocuparán los insumos más importantes dentro de la etapa de obra gruesa de un edificio: hormigón, acero y moldaje. Conjuntamente con estos, se describen los mayores fabricantes para cada insumo y se calcula el gasto energético unitario en base a los consumos de producción de éstos. Finalmente se presenta a modo de resumen una tabla con los valores obtenidos y algunos comentarios acerca de su aplicación en la cuantificación de la energía en la construcción de un edificio. De manera complementaria, se deja al final del capítulo, un diagrama de flujo de la estimación de la energía incorporada.

#### **2.1 Antecedentes.**

Hoy en día, el consumo energético en obras de edificación no ha tenido la importancia que se merece, ya que se ha considerado a la construcción como un trabajo independiente dentro del área de producción de los insumos que requiere. Sin embargo, en el presente capítulo se hace un estudio de los insumos más preponderantes dentro de la etapa de obra gruesa de un edificio, entregando un consumo energético unitario de toda la línea de producción de éstos. Consecutivamente se escogen los proveedores que tienen mayor participación en el mercado chileno y se le hace un seguimiento exhaustivo a la línea de producción del material. En particular, se consideran las siguientes etapas: extracción, fabricación y transporte. Cabe mencionar que como los edificios considerados quedan en la Región Metropolitana de Santiago, todos los materiales utilizados tendrán un mismo gasto energético incorporado para la situación base, y sólo variarán en el transporte a las distintas obras.

### 2.1.1 Factores de Conversión.

Al cuantificar la energía incorporada de un insumo particular, nos encontramos con que éste tiene relacionado muchos tipos de energía, como por ejemplo la térmica, la eléctrica, la calórica, en fin, todas las que fueron necesarias para lograr el producto final. Sin embargo, para poder llegar a un único valor es necesario convertir todos estos tipos de energía a un valor equivalente y de fácil interpretación para su uso final. Para el desarrollo del presente capítulo se usarán distintos factores de conversión para pasar de las posibles unidades de energía a un valor final en kilowatts-hora. La tabla 2.1 muestra los valores a utilizar:

Tabla 2.1: Factores de Conversión

		Energía Eléctrica [kwh] (*1)
Energía Calórica	1 [kcal]	0,001163
Energía Combustible	1 [lt petróleo]	10,00
Energía Térmica	1 [GJoule]	277,78

(\*1): Los valores fueron obtenidos de World Energy Council, Survey of Energy Resources 2007, Conversion Factors and Energy Equivalents.

Luego de definidos los factores de conversión, es necesario dejar en claro algunos puntos. En primer lugar, la conversión de valores energéticos entre distintos tipos de energía sólo es para poder entregar un valor representativo final del consumo energético para la construcción de obra gruesa de un edificio y no son comparables económicamente unos con otros. De hecho éstos pueden llegar a representar valores totalmente distintos. En segundo lugar, los valores de la tabla 2.1 son referenciales y obtenidos del promedio de muchos valores según datos entregados de distintas partes del mundo, principalmente de Europa. Esto es simplemente porque los valores energéticos asociados a la energía calórica y de combustible no son necesariamente producidos en Chile y por lo tanto tomar valores exclusivamente nacionales, estaría sub-dimensionando su valor en algunos casos y sobre-dimensionándolo en otros. Por último, se entregarán los valores en sus unidades energéticas reales, de manera que se entienda la procedencia de los consumos energéticos, pero el valor final será presentado en kilowatts-hora por la unidad correspondiente al insumo en medición, que

puede ser toneladas para el caso del acero, metros cúbicos para caso del hormigón y metros cuadrados para el caso del moldaje.

### **2.1.2 Participación de los principales productores de insumos de obra gruesa en el mercado Chileno.**

Los principales productores de insumo de obra gruesa de un edificio en el mercado Chileno, son aquellos relacionados con el hormigón, el acero y el moldaje. Está claro que hay otros insumos importantes en la construcción de un edificio, pero si consideramos el peso total del edificio, podemos ver que los que más aportan a la suma total son los mencionados anteriormente. Por el lado del acero nos encontramos con dos productores: Compañía de Aceros del Pacífico S.A. (CAP) a través de sus tres miembros CAP Minería, CAP Aceros y CAP Soluciones en Acero, y Gerdau AZA. Ambos representan el 70% del total del acero producido para el país, alrededor de 1.600 miles de toneladas métricas, el otro 30%, y necesario para terminar de abastecer la demanda del país, es importado a través de empresas internacionales principalmente de Brasil, Argentina y Ucrania.

Para el caso del hormigón, aparte del insumo principal hay que resaltar otros aspectos tales como áridos y cementos, ya que éstos son necesarios para lograr el producto final. En el mercado nacional se pueden destacar 3 empresas que proveen de estos insumos: Cementos Bio Bio S.A., Grupo Polpaico y Melón con sus respectivas productoras de hormigón Ready Mix, Pétreos S.A. y Premix. El despacho anual que generan estas empresas en el mercado nacional es de 5.800.000 [m<sup>3</sup>] de hormigón, donde sólo el Grupo Polpaico representa 30% con 1,8 millones de metros cúbicos anuales.

Por último, para el caso del moldaje, las principales empresas que proveen este insumo son Peri, Ulma, Unispan, Efco, Molco, Soinsa y Hunnebeck. A diferencia de los otros mercados, este por lo general arrienda sus productos a las constructoras, debido a la alta reutilización que permite.

## **2.2 Insumos de Obra Gruesa.**

Se ha considerado que dentro de la obra gruesa de un edificio los insumos que más importancia tienen en cuanto al gasto energético son el hormigón, el acero estructural y el moldaje. Este supuesto viene del hecho de considerar que la proporción en peso del edificio terminado en cuanto a insumos se refiere, se lo llevan los materiales recién descritos. Considerando cierto esto, entonces se podrá decir, según la ley de Pareto<sup>1</sup>, que el 20% de los insumos de un edificio generan el 80% de los gastos energéticos de éste. De esta manera es válido hacer un análisis exhaustivo de la línea de producción de estos materiales, ya que una buena cuantificación energética permitirá conocer de buena forma el gasto energético del edificio en la etapa constructiva.

### **2.2.1 Acero Estructural.**

Las obras de edificación en hormigón armado, utilizan el acero estructural principalmente como refuerzo para las estructuras de vigas, losas, columnas, muros y fundaciones. El mercado del acero chileno tiene dos fabricantes principales: GERDAU AZA y CAP, los que proveen de manera equitativa un 70% del acero total del país. El otro 30% es acero importado principalmente de Brasil, Argentina y Ucrania. Por esta razón, vale la pena considerar el gasto energético que estas dos empresas generan en la producción del acero. Cabe mencionar que la industria del acero Chilena no sólo fabrica acero para la construcción de edificios, si no que también para otras obras como puentes, estructuras, maquinaria, etc. Sin embargo la materia prima, previo al proceso de laminación es la misma para todos, y por ende se puede determinar la energía consumida por tonelada de acero producida.

#### Compañía de Acero del Pacífico S.A – CAP (Acero a partir de hierro mineral)

El grupo CAP se compone de 3 miembros para la elaboración de su producto final: CAP Minería, CAP Acero y CAP Soluciones en Acero. De estas tres organizaciones, sólo las primeras 2 son necesarias para la producción del acero estriado ocupado en la

---

<sup>1</sup> <http://management.about.com/cs/generalmanagement/a/Pareto081202.htm>

obra gruesa de los edificios de hormigón armado. La figura 2.1 esquematiza un resumen de la línea de producción del acero de CAP.

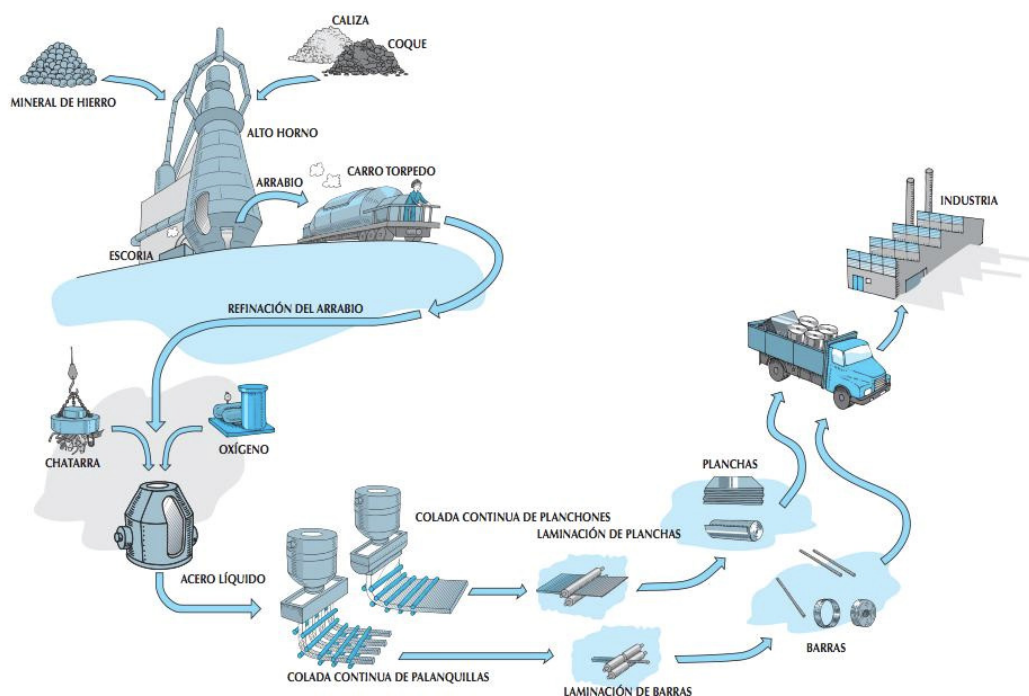


Figura 2.1. Proceso productivo para la fabricación de acero a partir de mineral de hierro (CAP). (“A reciclar Chatarra”, Junio 2005 Segunda Edición, Gerdau Aza)

Preparación de las materias primas (CAP Minería):

**Granza:** La principal fuente de extracción del mineral de hierro (granza) es de las minas del Romeral en la comuna de la Serena, IV Región, el que se transporta vía barcos de carga al puerto de Talcahuano, donde se encuentra Compañía Siderúrgica de Huachipato (CAP Aceros).

**Pellets:** El mineral de hierro en forma de pellets se extrae de la planta de Huasco, III Región. Este se transporta en barco hasta el puerto de Talcahuano (CAP Aceros).



Caliza: Esta se obtiene de la Isla Guarello, XII Región, a través de embarcación hasta el puerto de Talcahuano.

Carbón: El carbón metalúrgico se obtiene por embarcación de Australia (67%) y de Canadá (33%) a través de las mineras BHP Billiton (Goonyella y Blackwater) y Teck Resources (Fording y Elk Valley).

Fabricación del acero (CAP Acero):

La fabricación del acero consiste en generar arrabio (hierro líquido con alto contenido de carbono) a partir de la reducción del mineral de hierro en un alto horno (gran cilindro en forma de torre cubierto en su interior por ladrillos refractarios). Este arrabio se logra con la introducción de las materias primas por la parte superior del horno y aire caliente (1000°C) de manera de elevar las temperaturas y generar gases reductores para interactuar con la caliza y el mineral de hierro. Finalmente este producto se carga en un reactor llamado convertidor, lo que con la adición de oxígeno, forma el acero líquido, el cual es posteriormente solidificado para producir las barras de acero estriado usado en la construcción. Las tablas 2.2 y 2.3 presentan los consumos energéticos de extracción, transporte y fabricación del acero, donde no se consideró el aporte energético de la extracción de la caliza ya que esta sólo representa el 1,4% del consumo total. El valor final es la energía consumida anual por CAP Minería dividida por la cantidad de Acero Producida Anualmente (1,22 millones de toneladas métricas).

Tabla 2.2. Consumo energético en la extracción de materias primas.

Insumo	E. Eléctrica Consumida [kWh]	E. Calórica Consumida [kcal]	E. Consumida [kwh/ton acero]
Granza	85.680.000	49.680.000	111,0
Pellet	349.914.000	1.063.750	287,8
Carbón	54.000.000	-	44,3
		<b>Total</b>	<b>443,1</b>

Fuente: Informe de Responsabilidad Social y Ambiental Corporativo 2008 de CAP Minería.

Tabla 2.3. Consumo energético para el transporte de materias primas.

Insumo	Prod. Anual [Mton]	Viajes / Año [n°]	Distancia [km]	E. Total [kwh]	E. Consumida [kwh/ton acero]
Granza	1,80*	60	794,0	279.170.400,1	229,0
Pellet	1,16*	39	959,0	217.296.613,3	178,0
Caliza	0,70*	33	1.575,4	304.573.500,2	250,0
Carbón	0,54*	18	33.840,3	3.569.443.200,0	2.927,0
<b>Total</b>					<b>3.584,0</b>

Fuente: Informe de Responsabilidad Social y Ambiental Corporativo 2008 de CAP Minería.

Para la tabla 2.3 se usó una embarcación promedio con capacidad de 30.000 [ton], que navega a 47 [km/hr] y cuyo rendimiento es 293 [lts/km]. La tabla 2.4 presenta el consumo energético para la fabricación del acero.

Tabla 2.4. Consumo energético para la fabricación de acero.

Insumo	Energía [Gcal/t]	Prod. Anual [Mton]	E. Consumida [kwh/ton acero]
Acero	6,34	1,22	<u>7.373,00</u>
<b>Total</b>			<b>7.373,00</b>

Fuente: Informe de Responsabilidad Social y Ambiental Corporativo 2008 de CAP Acero.

Finalmente, y para poder establecer un valor para la energía incorporada del acero, es necesario hablar de la reutilización del material. En este caso, y dado que el material queda integrado en el edificio y por lo tanto no es posible su reutilización dentro de la vida útil de éste, no se aplicará ningún factor de modificación al valor final. Para el caso del acero de Gerdau AZA si se considerará este impacto, puesto que es característico de su sistema productivo. De esta manera, el valor final de la energía incorporada del acero a partir del proceso ejercido por CAP se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Energía Incorporada del Acero (CAP)

	E. Incorporada [kwh/ton acero]
Energía Incorporada del Acero (Compañía de Acero del Pacífico)	10.999,03 (*1)

(\*1): El valor anterior es la suma de la energía consumida obtenida de las tablas 2.2 a 2.4.

Gerdau AZA (Acero a partir de Chatarra)

La empresa Gerdau AZA es la principal productora de acero a partir de chatarra o acero viejo. Una de las principales ventajas de este insumo es que es infinitamente reutilizable sin perder sus propiedades. A continuación la figura 2.2 presenta un resumen de la línea de producción del acero por parte de Gerdau AZA:

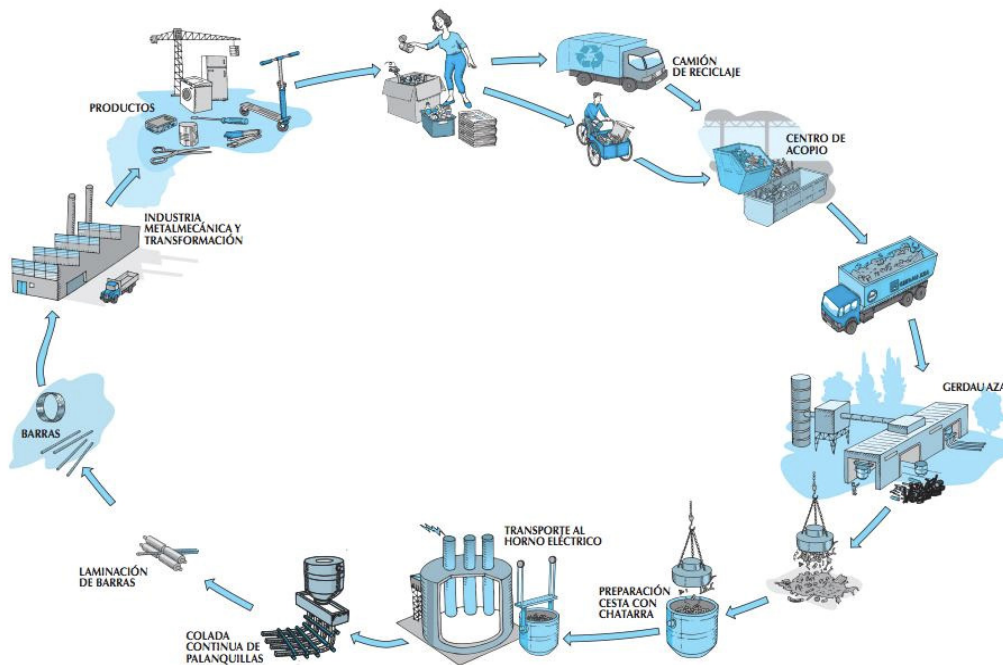


Figura 2.2. Proceso productivo para la fabricación de acero a partir de chatarra (Gerdau AZA). (“A reciclar Chatarra”, Junio 2005 Segunda Edición, Gerdau Aza)

Se pueden destacar tres procesos substanciales en la fabricación del acero:

**1) Recolección, acopio y transporte.** Existe una red de recolección a nivel nacional que se dedica a recopilar, acopiar y luego trasladar la chatarra a las dependencias de Gerdau AZA. En total se recolectan alrededor de 400.000 toneladas de chatarra en las siguientes proporciones a nivel regional<sup>2</sup>:

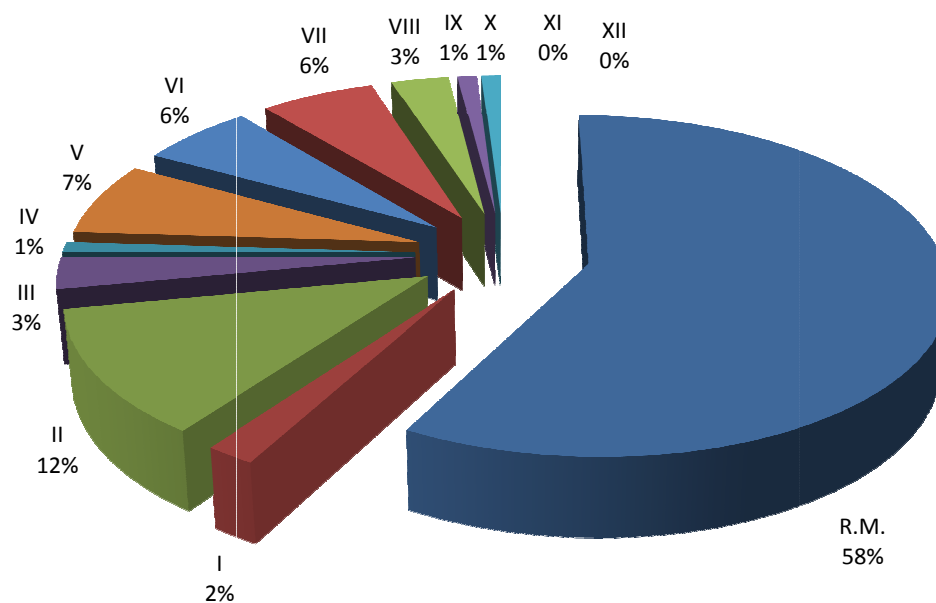


Figura 2.3. Red de chatarreros a nivel nacional. ("A reciclar Chatarra", Junio 2005 Segunda Edición, Gerdau Aza)

<sup>2</sup> Fuente: CONAMA Nacional, 2003.

La tabla 2.6 presenta el consumo energético que se produce por trasaldar la chatarra recolectada en las distintas partes de la región a la ciudad principal (o capital regional).

Tabla 2.6. Consumo energético por el transporte de chatarra desde distintos puntos de la región a la ciudad capital Regional.

Región	Participación [%] (*1)	Viajes x Año [nº] (*2)	Recorrido Anual [km] (*3)	E. Total [kwh] (*4)	E. Consumida [kwh/ton acero]
I	2	281	362	369898	0,92
II	12	1688	488	2995433	7,49
III	3	422	367	563178	1,41
IV	1	141	320	164073	0,41
V	7	985	124	444145	1,11
VI	6	844	130	398982	1,00
VII	6	844	170	521745	1,30
VIII	3	422	154	236320	0,59
IX	1	141	194	99469	0,25
X	1	141	214	109724	0,27
RM	58	8160	119	3531055	8,83
				<b>Total</b>	<b>23,59</b>

(\*1): Porcentaje del total de chatarra (400.945 [ton]) que se transporta en la región.

