

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y PROPUESTAS PARA SU EFICIENCIA ENERGÉTICA

MEMORIA

TOMO 1/3



INGIENERÍA INDUSTRIAL

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES INDUSTRIALES

Autor: RICARDO MOYA JARABA

MAYO 2011

Director: ROLAND FORSBERG, Högskolan i Gävle

Codirector: ANDERS HOLMSTEN, AB Gavlegårdarna

Ponente: CARLOS MONNÉ BAILO, C.P.S., Ingeniería Mecánica MMT, Universidad de Zaragoza



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a la Universidad de Zaragoza y al Centro Politécnico Superior por darme la oportunidad de vivir en Gävle, Suecia y estudiar en Högskolan i Gävle.

A la empresa sueca Gavlegårdarna por confiar en mi capacidad como ingeniero y darme la primera experiencia en el mundo laboral, en un entorno internacional.

A mi supervisor de Högskolan i Gävle Roland Forsberg, a mi supervisor de Gavlegårdarna Anders Holmsten y a los profesores de Högskolan i Gävle Mathias Cehlin y Björn Karlsson por su ayuda en este proyecto.

A mi familia, mis padres y mi hermano.

A mis amigos y amigas de toda la vida por apoyarme siempre.

A todos los compañeros y amigos de Högskolan i Gävle Victor, Guillermo, Borja, Jenifer, Maria y muchos más, por todos los especiales momentos vividos en Suecia y por los que nos esperan en el futuro.

A mis compañeros de carrera en especial a Petrus, PepeLu, Tam, Maci, Tony, Larry o Pedro Del Molino, José Luis Martínez, Tamara Méndez, Javier Macipe, Antonio Lorente, Javier Larraz por compartir la carrera conmigo ya que sin vosotros no sería ingeniero industrial.

A Zifei Tang por estar a mi lado.

Gracias.



Ricardo Moya Jaraba



ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y PROPUESTAS PARA SU EFICIENCIA ENERGÉTICA

RESUMEN

Este proyecto ofrece información acerca del consumo energético, pérdidas energéticas y cálculos de las propuestas que la empresa quería cuantificar, además de ofrecer una presentación de la situación energética del país de Suecia y fotografías térmicas mostrando algún detalle de los edificios.

Los resultados y cálculos serán incluidos en el proyecto *Retrofitting together project* del grupo EURHONET, European Housing Network, al que la empresa Gavlegårdarna pertenece.

Los objetivos de este proyecto y el proyecto *Retrofitting together project* así como el de la empresa Gavlegårdarna es reducir el consumo energético de los edificios escogidos para este proyecto y ver su viabilidad económica. Estos objetivos están en concordancia con las políticas ambientales de Suecia.

La gran falta de información sobre los edificios debido a cuestiones internas en la empresa, la antigüedad de estos edificios así como el idioma sueco han supuesto una dificultad añadida al proyecto.

El tiempo también ha sido una dificultad añadida ya que la empresa quería tener los resultados para poder exponerlos en una presentación previa del proyecto *Retrofitting together Project* en Estocolmo, Junio 2010 con otras empresas dedicadas a este proyecto pertenecientes a EURHONET. Este proyecto se presentó tanto en la universidad de Gävle, Högskolan i Gävle, como en la empresa Gavlegårdarna.



Ricardo Moya Jaraba



LISTA DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 | Empresa Gavlegårdarna AB | 11 |
| 1.2 | EURHONET | 12 |
| 1.3 | Alcance del proyecto..... | 14 |
| 1.4 | Limitaciones | 16 |
| 1.5 | Método | 17 |
| 2 | EDIFICIOS DEL PROYECTO..... | 19 |
| 2.1 | Localización | 22 |
| 2.2 | Estructura de los edificios | 24 |
| 2.2.1 | Cimientos..... | 24 |
| 2.2.2 | Muros exteriores | 25 |
| 2.2.3 | Ventanas y puerta de balcones..... | 26 |
| 2.2.4 | Forjado al exterior | 27 |
| 2.2.5 | Forjado al “trastero-ático” | 28 |
| 2.2.6 | Cerramientos “trastero-ático” | 29 |
| 2.3 | Volumen calefactado | 30 |
| 2.3.1 | Glaciärvägen 21 | 30 |
| 2.3.2 | Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26..... | 33 |
| 3 | MARCO TEÓRICO | 37 |
| 3.1 | Sistema de District heating..... | 37 |
| 3.2 | Clima de Gävle y Grados-día o Degree Days..... | 42 |
| 3.3 | Informe energético..... | 46 |
| 3.3.1 | Ratio de energía | 46 |
| 3.3.2 | Consumos | 47 |
| 3.3.3 | Pérdidas | 48 |



| | | |
|-------|---|----|
| 3.4 | Propuesta de mejora de ventanas y puertas de balcones | 53 |
| 3.5 | Propuesta de mejora en el forjado trastero-ático | 53 |
| 3.6 | Propuesta de energía solar..... | 53 |
| 3.7 | Informe económico..... | 54 |
| 3.7.1 | Valor añadido neto (VAN) o <i>Net Present Value (NPV)</i> | 55 |
| 3.7.2 | Plazo de recuperación o Payback..... | 56 |
| 4 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 57 |
| 4.1 | Informe energético: consumos | 57 |
| 4.2 | Informe energético: Pérdidas | 59 |
| 4.3 | Propuesta de mejora de ventanas y puertas de balcones | 61 |
| 4.4 | Propuesta de mejora en el forjado trastero-ático | 62 |
| 4.5 | Propuesta energía solar | 63 |
| 4.6 | Consumo de energía con las propuestas | 65 |
| 5 | CONCLUSIÓN..... | 67 |
| 6 | REFERENCIAS..... | 69 |



LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Requisitos en los edificios | 13 |
| Tabla 2. Losa de cimentación | 24 |
| Tabla 3. Estructura muro trastero | 25 |
| Tabla 4. Estructura muro trastero | 25 |
| Tabla 5. Estructura muro-hormigón | 26 |
| Tabla 6. Estructura muro cortina | 26 |
| Tabla 7. Estructura forjado al exterior | 28 |
| Tabla 8. Estructura forjado “trastero-ático” | 28 |
| Tabla 9. Estructura muros “trastero-ático” | 29 |
| Tabla 10. Estructura tejado “trastero-ático” | 29 |
| Tabla 11. Superficie cerramientos Glaciärvägen 21 | 30 |
| Tabla 12. Volumen calefactado Glaciärvägen 21 | 31 |
| Tabla 13. Superficie cerramientos Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 | 33 |
| Tabla 14. Volumen calefactado Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 | 33 |
| Tabla 15. Temperaturas de Gävle, Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril | 43 |
| Tabla 16. Grados día de calefacción en Gävle en 2008, 2009 y 2010 hasta Abril | 44 |
| Tabla 17. Grados día de calefacción por día, Gävle en 2008, 2009 y 2010 hasta Abril .. | 44 |
| Tabla 18. Temperatura interior en las plantas residenciales | 46 |
| Tabla 19. Área de ventanas y puertas por edificio | 51 |
| Tabla 20. Resumen pérdidas por conducción en Glaciärvägen 21 | 59 |
| Tabla 21. Resumen pérdidas por conducción en Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 .. | 59 |
| Tabla 22. Pérdidas en la red y pérdidas no contabilizadas año 2009 | 60 |
| Tabla 23. Ahorro total con las propuestas en los edificios y ventilación | 65 |
| Tabla 24. Nuevo consumo y ahorro con las propuestas | 65 |
| Tabla 25. Coste energético con el nuevo consumo de las propuestas | 65 |



LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Empresas EURHONET | 12 |
| Figura 2. Fotografía de los edificios, verano (I) | 19 |
| Figura 3. Fotografía de los edificios, verano (II) | 19 |
| Figura 4. Fotografía de los edificios, verano (III) | 20 |
| Figura 5. Fotografía de los edificios, verano (IV) | 20 |
| Figura 6. Fotografía de los edificios, invierno (I) | 21 |
| Figura 7. Fotografía de los edificios, invierno (II) | 21 |
| Figura 8. Gävle en Suecia | 22 |
| Figura 9. Sätra en Gävle | 23 |
| Figura 10. Los edificios en Sätra | 23 |
| Figura 11. Forjado al exterior antes de la remodelación | 27 |
| Figura 12. Forjado al exterior después de la remodelación | 27 |
| Figura 13. Volumen calefactado planta baja Glaciärvägen 21 | 31 |
| Figura 14. Volumen calefactado plantas residenciales Glaciärvägen 21 | 32 |
| Figura 15. Volumen calefactado, sección Glaciärvägen 21 | 32 |
| Figura 16. Volumen calefactado planta baja Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 | 34 |
| Figura 17. Volumen calefactado en las plantas residenciales de Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 | 34 |
| Figura 18. Volumen calefactado sección Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26..... | 35 |
| Figura 19. Modelo district heating | 37 |
| Figura 20. Tuberías de distribución de district heating (I) | 38 |
| Figura 21. Tuberías de distribución de district heating (II) | 39 |
| Figura 22. Tubería suministro district heating | 40 |
| Figura 23. Tubería de retorno de la red district heating | 41 |
| Figura 24. Intercambiador de calor de calefacción | 41 |
| Figura 25. Temperaturas de Gävle, Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril | 43 |



| | |
|---|----|
| Figura 26. Grados día calefacción de Gävle, Normal, 2008, 2009 y 2010* hasta Abril . | 45 |
| Figura 27. Grados día de Gävle por año Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril | 45 |
| Figura 28. Pérdidas en la cimentación | 50 |
| Figura 29. Perdidas en la cubierta | 51 |





1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Empresa Gavlegårdarna AB*

Gavlegårdarna AB es una empresa gestora de vivienda pública y privada. Fundada en 1917 la como empresa pública siendo ahora una empresa privada es actualmente una de las más grandes y antiguas de Suecia. La empresa cuenta con alrededor de 200 empleados y posee 15.800 apartamentos con aproximadamente 30.000 residentes y 1.000 locales comerciales.



Gavlegårdarna

Gavlegårdarna gestiona viviendas antiguas y construye nuevas viviendas en el municipio de Gävle para vender o alquilar, pero la mayoría de las viviendas son puestas en alquiler. Dentro del mercado de alquiler, Gavlegårdarna ofrece viviendas para estudiantes ya sean suecos o de distintos países organizando así campus de estudiantes en distintos puntos de la ciudad.

En los apartamentos de los edificios del proyecto, así como en muchos de los edificios de Gavlegårdarna, el coste de la energía, tanto calefacción, agua caliente como electricidad está incluida dentro del precio del alquiler, esto significa que si el inquilino consume más energía en un mes que en otro el precio del alquiler no se ve afectado, no importa cuanta energía sea consumida, se presupone en el comportamiento del inquilino un uso adecuado de la energía. Esta es una gran razón para buscar una mayor eficiencia energética por parte de las viviendas de Gavlegårdarna. Gavlegårdarna pertenece al grupo de empresas de EURHONET es una red de empresas europeas gestoras de viviendas tanto públicas o privadas.





1.2 EURHONET

“EURHONET es una red de empresas europeas dedicadas a la vivienda tanto de interés social y públicas. Es una red profesional con el objetivo de: desarrollo de proyectos europeos de investigación y desarrollo de métodos innovadores en materia de vivienda social y pública; intercambiando ideas y puntos de referencia entre los miembros; compartiendo experiencias con el fin de modelos de mejora; organizando cursillos y seminarios internacionales relacionados con estas cuestiones, reforzando con debates sobre vivienda pública y social con las autoridades públicas europeas”¹.

Figura 15 muestra la extensión de EURHONET, las empresas, países, etc.

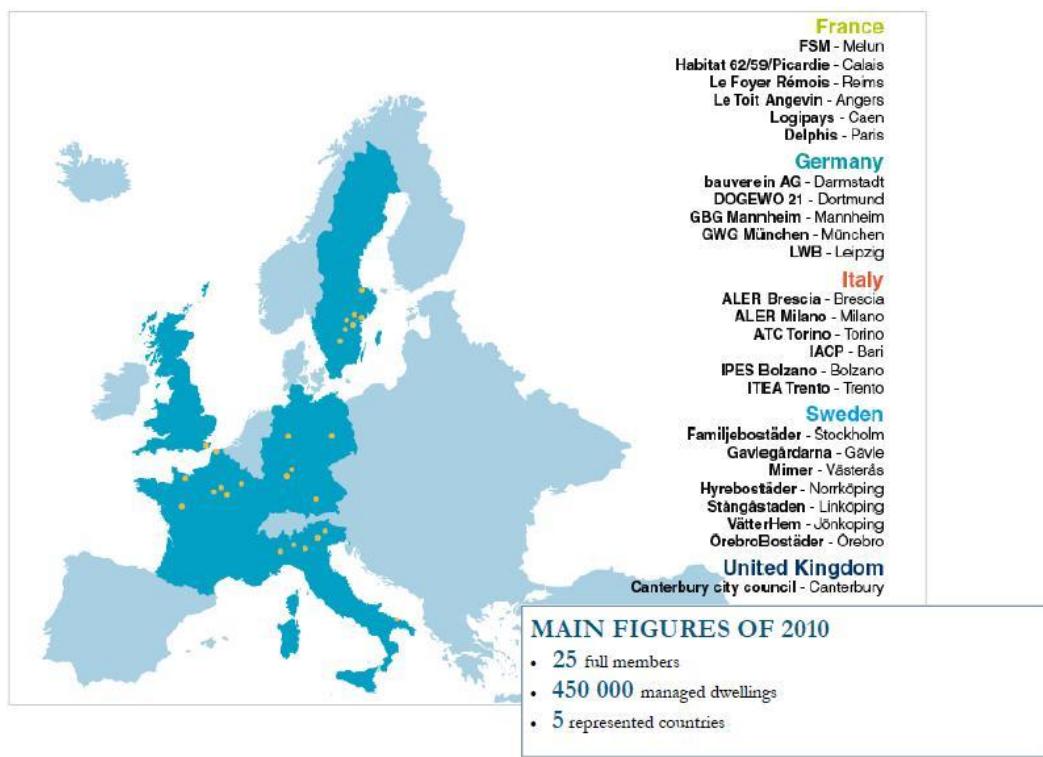


Figura 1. Empresas EURHONET



EURHONET tiene diversos tipos de proyectos, uno de estos proyectos en el cual trabaja Gavlegårdarna se “*retrofitting together Project*” y este mismo proyecto es parte de él. “El proyecto *retrofitting together project* tiene como objetivo comparar los métodos de trabajo y las herramientas de cada empresa de viviendas de EURHONET sobre el proceso de rehabilitación en el contexto de eficiencia energética. En cada paso, los mejores métodos de trabajo serían identificados y evaluados con el fin de ser compartidos entre los demás compañeros. La implicación de los conocimientos será comprobada y evaluada sobre casos pilotos y el resultado de su adaptación sería la mejora de la eficiencia energética a la vez que se reducirían los costes energéticos”¹.

Retrofitting together project tiene unos requisitos para los edificios que pueden ser incluidos dentro del proyecto. La Tabla 1 muestra los requisitos que deben cumplir los edificios así como unos objetivos aproximados como reducción de energía y costes por los que EURHONET establece como posible marca.

| | Multi apartment | Individual Housing |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Shape | 1970's/ with balconies | simple |
| Size | Minimum 3 stories | |
| Initial Energy consumption | High Energy Consumption >200 kwh | |
| Objective energy | reduction of 50% to 60% | |
| Materials | Concrete | |
| Cost | < 1/3 actual new construction | |

Tabla 1. Requisitos en los edificios (*)

Los resultados de este proyecto, Informe energético de edificios residenciales y propuestas para su mejora energética, fueron presentados en una reunión de EURHONET inicial sobre *retrofitting together project* en Estocolmo, Junio 2010, por Andres Holmsten, director de este proyecto y de *retrofitting together project* de Gavlegårdarna AB.

¹ EURHONET Association, <http://www.eurhonet.eu/#/home/>

(*) Initial Energy Consumption: High Energy Consumption >200 kWh/m² por año



1.3 Alcance del proyecto

El objetivo es ofrecer a la empresa, Gavlegårdarna:

- Un análisis energético sobre las pérdidas y consumos de tres edificios antiguos, Glaciärvägen 21, Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26.
- Un cálculo de tres propuestas de mejora energética que la empresa quiere estudiar.
- Un breve y aproximado impacto económico de las propuestas, citando un ejemplo de inversión a realizar, ahorro en la factura energética, valores de pay-back y VAN.
- Una introducción sobre la situación energética de Suecia y del resto del mundo de la energía relacionada a los edificios residenciales.

La finalidad de estos puntos se traduce en:

- Conseguir una reducción del consumo energético de los edificios.
- Identificar dónde se encuentran las mayores pérdidas, dónde se encuentran pérdidas excesivas para poder reducirlas.
- Reducir el impacto ambiental de los edificios y por tanto de la empresa con el medio ambiente como propone la Estrategia energética de Suecia en proyecto de ley del Gobierno no. 2008/09: 162.
- Incrementar si es posible el beneficio económico de la empresa gracias al ahorro energético que las propuestas proporcionarán.
- Disponer de una introducción sobre la situación energética de Suecia y del resto del mundo de la energía relacionada a los edificios residenciales, necesaria para Gavlegårdarna, para poder exponerla en próximas reuniones de EURHONET.



Las propuestas de Gavlegårdarna a estudiar son:

- Cambio de las actuales ventanas por otras con una trasmisión térmica acorde, debido a la antigüedad y alta transmisión térmica de estas.
- Estudio de pérdidas y búsqueda de solución en la última planta residencial de los edificios. Transmisión del calor de la última planta residencial a la última planta del edificio dedicada a trasteros de los vecinos, material de mantenimiento del edificio y cuartos de infraestructura del edificio.
- Estudio para la aplicación de la energía solar en el uso de ACS, para utilizar la máxima cantidad posible de esta energía en el uso de ACS.

No entra dentro del alcance del proyecto:

- Estudio de pérdidas por ventilación ni el estudio de mejora de esta, debido a que forma parte de otro proyecto de Gavlegårdarna, pero su resultado final se menciona en este proyecto.
- Las pérdidas de calor de los apartamentos a los rellanos en los edificios residenciales.
- Las pérdidas de calor de los apartamentos y de los trasteros de planta baja a las demás dependencias de la planta baja, como rellano, apartamentos de visita, lavandería o zonas sin uso.
- El estudio del edificio Pinnmovägen 24, aunque es relevante para el proyecto y se muestra información sobre él, debido a que es un edificio de reciente remodelación con el objetivo de aumentar el número de inquilinos.

El motivo de no estudiar las pérdidas de calor de los apartamentos a los rellanos en los edificios residenciales y las pérdidas de calor de los apartamentos y de los trasteros de planta baja a las demás dependencias de la planta baja, como rellano, apartamentos de visita, lavandería o zonas sin uso es debido a que Gavlegårdarna remodelara esas zonas, cambiara la distribución del rellano del hueco de escalera y el ascensor para hacerlo accesible a personas de menor movilidad al igual que las zonas de la planta baja no solo por este motivo sino porque además esperan remodelar estas dependencias, para construir quizás más apartamentos de visita o zona de ocio como gimnasio o simplemente como aparcamiento interior de bicicletas.

Estos resultados se compartirán con otras empresas pertenecientes del grupo EURHONET, european housing network.



1.4 Limitaciones

Dentro de las limitaciones de este proyecto se mencionan falta de información por parte de la empresa como planos o información técnica del edificio, referida a su estructura debido a la antigüedad de los edificios cambios producidos dentro de la empresa e incluso incendios sufridos en la ciudad en el pasado, un claro ejemplo es el informe proporcionado por la empresa describiendo brevemente algunas características generales del edificio.

Refiriéndose también a la falta de información hay que mencionar las mediciones por parte de la empresa de los consumos energéticos de *district heating* ya que estos dan una información conjunta por grupos de edificios, Glaciärvägen 21 y 23 por un lado y por otro Pinnmovägen 24 y 26, y no por edificio.

En el apartado económico de las propuestas del proyecto fue muy difícil encontrar empresas interesadas a dar un presupuesto a pesar de ser un proyecto para una empresa importante y conocida debido a la condición de pertenecer a la universidad y sobre todo por ser estudiante extranjero.

El idioma sueco fue otra dificultad y una barrera que se tuvo que superar para poder entender tanto planos del edificio como información proporcionada por la empresa en datos o informes, también el fue un reto trabajar con instalaciones de edificios totalmente diferentes a las utilizadas en España como *district heating*, ventilación, clima muy diferente y cultura.



1.5 Método

El método seguido en el proyecto fue primero llegar a un acuerdo con la empresa Gavlegårdarna sobre los objetivos, plazos y medios para la realización del proyecto. Posteriormente la empresa fue facilitando la información necesaria y la información solicitada sobre los edificios, clima, etc.

Más adelante se pudo elaborar un análisis aproximado de consumos energéticos de *district heating* y agua caliente sanitaria tanto por edificio y por apartamento para los años 2008 y 2009. Con este análisis se calculó la cuantía económica que supuso esta energía. Pero la climatología cambia cada año así que es necesario tener un año de referencia, un año “normal”, para poder comparar estos gastos energéticos, este año “normal” es una media del intervalo de años entre 1931 a 1960.

Una vez que fueron presentados estos datos a la empresa Gavlegårdarna me presentaron las propuestas de mejoras que querían que analizara además de presentarme el proyecto “*retrofitting together project*” de EURHONET, los resultados debían de estar finalizados para la primera semana de Junio 2010 ya que mi supervisor de la empresa Anders Holmsten tenía una reunión en Estocolmo con las otras empresas participantes de *retrofitting together project* ese mes. También me ofreció que colaborara en toma de datos de ventilación y en captura de imágenes térmicas.

Cumpliendo los plazos se presentaron a la empresa los resultados de las propuestas además del análisis de los consumos de energía y de las perdidas térmicas de los edificios. La empresa quedó satisfecha de la presentación y junto con Anders Holmsten elaboramos la presentación de la empresa en la reunión de EURHONET en Estocolmo.

Para la realización del proyecto fue necesaria la colaboración del profesor Björn Karlsson, Mathias Chelinn y por supuesto el supervisor de la universidad Roland Forsberg y el supervisor de la empresa Anders Holmsten. En el proyecto se utilizaron los programas informáticos *IDA Indoor climate and energy 3.0* y *WinSun*, programas de la Universidad de Gävle, Högskolan i Gävle.



2 EDIFICIOS DEL PROYECTO

Los edificios de este proyecto, Análisis energético de edificios residenciales y propuestas para su eficiencia energética, fueron construidos en 1966 con hormigón como principal material constructivo. Los edificios son de cuatro plantas mas planta baja y con balcones, por lo tanto estos requisitos los cumple para poder ser incluidos en el *retrofitting together project* de EURHONET, más adelante se mostrara que el consumo energético es mayor que 200kWh/m²año.