(\*2): Número de viajes necesarios para transportar la chatarra dentro de la región en camiones de una capacidad promedio igual a 28,5 [ton].

(\*3): Distancia que se recorre anualmente para transportar la chatarra. Se supone que esta distancia es igual a la mayor longitud de cada región.

(\*4): La energía total viene dada por la multiplicación del número de viajes por la distancia recorrida por el rendimiento promedio del camión 2,75 [km/lt], por la conversión de 1 litro = 10 kwh.

E.Consumida: Finalmente se obtiene la energía consumida dividiendo el valor de E.Total por la cantidad total de toneladas producidas anualmente.

La tabla 2.7 muestra el consumo energético del transporte de chatarra desde cada capital regional a las dependencias de Gerdau AZA ubicada a 18,5 km del centro de Santiago de Chile.

Tabla 2.7. Consumo energético por transporte de chatarra desde la capital Regional hasta las dependencias de Gerdau Aza en Santiago.

Región	Ciudad Capital	Participación [%]	Recorrido Anual [km] (* <sup>1</sup> )	Viajes/Año [n <sup>o</sup> ] (* <sup>2</sup> )	E. Total [kwh] (* <sup>3</sup> )	E. Consumida [kwh/ton acero]
I	Iquique	2	1.808,07	281	3.695.038	9,24
II	Antofagasta	12	1.395,62	1.688	17.133.139	42,83
III	Copiapó	3	822,16	422	2.523.284	6,31
IV	La Serena	1	488,34	141	500.770	1,25
V	Valparaíso	7	135,11	985	967.879	2,42
VI	Rancagua	6	102,23	844	627.506	1,57
VII	Talca	6	275,64	844	1.691.928	4,23
VIII	Concepción	3	518,68	422	1.591.876	3,98
IX	Temuco	1	694,21	141	711.881	1,78
X	Puerto Montt	1	1.043,07	141	1.069.621	2,67
RM	Santiago	58	18,50	8.160	1.097.891	2,74
					<b>Total</b>	<b>79,03</b>

(\*<sup>1</sup>): Número de viajes necesarios para transportar la chatarra en camiones de una capacidad promedio igual a 28,5 [ton].

(\*<sup>2</sup>): Distancia que se recorre anualmente para transportar la chatarra desde la capital regional a Gerdau Aza.

(\*<sup>3</sup>): La energía total viene dada por la multiplicación del número de viajes por la distancia recorrida por el rendimiento promedio del camión 2,75 [km/lt], por la conversión de 1 litro = 10 kwh.

E. Consumida: Finalmente se obtiene la energía consumida dividiendo el valor de E.Total por la cantidad total de toneladas producidas anualmente.

Para los cálculos anteriores se hicieron las siguientes consideraciones:

- Rendimiento promedio de camión: 2,75 [km/lt].
- Capacidad camión: 28,5 [ton]
- Cantidad de chatarra trasladada Anualmente: 400.945 [ton]
- Cantidad total de acero producido anualmente: 400.000 [ton]
- No se consideraron los aportes de las materias primas CalyCaliza y Aleaciones en el cálculo de la energía incorporada, ya que representan solo el 5% y 1% del total en peso.
- Se consideró una distancia de transporte hacia el centro de la ciudad de Santiago para tener el mismo punto de referencia que el calculado en el punto 3.1.1.

**2) Clasificación, Selección y Procesamiento.** En este paso se quitan todos los materiales que no son aptos para ser reciclados como acero. Luego el material es seleccionado mediante un electroimán para ser llevado a un gran recipiente o cesta para su procesamiento final.

**3) Fabricación de Acero.** La cesta es introducida a un horno eléctrico para transformar la chatarra del estado sólido a uno líquido mediante la energía liberada por un arco entre tres electrodos de grafito. Mediante la adición de oxígeno gaseoso y carburante se logra fundir toda la chatarra, dejando toda la escoria liviana flotando en la parte superior de la cesta, lista para ser ocupada como relleno en caminos. Finalmente se vierte el acero líquido en una cuchara para ajustar su composición química y luego hacerlo solidificar.

La tabla 2.8 muestra la energía total consumida por en los puntos 2) y 3) del proceso de fabricación.

Tabla 2.8. Consumo energético por clasificación, selección, procesamiento y fabricación del acero.

	E. Total [TJoules]	E. Consumida [kwh/ton acero]
Oxígeno	176,90	122,86
Diesel	493,00	342,39
Gas Licuado del Petróleo (GLP)	61,00	42,36
Energía Eléctrica	-	<u>671,70</u>
<b>Total</b>		<b>1.179,31</b>

Fuente: Informe de RSE 2008, Gerdau AZA

Finalmente, para entregar el valor de energía incorporada del acero por parte de Gerdau AZA, es necesario considerar la reutilización del acero. En este caso, el acero a partir de chatarra, tiene involucrado un gasto energético por producir la chatarra inicial, que si bien ésta pudo haber sido creada en otro país, con otros valores de energía incorporada, o bien pudo haber sido ya reutilizada un sinnúmero de veces, esta si considera un consumo energético incorporado. Según Gerdau AZA, el acero puede ser reutilizado casi en un 100% la mayoría de las veces, sin embargo y al igual como se

verá con el moldaje, este tiene un plazo determinado de uso que no es infinito pero si grande. Para efecto de este estudio se supondrá la reutilización del acero será de 2 veces cada 100 años, en otras palabras, cada 50 años se podrá reutilizar el acero que tiene una vida útil supesta para este trabajo de 100 años, por lo que se le asocia un valor de  $E_{\text{Reutilización}}=0,5 \cdot E_{\text{Incorporada}}$ . La idea que hay detrás de esto supone que un edificio puede ser demolido luego de 50 años y el fierro ocupado en este puede ser reutilizado para producir nuevo acero. Suponer mayores plazos no sería practicable puesto que los valores de la energía podrían variar y la tecnología podría cambiar los procesos productivos. Para poder aplicar este concepto al trabajo actual, se utilizará la energía incorporada calculada para CAP. De esta manera, la energía incorporada para el acero por parte de Gerdau Aza se presenta en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Energía Incorporada del Acero (Gerdau AZA)

	E. Incorporada [kwh/ton acero]
Energía Incorporada del Acero (Gerdau AZA)	<b>6.781,44 (*)</b>

(\*): El valor anterior es la suma de la energía consumida obtenida de las tablas 2.6 a 2.8 y el valor de energía de reutilización está dada por  $E_{\text{Reutilización}} = 0,5 \cdot E_{\text{Incorporada}} = 5499,5$  [kwh], donde  $E_{\text{Incorporada}}$  es la energía incorporada del acero a partir de CAP.

### 2.2.2 Hormigón.

Dado que el estudio se está haciendo en particular para la Región Metropolitana de Santiago, se determinó usar como referencia los datos aportados por el Grupo Polpaico, quienes entre sus servicios tienen la fabricación de cemento, hormigón y áridos. Uno de los puntos a favor de esta empresa es que hace algún tiempo estuvo involucrada en una campaña de eficiencia energética para optimizar sus recursos y ser más compatible con el medio ambiente. Esto llevó a declarar y registrar muchos datos referentes al estudio que en éste trabajo se propone: Cuantificación de la Energía



Incorporada de los Materiales. A continuación se hace un pequeño esquema de proceso productivo del hormigón por parte del Grupo Polpaico, que considera:

- Extracción de áridos (figura 2.4)
- Fabricación de Cemento (figura 2.5)
- Fabricación de Hormigón (figura 2.6)

**Áridos.** Este proceso consiste en la obtención de áridos de granulometría estandarizada a partir de la fracturación mecánica de la roca, que es la materia prima. El material es conducido a una serie de sistemas de trituración: primario, secundario y terciario. Finalmente el material es apilado según su granulometría y posteriormente cargado en camiones para su distribución. El Grupo Polpaico cuenta con 4 plantas de áridos en la ciudad de Santiago: Planta El Trebal, Planta Clamami, Planta La Junta y Planta Puente Maipo.

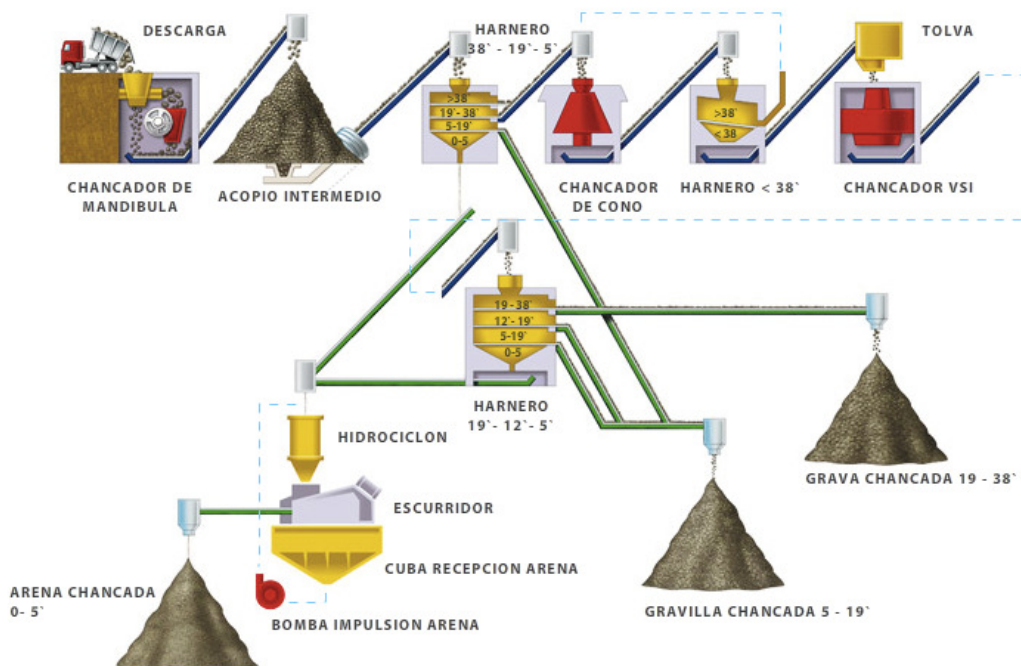


Figura 2.4. Producción de áridos (Grupo Polpaico). (Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico)

## Cemento.

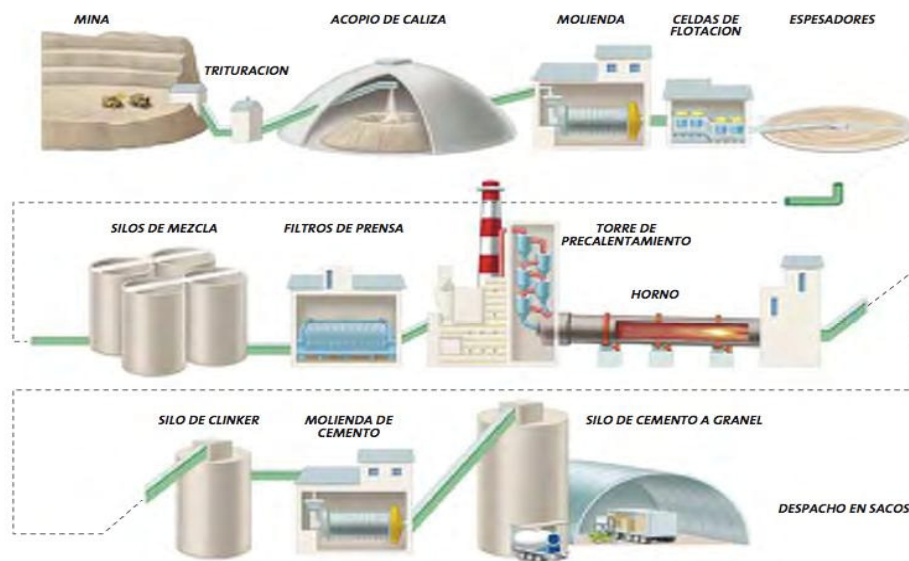


Figura 2.5. Producción del cemento (Grupo Polpaico). (Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico)

## Hormigón.

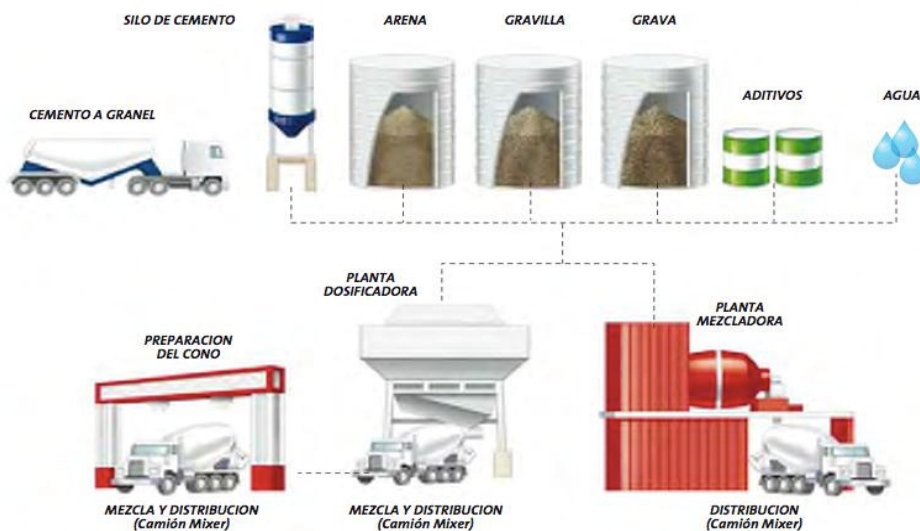


Figura 2.6. Producción del hormigón (Grupo Polpaico). (Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico)

A continuación se muestra el gasto energético de la fabricación del hormigón por parte del Grupo Polpaico.

Tabla 2.10: Consumo energético para la producción de cemento.

<b>Fábrica de Cemento</b>	<b>E. Total [kwh]</b>	<b>Prod. Cemento [ton]</b>	<b>E. Unitaria [kwh/ton cem]</b>	<b>E. Consumida [kwh/m<sup>3</sup> horm]</b>
Cemento	182.498.000	1.169.859	156	124,15
Clinker	118.414.471	1.169.859	101	80,55
			<b>Total</b>	<b>204,70</b>

Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico.

Tabla 2.11: Consumo energético para la producción de áridos.

<b>Fábrica de Áridos</b>	<b>E. Total [kwh]</b>	<b>Prod. Árido [ton]</b>	<b>E. Unitaria [kwh/ton arido]</b>	<b>E. Consumida [kwh/m<sup>3</sup> horm]</b>
Fábrica de Áridos	6.134.000	2.044.667	3,00	4,17
			<b>Total</b>	<b>4,17</b>

Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico.

Tabla 2.12: Consumo energético para la producción de hormigón.

<b>Fábrica de Hormigón</b>	<b>E. Total [kwh]</b>	<b>Prod. Hormigón [m<sup>3</sup>]</b>	<b>E. Consumida [kwh/m<sup>3</sup> horm]</b>
Fábrica de Hormigones	3.381.000	1.470.000	2,30
		<b>Total</b>	<b>2,30</b>

Fuente: Reporte de Sostenibilidad 2008, Grupo Polpaico.

Tabla 2.13: Consumo energético para el transporte de material.

<b>Transporte</b>	<b>Distancia a Stgo. [km]</b>	<b>Producción Anual [ton]</b>	<b>Viajes /Año [n<sup>o</sup>] (*1)</b>	<b>E. Total [kwh]</b>	<b>E. Consumida [kwh/m<sup>3</sup> horm]</b>
Cerro Blanco	48	1169859	46794	16335485	11,11
Planta El Trebal	15	511167	20447	2230545	1,52
Planta Clamami	11	511167	20447	1635733	1,11
Planta La Junta	23	511167	20447	3420170	2,33
Planta Maipo	26	511167	20447	3866279	2,63
			<b>Total</b>		<b>18,70</b>

(\*1): Es la división de la producción anual de cada planta por la capacidad promedio de los camiones que trasladan el material (25 toneladas.)

Tabla 2.14: Energía Incorporada del Hormigón (Grupo Polpaico)

	E. Incorporada [kwh/m <sup>3</sup> hormigón]
Energía Incorporada del Hormigón (Grupo Polpaico)	<b>229,87 (*)</b>

(\*): El valor anterior es la suma de la energía consumida obtenida de las tablas 2.10 a 2.14.

### 2.2.3 Moldaje.

El uso del moldaje en la construcción de obra gruesa viene dado por la necesidad de crear muros, losas y pilares a partir de un material que en su estado inicial se encuentra líquido y que sólo después de un determinado tiempo logra la resistencia necesaria para mantenerse por sí solo.

El mercado ofrece una gran variedad de moldajes de todo tipo de material, entre los que más se destacan son la madera, el acero y el aluminio. Generalmente estos presentan una estructura de acero o aluminio y son forrados con planchas de acero, aluminio o madera, siendo este último el más común. Los tipos de moldajes se pueden separar en dos grandes grupos según su tipo de transporte en obra: los moldajes para grúa y los moldajes de instalación manual. Entre los primeros se encuentran los de tipo túnel, las mesas voladoras y los de formato grande para muros. El moldaje tipo túnel se caracteriza por su estructura metálica forrado con una plancha de fierro de 5 a 6 mm de espesor, el cual se instala de forma simultánea tanto el muro como la losa formando un túnel, lo que permite una gran rapidez de avance. Debido al material usado en este tipo de moldaje, es que la cantidad de usos que se le puede dar tiende a infinito. Las mesas voladoras por su parte están formadas por una estructura de aluminio, forrada en placa de terciado (madera), donde el moldaje de muros es independiente al de las losas. En este caso, sólo la estructura de aluminio tiene infinitas reutilizaciones mientras que la placa de terciado solo alcanza a ocuparse de 12 a 20 veces. Finalmente, el moldaje formato grande para muros, no es más que una estructura metálica forrada con una placa de madera o metal con un peso mayor a los 80 kg/m<sup>2</sup> el cual debe ser trasladado por grúa.

En el caso de los moldajes de instalación manual, estos pueden prescindir del uso de grúa, puesto que su peso se encuentra entre los 10 y 25 kg/m<sup>2</sup> y por lo tanto pueden ser transportados por jornales. Los más comunes en este caso son los de madera, fabricados en obra, los moldajes de madera con placas de terciado, también fabricados en obra, los moldajes mixtos, esto es, perfiles de acero o aluminio con placas de terciado y los moldajes metálicos, estructurados con acero y una plancha metálica de 2 mm de espesor. Nuevamente, el uso de los moldajes de instalación manual va a estar determinado por el tipo de material que este incluya.

Finalmente, y de manera de completar el sistema de moldaje, hay que nombrar las alzaprimas que generalmente son de metal o madera, que sirven para nivelar, sostener y fijar el moldaje de losas. Los puntales o escuadras, también de metal o madera, que se utilizan para aplomar el moldaje de muros y las longuerinas, que se utilizan para alinear el moldaje de muros y también son de metal o madera.

La energía incorporada del moldaje, a diferencia de la de los otros insumos mencionados anteriormente, debe ser calculada según el número de reutilizaciones que este puede tener, según el material del que este esté hecho. Por esta razón, es que se van a considerar 3 tipos de moldaje, uno de madera, con una cantidad de 20 reutilizaciones, uno de acero, con una cantidad infinita de reutilizaciones y uno de aluminio, con infinitas cantidades de uso. Nuevamente, y al igual que el caso del acero en edificios, el número infinito se traducirá en un número igual a 500, suponiendo que el mismo moldaje se ocupa en la construcción anual de un edificio tipo de 10 pisos durante 50 años. De esta manera el valor para la energía incorporada se puede ver en la siguiente tabla 2.15.

Tabla 2.15: Energía Incorporada para un moldaje tipo hecho de 3 materiales diferentes.