Figura 2. Fotografía de los edificios, verano (I)



Figura 3. Fotografía de los edificios, verano (II)



Figura 4. Fotografía de los edificios, verano (III)



Figura 5. Fotografía de los edificios, verano (IV)



Figura 6. Fotografía de los edificios, invierno (I)



Figura 7. Fotografía de los edificios, invierno (II)

2.1 Localización

Los edificios del proyecto son tres edificios del municipio sueco de Gävle. Dentro de la ciudad de Gävle están situados en el barrio llamado Sätra. En las figuras 22, 23 y 24 se muestra la localización de Gävle en Suecia, el barrio de Sätra y la localización de los edificios dentro del barrio. El nombre de las calles de estos son: Glaciärvägen 23, para el edificio número 1, Glaciärvägen 21 para el edificio número 2 y Pinnmovägen 26 para el edificio número 3, el cuarto edificio situado al lado de estos tres corresponde a Pinnmovägen 24, que no entra dentro del alcance del proyecto pero que es necesario su mención en diversas partes del proyecto.



Figura 8. Gävle en Suecia



Figura 9. Sätra en Gävle

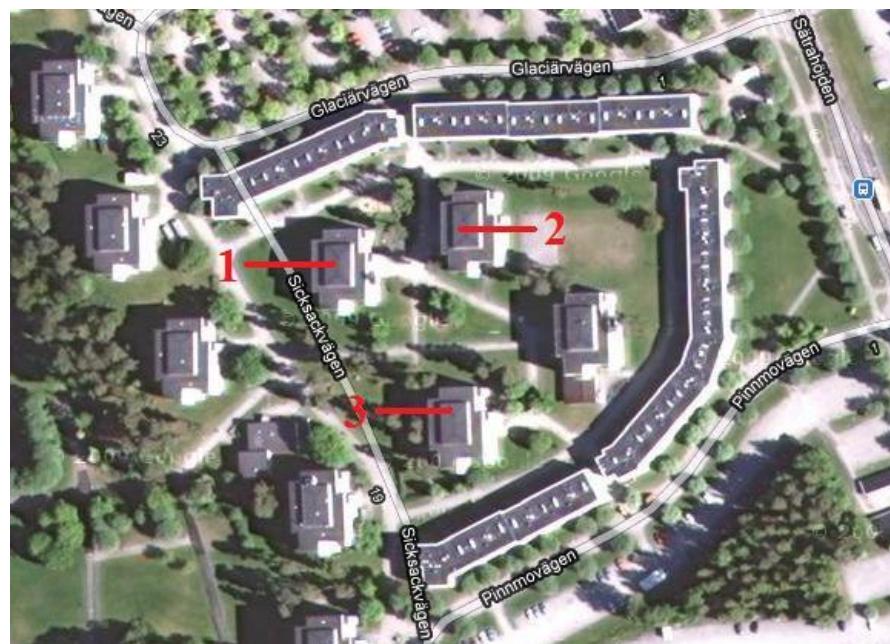


Figura 10. Los edificios en Sätra

Los planos de los edificios se encuentran en el tomo 3/3 - Apéndice. Son edificios de cuatro plantas residenciales con seis apartamentos por planta de distintos metros cuadrados, con una planta de trasteros como quinta planta y con planta baja en la que se ubican más trasteros, apartamentos de “visitas” y zonas comunes del edificio, como lavandería en el caso de Glaciärvägen 23 y zonas inhabilitadas que estos espacios de la planta baja excepto los trasteros quedan excluidos del alcance del proyecto.



El edificio Pinnmovägen 24 se encuentra al lado de Pinnmovägen 26, número 3, en el que posé dos lavanderías, una para el propio edificio y otra común para el resto de la comunidad y un local anexionado que es un centro de una asociación de estudiantes de la universidad de Gävle y que en ocasiones funciona como centro de ocio o bar.

2.2 Estructura de los edificios

La información dada por Gavlegårdarna no era completa debido a la antigüedad de estos ya que la empresa no tenía todos los planos, debido a grandes incendios en la ciudad y también al cambio de empresa pública a privada. Planos de detalles constructivos para poder saber exactamente qué tipo de pared y forjado existe en todas las partes del edificio no fue posible trabajar con ellos ya que la empresa no los tenía, solo un único plano de detalles, un informe corto y antiguo y gracias a la ayuda del coordinador de la empresa, Anders Holmsten y el coordinador de la Universidad de Gävle, Roland Forsberg, trabajador también de la empresa de construcción SWECO AB, se dedujeron el tipo de cerramientos y detalles necesarios para la establecer la estructura del edificio necesaria para este proyecto. La estructura de los cerramientos de los muros esta especificada desde el exterior al interior del edificio.

2.2.1 Cimientos

En el corto informe no se da mucha información sobre los cimientos. Se compone de una losa de cimentación de la misma área que el de la planta baja. La composición se dedujo a través de un pequeño detalle constructivo no muy claro y del informe. La empresa Gavlegårdarna estuvo satisfecha con esta decisión.

| Losa de cimentación | |
|------------------------|-----|
| | mm |
| Hormigón | 160 |
| Hormigón ligero | 320 |
| Recubrimiento | < 1 |
| Total | 480 |

| | |
|-----------------------------|------|
| K [W/m²K] | 0.41 |
|-----------------------------|------|

Tabla 2. Losa de cimentación

2.2.2 Muros exteriores

“Muro trasteros”, es el cerramiento vertical exterior que separa la zona de trasteros de la planta baja y el ambiente exterior. En las plantas residenciales hay distintos tipos de muros, “muro hormigón”, “muro hormigón-madera”, se sitúan alrededor de las ventanas y se puede observar en las fotografías del apartado “Edificios del proyecto” y por último “muro cortina” que está situado en los balcones al lado de la puerta del balcón y por debajo de las ventanas. El material principal de este tipo de “muro cortina” es aislamiento.

| Muro trasteros | |
|------------------------|-----|
| | mm |
| Yeso | 25 |
| Hormigón ligero | 350 |
| Yeso | 25 |
| Total | 400 |

$$\mathbf{K \text{ [W/m}^2\text{K]}} \quad 0.3662$$

Tabla 3. Estructura muro trastero

| Muro hormigón-madera | |
|-----------------------------|-----|
| | mm |
| Madera | 20 |
| Aislamiento ligero | 45 |
| Hormigón ligero | 200 |
| Yeso | 13 |
| Total | 278 |

| K [W/m²K] | 0.3384 |
|-----------------------------|--------|
|-----------------------------|--------|

Tabla 4. Estructura muro-hormigón



| Muro hormigón | |
|------------------------|-----|
| mm | |
| Yeso | 25 |
| Hormigón ligero | 250 |
| Yeso | 25 |
| Total | 300 |

K [W/m²K] 0.4845

Tabla 5. Estructura muro hormigón

| Muro cortina | |
|---------------------------|----|
| mm | |
| Madera | 20 |
| Aislamiento ligero | 45 |
| Yeso | 13 |
| Total | 78 |

K [W/m²K] 0.6165

Tabla 6. Estructura muro cortina

2.2.3 Ventanas y puerta de balcones

Las ventanas y puertas de balcones de esta sección se refieren a las situadas en las plantas residenciales. Todas las ventanas poseen un radiador de bajo de estas como se puede ver en las fotografías térmicas, y nunca hay una ventana sin un radiador debajo ni un radiador puesto en otro sitio que no sea debajo de una ventana a excepción del baño que no posee ventanas y son radiadores eléctricos. Las puertas de balcones solo se refieren a las que comunican los apartamentos con los balcones. La transmitancia K está tomada de acuerdo corto informe mencionado anteriormente, aunque el coordinador de la empresa no está muy conforme con este, debido a que supone que es mayor, pero aconsejo la utilización de este valor ya que es el único que tienen registrado.

K [W/m²K]: 2.7

2.2.4 Forjado al exterior

Corresponde a la estructura que separa horizontalmente los apartamentos de la última planta y el exterior. Fue mejorado con posterioridad a su construcción inicial del edificio. Aquí se muestra la estructura con su mejora en la tabla 7 mientras que en las siguientes figuras se puede observar el cambio la mejora ya que anteriormente no tenía nada de aislante era un espacio vacío.

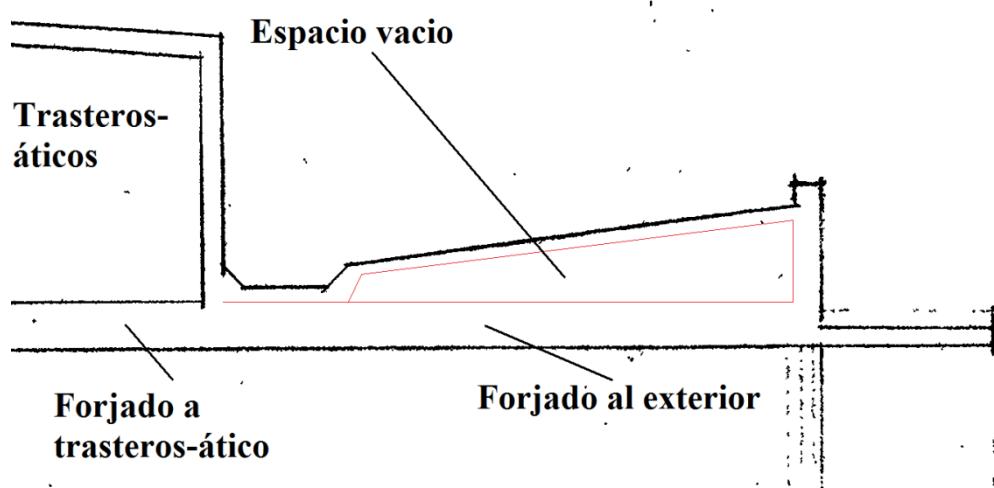


Figura 11. Forjado al exterior antes de la remodelación

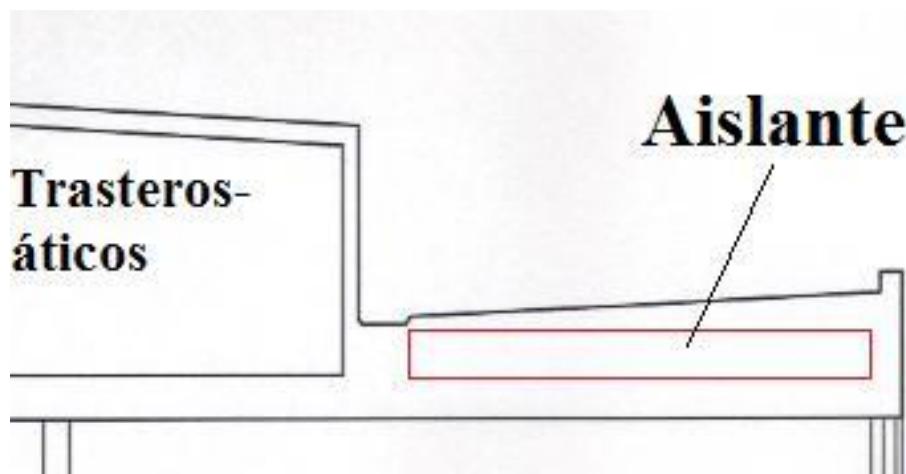


Figura 12. Forjado al exterior después de la remodelación



| Forjado al exterior | |
|-------------------------------------|-------|
| | mm |
| Asfalto recubierto de cartón | - |
| Madera | 20 |
| Aislante ligero | 450 |
| Hormigón | 400 |
| Total | 870 |
| K [W/m²K] | 0.078 |