Tipo de Moldaje	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	E. Incorp. [kwh/ kg]	Reutilización [n <sup>o</sup> ]	Espesor [mm]	E. Consumida [kwh/m <sup>2</sup> ] (* <sup>1</sup> )	E. Incorporada [kwh/m <sup>2</sup> ] (* <sup>2</sup> )
Madera	7850	6,78	20	20	18,99	0,95
Metálico	700	1,36	500	5	1.064,96	2,13
Aluminio	2700	43,09	500	5	581,72	1,16

(\*<sup>1</sup>): Se calcula a partir de la multiplicación del espesor, la energía incorporada y la densidad del material respectivo.

(\*<sup>2</sup>): Es la E. Consumida dividido por el número de reutilización.

Tabla 2.16: Energía Incorporada del moldaje.

	E. Incorporada [kwh/m <sup>2</sup> moldaje]
Energía Incorporada del Moldaje (Estándar)	<b>1,41 (*)</b>

(\*): El valor se obtiene del promedio de la energía incorporada de la tabla 2.16

### 2.3 Transporte de materiales a Obra.

Un punto importante a considerar en la energía incorporada de un insumo es su transporte desde el lugar de fabricación hasta la obra en que va a ser utilizado. En este caso, hay que tomar en cuenta los tipos de transporte para cada insumo y su capacidad de carga. A continuación se presenta una tabla resumen en donde se presentan los distintos tipos de transporte para cada insumo:

Tabla 2.17. Características del transporte.

Insumo	Transporte	Capacidad (* <sup>1</sup> )	Rendimiento (* <sup>2</sup> )
Acero	Camión de Carga	> 20 [ton]	2,75 [km/lt]
Hormigón	Camión Mixer	6 - 8 [m <sup>3</sup> ]	3,40 [km/lt]
Moldaje	Camión de Carga	90 [m <sup>2</sup> ]	3,00 [km/lt]

(\*<sup>1</sup>): Los valores usados para la capacidad son los que generalmente se ocupan para las obras de construcción en altura en la Ciudad de Santiago de Chile.

(\*<sup>2</sup>): Los rendimientos presentados son aproximados y provienen de camiones usados.

Con estos datos se puede establecer un valor para la energía incorporada por concepto de transporte a obra, la cual está en función de la capacidad de carga y de la distancia recorrida para cada obra.

Tabla 2.18. Energía Incorporada por transporte.

Insumo	E. Incorporada (*)
Acero	0,26 [kwh/ton-km]
Hormigón	0,74 [kwh/m <sup>3</sup> -km]
Moldaje	0,07 [kwh/m <sup>2</sup> -km]

$$(*) : E. \text{ Incorporada} = \frac{2[\text{viaje ida y vuelta}]}{\text{capacidad} \times \text{Rendimiento}} \times 10 \left[ \frac{\text{kwh}}{\text{lt}} \right]$$

## 2.4 Resultados.

Luego del análisis hecho para cuantificar la energía incorporada de los principales insumos de obra gruesa, y haber establecido los parámetros con que éstos van a ser medidos, se presenta un resumen de los valores finales.

Se debe dejar en claro, que estos valores fueron calculados para el caso particular de Chile y de los productores mencionados en los puntos anteriores, y sólo en el caso del moldaje se ocuparon valores mundiales para determinar la energía incorporada. Esto último tiene relación con la cantidad de reutilizaciones que este puede tener, y por ende su valor específico se reduce a partir de esto. La tabla 2.19 muestra un resumen de los consumos energéticos obtenidos.

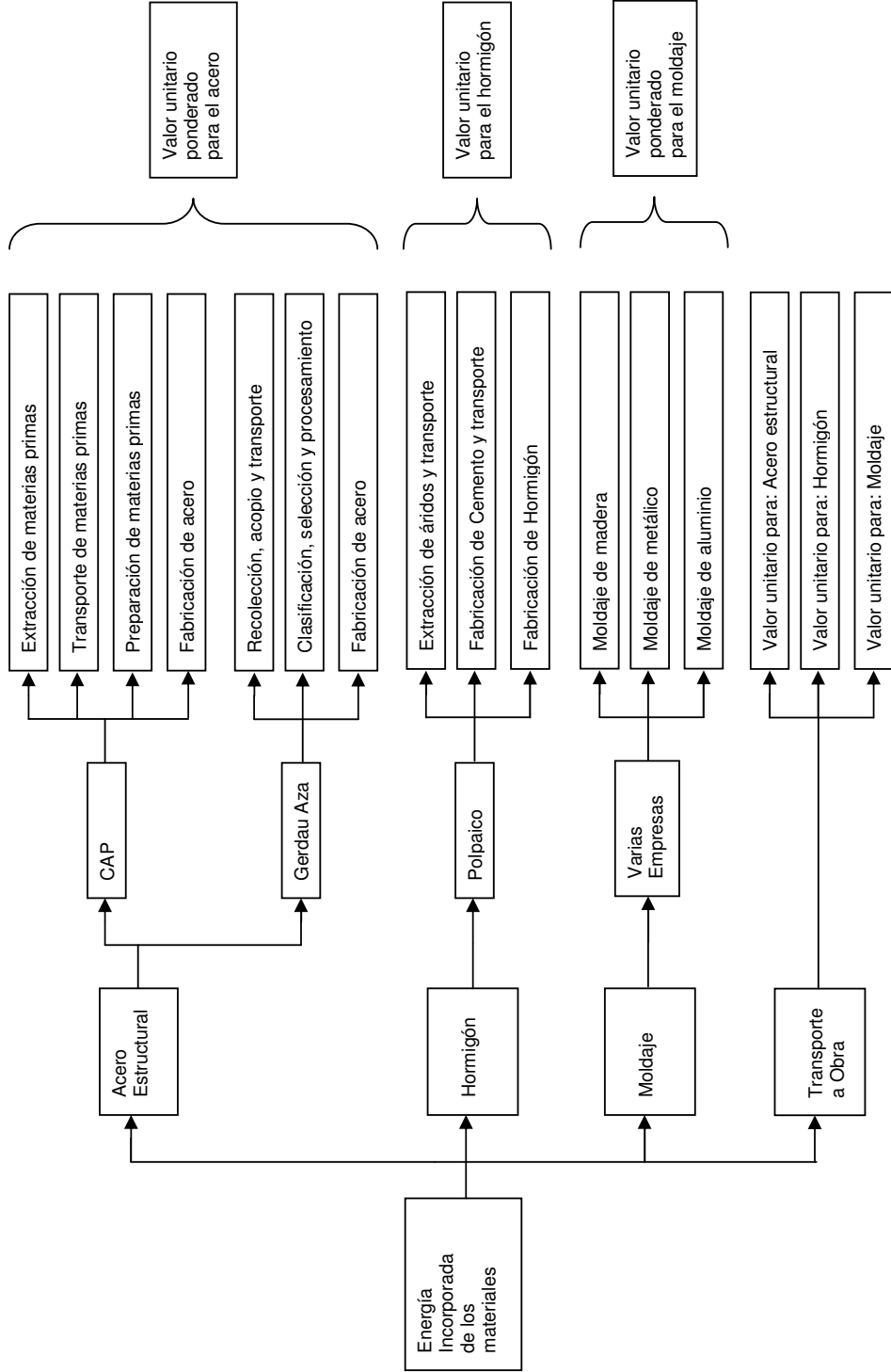
Tabla 2.19. Energía incorporada por fabricación y transporte.

Energía Incorporada	
<i><u>Fabricación</u></i>	
Acero	9.944,63 [kWh/ton acero] (*)
Hormigón	229,87 [kWh/m <sup>3</sup> hormigón]
Moldaje	1,41 [kWh/m <sup>2</sup> moldaje]
<i><u>Transporte</u></i>	
Acero	0,26 [kWh/ton-km]
Hormigón	0,74 [kWh/m <sup>3</sup> -km]
Moldaje	0,07 [kWh/m <sup>2</sup> -km]

(\*): La energía incorporada del acero es el promedio ponderado de los valores obtenidos para CAP y Gerdau AZA, donde el primero representa el 75% y el segundo el 25% del total generado por las empresas nacionales para el año 2008.



DIAGRAMA DE FLUJO (1) – VALORES UNITARIOS DE ENERGÍA INCORPORADA



---

## **CAPITULO 3**

### **Energía Consumida en la Construcción de Obra Gruesa**

---

El siguiente capítulo presenta la caracterización energética de los procesos constructivos utilizados en la etapa de obra gruesa de un edificio. Para esto se utilizaron 3 obras como referencia: Edificio Horizontes de la empresa Desarrollos Constructivos AXIS S.A., Edificio Graneros de la empresa Constructora Santa Beatriz y Edificio Alcántara 939 de la empresa Constructora Brimac. Cabe mencionar que los valores asociados a la energía incorporada de los insumos de obra gruesa están detallados en el capítulo 2: “Energía Incorporada de los Materiales”. Como resultado se obtiene el consumo energético de las distintas partidas que ofrece cada obra el que luego se presenta como un único valor ponderado de las obras seleccionadas. De manera complementaria, se deja al final del capítulo un diagrama de flujo de la estimación del consumo energético de la construcción de obra gruesa.

#### **3.1 Antecedentes**

A través de la historia, se ha determinado que la construcción de edificios tiene una forma general y estandarizada de llevarse a cabo. Esto se debe principalmente a que la disponibilidad de tecnologías y herramientas constructivas en el país es limitada o bien de poca diversidad. Mirando de manera más detallada la realidad nacional, se podría decir que la etapa de obra gruesa casi no tiene diferencias entre un edificio y otro, lo que podría indicar que los consumos energéticos son parecidos en cada obra. Sin embargo, hay otros parámetros que influyen en la cuantificación de la energía en una obra de construcción y que podrían alterar el valor energético total asociado a cada edificio. Como ejemplo, se puede mencionar el tipo de alimentación eléctrica que presenta cada obra: Empalme Eléctrico o Grupos Generadores; y el tipo de proyecto al que pertenece el edificio: Aislado o Condominio. De manera de poder caracterizar

mejor la energía asociada a la construcción de un edificio tipo<sup>1</sup>, se mostrarán tres ejemplos con distintas propiedades.

## **3.2 Edificio Horizontes**

### **3.2.1 Descripción de la empresa**

**Presentación.** Desarrollos Constructivos AXIS S.A. es una empresa nacional dedicada al desarrollo de proyectos, ejecución de obras y servicios en el área de la construcción, con un aporte importante a la innovación, tecnología y servicio personalizado a sus clientes.

**Visión y misión.** Una empresa con visión de liderazgo, excelencia en el desempeño y de gran participación en los procesos innovadores. Con el compromiso de formar un poderoso grupo de trabajo que mejore continuamente y que promueva un ambiente de desarrollo y superación personal. Con la misión de superar las expectativas de sus clientes mediante un servicio de construcción distintivo e innovador.

**Políticas corporativas.** Comprometida a establecer un Sistema de Gestión de Calidad y desarrollar un Sistema de Prevención de Riesgos y Seguridad Laboral, teniendo como fundamento las buenas prácticas y el cuidado del medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Para el estudio en cuestión se considerará edificio tipo a aquel ubicado en la ciudad de Santiago, Región Metropolitana, de altura media y de hormigón armado.

## Información general.

Tabla 3.1: Información General.

Razón Social	: Desarrollos Constructivos AXIS S.A.
Tipo de Sociedad	: Sociedad Anónima Cerrada
Inicio de Actividades	: 26 de Julio 1989
RUT	: 79.925.220-1
Domicilio	: Avda. Santa María N° 2632 Providencia, Santiago
Teléfono	: (56 2) 912 4200
Fax	: (56 2) 3738700
Representantes Legales	: Enrique Loeser Bravo
	: Ignacio Loeser Bravo

## 3.2.2 Descripción de la obra.

### Datos.

Tabla 3.2: Datos de la obra.

Obra	: Edificio Horizontes
Propietario	: Inmobiliaria e Inversiones Horizontes S.A.
Constructora	: Desarrollos Constructivos AXIS S.A.
Ubicación	: Avenida del Valle N° 534 Huechuraba, Santiago

### Generalidades.

Tabla 3.3: Generalidades de la obra.

Tipo de Edificio	: Oficinas
Número de Pisos	: 6 Pisos y 1 Subterráneos
Tipo de construcción	: Estructura de hormigón armado con losas postensadas
Superficie	: 7214 m <sup>2</sup>
Presupuesto de la Obra	: 122.968 UF (17,1 UF/m <sup>2</sup> )
Plazo de ejecución	: 300 días de corrido
Fecha de Inicio	: Septiembre 2009
Otros	: Certificación LEED.

**Instalación de faenas.** A continuación la figura 3.1 muestra un bosquejo de la planta de la instalación de faenas de la obra Edificio Horizontes:

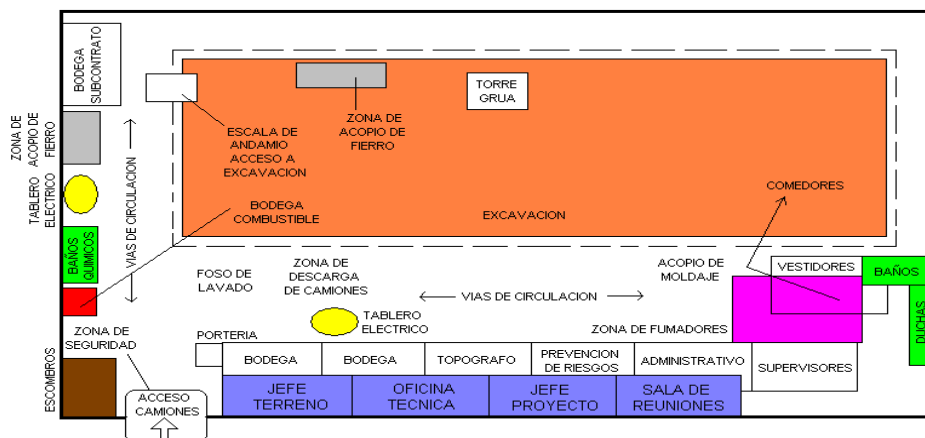


Figura 3.1: Instalación de Faenas.

### 3.2.3 Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.

Tabla 3.4: Consumo energético en obras e insumos indirectos.

Insumos Indirectos	P. Promedio [kW]	Uso diario [hr]	Cantidad [n°]	Meses en Uso [n°]	E. Consumida [kWh] (*)
Luminaria Obra	11,00	3,0	4	6	792,0
Luminaria Dependencias	0,66	8,0	22	6	697,0
Computadores	2,75	8,0	3	6	396,0
Impresoras	0,29	8,0	3	6	41,2
Teléfonos	0,18	8,0	4	6	33,8
Climatización	22,00	8,0	2	6	2.112,0
Ventilación	2,64	8,0	4	6	506,9
Router	0,55	8,0	1	6	26,4
Radios	0,02	8,0	4	6	4,2
Carteles	22,00	8,0	1	6	1.056,0
Microonda	17,60	1,0	1	6	105,6
Refrigerador	0,92	24,0	1	6	132,0
Hervidor	4,40	1,0	1	6	26,4
<b>Total</b>					<b>5.929,4</b>

(\*): Valores obtenidos según su consumo de fábrica y horas de uso aproximadas por ítem, para 22 días por mes.

La tabla 3.4 muestra los consumos indirectos que se hicieron durante la construcción de obra gruesa del edificio Horizontes. Para el cálculo se utilizó un consumo promedio mensual de los ítems nacionales, tomando en cuenta la cantidad de veces que estos se ocupan al día y al mes.

### 3.2.4 Energía en obras directas

#### 3.2.4.1 Instalación de faenas.

De la figura 3.1 se pueden destacar los varios elementos que aportan consumo energético a la obra. Entre estos se encuentra el transporte e instalación de la torre grúa (desde la bodega central de AXIS), traslado y montaje de oficinas, bodegas, baños, vestidores y comedores, los que en parte fueron subcontratados a través de Tecno Fast Atco y el resto confeccionados en obra; y traslado de insumos menores desde bodega central de AXIS. La tabla 3.5 muestra el consumo energético (a partir del petróleo consumido y las distancias recorridas desde las respectivas bodegas) de la instalación de faenas:

Tabla 3.5: Consumo energético en la instalación de faena.

Instalación de Faena	Distancia [km]	Rendimiento [km/litros]	Consumo [litros]	E. Consumida [kwh]
Generador Lureye 120 KVA (* <sup>1</sup> )	-	-	1.295,0	12.950,0
Generador Lureye 150 KVA (* <sup>2</sup> )	-	-	220,0	2.200,0
Mini Gato (Bobcat) (* <sup>3</sup> )	-	-	175,0	1.750,0
Transporte Grúa	12,0	2,0	12,0	120,0
Transporte Container	17,0	2,5	136,0	1.360,0
Materiales Menores	13,0	5,0	405,6	4.056,0
Transporte Personal	22,0	7,0	817,1	8.171,4
Consumo Personal	-	-	-	3.628,6
			<b>Total</b>	<b>34.236,0</b>

(\*<sup>1</sup>), (\*<sup>2</sup>): Generadores usados recién refaccionados.

(\*<sup>3</sup>): Mini gato usado, con más de 5 años de antigüedad.

Para los cálculos anteriores se usó las siguientes consideraciones: Se transportaron 10 container desde las dependencias de TECNO FAST ATCO y el resto se construyó en

obra. El transporte de materiales menores incluye los insumos de inicio de obra, generadores y el mini gato, y se realizaron en una camioneta y un camión 3 veces al día durante los 26 días que duró la instalación de faena. El personal se estimó en 40 personas diarias para la etapa inicial de la obra, considerando que estas recorrieron un promedio de 44 km diarios (desde distintas partes de Santiago a la obra), que al menos 5 de ellos compartieron el transporte (particular y público) y que su ingesta diaria fue de 3000 kcal diaria.

#### **3.2.4.2 Movimiento de tierra.**

Para efectos de este cálculo, el movimiento de tierras incluye demolición, excavación y relleno, el cual se subcontrató con la empresa ECAVAL. La maquinaria utilizada en este caso es: Martillo Hidráulico, Excavadoras Hidráulicas, Retroexcavadoras, Motoniveladora (subcontrato independiente), Camiones Tolvas (12 a 15 m<sup>3</sup>), camas bajas para traslado de maquinaria. Es importante mencionar que los datos utilizados para los rendimientos, consumos y distancias son valores ponderados y específicos de la obra Edificio Horizontes y sus proveedores asociados. Para el ítem "Otros", nuevamente se consideraron 40 personas con las mismas características que en la tabla 3.5. Para el caso de transporte de materiales menores sólo se consideraron 1,5 viajes diarios durante los 26 días que duró la etapa. A continuación en la tabla 3.6 se detallan las cantidades de obra y sus consumos energéticos respectivos.

Tabla 3.6: Consumo energético en movimiento de tierra.

<b>Demolición</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Pavimentación	81,9	Martillo Hidr.	10,0	5,0	409,5
Botadero	106,5	Camión Tolva	-	-	570,4
<b>Total</b>					<b>979,9</b>

<b>Excavación</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Masiva	9.242,0	Retroexcavadora	40,0	8,0	18.484,0
Escarpe	38,5	Retroexcavadora	25,0	8,0	123,2
Maquina	1.234,0	Retroexcavadora	30,0	8,0	3.290,7
Corte [ml]	1.936,0	Motoniveladora	70,0	25,0	6.914,3
Corte Pav. [ml]	89,8	Motoniveladora	35,0	25,0	641,5
Sobre Terreno [ml]	168,0	Motoniveladora	35,0	25,0	1.200,0
Botadero	13.782,9	Camión Tolva	-	-	73.837,0
<b>Total</b>					<b>104.490,7</b>

<b>Rellenos</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [km/lt]	Distancia [km]	E. Consumida [kwh]
Sobre Terreno	68,0	Camión Tolva	4,0	27,0	655,7
Sobre Losa Subt.	8,0	Camión Tolva	4,0	27,0	77,1
Obras Exteriores	4,6	Camión Tolva	4,0	27,0	44,6
Mejoramientos	93,7	Camión Tolva	4,0	27,0	903,2
Base Estab. II	54,1	Camión Tolva	4,0	27,0	521,7
Caja Edificio	1.348,0	Camión Tolva	4,0	27,0	12.998,6
Radier	164,0	Camión Tolva	4,0	27,0	1.581,4
Radier - Gravilla	109,0	Camión Tolva	4,0	27,0	1.051,1
<b>Total</b>					<b>17.833,3</b>

<b>Otros</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lt]	Consumo [lt]	E. Consumida [kwh]
Generador Lureye 40 KVA	-	-	545,0	5.450,0
Generador Lureye 150 KVA	-	-	740,0	7.400,0
Mini Gato (Bobcat)	-	-	220,0	2.200,0
Camioneta Obra	-	-	95,0	950,0
Materiales Menores	13,0	5,0	202,8	2.028,0
Transporte Personal	22,0	7,0	817,1	8.171,4
Consumo Personal	-	-	-	3.628,6
<b>Total</b>				<b>29.828,0</b>



### 3.2.4.3 Obra gruesa.

A continuación se presenta el detalle de los consumos energéticos de la obra gruesa (construcción de la estructura principal) del edificio Horizontes para un plazo de ejecución de 110 días de corrido. Para los cálculos se ocuparon los mismos parámetros que en la tabla 3.5, con la excepción de la cantidad de personas de planta (70 en este caso), el tiempo de ejecución (110 días de corrido) y los distintos consumos en petróleo. Luego se hace un detalle de las cantidades de obra para los insumos principales (hormigón, fierro y moldaje) de manera de considerar tanto la energía por transporte, como la energía incorporada. La tabla 3.7 muestra el consumo energético general y por otros usos.

Tabla 3.7: Consumo energético general y por otros usos.

<b>Consumos Generales</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lt]	Consumo [lt]	E. Consumida [kwh]
Generador Lureye 40 KVA	-	-	1.325,0	13.250,0
Generador Lureye 150 KVA	-	-	1.904,0	19.040,0
Mini Gato (Bobcat)	-	-	235,0	2.350,0
Mini Gato (Bobcat)	-	-	100,0	1.000,0
Camioneta Obra	-	-	270,0	2.700,0
Materiales Menores	13,0	5,0	686,4	6864,0
Transporte Personal	22,0	7,0	4840,0	48400,0
Consumo Personal	-	-	-	21.492,2
			<b>Total</b>	<b>115.096,2</b>

<b>Otros Consumos</b>	Cantidad [n°/mes]	Uso [mes]	Rendimiento [lt/mes] (*)	E. Consumida [kwh]
Helicóptero	2,0	3,5	37,0	2590,0
Cerchas Vibradoras	2,0	3,5	33,0	2310,0
Vibradores	4,0	3,5	29,0	4060,0
			<b>Total</b>	<b>8.960,0</b>

(\*): Valores obtenidos de la ficha técnica del fabricante.

Hay que tener en cuenta que todas las herramientas menores usadas en obras como sopladores (2 unidades), hidrolavadoras (2 unidades), taladros y rotomartillos (6 unidades), y demolidores (2 unidades), se conectaban a las fuentes de poder (tableros eléctricos) habilitados a través de los grupos generadores en base a petróleo. La tabla 3.8 muestra el consumo energético en hormigón.

Tabla 3.8: Consumo energético en hormigón.

Hormigón	Volumen [m <sup>3</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Sobre Terreno	59,5	10	440,3	13.677,3	14.117,6
Sobre Losa Subterráneo	76,9	10	569,2	17.681,6	18.250,8
Cierros y Obras Exteriores	3,2	10	23,8	740,2	764,0
Pavimentación	15,4	10	113,9	3.539,1	3.653,0
Aceras de Hormigón	6,8	10	50,0	1.553,9	1.603,9
Emplantillado	103,2	10	763,8	23.727,2	24.491,0
Hormigón Pobre	52,0	10	384,8	11.953,2	12.338,0
Fundación Corrida de Muros	397,0	10	2.937,8	91.258,4	94.196,2
Zapatas de Fundación	89,0	10	658,6	20.458,4	21.117,0
Vigas de Fundación	55,0	10	407,0	12.642,9	13.049,9
Losa de Fundación	813,0	10	6.016,2	186.884,3	192.900,5
Radier	130,9	10	968,8	30.094,6	31.063,4
Pilares de Hormigón	217,0	10	1.605,8	49.881,8	51.487,6
Vigas de Hormigón	381,0	10	2.819,4	87.580,5	90.399,9
Muros de Hormigón	611,0	10	4.521,4	140.450,6	144.972,0
Losas cielo de Hormigón	1.476,0	10	10.922,4	339.288,1	350.210,5
Escaleras de Hormigón	21,0	10	155,4	4.827,3	4.982,7
Bombeo	2.844,5	-	-	-	22.270,0
		<b>Total</b>	<b>33.358,7</b>	<b>1.036.239,2</b>	<b>1.091.868,0</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,74 [kwh/m<sup>3</sup>-km]\*Volumen\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 229,87 [kwh/m<sup>3</sup> hormigón]\*Volumen (ver tabla 2.19)

Para el cálculo de energía por bombeo se utilizó el registro de ejecución que se llevó a cabo en la oficina técnica la obra. El subcontrato fue Bombas de Hormigón ZACH, ubicado a 15 km de la obra.

La cuantificación del fierro se hizo en base a la energía de transporte y la energía incorporada del insumo. Para la energía de transporte se consideró una distancia promedio de 383,5 km desde los distintos proveedores hasta el centro de Santiago. Todo el transporte de fierro en obra (manual y mediante grúa), desde los puntos de acopio a sus distintos puntos de colocación, está considerado en la tabla 3.7, mediante el consumo de petróleo de los generadores y la energía consumida por los trabajadores. La tabla 3.9 muestra el consumo energético en acero.

Tabla 3.9: Consumo energético en acero.

Fierro	Peso [ton]	Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Fundación Corrida de Muros	13,2	383,5	1.313,9	131.040,4	132.354,3
Zapatatas de Fundación	1,3	383,5	129,9	12.957,9	13.087,8
Vigas de Fundación	5,2	383,5	517,6	51.622,6	52.140,2
Losa de Fundación	79,1	383,5	7.891,5	787.067,7	794.959,3
Pilares de Hormigón	97,0	383,5	9.674,1	964.847,9	974.522,0
Vigas de Hormigón	54,8	383,5	5.468,7	545.423,2	550.891,9
Muros de Hormigón	83,0	383,5	8.272,5	825.066,2	833.338,7
Losas cielo de Hormigón	33,0	383,5	3.292,9	328.421,4	331.714,3
Escaleras de Hormigón	2,1	383,5	211,9	21.132,3	21.344,2
Sistema Postensado	96,6	383,5	9.627,1	960.164,0	969.791,1
		<b>Total</b>	<b>46.400,1</b>	<b>4.627.743,5</b>	<b>4.674.143,7</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,26 [kwh/ton-km]\*Peso\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 9.944,63 [kwh/ton acero]\*Peso (ver tabla 2.19)

El cálculo del moldaje se hizo en base a un camión de transporte tipo, que viaja desde las dependencias de la empresa subcontratista DOKA Chile Encofrados LTDA., ubicada en Camino Interior 1360, Lampa. Todos los transportes internos y uso de herramientas para armar el moldaje en la obra están considerados en la tabla 3.7. La tabla 3.10 muestra el consumo energético en moldaje.

Tabla 3.10: Consumo energético en moldaje.

Moldaje	Superficie [m <sup>2</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kWh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kWh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kWh] (* <sup>2</sup> )	
Fundaciones	2.085,3	33,0	4.817,0	2.940,3	7.757,3
Muros	4.063,0	33,0	9.385,5	5.728,8	15.114,4
Pilares	1.378,0	33,0	3.183,2	1.943,0	5.126,2
Vigas	2.225,4	33,0	5.140,7	3.137,8	8.278,5
Losas	11.870,8	33,0	27.421,5	16.737,8	44.159,4
Escaleras	208,2	33,0	480,9	293,6	774,5
Sistema Postensado	7.427,0	33,0	17.156,4	10.472,1	27.628,4
		<b>Total</b>	<b>67.585,3</b>	<b>41.253,4</b>	<b>108.838,6</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,07 [kwh/m<sup>2</sup>-km]\*Superficie\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 1,41 [kwh/m<sup>2</sup> moldaje]\*Superficie (ver tabla 2.19)

### 3.2.5 Resumen.

A continuación se presenta en la tabla 3.11 un resumen de los consumos energéticos según el tipo de energía, indirecta o directa, para la obra de Edificio Horizontes de la empresa Desarrollos Constructivos AXIS S.A.

Tabla 3.11: Resumen consumo energético edificio Horizontes.

Tipo de Energía	Partida	Total Parcial [kwh]	Total [kwh]
Indirecta	Toda la Obra	5.929,4	<b>6.192.203,8</b>
Directa	Instalación de Faena	34.236,0	
	Movimiento de Tierra Obra Gruesa	153.131,8 5.998.906,5	

De la misma forma se presenta en la figura 3.2 una esquematización porcentual de los consumos energéticos de la obra.

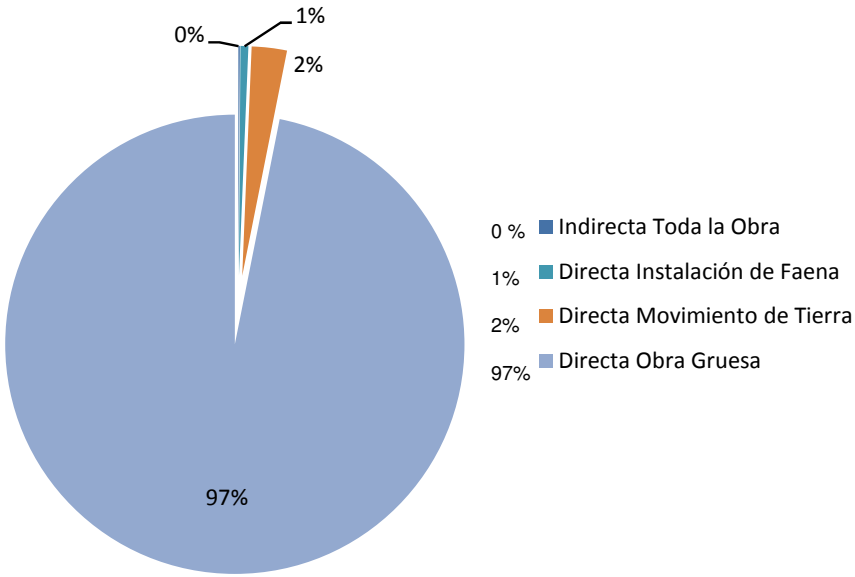


Figura 3.2: Resumen consumo energético edificio Horizontes.

### 3.3 Edificio Graneros.

#### 3.3.1 Descripción de la empresa.

**Presentación.** Constructora Santa Beatriz nació a fines de la década de los 90 y desde entonces se ha dedicado al desarrollo y venta de condominios a lo largo de Chile. Sus proyectos están orientados a la construcción de viviendas habitacionales en lugares centrales de las ciudades, con buena ubicación y fácil acceso a servicios, tales como educación, transporte, salud, etc. Los principales clientes de la empresa son familias que cumplen el sueño de vivir en lo propio.

**Visión y misión.** La Constructora Santa Beatriz tiene como visión ser una empresa con gran capacidad de crecimiento, queriendo llegar a ser líderes en el mercado de la construcción de viviendas para dar soluciones habitacionales a la mayoría de los Chilenos. Su misión es construir y vender viviendas de calidad, en plazos, costos y excelentes terminaciones con plena satisfacción de sus clientes.

**Políticas corporativas.** La Constructora Santa Beatriz cuenta con las siguientes políticas en todas sus obras a lo largo del país: Sistema de Gestión de Calidad, Prevención de Riesgos y Seguridad Laboral.

#### Información general.

Tabla 3.12: Información General.

Razón Social	:	Constructora Santa Beatriz S.A.
Tipo de Sociedad	:	Anónima
Inicio de Actividades	:	10 de Diciembre de 1999
RUT	:	96.880.840-0
Domicilio	:	Matías Cousiño 64, Oficina 301, Santiago
Teléfono	:	(56 2) 876 2200
Fax	:	(56 2) 876 2225
Representante Legal	:	Emilio Armando Sironvalle Alvarez

### Organización de la empresa.

La constructora Santa Beatriz S. A. se destaca en el rubro de la edificación en altura por presentar una organización de empresa muy completa y desarrollada en todas las áreas de la construcción. Sus divisiones están claramente marcadas y administradas por departamentos independientes de la empresa, los que a través de la organización y gestión de proceso, han permitido reducir los costos de producción y ofrecer al público departamentos habitacionales de muy bajo costo. Una de las divisiones más importantes y bien dotada de la empresa, luego de la constructora propiamente tal, es la de “maquinaria y transporte”, la que a través del subarriendo de sus productos, le dan mayor holgura en la disponibilidad de maquinaria en las obras a lo largo de todo el país. La figura 3.3 muestra el organigrama de la empresa constructora Santa Beatriz, destacando la segregación de sus departamentos.

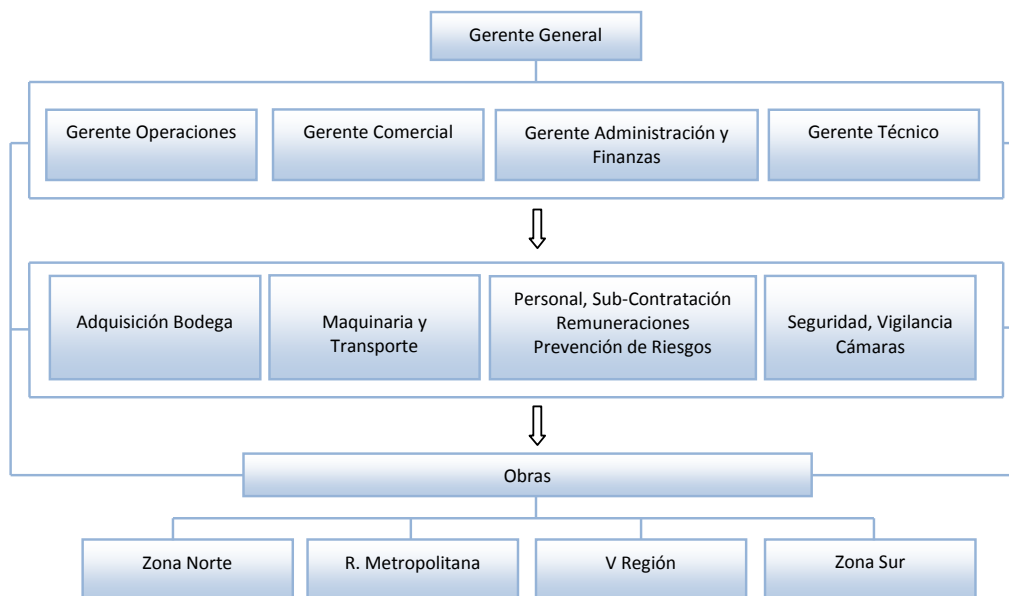


Figura 3.3: Organigrama Constructora Santa Beatriz S.A.

### 3.3.2 Descripción de la obra.

#### Datos.

Tabla 3.13: Datos de la obra.

Obra	: Edificio Graneros
Propietario	: Constructora Santa Beatriz S.A.
Constructora	: Constructora Santa Beatriz S.A.
Ubicación	: Mapocho 3535, Quinta Normal, Santiago

#### Generalidades.

Tabla 3.14: Generalidades de la obra.

Tipo de Edificio	: Habitacional
Número de Pisos	: 10 Pisos y 2 Subterráneos
Tipo de construcción	: Estructura de hormigón armado
Superficie	: 9.050 m <sup>2</sup>
Presupuesto de la Obra	: 65.569 UF (7,3 UF/m <sup>2</sup> )
Plazo de ejecución	: 450 días de corrido
Fecha de Inicio	: Abril 2009
Otros	: Departamentos con 3 dormitorios, Cocina Americana, Living Comedor, Baño, Balcón y Calles Interiores que unen los distintos edificios del condominio.

**Instalación de faena.** A continuación, la figura 3.4 muestra un bosquejo de la planta de la instalación de faenas de la obra Edificio Graneros.



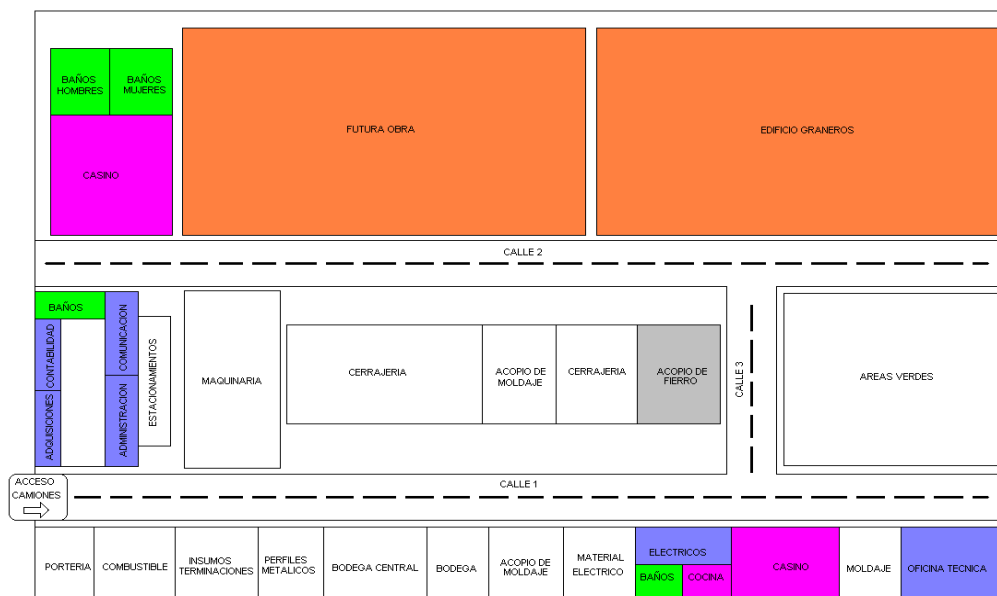


Figura 3.4: Instalación de Faena.

### 3.3.3 Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.

Tabla 3.15: Costo energético en obras e insumos indirectos.

Insumos Indirectos	P. Promedio [kW]	Uso Diario [hr]	Cantidad [n°]	Meses en Uso [n°]	E. Consumida [kWh] (*)
Luminaria Obra	11,00	3,0	5	9	1.485,0
Luminaria Dependencias	0,66	8,0	30	9	1.425,6
Computadores	2,75	8,0	7	9	1.386,0
Impresoras	0,29	8,0	2	9	41,2
Teléfonos	0,18	8,0	8	9	101,4
Climatización	22,00	8,0	4	9	6.336,0
Ventilación	2,64	8,0	7	9	1.330,6
Router	0,55	8,0	2	9	79,2
Radios	0,02	8,0	5	9	7,9
Carteles	22,00	8,0	3	9	4.752,0
Microoonda	17,60	1,0	2	9	316,8
Refrigerador	0,92	24,0	2	9	396,0
Hervidor	4,40	1,0	3	9	118,8
<b>Total</b>					<b>17.776,4</b>

(\*): Valores obtenidos según su consumo de fábrica y horas de uso aproximadas por ítem, para 22 días por mes.

Los consumos energéticos descritos en la tabla 3.15 fueron calculados para un período de 9 meses en el que se desarrolló la construcción de obra gruesa del edificio Graneros. Los valores energéticos para los distintos insumos están en base a un consumo energético nacional. Cabe destacar que el edificio Graneros, forma parte de un condominio de 12 torres en la comuna de Quinta Normal. Por esta razón la instalación de faenas requiere mayor capacidad, a pesar de que sólo se trabaje en una torre a la vez. Otro punto importante es la alta utilización de carteles publicitarios, para los cuales cuentan con un empalme de 25 kw únicamente para su uso.

### **3.3.4 Energía en obras directas**

#### **3.3.4.1 Instalación de faena.**

El edificio Graneros, a diferencia del edificio Horizontes, cuenta con un sistema de 5 empalmes eléctricos, 3 de los cuales se utilizan para la construcción del edificio (1 de 25 kw para carteles publicitarios y los de 25 - 75 kw para obras directas) mientras que los dos restantes se usaron para otras labores del condominio, previas a la etapa donde se construye el edificio actual. El subcontrato de la grúa marca Jaso se hizo a través de la empresa CECIL, ubicada 17 km aproximadamente de la obra. Como punto importante de la instalación de faenas, es que todas las dependencias (oficinas, bodegas, baños, vestidores y comedores) fueron fabricadas en obra, disminuyendo así el consumo por transporte de container a la obra.