Tabla 7. Estructura forjado al exterior

2.2.5 Forjado al “trastero-ático”

Es el forjado que separa los apartamentos de la última planta con la zona denominada “trasteros-ático”. Este espacio del edificio se sitúa encima de la última planta de viviendas y es de una superficie menor en comparación a la planta del edificio. Los “trasteros-ático” están ocupados por trasteros de los apartamentos, como los trasteros de la planta baja y con zonas comunes del edificio como por ejemplo, cuarto de ascensor y habitación de ventilación. La diferencia entre los trasteros situados en “trasteros-áticos” y los ubicados en la planta baja es que en la planta baja el espacio esta calefactado y los ubicados por encima de las plantas residenciales no, pero los dos tipos de trasteros están muy ventilados, por lo tanto en los trasteros-ático la temperatura es muy baja en invierno.

| Forjado “trastero-ático” | |
|---------------------------------|-----|
| | mm |
| Hormigón | 400 |
| Total | 400 |

Tabla 8. Estructura forjado “trastero-ático”



2.2.6 Cerramientos “trastero-ático”

Los cerramientos del trastero ático tanto los verticales como los horizontales, están compuesto de la misma estructura según se detalla en el informe y se llegó a un acuerdo con el coordinador de la empresa.

| Muros trastero-ático | |
|-----------------------------|-----|
| mm | |
| Madera | 20 |
| Aislamiento | 100 |
| Madera | 20 |
| Total | 140 |

$$\mathbf{K} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad 0.32$$

Tabla 9. Estructura muros “trastero-ático”

| Tejado trastero-ático | |
|-------------------------------------|-----|
| mm | |
| Asfalto recubierto de cartón | - |
| Madera | 20 |
| Aislamiento | 100 |
| Madera | 20 |
| Total | 140 |

$$\mathbf{K} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad 0.32$$

Tabla 10. Estructura tejado “trastero-ático”



2.3 Volumen calefactado

Volumen calefactado se define como aquel volumen del edificio que esta calefactado y es objeto de estudio del proyecto. En este proyecto el volumen calefactado de estudio es la superficie de las plantas residenciales excluyendo el rellano y la zona de trasteros de la planta baja. Es necesario para el *retrofitting together project* mostrar el ratio entre superficie de cerramientos al exterior del volumen calefactado entre el volumen calefactado, así como un plano del edificio señalando cual es el volumen calefactado. La fórmula expresada en el proyecto de EURHONET es:

$$\frac{\text{Superficie de cerramientos verticales + horizontales } [m^2]}{\text{Volumen calefactado } [m^3]}$$

2.3.1 Glaciärvägen 21

| Superficie cerramientos | | | |
|-------------------------|--------------|------------|------------------------|
| Verticales | | | |
| | Longitud [m] | Altura [m] | Área [m ²] |
| Plantas residenciales | | | |
| Norte | 20,5 | 11,0 | 226,32 |
| Este | 30,4 | 11,0 | 335,62 |
| Sur | 20,5 | 11,0 | 226,32 |
| Oeste | 30,4 | 11,0 | 335,62 |
| Trasteros | | | |
| Norte | 11,4 | 2,5 | 28,50 |
| Este | 25,6 | 2,5 | 64,00 |
| Sur | 7,3 | 2,5 | 18,25 |
| Oeste | 0 | 2,5 | 0,00 |
| Horizontales | | | |
| Cubierta | | | 448 |
| Total | | | 1683 |

Tabla 11. Superficie cerramientos Glaciärvägen 21

Volumen calefactado

| | Área [m ²] | Altura [m] | Volumen [m ³] |
|------------------------------|------------------------|------------|---------------------------|
| Trasteros | 216 | 2,5 | 540 |
| Plantas residenciales | 448 | 10,0 | 4483 |
| Total | | | 5023 |

Tabla 12. Volumen calefactado Glaciärvägen 21

$$Ratio = \frac{\text{Superficie de cerramientos verticales + horizontales [m}^2\text{]}}{\text{Volumen calefactado [m}^3\text{]}} = 0.34$$

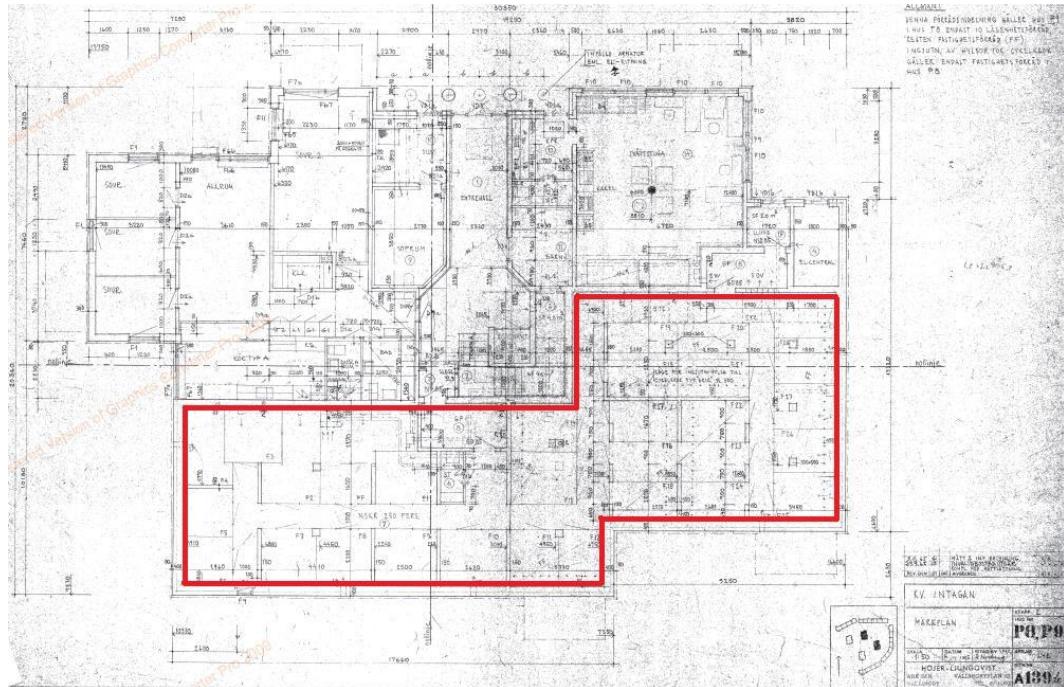


Figura 13. Volumen calefactado planta baja Glaciärvägen 21

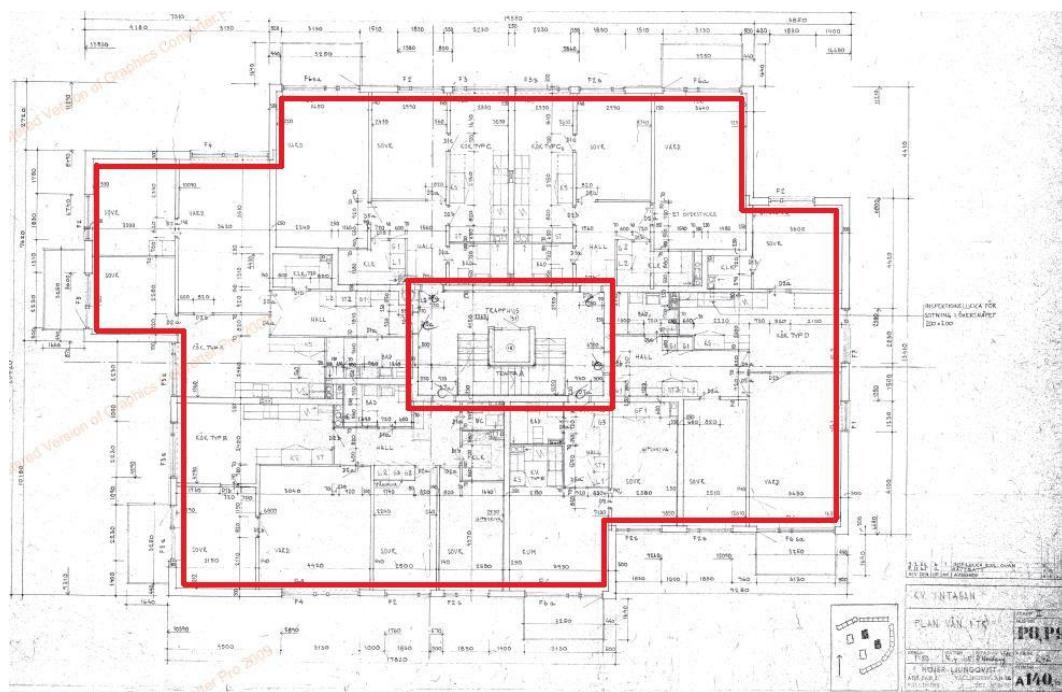


Figura 14. Volumen calefactado plantas residenciales Glaciärvägen 21

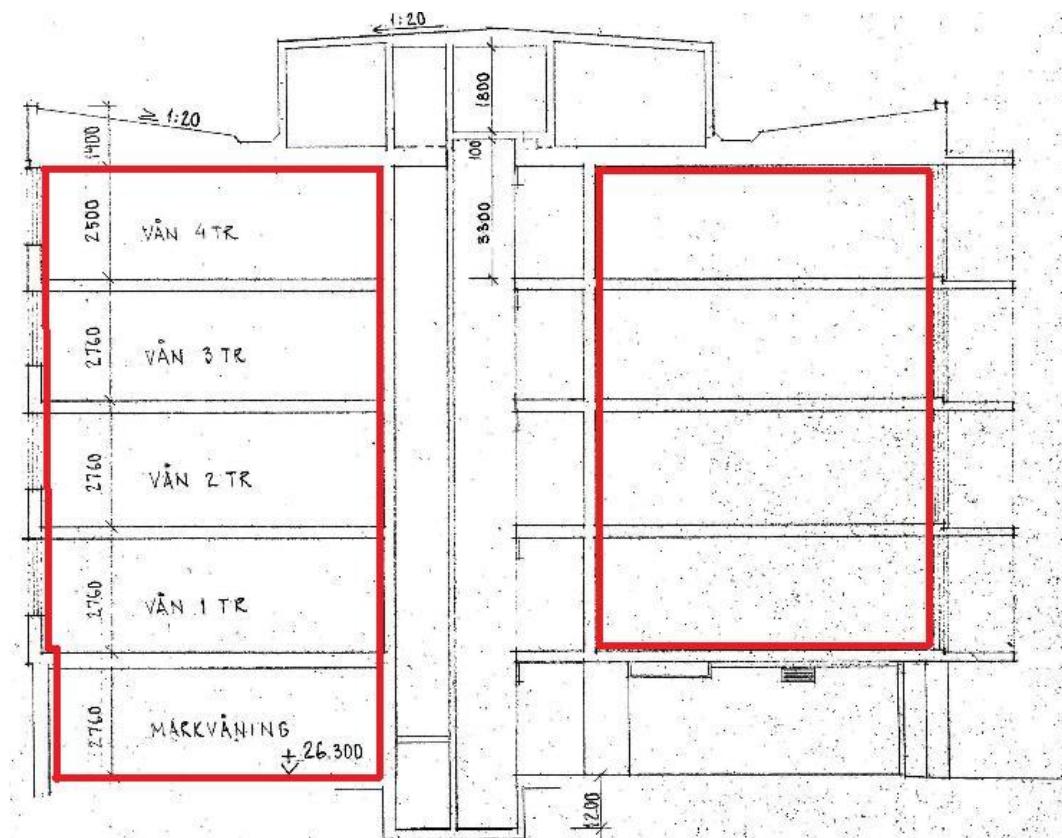


Figura 15. Volumen calefactado, sección Glaciärvägen 21



2.3.2 Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

| Superficie cerramientos | | | |
|--------------------------------|------------|------------|------------------------|
| Verticales | | | |
| | Length [m] | Height [m] | Area [m ²] |
| Plantas residenciales | | | |
| Norte | 20,5 | 11,0 | 226,32 |
| Este | 30,4 | 11,0 | 335,62 |
| Sur | 20,5 | 11,0 | 226,32 |
| Oeste | 30,4 | 11,0 | 335,62 |
| Trasteros | | | |
| Norte | 17,8 | 2,5 | 44,50 |
| Este | 9,5 | 2,5 | 23,75 |
| Sur | 0 | 2,5 | 0,00 |
| Oeste | 16 | 2,5 | 40,00 |
| Horizontales | | | |
| Cubierta | | | 447 |
| Total | | | 1679 |