Tabla 3.16: Consumo energético en instalación de faenas.

<b>Instalación de Faena</b>	<b>Distancia [km]</b>	<b>Rendimiento [km/lt]</b>	<b>Consumo [lt]</b>	<b>E. Consumida [kwh]</b>
Empalme Eléctrico 25 kW	-	-	-	269,6
Empalme Eléctrico 75 kW	-	-	-	808,7
Transporte Grúa	17,0	2,0	17,0	170,0
Materiales Menores	15,0	5,0	540,0	5.400,0
Transporte Personal	22,0	7,0	942,9	9.428,6
Consumo Personal	-	-	-	4.186,8
			<b>Total</b>	<b>20.263,7</b>

(\*): La energía consumida para los empalmes fue obtenida a través del registro mensual de los medidores de la obra.

Para los cálculos realizados en la tabla 3.16, el ítem “materiales menores” incluyó el transporte de todos los insumos necesarios para la fabricación de dependencias, como también los materiales menores de inicio de obra. Estos fueron realizados en 2 camiones  $\frac{3}{4}$ , 3 veces al día durante los 30 días que duró la etapa. Para el caso del personal, se consideraron 40 personas durante la instalación de faena, de los cuales 5 compartieron el transporte a la obra y consumieron alrededor de 3000 kcal diarias.

### 3.3.4.2 Movimiento de tierra.

Todo el movimiento de tierras se hizo por parte de la misma empresa, subcontratándose la maquinaria a la división correspondiente de la constructora. La distancia total recorrida por los camiones tolva de 14 m<sup>3</sup> hasta el botadero fue de 15 kilómetros aproximadamente, siendo este último un subcontrato independiente. En cuanto al ítem “Otros”, cabe destacar que en esta etapa, de duración 40 días, se usaron 2 camionetas y un bus para el transporte del personal, el que se estimó en un total de 50 personas (calificado y no calificado). Se tomó una distancia promedio de 22 km de transporte de personal, en el cual a lo más 5 personas coincidían en el trayecto.

Tabla 3.17: Consumo energético en movimiento de tierra.

<b>Demolición</b>	Superficie [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Construcción	1.130,3	Retroexcavadora	10,0	5,0	5.651,5
Botadero	1.469,4	Camión Tolva	-	-	7.871,7
				<b>Total</b>	<b>13.523,2</b>

<b>Excavación</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Masiva	5.853,7	Retroexcavadora	40,0	8,0	11.707,4
Máquina	585,4	Retroexcavadora	30,0	8,0	1.561,0
Botadero	8.370,8	Camión Tolva	-	-	44.843,5
				<b>Total</b>	<b>58.111,9</b>

<b>Rellenos</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [km/lt]	Distancia [km]	E. Consumida [kwh]
Caja Edificio	972,0	Camión Tolva	4,0	30,0	10.414,3
				<b>Total</b>	<b>10.414,3</b>

<b>Otros</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lt]	Consumo [lt]	E. Consumida [kwh] (*)
E. Eléctrico 25 kW	-	-	-	808,7
E. Eléctrico 75 kW	-	-	-	2.426,0
Camioneta Obra	-	-	190,0	1.900,0
Bus	-	-	272,7	2.727,3
Materiales Menores	15,0	5,0	720,0	7.200,0
Transporte Personal	22,0	7,0	1.571,4	15.714,3
Consumo Personal	-	-	-	6.978,0
			<b>Total</b>	<b>37.754,2</b>

(\*): La energía consumida para los empalmes fue obtenida a través del registro mensual de los medidores de la obra.

### 3.3.4.3 Obra gruesa.

La etapa de obra gruesa demoró 7 meses aproximadamente en desarrollarse, con un total de 80 personas diarias. La tabla de otros consumos muestra todos aquellos instrumentos que operaron en base a petróleo o bencina.

Tabla 3.18: Consumo energético general y por otros usos.

<b>Consumos Generales</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lit]	Consumo [lit]	E. Consumida [kwh]
Empalme Eléctrico 25 kW	-	-	-	22.642,6
Empalme Eléctrico 75 kW	-	-	-	67.927,7
Camioneta Obra	-	-	1.330,0	13.300,0
Bus	-	-	1.050,0	10.500,0
Materiales Menores	15	5	2.772,0	27.720,0
Transporte Personal	22	7	9.680,0	96.800,0
Consumo Personal	-	-	-	42.984,5
<b>Total</b>				<b>281.874,7</b>

<b>Otros Consumos</b>	Cantidad [n°/mes]	Uso [mes]	Rendimiento [lit/mes]	E. Consumida [kwh]
Helicóptero	4,0	3,5	37,0	5180,0
Cerchas Vibradoras	4,0	3,5	33,0	4620,0
Vibradores	9,0	3,5	29,0	9135,0
<b>Total</b>				<b>18.935,0</b>

Tabla 3.19: Consumo energético en hormigón.

<b>Hormigón</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Emplantillado	42,2	22	687,0	9.700,5	10.387,5
Fundaciones	365,5	22	5.950,3	84.017,5	89.967,8
Sobre Cimiento	44,5	22	724,5	10.229,2	10.953,7
Vigas y Cadenas	106,6	22	1.735,4	24.504,1	26.239,6
Muros y Pilares	1.271,0	22	20.691,9	292.164,8	312.856,7
Losas cielo	1.066,0	22	17.354,5	245.041,4	262.395,9
Pasillo	561,0	22	9.133,1	128.957,1	138.090,2
Bombeo	2.765,4	-	-	-	21.651,0
<b>Total</b>			<b>56.276,7</b>	<b>794.614,6</b>	<b>872.542,3</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,74 [kwh/m<sup>3</sup>-km]\*Volumen\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 229,87 [kwh/m<sup>3</sup> hormigón]\*Volumen (ver tabla 2.19)

El proveedor de hormigón de la obra Graneros fue la empresa TRANSEX, ubicada a 22 km de la obra aproximadamente. La mayor parte del hormigón fue puesto en la obra a

través de bombas telescópicas y estacionarias. Las fundaciones por su parte, fueron abastecidas de hormigón directamente de la canoa del camión Mixer.

A diferencia de muchas empresas constructoras, Santa Beatriz dispone de las dependencias necesarias para realizar el ensamble de las armaduras de los elementos estructurales utilizados en la construcción de la obra gruesa del edificio. Para este efecto, se compró el fierro en tiras de 6 m a través del proveedor SIDERINT, las que luego se armaron y confeccionaron en obra. La distancia utilizada fue de 385,5 km desde el fabricante del acero hasta el centro de Santiago.

A continuación se presenta en la tabla 3.20 el consumo energético asociado al de acero en la obra Edificio Graneros.

Tabla 3.20: Consumo energético en acero.

Fierro	Peso [ton]	Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Enfierradura A63-42	309,1	383,5	30.822,2	3.074.064,1	3.104.886,3
		<b>Total</b>	<b>30.822,2</b>	<b>3.074.064,1</b>	<b>3.104.886,3</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,26 [kwh/ton-km]\*Peso\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 9.944,63 [kwh/ton acero]\*Peso (ver tabla 2.19)

El cálculo del moldaje fue en base a un camión de transporte tipo, que traslada el insumo a lo largo de 27 km desde la empresa subcontratista UNISPAN hasta la obra. La cubicación se hizo en base al total necesario para cubrir 7 departamentos de la planta tipo. La tabla 3.21 muestra el consumo energético en moldaje.

Tabla 3.21: Consumo energético en moldaje.

Moldaje	Superficie [m <sup>2</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kWh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kWh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kWh] (* <sup>2</sup> )	
Sobre cimientos	841,8	27,0	1.590,9	1.186,9	2.777,8
Cadenas	697,0	27,0	1.317,3	982,8	2.300,1
Muros	13.120,0	27,0	24.796,8	18.499,2	43.296,0
Losas	7.742,3	27,0	14.632,9	10.916,6	25.549,5
Pasillo	3.240,0	27,0	6.123,6	4.568,4	10.692,0
		<b>Total</b>	<b>48.461,6</b>	<b>36.153,9</b>	<b>84.615,5</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,07 [kwh/m<sup>2</sup>-km]\*Superficie\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 1,41 [kwh/m<sup>2</sup> moldaje]\*Superficie (ver tabla 2.19)

### 3.3.5 Resumen

A continuación se presenta en la tabla 3.22 un resumen de los consumos energéticos según el tipo de energía, indirecta o directa, para la obra de Edificio Graneros de la empresa constructora Santa Beatriz S.A.

Tabla 3.22: Resumen consumo energético edificio Graneros.

Tipo de Energía	Partida	Total Parcial [kwh]	Total [kwh]
Indirecta	Toda la Obra	17.776,4	<b>4.520.697,5</b>
Directa	Instalación de Faena	20.263,7	
	Movimiento de Tierra Obra Gruesa	119.803,6 4.362.853,8	

De la misma forma se presenta en la figura 3.5 una esquematización porcentual de los consumos energéticos de la obra.

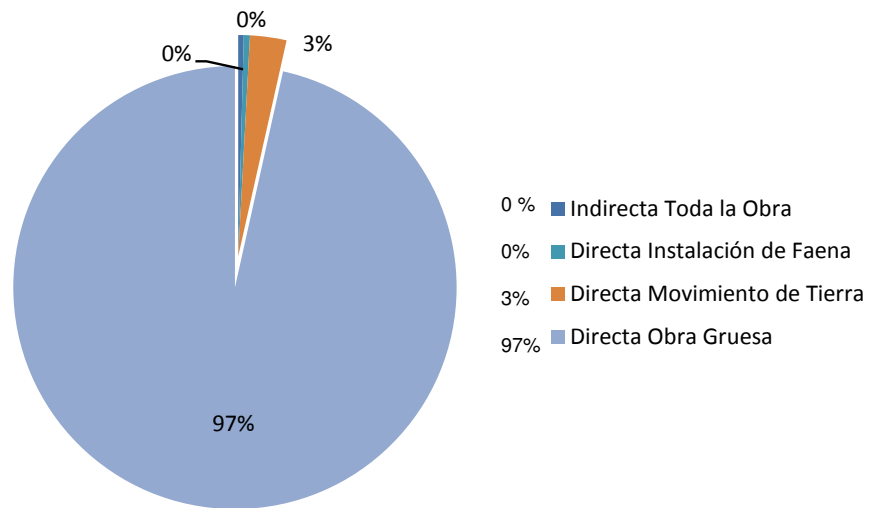


Figura 3.5: Resumen consumo energético edificio Graneros.



### 3.4 Edificio Alcántara 939

#### 3.4.1 Descripción de la empresa.

**Presentación.** Grupo Inmobiliario Brimac se ha consolidado en el mercado por ser una de las empresas con más experiencia en el rubro. Con más de 30 años de exitosa trayectoria especializándose en la construcción de edificios habitacionales en las más importantes comunas de la Región Metropolitana, privilegiando siempre el más alto estándar de calidad en cada uno de sus proyectos. Un total de 150 obras comercializadas y 2.500 departamentos vendidos tan sólo en los últimos 10 años, hablan de su gran solidez a lo largo del tiempo.

**Visión y misión.** Brimac está presente en todas las etapas que sus proyectos involucran gracias a un equipo humano compuesto por profesionales del más alto nivel, los cuales mediante una atención personalizada, buscan constantemente satisfacer las necesidades de sus clientes.

**Políticas corporativas.** El grupo Inmobiliario Brimac cuenta con las siguientes políticas en todas sus obras a lo largo del país: Sistema de Gestión de Calidad, Prevención de Riesgos y Seguridad Laboral.

#### Información general.

Tabla 3.23: Información General.

Razón Social	: Constructora Briones y Martínez Ltda.
Tipo de Sociedad	: Limitada
Inicio de Actividades	: Hace 25 años aproximadamente
RUT	: 78.470.900-0
Domicilio	: Alcántara 271, 5to Piso, Las Condes, Santiago
Teléfono	: (56 2) 477 3800
Fax	: (56 2) 477 3810
Representante Legal	: Francisco Javier Martínez Ibarra

### 3.4.2 Descripción de la obra

La obra Edificio Alcántara 939 fue diseñada para ofrecer una vista privilegiada hacia la ciudad y cordillera, integrando funcionalidad, calidez y comodidad en los departamentos de manera de satisfacer las necesidades de la familia de hoy. Se proyectan ambientes con terminaciones de gran calidad y materiales que sorprenden por su estilo.

#### Datos.

Tabla 3.24: Datos de la Obra.

Obra	: Edificio Alcántara 939
Propietario	: Inmobiliaria Brimac Tres Ltda.
Constructora	: Briones y Martínez Ltda.
Ubicación	: Alcántara N°939 Las Condes, Santiago

#### Generalidades.

Tabla 3.25: Generalidades de la obra.

Tipo de Edificio	: Habitacional
Número de Pisos	: 10 Pisos y 2 Subterráneos
Tipo de construcción	: Estructura de hormigón armado
Superficie	: 5.746 m <sup>2</sup>
Presupuesto de la Obra	: 77.688 UF (13,5 UF/m <sup>2</sup> )
Plazo de ejecución	: 510 días de corrido
Fecha de Inicio	: Agosto 2009
Otros	: 34 Departamentos, 54 Estacionamientos, Piscina, Sala de Fiestas, Sala de Niños, Contrato a Suma Alzada.

**Instalación de faena.** A continuación, en la figura 3.6 se muestra un bosquejo de la planta de la instalación de faenas de la obra Edificio Alcántara 939:

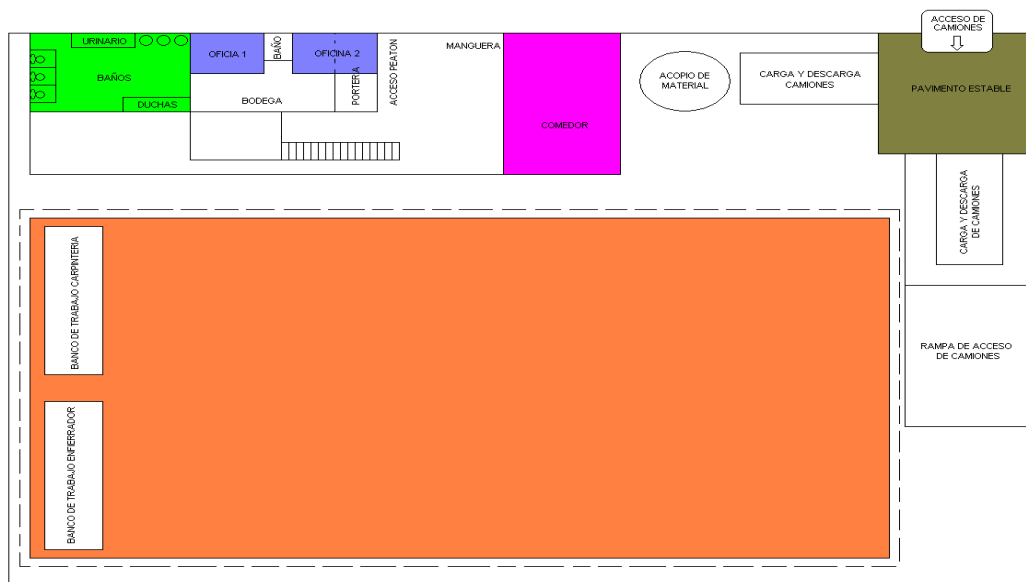


Figura 3.6: Instalación de Faena.

### 3.4.3 Energía consumida en obras e insumos indirectos durante la obra.

Tabla 3.26: Consumo energético en obras e insumos indirectos.

Insumos Indirectos	P. Promedio [kW]	Uso Diario [hr]	Cantidad [n.º]	Meses en Uso [n.º]	E. Consumida [kWh] (*)
Luminaria Obra	11,0	3,0	5	8	1.320,0
Luminaria Dependencias	0,7	8,0	15	8	633,6
Computadores	2,8	8,0	4	8	704,0
Impresoras	0,3	8,0	3	8	54,9
Teléfonos	0,2	8,0	3	8	33,8
Climatización	22,0	8,0	2	8	2.816,0
Ventilación	2,6	8,0	4	8	675,8
Router	0,6	8,0	0	8	0,0
Radios	0,0	8,0	3	8	4,2
Carteles	22,0	8,0	1	8	1.408,0
Microoonda	17,6	1,0	1	8	140,8
Refrigerador	0,9	24,0	1	8	176,0
Hervidor	4,4	1,0	1	8	35,2
<b>Total</b>					<b>8.002,4</b>

(\*): Valores obtenidos según su consumo de fábrica y horas de uso aproximadas por ítem, para 22 días por mes.

El consumo energético que se muestra en la tabla 3.26 de “obras e insumos indirectos” contempló un período de 8 meses, plazo en el cual se desarrolló la construcción de la obra gruesa del edificio.

### 3.4.4 Energía en obras directas

#### 3.4.4.1 Instalación de faena.

La instalación de faena del edificio Alcántara 939, consideró un empalme eléctrico con un voltaje de 92,7 kw, a través de un subcontrato con Chilectra y un tipo de tarifa BT-4.3 y boletas de Consumo Mensual. La grúa marca Jaso se subcontrató con la empresa BEMAQ, ubicada en Avenida Lo Espejo 01565, San Bernardo. Las dependencias fueron concretadas a través del subcontrato de 3 container con la empresa ECOMET, ubicada en Camino Santa Teresa, Lampa, Colina cerca de Panamericana Norte altura 19600, vereda poniente. El transporte de materiales menores se hizo a través de una camioneta doble cabina marca Chevrolet. La etapa se realizó en 30 días aproximadamente, con un total de 40 personas (calificado y no calificado). La tabla 3.27 muestra el consumo energético en instalación de faena.

Tabla 3.27: Consumo energético en instalación de faenas.

<b>Instalación de Faena</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/t]	Consumo [t]	E. Consumida [kwh](*)
Empalme Eléctrico 92,7 kW	-	-	-	1.326,0
Transporte Grúa	21,0	2,0	21,0	210,0
Transporte Container	27,0	2,5	172,8	1.728,0
Materiales Menores	10,0	5,0	360,0	3.600,0
Transporte Personal	22,0	7,0	942,9	9.428,6
Consumo Personal	-	-	-	4.186,8
			<b>Total</b>	<b>20.479,4</b>

(\*): La energía consumida para el empalmes fue obtenida a través del registro mensual de los medidores de la obra.

### 3.4.4.2 Movimiento de tierra.

La tabla 3.28 muestra el consumo energético en movimiento de tierra.

Tabla 3.28: Consumo energético en movimiento de tierra.

<b>Demolición</b>	Superficie [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Construcción	2.000,0	Retroexcavadora	10,0	5,0	10.000,0
Botadero	2.600,0	Camión Tolva	-	-	27.857,1
				<b>Total</b>	<b>37.857,1</b>

<b>Excavación</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [m <sup>3</sup> /hr]	Consumo [lt/hr]	E. Consumida [kwh]
Masiva	6.572,0	Retroexcavadora	40,0	8,0	13.144,0
Máquina	795,2	Retroexcavadora	30,0	8,0	2.120,6
Botadero	9.577,4	Camión Tolva	-	-	102.614,7
				<b>Total</b>	<b>117.879,3</b>

<b>Rellenos</b>	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Maquinaria	Rendimiento [km/lt]	Distancia [km]	E. Consumida [kwh]
Caja Edificio	200,0	Camión Tolva	4,0	30,0	2.142,9
				<b>Total</b>	<b>2.142,9</b>

<b>Otros</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lt]	Consumo [lt]	E. Consumida [kwh]
E. Eléctrico 92,7 kW	-	-	-	3.977,0
Camioneta Obra	-	-	190,0	1.900,0
Materiales Menores	10,0	5,0	480,0	4.800,0
Transporte Personal	22,0	7,0	1571,4	15.714,3
Consumo Personal	-	-	-	6.978,0
			<b>Total</b>	<b>33.369,3</b>

(\*): La energía consumida para el empalmes fue obtenida a través del registro mensual de los medidores de la obra.

Toda la partida de movimiento de tierra se hizo a través de la empresa Demoliciones, Excavaciones y Transportes Jonathan Quijano Junoy S.A. Ubicada en Avenida Rosemblut 1211 Independencia, Santiago, en un plazo de ejecución de 40 días, con un total de 50 personas (calificada y no calificada).