Tabla 13. Superficie cerramientos Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

| Volumen calefactado | | | |
|------------------------------|------------------------|------------|---------------------------|
| | Área [m ²] | Altura [m] | Volumen [m ³] |
| Trasteros | 167 | 2,5 | 417,5 |
| Plantas residenciales | 447 | 10,0 | 4473 |
| Total | 4891 | | |

Tabla 14. Volumen calefactado Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Superficie de cerramientos verticales + horizontales [m}^2\text{]}}{\text{Volumen calefactado [m}^3\text{]}} = 0.34$$

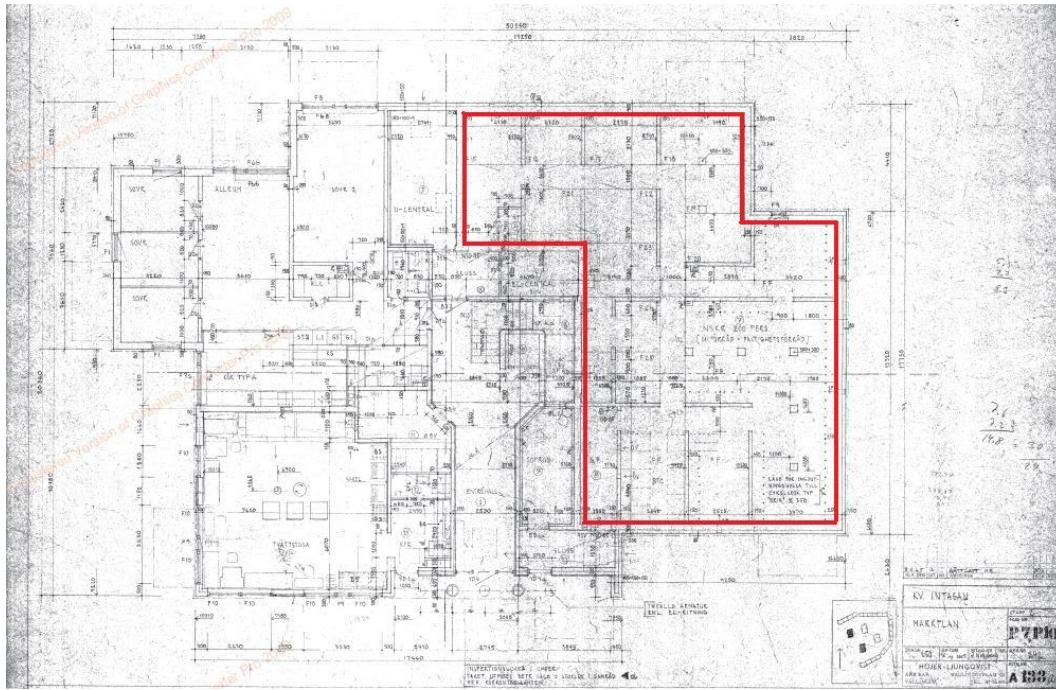


Figura 16. Volumen calefactado planta baja Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

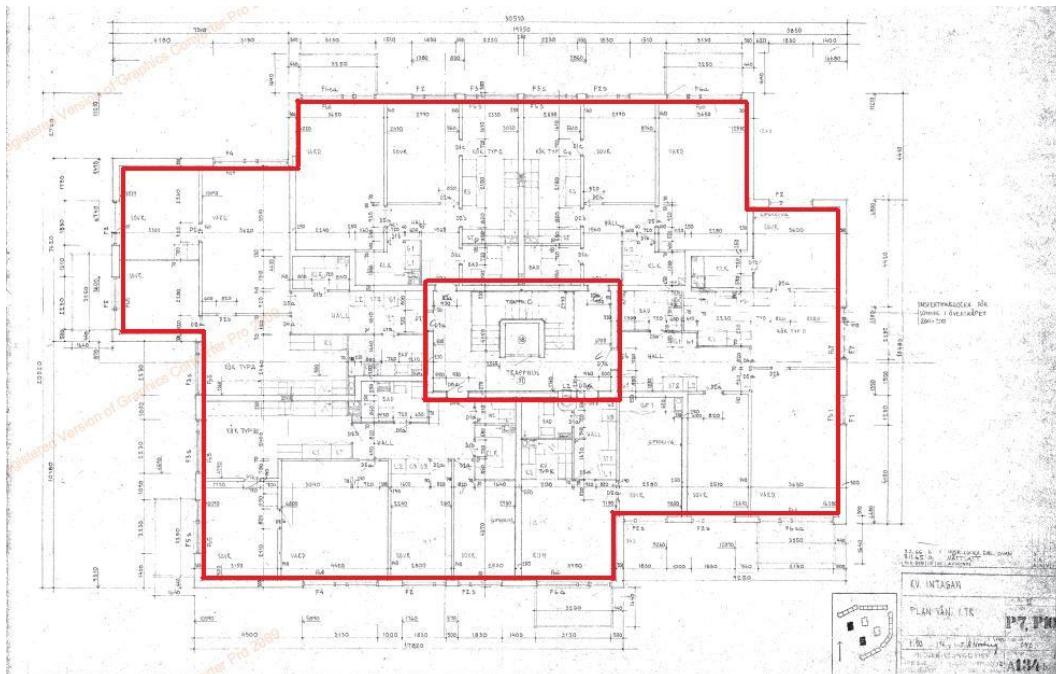


Figura 17. Volumen calefactado plantas residenciales Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

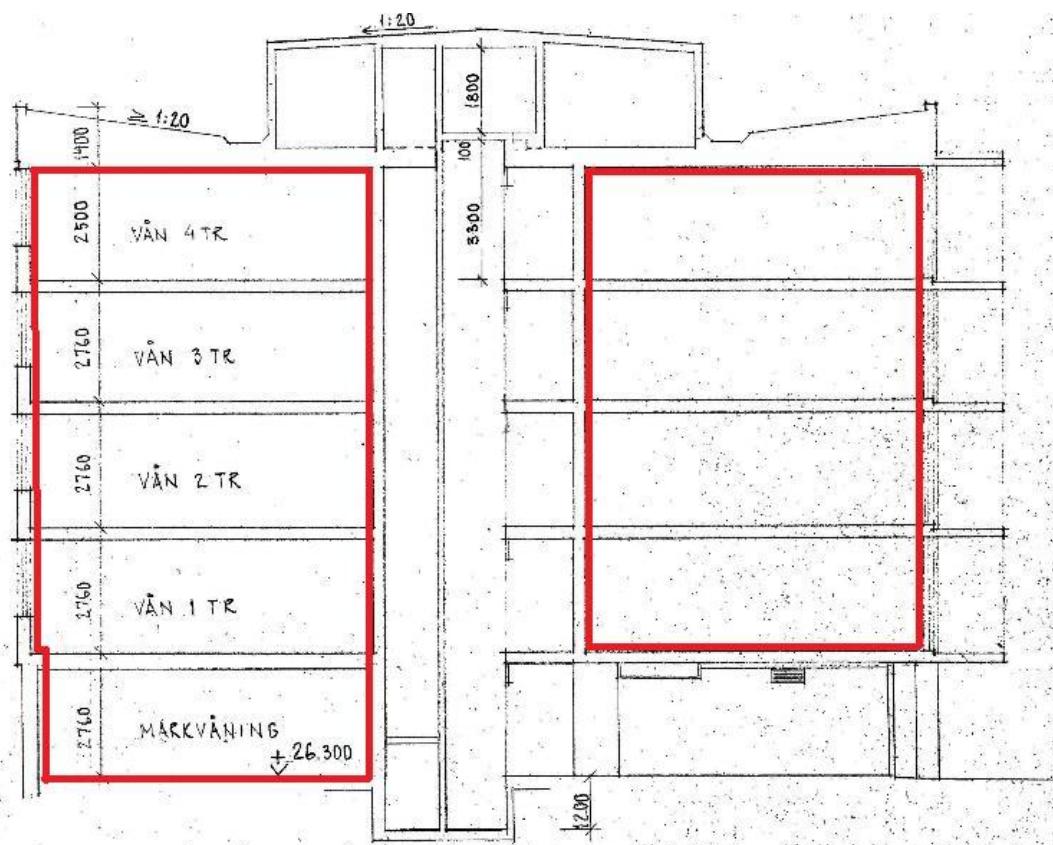


Figura 18. Volumen calefactado sección Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26



3 MARCO TEÓRICO

3.1 Sistema de *District heating*

El sistema de calefacción de district heating proporciona energía térmica a los edificios para calefacción y agua caliente sanitaria. La energía proviene de una planta para consumirla es necesario un intercambiador de calor en el edificio. La electricidad otra energía consumida por los edificios residenciales se obtiene de la red eléctrica general de Gävle.

Como consecuencia de este sistema los edificios no tienen una caldera que necesitan ser abastecida gas natural ni gasoil u otros tipos de energía primaria. Gävle Energi AB es la empresa que suministra esta energía por medio de una planta de cogeneración siendo el calor su producto principal situada a las afueras de la ciudad y junto con otras pequeñas plantas de refuerzo dentro de la ciudad distribuyen el calor a lo largo de toda la ciudad por el subsuelo. En la Figura 19 se observa la filosofía de *district heating* además de *district cooling*.

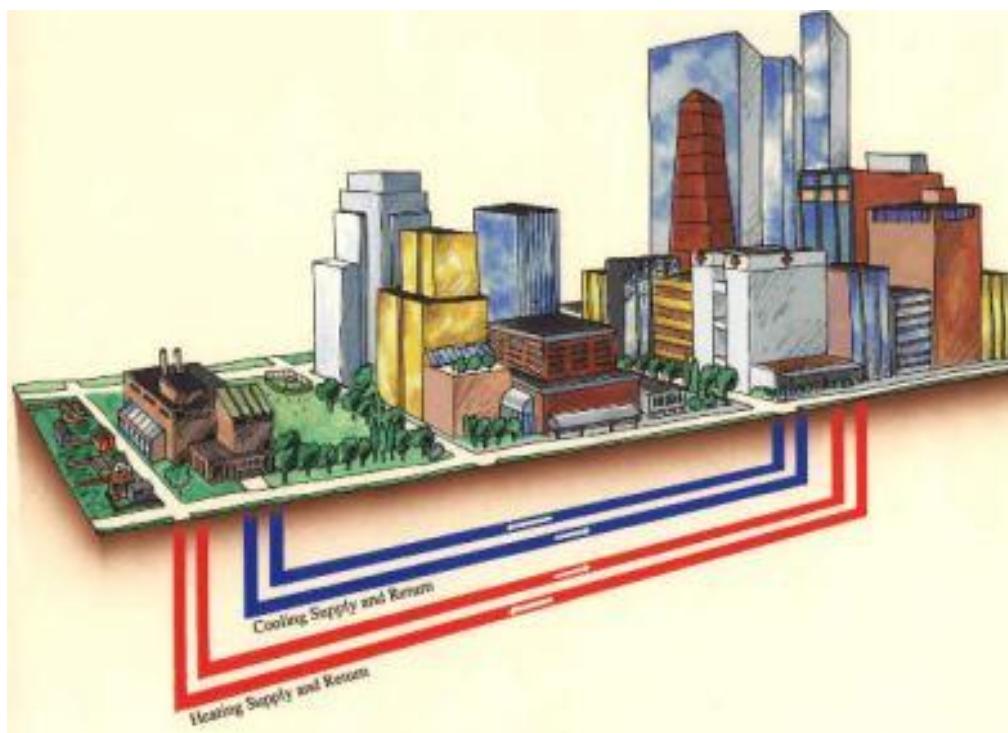


Figura 19. Modelo district heating

Esta empresa utiliza como combustible mayoritariamente biomasa que proviene de la madera. La temperatura de distribución la elige la propia compañía según el clima que ellos prevén en su central, puede tomar temperaturas máximas en invierno de 110° a 120°C. Esta agua caliente o incluso vapor fluye por toda la ciudad a través de una red de tuberías con una gran cantidad de aislante para poder reducir las pérdidas de calor lo máximo posible en las grandes distancias que tienen que recorrer. Este tipo de tuberías se encuentran bajo tierra como una instalación urbana más.

La red de *district heating* que proporciona la energía a los edificios se muestra en el tomo 3/3 – Apéndice. Se puede observar que la red tiene dos entradas a los edificios Glaciärvagen 23 y al Pinnmovägen 26. Estos edificios tienen una *district heating room* en el que intercambian el calor suministrado. Glaciärvagen 23 por tanto suministra al propio edificio y además al Glaciärvagen 21, lo mismo ocurre con los otros dos. Pinnmovägen 26 recibe el calor por parte de la empresa, se intercambia en la *district heating room* y la distribuye tanto al propio edificio como al Pinnmovägen 24.

La conexión entre los edificios Glaciärvagen 23 y 21 al igual que entre Pinnmovägen 26 y 24 se produce a través de unas tuberías en el subsuelo que no son propiedad de la empresa son de la empresa Gavlegårdarna por eso no figuran el plano de la red de Gävle Energi. En las siguientes figuras se observan un ejemplo de tuberías de distribución de la red *district heating*.



Figura 20. Tuberías de distribución de district heating (I)



Figura 21. Tuberías de distribución de district heating (II)

Como se puede observar en las figuras de las tuberías estas han de estar recubiertas con bastante aislante para que se produzcan las menores perdidas de calor posibles.

En las *district heating rooms* de los edificios Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26 hay tres intercambiadores de calor, tomando el caso de Glaciärvägen 23 por ejemplo, uno es para la calefacción de Glaciärvägen 23 y otro de igual tamaño para la calefacción de Glaciärvägen 21, el tercer intercambiador de calor restante de menor tamaño es para el agua caliente sanitaria de los dos edificios. Los intercambiadores para calefacción extraen la energía de la red de *district heating* luego se distribuye por los apartamentos y cuando han cedido el calor las viviendas retornan al intercambiador de calor para volver a tomar energía de la red de *district heating*.

En el caso del intercambiador de calor para el agua caliente también toman la energía de suministrada por la red de *district heating*. La red de suministro de agua de Gävle entra al intercambiador de calor y esta la calienta para su distribución para los dos edificios. Este funcionamiento se utiliza también en la *district heating room* de Pinnmovägen 26.

La medición del gasto energético se produce en las tuberías de la red global de *district heating* y la empresa no tiene o están deteriorados otros medidores, por ejemplo en las entradas de los intercambiadores.

Los planos técnicos de la *district heating room* no fueron proporcionados por la empresa pero en las siguientes Figuras se observa el interior de una de las *district heating rooms*, en la Figura 22 se observa la tubería de suministro de la red *district heating* recubierta de aislante y en la parte de abajo se encuentra la tubería de retorno de la red *district heating*, también se puede observar al supervisor de la universidad Roland Forsberg. En la Figura 36 se observa un intercambiador de calor de calefacción de un edificio y al alumno Ricardo Moya observando atentamente.



Figura 22. Tubería suministro district heating



Figura 23. Tubería de retorno de la red district heating



Figura 24. Intercambiador de calor de calefacción



3.2 Clima de Gävle y Grados-día o Degree Days

En esta sección se informa sobre el clima “normal” de Gävle en comparación con las temperaturas en 2008 y 2009 y algunos meses del 2010. Para comparar el distinto impacto del clima en estos años se utiliza el concepto de grados-día o *degree days*.

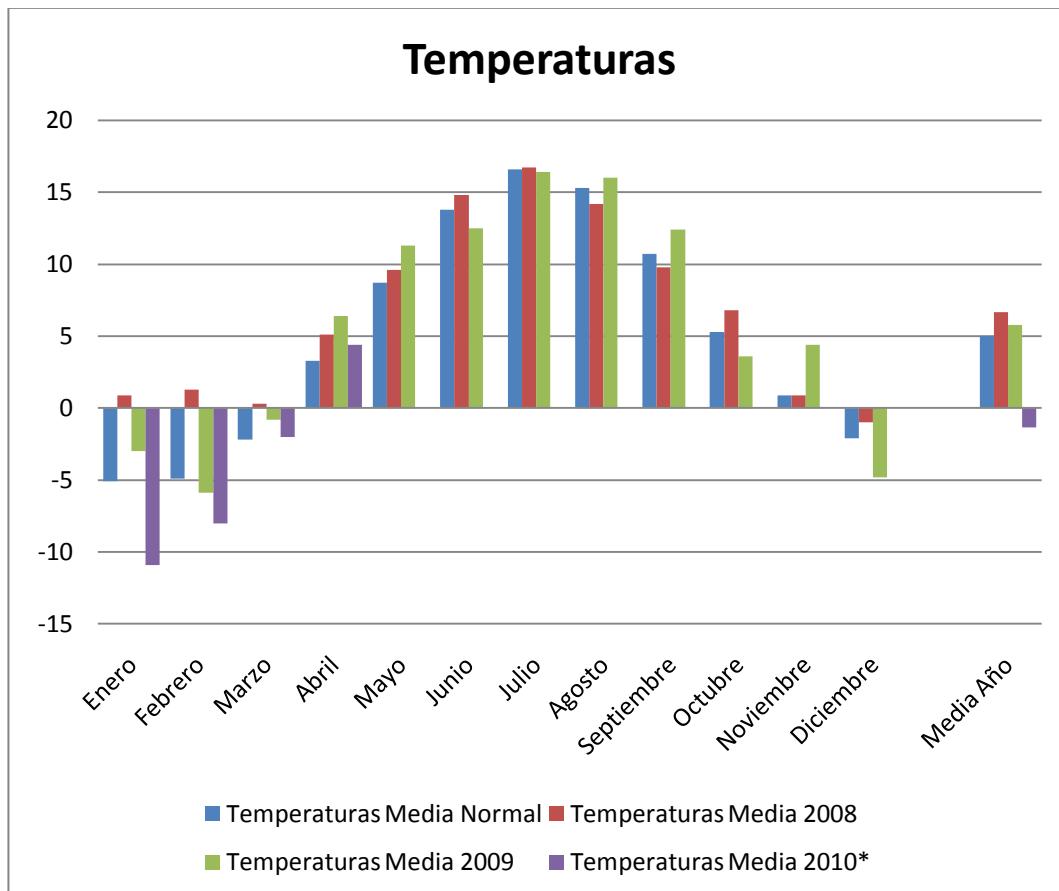
Los grados-día es una manera diferente de dar datos meteorológicos, calculados a partir de lecturas del aire exterior. Hay tres tipos principales de grados-día: grados-día de calefacción o *heating degree days (HDD)*, grados-día de refrigeración o *cooling degree days (CDD)*, y grados-día de crecimiento o *growing degree days (GDD)*. En el proyecto solo son necesarios los grados-día de calefacción. Los grados-día de calefacción es una medida de cuánto (en grados) y de cuánto tiempo (en días), la temperatura exterior del aire está por debajo de un cierto nivel o una temperatura base. Este tipo de medida es comúnmente utilizado en el cálculo relacionado con la energía consumida para calefactar edificios.²

La temperatura base escogida para el cálculo puede ser diferente en invierno y en verano. Los grados-días de calefacción proporcionados por la empresa Gavlegårdarna que ellos utilizan tienen una temperatura base de 17°C in la estación de invierno y 11°C la estación de verano. Verano corresponde desde mitad de Mayo hasta mitad de Septiembre, el resto del año corresponde a invierno. Las temperaturas de 17°C y 11°C elegidas por Gavlegårdarna son estas ya que la empresa asume un incremento de 3°C en invierno debido al calor interno procedente de iluminación, aparatos electrónicos como ordenadores y el correspondiente a las personas. En verano además se añade la radiación solar por tanto se asume un incremento de 9°C, hay que tener en cuenta que las ventanas no tienen persianas solo cortinas y durante el periodo de verano hay casi 19 horas de sol al día. La temperatura en el interior de del edificio se asume a 20°C en invierno y en verano se asume a 20°C también excepto para los meses de verano con una temperatura media superior a 11°C que será dicha temperatura media más 9°C. En las siguientes tablas se muestra la temperatura normal de Gävle, extraída de *VVS-Handboken 1931-1960*³, y los grados-día de calefacción, *HDD*, de Gavlegårdarna.

² Página web: <http://knol.google.com/k/degree-days#>

³ Temperaturas normales de referencia utilizadas en Gävle. Media de 1931 a 1960.

| Mes | Temperaturas | | | |
|------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | Temp. Media Normal | Temp. Media 2008 | Temp. Media 2009 | Temp. Media 2010* |
| Enero | -5,1 | 0,9 | -3 | -10,9 |
| Febrero | -4,9 | 1,3 | -5,9 | -8 |
| Marzo | -2,2 | 0,3 | -0,8 | -2 |
| Abril | 3,3 | 5,1 | 6,4 | 4,4 |
| Mayo | 8,7 | 9,6 | 11,3 | - |
| Junio | 13,8 | 14,8 | 12,5 | - |
| Julio | 16,6 | 16,7 | 16,4 | - |
| Agosto | 15,3 | 14,2 | 16 | - |
| Septiembre | 10,7 | 9,8 | 12,4 | - |
| Octubre | 5,3 | 6,8 | 3,6 | - |
| Noviembre | 0,9 | 0,9 | 4,4 | - |
| Diciembre | -2,1 | -1 | -4,8 | - |
| Media Año | 5 | 6,6 | 5,8 | -1,3 |

Tabla 15. Temperaturas de Gävle, Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril

Figura 25. Temperaturas de Gävle, Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril



| Grados día de calefacción HDD | | | | |
|-------------------------------|--------|----------|----------|----------|
| Mes | Normal | 2008 HDD | 2009 HDD | 2010 HDD |
| Enero | 656 | 500 | 620 | 865 |
| Febrero | 598 | 455 | 643 | 700 |
| Marzo | 549 | 518 | 553 | 588 |
| Abril | 421 | 347 | 306 | 379 |
| Mayo | 190 | 171 | 108 | |
| Junio | 35 | 7 | 86 | |
| Julio | 0 | 0 | 0 | |
| Agosto | 12 | 7 | 0 | |
| Septiembre | 198 | 201 | 107 | |
| Octubre | 361 | 313 | 416 | |
| Noviembre | 489 | 483 | 378 | |
| Diciembre | 622 | 557 | 677 | |
| Total | 4131 | 3559 | 3894 | 2532 |