### 3.4.4.3 Obra gruesa.

El plazo de construcción de la obra gruesa, fue de 6 meses y contó con un total de 80 personas (calificadas y no calificadas). En este caso sólo las cerchas vibradoras forman parte del ítem otros consumos, puesto que los vibradores (3 unidades), hidrolavadora (1 unidad), taladros (6 unidades), demoledores (6 unidades) y los serruchos (4 unidades) son eléctricos y están considerados en el consumo del empalme eléctrico. A continuación se muestra en la tabla 3.29 el consumo energético general y por otros usos de la obra.

Tabla 3.29: Consumo energético general y por otros usos.

<b>Consumos Generales</b>	Distancia [km]	Rendimiento [km/lt]	Consumo [lt]	E. Consumida [kwh]
Empalme Eléctrico 92,7 kW	-	-	-	19.407,9
Camioneta Obra	-	-	1.140,0	11.400,0
Materiales Menores	10,0	5,0	1.584,0	15.840,0
Transporte Personal	22,0	7,0	8.297,1	82.971,4
Consumo Personal	-	-	-	36.843,8
			<b>Total</b>	<b>166.463,2</b>

<b>Otros Consumos</b>	Cantidad [n%/mes]	Uso [mes]	Rendimiento [lt/mes] (*)	E. Consumida [kwh]
Cerchas Vibradoras	1,0	3,5	33,0	1.155,0
			<b>Total</b>	<b>1.155,0</b>

(\*): Valores obtenidos de la ficha técnica del fabricante.

A diferencia de los otros dos edificios, Alcántara 939 sólo puso el hormigón en obra a través de grúa y capacho, y solo una porción muy pequeña con bombas. El subcontrato en este caso fue Melón (Lafarge o Premix). La tabla 3.30 muestra el consumo energético asociado al hormigón.

Tabla 3.30: Consumo energético en hormigón.

Hormigón	Volumen [m <sup>3</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Emplantillado	13,8	24	245,1	3.172,2	3.417,3
Fundaciones	174,0	24	3.090,2	39.997,4	43.087,6
Vigas y Cadenas	156,0	24	2.770,6	35.859,7	38.630,3
Muros y Pilares	681,0	24	12.094,6	156.541,5	168.636,0
Losas cielo	1.012,0	24	17.973,1	232.628,4	250.601,6
Escalera	20,0	24	355,2	4.597,4	4.952,6
Bombeo	950,0	-	-	-	743,8
<b>Total</b>			<b>36.528,8</b>	<b>472.796,6</b>	<b>510.069,2</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,74 [kwh/m<sup>3</sup>-km]\*Volumen\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 229,87 [kwh/m<sup>3</sup> hormigón]\*Volumen (ver tabla 2.19)

Para el caso del fierro, la armadura fue preparada por la empresa Armacero Industrial y Comercial S.A., ubicada en Calle Interior 700 Panamericana Norte Km17 ½ Lampa, Santiago, y traído desde CAP. Nuevamente se consideraron 383,5 km de transporte.

Tabla 3.31: Consumo energético en acero.

Fierro	Peso [ton]	Transporte		E. Incorporada	E. Total [kwh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kwh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kwh] (* <sup>2</sup> )	
Fundaciones	2,6	383,5	256,3	25.557,7	25.814,0
Muros, Pilares y Vigas	102,9	383,5	10.255,2	1.022.805,2	1.033.060,4
Losas	92,2	383,5	9.193,8	916.944,6	926.138,4
Escaleras	2,9	383,5	286,8	28.600,8	28.887,5
<b>Total</b>			<b>19.992,0</b>	<b>1.993.908,3</b>	<b>2.013.900,2</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,26 [kwh/ton-km]\*Peso\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 9.944,63 [kwh/ton acero]\*Peso (ver tabla 2.19)

El moldaje por su parte fue subcontratado con la empresa ULMA Chile – Andamios y Moldajes S.A. ubicada en Vizcaya 325, Pudahuel, Santiago (Ruta 68, Camino Noviciado). Y la cubicación se hizo en base al 65% del muro del piso tipo y 100% de la losa del piso tipo, la que consistió en vigas, alzaprimas y 600 m<sup>2</sup> de placa terciado de 18 mm de espesor, comprada por la empresa.

Tabla 3.32: Consumo energético en moldaje.

Moldaje	Superficie [m <sup>2</sup> ]	E. Transporte		E. Incorporada	E. Total [kWh]
		Distancia [km]	E. Consumida [kWh] (* <sup>1</sup> )	E. Consumida [kWh] (* <sup>2</sup> )	
Vigas de Fundación	47,0	30,0	98,7	66,3	165,0
Muros y Pilares	7.853,0	30,0	16.491,3	11.072,7	27.564,0
Vigas	1.593,0	30,0	3.345,3	2.246,1	5.591,4
Losas	6.475,0	30,0	13.597,5	9.129,8	22.727,3
Escaleras	159,0	30,0	333,9	224,2	558,1
		<b>Total</b>	<b>33.866,7</b>	<b>22.739,1</b>	<b>56.605,8</b>

(\*<sup>1</sup>): E. Consumida por Transporte = 0,07 [kwh/m<sup>2</sup>-km]\*Superficie\*Distancia (ver tabla 2.19)

(\*<sup>2</sup>): E. Consumida Incorporada = 1,41 [kwh/m<sup>2</sup> moldaje]\*Superficie (ver tabla 2.19)

### 3.4.5 Resumen

A continuación se presenta en la tabla 3.33 un resumen de los consumos energéticos según el tipo de energía, indirecta o directa, para la obra de Edificio Alcántara 939 de la empresa constructora BRIMAC.

Tabla 3.33: Resumen consumo energético edificio Alcántara 939.

Tipo de Energía	Partida	Total Parcial [kwh]	Total [kwh]
Indirecta	Toda la Obra	8.002,4	<b>2.967.923,6</b>
Directa	Instalación de Faena	20.479,4	
	Movimiento de Tierra Obra Gruesa	191.248,6 2.748.193,3	



De la misma forma se presenta en la figura 3.7 una esquematización porcentual de los consumos energéticos de la obra.

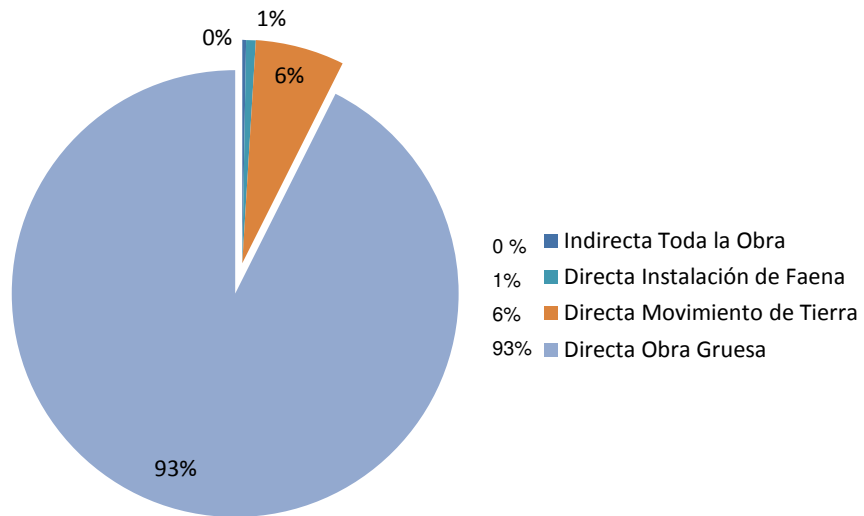
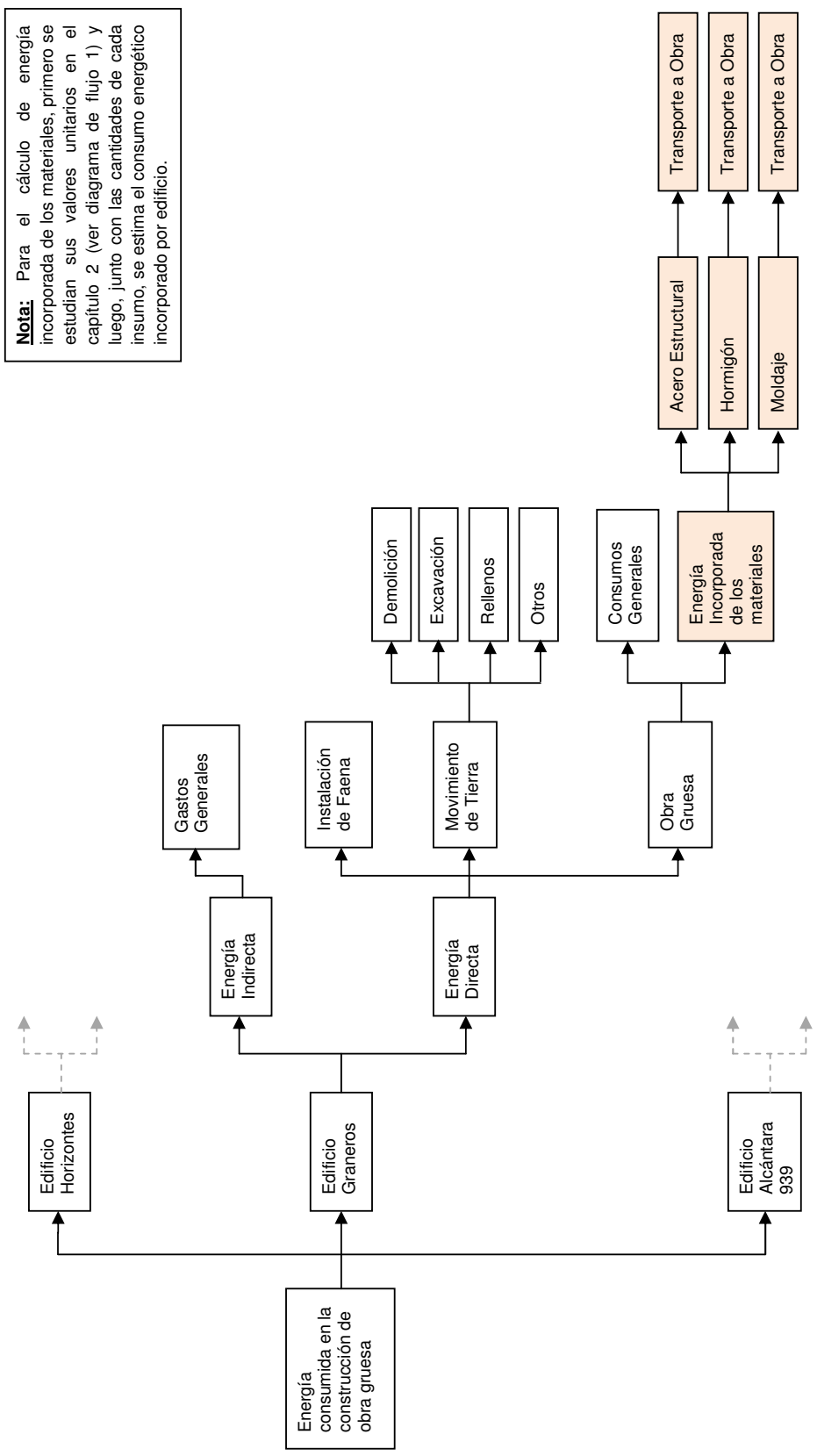


Figura 3.7: Resumen consumo energético edificio Alcántara 939.

DIAGRAMA DE FLUJO (2) – ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO



**Nota:** Para el cálculo de energía incorporada de los materiales, primero se estudian sus valores unitarios en el capítulo 2 (ver diagrama de flujo 1) y luego, junto con las cantidades de cada insumo, se estima el consumo energético incorporado por edificio.

---

## CAPITULO 4

### Análisis de Resultados

---

El presente capítulo analiza los resultados obtenidos en los capítulos 2 y 3, tratando de mostrar de manera gráfica las diferencias y similitudes de los edificios seleccionados. Luego se analiza el desempeño de cada edificio por separado y se comparan sus resultados según partida. A continuación se hace un análisis comparativo de las magnitudes encontradas con las energías más comúnmente utilizadas en Chile. Finalmente se hace un análisis de extrapolación de los valores para la realidad actual de la ciudad de Santiago de Chile según la clasificación de edificios.

#### 4.1 Comparación de los valores de energía incorporada

La energía incorporada es un ítem que tiene asociado la unidad respectiva del insumo que cuantifica, haciendo muy difícil su comparación con la de otros insumos. Sin embargo, existen ciertos parámetros que permiten interrelacionar los valores de los distintos insumos, como por ejemplo, los kilogramos de fierro con los metros cúbicos de hormigón o los metros cúbicos de hormigón con los metros cuadrados de losa de moldaje. A continuación se presentan los valores o cuantías de estas relaciones:

$$\frac{[\text{kg acero}]}{[\text{m}^3 \text{ hormigón}]} = [75 - 100]$$
$$\frac{[\text{m}^3 \text{ hormigón}]}{[\text{m}^2 \text{ de losa de moldaje}]} = [0,42 - 0,46]$$
$$\frac{[\text{kg acero}]}{[\text{m}^2 \text{ de losa de moldaje}]} = [32 - 46]$$

Fuente: Los datos fueron obtenidos de los apuntes de clase del curso CI62C, de la escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile.

Figura 4.1. Cuantías de los insumos de obra gruesa para obras de edificación.

Se debe tener en cuenta que estos valores son para un edificio tipo habitacional en la ciudad de Santiago, y que los valores para otras ciudades podrían variar drásticamente debido a las condiciones externas en que se encuentra el edificio. Por ejemplo, si estamos construyendo un edificio habitacional en la zona costera, sobre un terreno principalmente de arena, las fundaciones podrían verse afectadas, tanto por el uso de nuevas técnicas de sostenimiento, o bien por el uso de pilotes para llegar a fundar en la roca subyacente, todo se traduciría en nuevos valores para las cantidades de hormigón, fierro y moldaje. Este valor tampoco es representativo en el caso de edificio de oficinas, puesto que estos se caracterizan por el uso de distintos sistemas constructivos que permiten el desarrollo de mayores espacios y por lo tanto dependientes fuertemente de la arquitectura asociada del edificio. Por último, los valores de las cuantías presentados anteriormente presentan un rango apreciable, el que se debe principalmente a la cantidad de pisos del edificio, es decir, para edificios más bien bajos, los valores son los más bajos del rango, para edificios de mediana altura, valores intermedios del rango, y para edificios altos (alrededor de 20 pisos) los valores del extremo superior del rango. La figura 4.2 presenta la energía incorporada de los distintos insumos suponiendo el aporte que estos generan frente a 1 m<sup>3</sup> de hormigón, para valores intermedios de los que aparecen en la figura 4.1 (debido a la mediana altura de los edificios tratados).

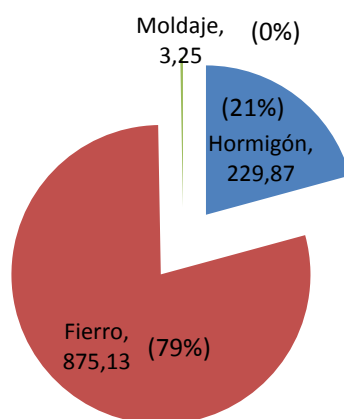


Figura 4.2: Energía incorporada según su aporte en 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

El hierro en este caso representa el 79% de la energía incorporada en los insumos preponderantes de un edificio, el hormigón un 21%, mientras que el moldaje se considera casi despreciable para este análisis. A diferencia del hormigón y el hierro, el moldaje presenta un porcentaje de reutilización muy grande, lo que hace que su energía incorporada sea tan baja y por lo tanto no sea un parámetro crítico en el consumo energético de un edificio. El hierro, como se comentó en el capítulo 2, sólo considera reutilización para el proceso de fabricación por chatarra, y no en el proceso de fabricación por materias primas. Esto hace que su valor energético incorporado sea muy alto y a la vez determinante en el caso de cuantificar la energía de construcción de un edificio. La figura 4.3 muestra en porcentajes el aporte de los distintos procesos de fabricación del acero, según proveedor.

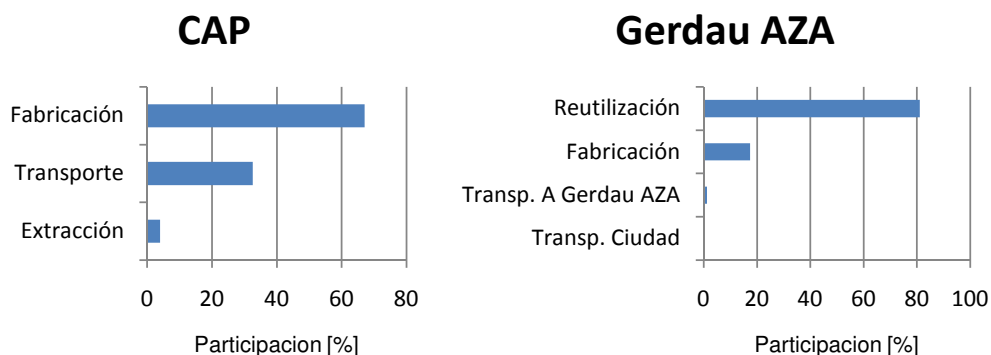


Figura 4.3: Participación del consumo energético de los procesos productivos del acero.

Es posible notar que dentro de los procesos productivos, los más críticos en cuanto a consumo energético se refieren, son la fabricación y el transporte de materiales por parte de CAP, dado que del capítulo 2 se obtuvo que la reutilización de acero de Gerdau AZA era un porcentaje importante del consumo energético total de CAP.

El hormigón por su parte presenta un valor intermedio pero importante en el consumo energético de un edificio. Del capítulo 2 se puede apreciar que el mayor consumo viene dado por la fabricación del cemento, el que a su vez incluye la fabricación del clinker.

La figura 4.4 muestra como aporta cada una de las fábricas en el producto de hormigón:

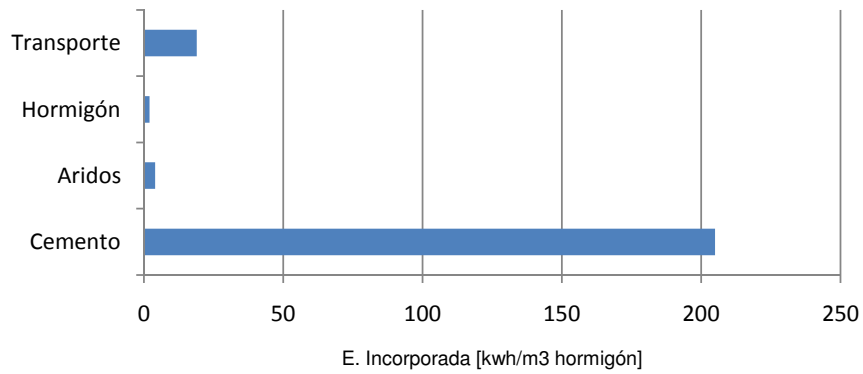


Figura 4.4: Energía incorporada para la fabricación del hormigón.

La energía incorporada en el transporte a obra difiere de los valores analizados anteriormente puesto que ahora sólo se considera el rendimiento promedio del tipo de transporte de cada uno de los insumos a obra. El fierro en este caso es el único que tiene una buena correlación entre la distancia y el peso transportado, mientras que el hormigón y el moldaje están limitados por volumen. El hormigón, al ser premezclado, sólo puede ser transportado en camiones Mixer con una capacidad máxima de  $15 \text{ m}^3$ , y en el caso del moldaje, el área de estos determina su capacidad de transporte y no el peso. Si se toma en cuenta que el rendimiento es similar para el camión tipo de cada uno de los tres insumos, resulta que el hormigón es el más desfavorable para ser transportado a obra, consumiendo alrededor del 79% de la energía incorporada por transporte.

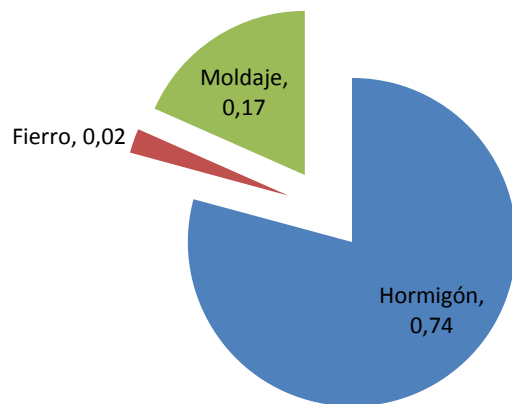


Figura 4.5: Energía incorporada de transporte según su aporte en 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

#### 4.2 Comparación del consumo energético de los edificios seleccionados.

La figura 4.6 muestra un resumen gráfico de los principales consumos energéticos de los distintos edificios seleccionados.

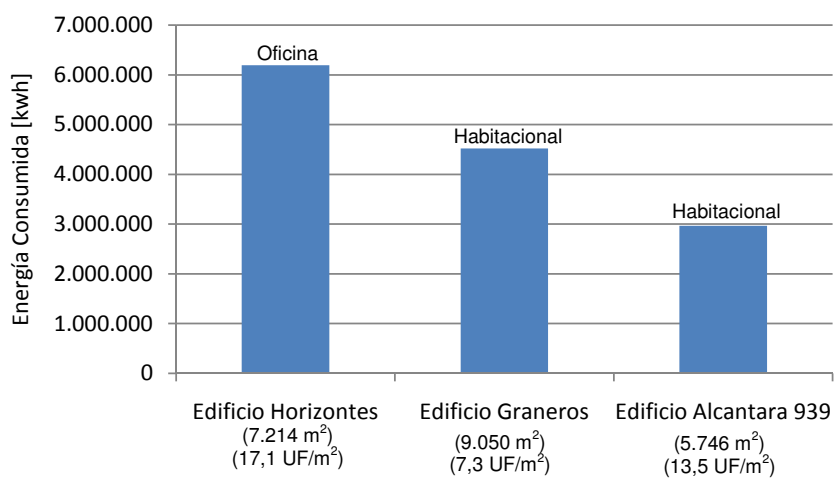


Figura 4.6: Consumo energético total por edificio.

La figura 4.6 nos muestra que el Edificio Horizontes es el que mayor consumo energético presenta, siendo que este es el de menor altura con solo 6 pisos y 1 subterráneo, frente a los edificios Graneros y Alcántara que tienen 10 pisos y 2 subterráneos. Esto se puede explicar principalmente por el tipo de edificio. En el caso de Horizontes, es un edificio de oficinas diseñado con losas, pos-tensadas para permitir losas con mayores luces, y losa de fundaciones, ubicado en un sector donde el suelo es relativamente malo, principalmente depósitos de limo, arena y arcilla. Las losas pos-tensadas y la losa de fundación generan un aumento importante en la cantidad de fierro y según la figura 4.2, este es el insumo que mayor energía incorpora. Se debe considerar que, por el tipo de suelo, se necesita generar mayores excavaciones para poder fundar bien el terreno, haciendo que la energía incorporada para el ítem movimiento de tierra sea elevado.

La diferencia entre el Edificio Graneros y el Edificio Alcántara radica en la cantidad de metros construidos de cada uno, 9.050 m<sup>2</sup> y 5.746 m<sup>2</sup> respectivamente. Esto se traduce en mayor cantidad de hormigón y fierro incorporado.

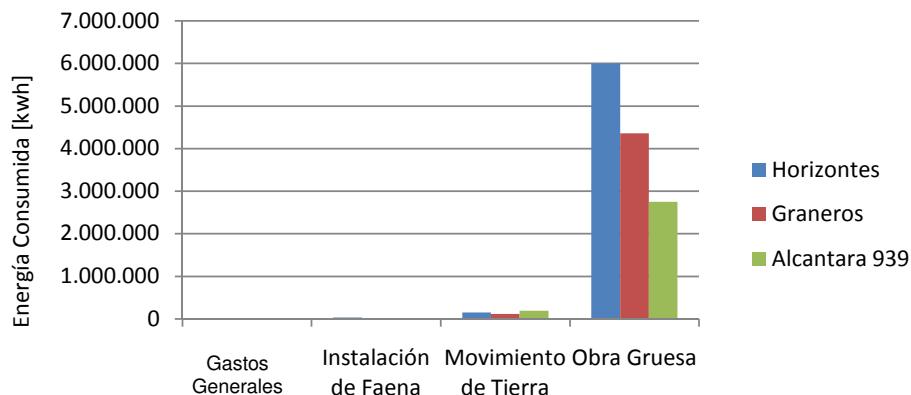


Figura 4.7: Consumo energético total por partida de cada edificio.



La figura 4.7 refleja la participación energética que tienen las distintas partidas en la construcción de obra gruesa de un edificio. Según lo expuesto anteriormente, la obra gruesa es la de mayor importancia, puesto que considera el hormigón, el acero y el moldaje, y las otras tres partidas son despreciables para este estudio. Sin embargo, la figura 4.8 hace un detalle de las partidas de instalación de faena, movimiento de tierra y gastos generales, donde es posible analizar algunos puntos. Para el ítem “Gastos Generales”, el Edificio Graneros es el que más energía consumió y esto se debe principalmente al tipo de obra en la que se encuentra inserto, un condominio con más de 12 torres construidas. Esto hace que sus gastos generales en insumos y obras indirectos sean necesariamente mayores debido al tamaño de la instalación de faenas. Para el ítem instalación de faena, se tiene que el edificio Horizontes es el que tiene mayor participación, y esto se debe al mayor consumo de los grupos generadores a petróleo frente a los empalmes eléctricos utilizados en las otras obras. Por último, en “Movimiento de Tierra” el factor principal fue la excavación, que en el caso del Edificio Alcántara 939, tuvo que trasladar sus excedentes a una mayor distancia que el Edificio Horizontes, lo que hizo que su gasto energético haya sido mayor.

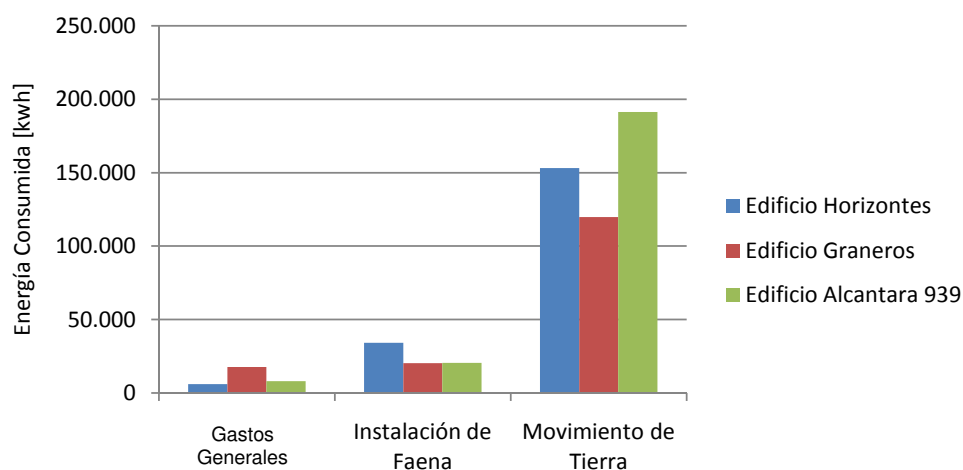


Figura 4.8: Detalle Consumo Energético para partidas sin obra Gruesa.

La figura 4.9 hace el último análisis de esta sección y se refiere al tipo de energía del edificio. En el caso de la energía indirecta, es despreciable frente a la energía directa y esto se debe nuevamente al efecto que tienen los insumos de hormigón, acero y moldaje en la construcción de la obra gruesa. Esta misma explicación se puede hacer para la notoria diferencia entre los distintos valores de la energía directa para los diferentes edificios.

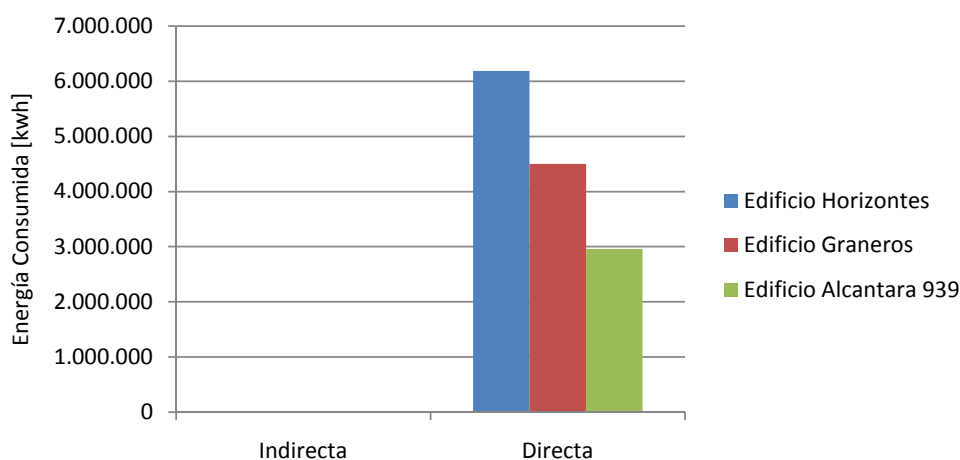


Figura 4.9: Consumo Energético por tipo de energía.

### 4.3 Desempeño del consumo energético de las partidas de un edificio.

La figura 4.10, representa la energía consumida en las diferentes partidas de la obra Alcántara 939. Este mismo comportamiento lo presentan las otras dos obras. Se puede ver que la partida “Gastos Generales” es la que tiene la menor participación de todas y esto se debe a que su aporte es sólo por concepto de gastos generales de la obra. Esto en cierta medida está bien considerado puesto que es un gasto que estará presente se construya o no en la obra. En otras palabras, esa partida representa un gasto obligatorio por el hecho de estar instalados en el lugar, y al ser bajo en comparación a las otras partidas, no presenta un punto crítico de la obra. La instalación

de faena y el movimiento de tierra también presentan bajos consumos energéticos puesto a que su duración es alrededor de 1 mes cada uno, y los procesos constructivos que se llevan a cabo son nada más que de preparación para la obra final que es la obra gruesa del edificio.

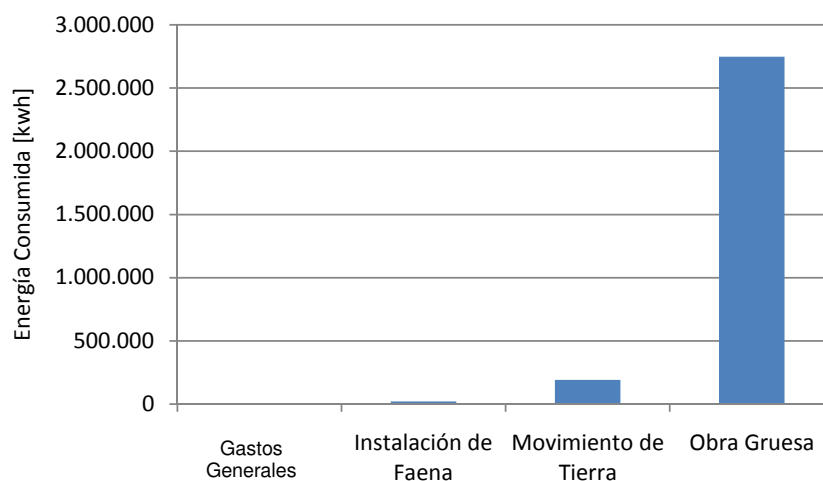


Figura 4.10: Consumo Energético edificio Alcántara 939.

#### 4.4. Representación del consumo energético de los edificios estudiados para la ciudad de Santiago.

Para poder entender de forma clara lo que significa que un edificio gaste cierta cantidad de energía en su construcción, se realizarán dos tipos de comparaciones. En primer lugar se tomará un promedio del consumo total de energía de los edificios analizados y contrastará con el consumo de operación de tres casas habitacionales. En segundo lugar, y de manera de poder detallar el análisis, se hará el mismo procedimiento, pero esta vez los valores serán contrastados con edificios de similares características que los estudiados. Las tablas 4.1 y 4.2 presentan los valores promedios obtenidos en el presente informe y luego los obtenidos a través de un catastro de viviendas y oficinas.

Tabla 4.1: Número de casas abastecidas energéticamente al mes.

<u>Edificio</u>	<u>Superficie [m<sup>2</sup>]</u>	<u>Consumo Total [kwh]</u>	<u>Consumo Ponderado [kwh]</u>
Horizontes	7.214	6.192.204	
Graneros	9.050	4.520.698	4.663.179
Alcántara 939	5.746	2.967.924	
<u>Casa</u>	<u>Superficie [m<sup>2</sup>]</u>	<u>Cons. Mensual [kwh] (*)</u>	<u>N° de Casa Abastecidas</u>
Casa 1	300	600	7.772
Casa 2	150	410	11.374
Casa 3	80	110	42.393
<b>Promedio</b>	<b>177</b>	<b>373</b>	<b>20.513</b>

(\*): El consumo mensual para las casas se obtuvo a partir del registro mensual de la cuenta de luz que envía Chilectra.

Según la tabla 4.1, la construcción de un edificio permitiría abastecer energéticamente a 20.513 casas de 177 m<sup>2</sup> al mes, o bien 1.709 casas al año de las mismas características.

De la misma forma en que se hizo el análisis anterior, ahora se presenta en la tabla 4.2 el gasto diferenciado por tipo de edificio.

Tabla 4.2: Numero de oficinas y viviendas abastecidas al mes.

<u>Edificio</u>	<u>Superficie [m<sup>2</sup>]</u>	<u>Consumo Total [kwh]</u>	<u>Consumo Ponderado [kwh]</u>
Horizontes	7.214	6.192.204	6.192.204
Graneros	9.050	4.520.698	3.917.681
Alcántara 939	5.746	2.967.924	
<u>Edificio</u>	<u>Superficie [m<sup>2</sup>]</u>	<u>Cons. Mensual [kwh] (*)</u>	<u>N° de Casa Abastecidas</u>
Oficina A	80	600	10.320
Ofician B	30	410	15.103
<b>Promedio</b>	<b>55</b>	<b>505</b>	<b>12.712</b>
Vivienda A	110	240	16.324
Vivienda B	60	50	78.354
<b>Promedio</b>	<b>85</b>	<b>145</b>	<b>47.339</b>

(\*): El consumo mensual para las oficinas y viviendas se obtuvo a partir del registro mensual de la cuenta de luz que envía Chilectra.

A modo de resumen la tabla anterior indica que se pueden abastecer alrededor de 12.712 departamentos de oficina de 55 m<sup>2</sup> al mes, y 47.339 departamentos habitacionales de 85 m<sup>2</sup> al mes.

Los dos tipos de análisis indican de forma clara qué representa la energía consumida por la construcción de obra gruesa de un edificio en términos de abastecimiento energético mensual de las viviendas u oficinas. Es claro, que por el tipo de uso, las oficinas presentan un mayor consumo mensual que los espacios habitacionales. A su vez, y como era de esperar, existe una relación muy estrecha en el consumo según la magnitud de la superficie. Por último y a modo de detalle, se debe recalcar el hecho de que los tipos de casas catastrados son de un nivel socio económico alto, donde el uso de calefacción en invierno y aire acondicionado en verano es intenso, lo que podría variar en el caso de viviendas de menos recursos.

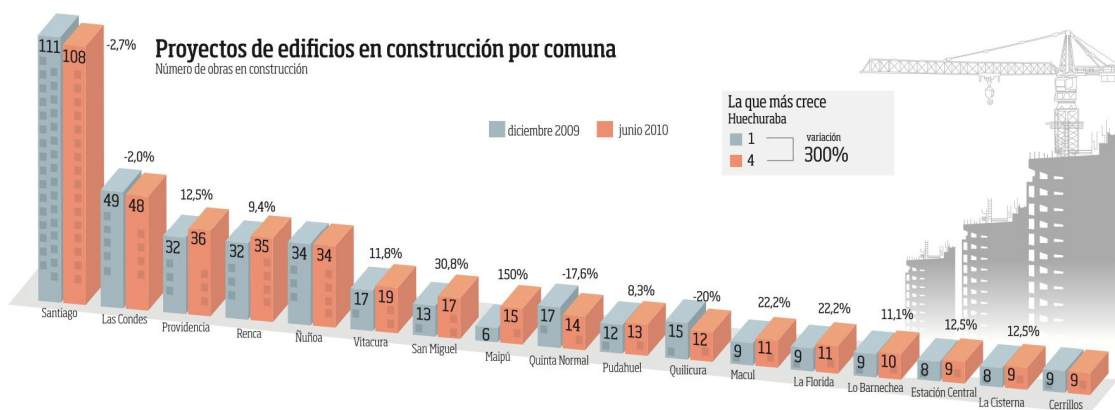
Finalmente, luego de haber destacado las diferencias en los distintos tipos de edificios, se establece un número de energía consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio por metro cuadrado total construido.

Tabla 4.3: Consumo energético por metro cuadrado construido.

Tipo Edificio	Consumo [kwh/m <sup>2</sup> ]
Habitacional	530
Oficina	858
Habitacional/Oficina	636

## 4.5 Extrapolación de los resultados

Teniendo cuantificado el consumo energético por concepto de construcción de obra gruesa de un edificio, es posible extrapolar estos datos a las distintas comunas del Gran Santiago y ver su consumo total.



Fuente: Infografía diario La Tercera, domingo 18 de Julio de 2010, página 42

Figura 4.11: Proyectos de edificios en construcción por comuna.

La figura 4.11 muestra el número de proyectos de edificios en construcción en la ciudad de Santiago y su variación para los años 2009 y 2010. Si aplicamos el valor energético ponderado por edificio construido de la tabla 4.3 (4.663.179 [kwh]), obtendremos el siguiente consumo energético por comunas para la ciudad de Santiago para los años 2009 y 2010.

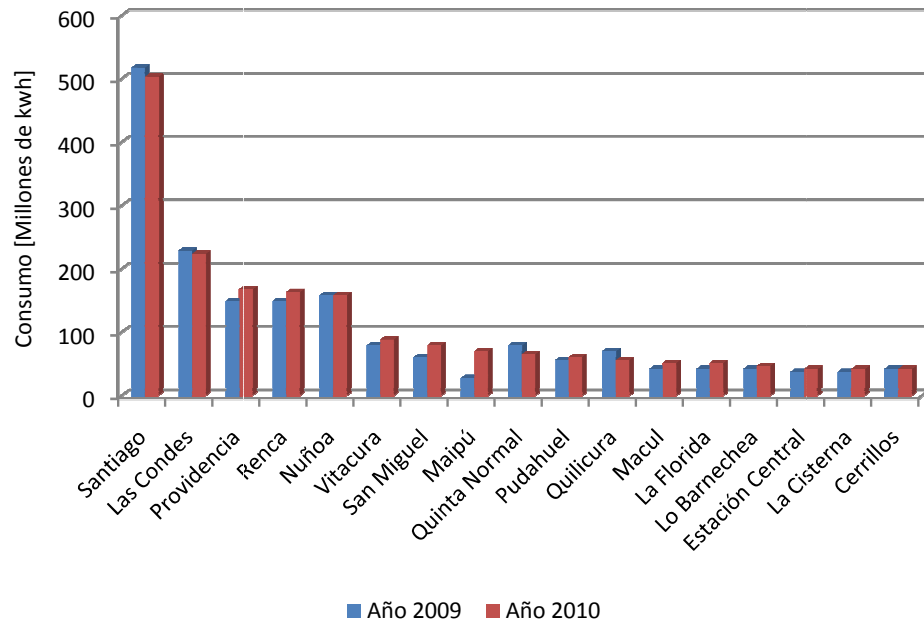


Figura 4.12: Consumo energético asociado a los proyectos de edificios en construcción

Con un total de 1.819 [Gwh] para el año 2009 y 1.912 [Gwh] para el año 2010, el consumo energético por concepto de edificación representa un 12% del total de la energía consumida en la Región Metropolitana, según los valores energéticos entregados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en su informe anual (16.000gwh)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> "Medio Ambiente", Informe Anual 2008, 25 de Junio 2010, Instituto Nacional de Estadísticas (INE), ISBN: 978-956323-066-6

---

## CAPITULO 5

### Conclusiones y Recomendaciones

---

Se desarrolló un estudio para cuantificar la energía consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media en la ciudad de Santiago de Chile, del cual se deducen las siguientes conclusiones.