Tabla 16. Grados día de calefacción en Gävle en 2008, 2009 y 2010 hasta Abril

| Grados día de calefacción HDD | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Mes | Normal HDD/Day | 2008 HDD/Day | 2009 HDD/Day | 2010 HDD/Day |
| Enero | 21,2 | 16,1 | 20,0 | 27,9 |
| Febrero | 19,3 | 14,7 | 20,7 | 22,6 |
| Marzo | 17,7 | 16,7 | 17,8 | 19,0 |
| Abril | 13,6 | 11,2 | 9,9 | 12,2 |
| Mayo | 6,1 | 5,5 | 3,5 | |
| Junio | 1,1 | 0,2 | 2,8 | |
| Julio | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Agosto | 0,4 | 0,2 | 0,0 | |
| Septiembre | 6,4 | 6,5 | 3,5 | |
| Octubre | 11,6 | 10,1 | 13,4 | |
| Noviembre | 15,8 | 15,6 | 12,2 | |
| Diciembre | 20,1 | 18,0 | 21,8 | |

Tabla 17. Grados día de calefacción por día en Gävle en 2008, 2009 y 2010 hasta Abril

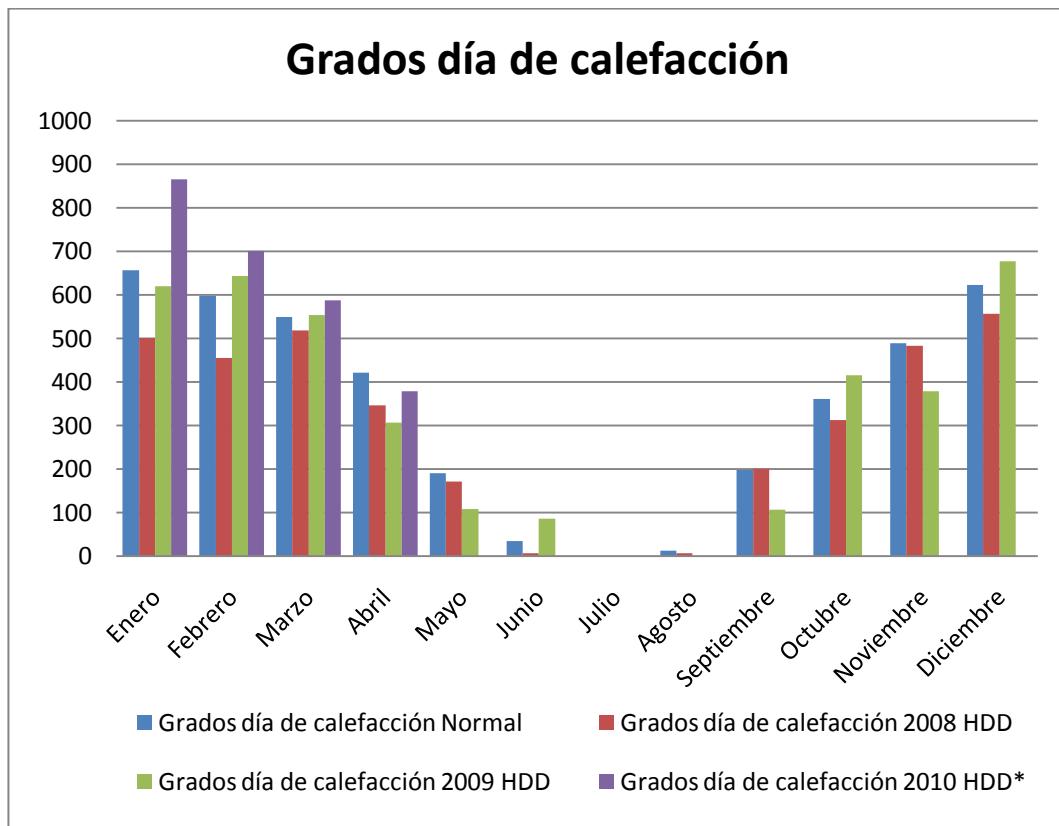


Figura 26. Grados día de calefacción de Gavle, Normal, 2008, 2009 y 2010* hasta Abril

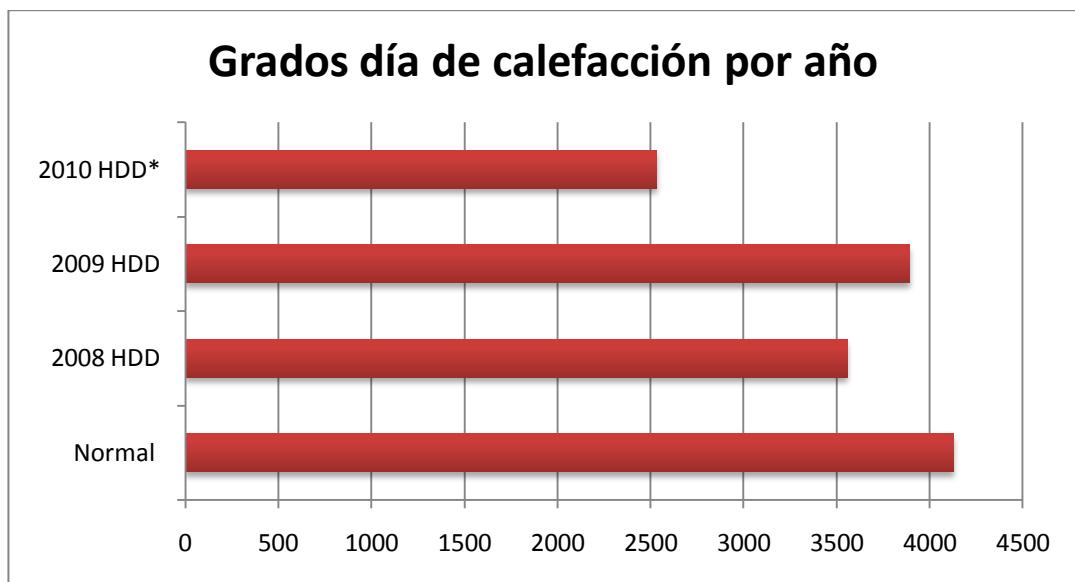


Figura 27. Grados día de Gavle por año Normal, 2008, 2009 y 2010 hasta Abril



| Temperatura interior [°C] | | | |
|---------------------------|--------|------|------|
| | Normal | 2008 | 2009 |
| Enero | 20 | 20 | 20 |
| Febrero | 20 | 20 | 20 |
| Marzo | 20 | 20 | 20 |
| Abril | 20 | 20 | 20 |
| Mayo | 20 | 20 | 20,3 |
| Junio | 22,8 | 23,8 | 21,5 |
| Julio | 25,6 | 25,7 | 25,4 |
| Agosto | 24,3 | 23,2 | 25 |
| Septiembre | 20 | 20 | 23,4 |
| Octubre | 20 | 20 | 20 |
| Noviembre | 20 | 20 | 20 |
| Diciembre | 20 | 20 | 20 |

Tabla 18. Temperatura interior en las plantas residenciales

3.3 Informe energético

3.3.1 Ratio de energía

El ratio de energía se define como el cociente entre el consumo de energía primaria y el consumo de energía secundaria.

Las definiciones de energía primaria y secundaria son: “Energía primaria la forma de energía de combustibles o recursos naturales antes de ser convertidas o transformadas en calor o electricidad. Energía secundaria es el producto obtenido de la energía primaria como calor o electricidad.”⁴

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Energía Primaria}}{\text{Energía Secundaria}} = 0$$

La energía primaria consumida en los edificios es cero; los edificios solo consumen energía secundaria tanto electricidad de la red como calor proveniente de *district heating*.

⁴ Página web:

http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_benchmark_comm_bldgs

3.3.2 Consumos

Para calcular el informe energético sobre consumos Gavlegårdarna dio como información el consumo total de district heating, calefacción y agua caliente, para el grupo de edificios Glaciärvägen 21 y Glaciärvägen 23 y para el grupo de edificios Pinnmovägen 26 y Pinnmovägen 24 además de las áreas de los apartamentos de estos edificios y sus planos correspondientes. Con esta información se calculó la cantidad de energía consumida por metro cuadrado en los dos diferentes grupos de edificios, y con este dato el consumo por edificio y por apartamento.

Para separar la energía consumida de calefacción y de agua caliente fue necesario transformar la demanda de volumen de agua en energía. Esta demanda de volumen de energía fue información proporcionada por Gavlegårdarna. El volumen fue cuantificado en energía gracias a la siguiente ecuación:

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ (ec.1)}$$

q es Energía en forma de calor (en MWh o kWh), m es la masa, C_p es calor específico y ΔT es incremento de temperatura. Con la ecuación anterior y los siguientes datos puede ser calculada esta energía.

Kcal = 4,186 KJ

D_{agua} [Kg/m³] = 1000 (densidad)

C_{p,agua} [Kcal/Kg°C] = 1

ΔT agua caliente [°C] = 50

El incremento de temperatura de 50°C es debido a que el agua ha de ser calentada desde los 10°C, temperatura aproximada a la que se encuentra el agua de la red de Gävle (dato proporcionado por Roland Forsberg) a los 60°C que aproximadamente calienta Gavlegårdarna para proporcionar un agua caliente sanitaria saludable sin bacterias. Gracias a este cálculo ahora es conocido cuanta energía equivale el volumen de agua caliente suministrada. Por tanto la energía consumida para calefacción es la resta entre el total de la energía de *district heating* menos la energía utilizada para agua caliente.

3.3.3 Pérdidas

3.3.3.1 Transmitancia térmica K

Todas las transmitancia térmicas K o también llamadas *U-Values* fueron calculadas gracias al programa informático *IDA Climate and Energy 3.0* de la universidad de Gävle, Högskolan i Gävle, con el número de licencia ICE30:10JUL - 77.44W6C457 para Ricardo Moya Jaraba excepto la transmitancia de las ventanas y puertas a los balcones que eran dato obtenido en el corto informe sobre la estructura.

El programa IDA calcula la transmitancia con la información introducida en el diseño de la estructura de muros o cerramientos, materiales, espesores, orientación vertical u horizontal. Una vez introducido el diseño del cerramiento este devuelve el coeficiente de transmitancia. El programa posee una librería de materiales con sus características físicas que pueden ser editadas o crear nuevos materiales. Gracias a esta información y a la ecuación 2 IDA calcula la transmitancia y la devuelve al usuario.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se}} \quad (\text{ec. 2})$$

3.3.3.2 Cálculo

Para calcular las pérdidas de diferentes partes del edificio fue necesario medir en los planos cuanta cantidad de área corresponde a cada zona diferenciada del edificio ya que estas poseen diferentes transmitancias térmicas. Con la información anterior y esta nueva información sobre el área y la fórmula 3 puede ser calculada la transferencia de energía que se produce en estas diferentes zonas estructurales del edificio.

$$E = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot Time \quad (\text{ec. 3})$$

E se refiere a la energía en MWh o kWh, U es la transmitancia K o *U-Value* en W/m²°C, Time es el tiempo en horas e ΔT es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior en °C.