1.- Las energías involucradas en el consumo energético incorporado de los materiales y de construcción de obras, son muy diversas y tienen que ser convertidas a un valor único para lograr el objetivo propuesto. Sin embargo, debe quedar claro que esto es sólo un propósito de cómo cuantificar de la energía consumida y poder definirla en un solo parámetro. Además si se toma en cuenta que las energías involucradas no provienen de las mismas fuentes de generación, se llega a la conclusión de que un análisis económico de los valores obtenidos en este informe por concepto de kilowatt-hora consumido, no tendría sentido sin antes hacer un detalle de los precios asociado a cada tipo de energía.

2.- El análisis de la obra gruesa de 3 edificios, logró conocer en términos generales el gasto energético en obras de edificación, durante la etapa de construcción de obra gruesa. De manera más específica se determinó la energía incorporada de los materiales y la consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media en la ciudad de Santiago de Chile.

3.- Como valor final se obtuvo que un edificio consume durante la etapa de construcción de obra gruesa un total de 4.663.179 [kwh] (636 [kwh/m<sup>2</sup>]), equivalente al consumo que tienen 1.709 casas de 177 [m<sup>2</sup>] al año. Por su parte, la energía incorporada de los insumos principales fue de 9.944,63 [kwh] por tonelada de acero producida, 229,87 [kwh] por metro cúbico de hormigón fabricado y 1,41 [kwh] por metro cuadrado de moldaje elaborado. De la misma manera se obtuvo que la energía



incorporada por transporte de material a obra fue de 0,26 [kwh] por tonelada de acero producida y kilómetro recorrido, 0,74 [kwh] por metro cúbico de hormigón fabricado y kilómetro recorrido y finalmente 0,07 [kwh] por metro cuadrado de moldaje elaborado y kilómetro recorrido.

4.- Los valores para el consumo de energía indirecta de las distintas obras son: 5.929,4 [kwh] (Horizontes), 17.776,4 [kwh] (Graneros) y 8.002,4 [kwh] (Alcántara 939). Para las energías directas tenemos los siguientes valores finales: 6.186.274 [kwh] (Horizontes), 4.502.921 [kwh] (Graneros) y 2.959.921 [kwh] (Alcántara 939). De esta manera se obtiene que las energías indirectas son despreciables frente a las directas y por lo tanto, en el caso de buscar alguna eficiencia energética en la construcción de obra gruesa de un edificio, será mejor apuntar a las energías directas.

5.- Una proyección del consumo energético para la construcción de obra gruesa de edificios en el Gran Santiago determinó que para los años 2009 y 2010 se consumirá 1.819 [Gwh] y 1.912 [Gwh] respectivamente, representando el 12% del total de la energía consumida en la región Metropolitana, pudiendo abastecer con esto a 700.725 casas de 177 m<sup>2</sup>.

6.- Los criterios evaluativos y consideraciones hechas en el capítulo 2 para definir los productores de insumos principales, fueron el resultado de la investigación y experiencia laboral de los principales proveedores de material para la obra gruesa. Sin embargo, es importante mencionar que muchos de los valores obtenidos para los distintos procesos en la fabricación de los insumos, fueron tomados de un único proveedor que no representa el total del abastecimiento del país y que por lo tanto los resultados estarán condicionados al comportamiento que este tuvo en su período de evaluación. De aquí nace una fuerte crítica contra la mayor parte de los proveedores de insumos en Chile, que trata del poco compromiso con el futuro energético del país y su lejana relación con la sustentabilidad en los procesos productivos. No son muchas las empresas, aparte de las referidas en este trabajo, que tienen un programa de eficiencia energética en la que se preocupen de medir o valorizar sus contribuciones negativas al medio ambiente. Está claro que el problema no parte directamente del

área de la construcción sino que del rápido y abrupto crecimiento que ha tenido el país (muy diferente a lo que se ve en países desarrollados como Estados Unidos, Australia e Inglaterra donde si tienen programas efectivos de crecimiento y desarrollo controlado asociado a la integración del medio ambiente), en el que los objetivos y metas son tomadas apresuradas y están directamente relacionados con el poder adquisitivo, el que a veces puede ir en merma de los mismos.

7.- En términos generales un ahorro del 10% en la energía total consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio, 466.317,9 [kwh], permitiría abastecer a 171 casas de 177 m<sup>2</sup> al año, o bien a 70.073 casas de las mismas características si hablamos del 10% del total energético proyectado para el año 2010. Por esta razón es que se cree que es de suma importancia comenzar a introducir elementos de sustentabilidad en los proyectos de edificios. Esta innovación no tiene que ser brusca, si no que basta con partir con registros básicos como los hechos en este informe, para poder generar una robusta base de datos que de pie para futuras implementaciones tanto en el área de gestión de la construcción, como en el área tecnológica. Varios de estos ejemplos se pueden encontrar en la guía de diseño y construcción sustentable de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. La que a través de su publicación da recomendaciones específicas en el desarrollo de un edificio, con el fin de lograr un adecuado comportamiento ambiental y un desempeño energético eficiente. Siguiendo la línea, bastaría simplemente involucrarse con uno de los temas propuestos en el manual para comenzar a enfrentar los altos consumos energéticos que muestra el país. Entre los temas disponibles está el consumo de recursos, los impactos ambientales, la calidad del ambiente interior, la funcionalidad y el transporte de acceso.

8.- Todo aquel acero a partir de chatarra se le incorporará un consumo energético por concepto de reutilización. Como se pudo ver en el capítulo dos, este valor hace que la energía incorporada del acero sea muy grande para el caso de Gerdau AZA y por lo tanto un punto crítico y destacable a volver a evaluar en un futuro trabajo energético.

9.- Si bien el estudio realizado en el presente informe dice que el principal consumo de un edificio viene dado por la energía incorporada del acero y del hormigón, no hay que dejar de lado los aportes hechos por el transporte de insumos, y los gastos indirectos de la obra, puesto que si bien estos no son los puntos críticos en la evaluación, si han tenido incidencia en crecimiento del consumo eléctrico de Santiago en los últimos 6 años, que se relaciona directamente con el gran crecimiento de proyectos de edificios en construcción mostrados en la figura 4.11.

10.- Según el capítulo 1, el valor del consumo energético obtenido para la construcción de obra gruesa de un edificio en la ciudad de Santiago, 636 [kwh/m<sup>2</sup>], no está tan distante al obtenido para un edificio de British Columbia en Canadá, 495 [kwh/m<sup>2</sup>], aunque está claro que para cada sector geográfico, desarrollo tecnológico, y procesos productivos pueden haber distintos valores del consumo energético.

11.- Sería importante que se completara el análisis hecho en el presente trabajo para todas las etapas en la vida de un proyecto de edificación. Si bien, la energía consumida en los edificios en su vida útil ya está parcialmente determinada, falta ver qué ocurre con el término de la vida útil del edificio, su demolición, el reciclado de los materiales involucrados y la restitución del lugar de emplazamiento. Teniendo todos estos datos, se podría determinar el real impacto que tiene una obra de tales características y que según se indica en el capítulo 4, crece cada día más.

12.- Finalmente y como se ha visto a lo largo de la historia de Chile, los cambios en la normativa corren muy lento como para depositar en ellos la esperanza de un cambio en la forma de construir edificios en Chile y hacer que estos sean más adecuados energéticamente hablando. Por esta razón hay que tomar la iniciativa de empresas privadas que a través de pequeños estudios permitan concebir el nacimiento de una nueva forma de construir en Chile, una construcción sustentable en beneficio de todos.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

1. BHPBILLITON. *Resourcing the future. Sustainability Report 2008 Full Report*. BHPBILLITON. 2008
2. CAP. *Memoria Anual 2009*. CAP. 2009
3. CHILECTRA S. A. *Manual de empalmes eléctricos de baja tensión*. Cámara Chilena de la Construcción. 2007
4. CLAUDIA RAMIREZ. MARCELO CASERES. *Eficiencia Energética en Viviendas: Más por Menos*. Revista BIT. 2005.
5. COLE, R.J. KERNAN, P.C. *Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment*, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317. 1996.
6. COLLECT GFK. *Análisis de Oferta y Venta de Viviendas Nuevas en el Gran Santiago. 2do Semestre 2010*. Collect GFK. 2010.
7. CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLOGICO. *Guía de Diseño y Construcción Sustentable. 1ra Edición*. Chile: Cámara Chilena de la Construcción, 2005. 115 p. ISBN 956-7911-07-X.
8. F. K. GARAS. G.S.T. ARMER, J.L CLARKE. *Innovation in design, materials and Construction*. 1993.
9. GEOFF CRAIG JONES. *Inventory Of Carbon & Energy (ICE)*. 2008.
10. GEORGE STUKHART. *Construction Materials Management*. Texas A&M University College Station. Texas. 1995

11. GERDAU AZA. *A Reciclar Chatarra. Guía Educativa Para el Reciclaje del Acero. 2a Edición.* Gerdau AZA. 2005.
12. GERDAU AZA. *Informe de RSE 2008. Creciendo con las Personas.* Gerdau AZA. 2008
13. GRUPO POLPAICO. *Reporte de Sostenibilidad 2008.* Grupo Polpaico. 2008
14. INE CHILE. *Medio Ambiente. Informe Anual 2008.* [www.ine.cl](http://www.ine.cl)
15. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE LA ENERGIA (IDEA). *Guía de la edificación sostenible. Calidad Energética y Medioambiental en Edificación.* Informes IDEA. ISBN. 84-87104-38-X.
16. INTESECOMP PTE LTD. *Construction Material Tracking System. Bringing Complex Task to Simple Routine.* 2004.
17. INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. *Sustainable Building Information System.* iisBE, 2010. [www.iisbe.org](http://www.iisbe.org)
18. IVAN COUSO. *Programa país de Eficiencia Energética.* Eficiencia Energética. 2005.
19. JOSE MANUEL MUÑOZ MOLINA. *Materiales para Arquitectura Sostenible.* 2009
20. MARIANA ELIANA RUIZ ULLOA. *Mejoramiento Continuo de procesos constructivos según la norma ISO 9001-2000.* Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 2005.
21. PROGRAMA PAIS EFICIENCIA ENERGETICA. *Guía Conducción Eficiente en el Transporte Carretero.* 2007.

---

## ANEXOS

---

La siguiente sección presenta de manera complementaria las plantas tipo y elevación de las obras de edificio seleccionadas para desarrollar el trabajo de título. A continuación se enumeran los planos según obra:

- ANEXO A Edificio Horizontes
- ANEXO B Edificio Graneros
- ANEXO C Edificio Alcántara 939

Es importante recalcar que las láminas contienen los dibujos generados por las distintas empresas de arquitectura y cálculo que desarrollaron los proyectos y su disposición final no representa necesariamente la del presente trabajo.

De manera adicional, se adjunta una ficha energética con el resumen de cada edificio.

- DASHBOARD

## ANEXO A

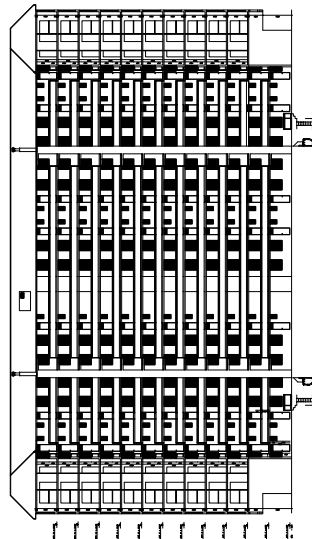
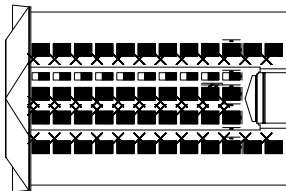
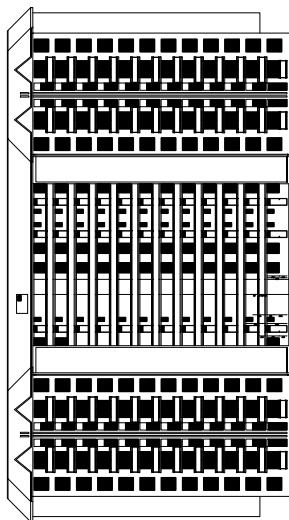
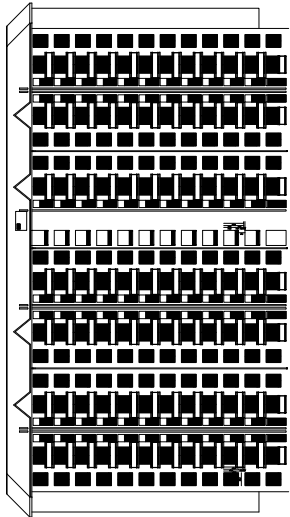
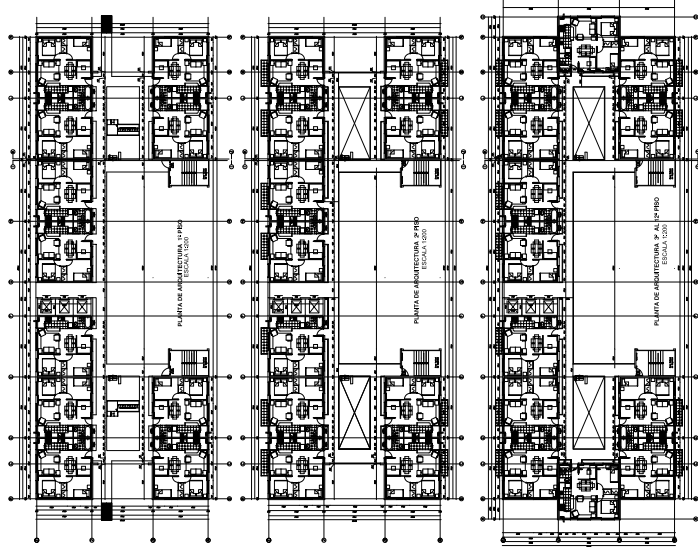
Plantas y elevaciones Edificio Horizontes  
Desarrollos Constructivos AXIS Ltda.





## ANEXO B

Plantas y elevaciones Edificio Graneros  
Constructora Santa Beatriz S.A.



ESCALA 1:500

## ANEXO C

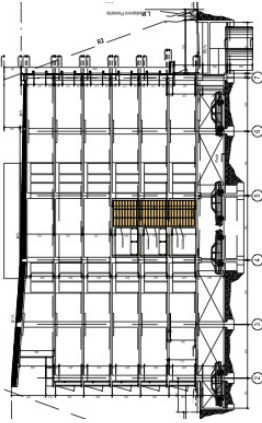
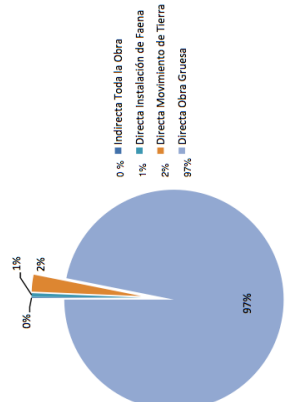

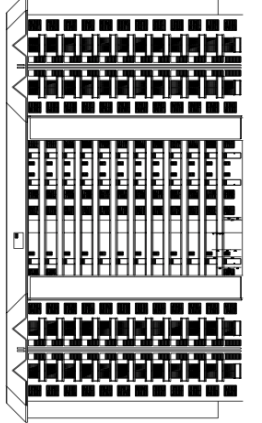
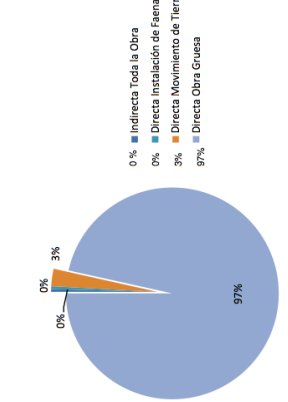

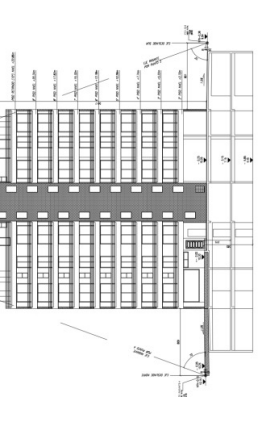
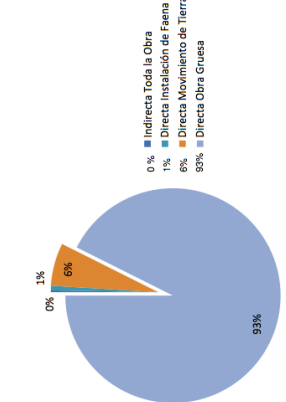

Plantas y elevaciones Edificio Alcántara 939

Constructora Brimac S.A.



**ANEXO D**  
Dashboard – Ficha Energética

DASHBOARD – FICHA ENERGÉTICA

	<p><b>Edificio Horizontales:</b>  <b>Tipo:</b> Oficinas  <b>Pisos:</b> 6 Pisos y 1 Subterráneos  <b>Estructura:</b> Hormigón armado con losas postensadas.  <b>Superficie:</b> 7.214 m<sup>2</sup>  <b>Valor Obra:</b> 17,1 UF/m<sup>2</sup>  <b>Plazo Ejecución:</b> 300 días</p>	 <p>0% Indirecta Toda la Obra  1% Directa Instalación de Faena  2% Directa Obra Gruesa  97% Directa Obra Gruesa</p>	<p><b>Tipo de Energías [kwh]</b>  Indirecta: 5.929,4  Directa: 6.186.274,4</p> <p><b>Energía por Partida [kwh]</b>  Inst. de Faena: 34.236,0  Mov. de Tierra: 153.131,8  Obra Gruesa: 5.998.906,5</p> <p><b>Total [kwh]</b>  Energía Total: 6.192.203,8  E. Total [kwh/m<sup>2</sup>]: 858,4</p>	<p><b>Número de Casas Abastecidas:</b></p>  <p>1.383 (al año)</p>
	<p><b>Edificio Graneros:</b>  <b>Tipo:</b> Habitacional  <b>Pisos:</b> 10 Pisos y 2 Subterráneos  <b>Estructura:</b> Hormigón armado.  <b>Superficie:</b> 9.050 m<sup>2</sup>  <b>Valor Obra:</b> 7,3 UF/m<sup>2</sup>  <b>Plazo Ejecución:</b> 450 días</p>	 <p>0% Indirecta Toda la Obra  0% Directa Instalación de Faena  3% Directa Obra Gruesa  97% Directa Obra Gruesa</p>	<p><b>Tipo de Energías [kwh]</b>  Indirecta: 17.776,4  Directa: 4.502.921,1</p> <p><b>Energía por Partida [kwh]</b>  Inst. de Faena: 20.263,7  Mov. de Tierra: 119.803,6  Obra Gruesa: 4.362853,8</p> <p><b>Total [kwh]</b>  Energía Total: 4.520.697,5  E. Total [kwh/m<sup>2</sup>]: 499,5</p>	<p><b>Número de Casas Abastecidas:</b></p>  <p>1.009 (al año)</p>
	<p><b>Edificio Alcántara:</b>  <b>Tipo:</b> Oficinas  <b>Pisos:</b> 6 Pisos y 1 Subterráneos  <b>Estructura:</b> Hormigón armado.  <b>Superficie:</b> 5.746 m<sup>2</sup>  <b>Valor Obra:</b> 13,5 UF/m<sup>2</sup>  <b>Plazo Ejecución:</b> 510 días</p>	 <p>0% Indirecta Toda la Obra  1% Directa Instalación de Faena  6% Directa Obra Gruesa  93% Directa Obra Gruesa</p>	<p><b>Tipo de Energías [kwh]</b>  Indirecta: 8.002,4  Directa: 2.959.921,2</p> <p><b>Energía por Partida [kwh]</b>  Inst. de Faena: 20.479,4  Mov. de Tierra: 191.248,6  Obra Gruesa: 2.748.193,3</p> <p><b>Total [kwh]</b>  Energía Total: 2.967.923,6  E. Total [kwh/m<sup>2</sup>]: 516,5</p>	<p><b>Número de Casas Abastecidas:</b></p>  <p>663 (al año)</p>