Gracias al concepto de Grados-día o *Degree days* que incluye el producto de $\Delta T \cdot \text{Time}$ la ecuación puede ser reescrita como:

$$E = U \cdot A \cdot \text{DegreeDays} \quad (\text{ec. 4})$$

El único cambio para que la energía se exprese en MWh o kWh es la multiplicación por veinticuatro que es el número de horas por día, ya que el tiempo en el término de grados-día esta expresado en días, por tanto ya tenemos la energía en MWh o kWh que son unidades de energía mucho más comunes.

3.3.3.3 Cimientos

En la losa de cimentación tiene una particularidad de cálculo ya que tiene dos zonas diferenciadas la parte interna de la superficie y una parte interna de espesor un metro que rodea el perímetro. En la parte interna el calor se transfiere desde el interior al terreno mientras que en la zona del perímetro con espesor de un metro el calor se transfiere con el exterior.

La temperatura del terreno es de 5°C, siendo este dato el más utilizado y común en esta zona para proyectos en los que se dedica la empresa de construcción SWECO AB, empresa en la que trabaja Roland Forsberg además de dedicarse a la universidad de Gävle.

La energía intercambiada en la zona que transfiere calor al exterior se calcula con la ecuación 4 vista anteriormente. La energía intercambiada en la zona que transfiere al terreno se ha calculado con la ecuación 3, con una temperatura interior, T_{inside} , de 17°C para la estación de invierno (correspondiente a mitad de Septiembre a mitad de Mayo), con una temperatura interior, T_{inside} , de 11°C para la estación de verano (correspondiente de mitad de Mayo a mitad de Septiembre) y con una temperatura exterior, T_{outside} , en este caso el terreno, de 5°C. El término de tiempo para la ecuación 3 Roland Forsberg recomendó la utilización total de las horas correspondientes a cada estación. La suma de las dos zonas da el resultado de pérdidas en los cimientos.

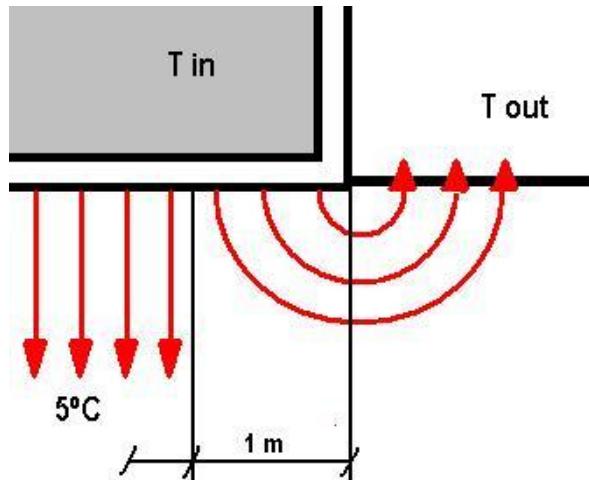


Figura 28. Pérdidas en la cimentación

3.3.3.4 Muros exteriores

Las pérdidas en los muros exteriores son calculadas con la ecuación 4 y teniendo en cuenta que los tres edificios en las plantas residenciales tienen la misma fachadas incluso en las mismas orientaciones, solo en la planta baja los edificios tienen diferente distribución y áreas al exterior, por tanto los tres edificios tienen las mismas pérdidas en los muros exteriores las plantas residenciales.

3.3.3.5 Ventanas y puertas a balcones

Las pérdidas de ventanas y puertas a balcones son calculadas de la misma forma que los muros exteriores con la ecuación 4. La diferencia entre ellas son el área y el coeficiente de transmitancia térmica K.

Las características de las ventanas y puertas a balcones como sus medidas de longitud y altura, área y cantidad de estas están mostradas en la siguiente tabla. Hay que recordar que según el informe proporcionado por la empresa tanto las ventanas y puertas tienen un mismo coeficiente de transmitancia térmica, 2.7 W/m²K.

Glaciärvägen 21 o Glaciärvägen 23 o Pinnmovägen 26

Planta baja

| | Longitud [m] | Altura [m] | Área [m ²] | Cantidad |
|-----------------|--------------|------------|------------------------|----------|
| Ventanas | 0,6 | 0,78 | 0,5 | 1 |

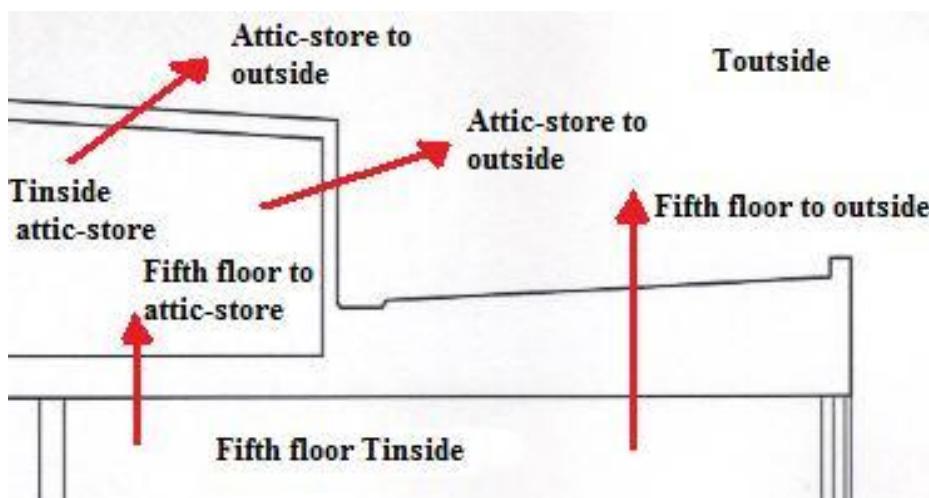
Plantas residenciales

| | Longitud [m] | Altura [m] | Área [m ²] | Cantidad por planta | Total | Área por planta [m ²] | Área Total [m ²] |
|-----------------|--------------|------------|------------------------|---------------------|-------|-----------------------------------|------------------------------|
| Ventanas | 1,23 | 1,13 | 1,4 | 1 | 4 | 1,4 | 5,6 |
| | 1,33 | 1,43 | 1,9 | 2 | 8 | 3,8 | 15,2 |
| | 1,83 | 1,43 | 2,6 | 8 | 32 | 20,9 | 83,7 |
| | 2,23 | 1,43 | 3,2 | 9 | 36 | 28,7 | 114,8 |
| | 3,13 | 1,43 | 4,5 | 2 | 8 | 9,0 | 35,8 |
| Puertas | 0,9 | 2,28 | 2,1 | 6 | 24 | 12,3 | 49,2 |

Área Total por edificio [m²]
304,8
Tabla 19. Área de ventanas y puertas por edificio

3.3.3.6 Forjado al exterior

Las pérdidas del forjado al exterior que separa la última planta residencial con el exterior se calculan con la ecuación 4. En la siguiente Figura se muestra un esquema aproximado del forjado al exterior y del forjado a los trasteros-áticos y como se produce un intercambio de calor entre estas zonas, hay que tener en cuenta que en los trasteros-áticos o *attic-store* no es una zona calefactada del edificio pero si una zona muy ventilada.


Figura 29. Perdidas en la cubierta



3.3.3.7 Forjado al trastero-ático

Para calcular las pérdidas de la quinta planta al trastero-ático y la temperatura en el trastero-ático, que no está calefactado pero si ventilado, fue necesaria el dato de cuanta ventilación tiene el trastero-ático. La ventilación del trastero-ático es de 180 l/s o 0.18 m³/s, esta información está incluida en un proyecto de ventilación de la empresa.

Por tanto el balance es, el calor trasferido de los apartamentos de la quinta planta a los trasteros-áticos (Q) es igual al calor transmitido al exterior a través de los muros y tejado de los trasteros-ático (Q') más las pérdidas de ventilación (Q_v). Gracias a esta información y el siguiente desarrollo de este balance se puede calcular la temperatura en el interior del trastero-ático.

$$Q = Q' + Q_v \text{ (ec. 5)}$$

$$Q_v = \dot{m} \cdot C_{v, \text{air}} \cdot (T_{\text{attic}} - T_{\text{out}}) \text{ (ec. 6)}$$

$$Q = U_{\text{ceiling to attic}} \cdot A \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{attic}}) \text{ (ec. 7)}$$

$$Q' = U_{\text{attic walls and roof}} \cdot A' \cdot (T_{\text{attic}} - T_{\text{out}}) \text{ (ec. 8)}$$

En la ecuación 5 una vez sustituidos los términos Q, Q' y Q_v la incógnita es T_{attic} o temperatura interior de trasteros-ático, y con la información de las transmitancias térmicas, o U-Values, las áreas, T_{in} siendo temperatura interior de los apartamentos, T_{out} como temperatura exterior, \dot{m} caudal de ventilación y $C_{v, \text{air}}=1293 \text{ [J/}^{\circ}\text{Cm}^3]$ ya puede ser calculada.

Con el valor de la temperatura interior de trasteros-ático conocida las pérdidas de los apartamentos a la quinta planta a trasteros-ático puede ser calculada con la ecuación 3, siendo ΔT la diferencia de temperatura entre la temperatura interior de los apartamentos y la interior de trasteros-áticos y para el término de Time el total de horas de los meses.



3.4 Propuesta de mejora de ventanas y puertas de balcones

Para calcular cuanta mejora conlleva la propuesta se calcula las nuevas pérdidas de calor con las nuevas ventanas y puertas de balcones de la misma manera que se calculan con las pérdidas con las actuales ventanas y puertas de balcones. Después de tener las nuevas pérdidas la diferencia entre las perdidas actuales y las nuevas es la cantidad de ahorro energético que se produce con esta propuesta.

3.5 Propuesta de mejora en el forjado trastero-ático

Se calcula con el mismo método que el cálculo de la propuesta de mejora de ventanas y puertas de balcones.

3.6 Propuesta de energía solar

Para calcular la propuesta de energía solar se utilizo el programa informático WinSun ofrecido por el profesor Björn Karlsson, *WinSun based on TRNSYS/TRNSED/PRESIM 14.2 Bengt Peres and Björn Karlsson EBD_LTH 2007*.

Con el software se estudio que inclinación es la óptima para conseguir la mayor cantidad de radiación solar en un año en la localización de Gävle, pero el software de WinSun no tiene las condiciones climatológicas ni la localización de Gävle por tanto para la simulación se utilizo como punto de cálculo la localización de Estocolmo debido a la gran similitud de localización y de climatología de las dos ciudades.

Gracias a la información obtenida en WinSun, energía solar que puede ser utilizada por colectores solares de placa plana de cubierta simple en esta localización, kWh/m², en cada mes del año, y la distribución de los colectores solares elegida para maximizar el área de captación de colectores solares, puede ser calculada cuanta energía se puede llegar a captar cada mes para uso de agua caliente sanitaria.



La distribución de los colectores se calculo con un ángulo de sombra de 20° en horizontal con la superficie del suelo, debido a la remodelación del forjado al exterior esta superficie es prácticamente horizontal como se puede observar en la Figura 43.

3.7 Informe económico

El informe económico ofrece dos valores muy comunes e importantes en el estudio de inversiones, el valor añadido neto VAN o *Net Present Value (NPV)* y el plazo de recuperación o Pay-back. Para conseguir cual sería la inversión de las propuestas se tuvo que contactar con distintas empresas interesadas aunque esta labor fue muy difícil debido a que no confiaban en la veracidad del proyecto debido a ser un estudiante universitario y además extranjero.

En la propuesta de cambio de ventanas y puertas de balcones la empresa interesada es Elitefönster AB. En la propuesta para la mejora del forjado a trasteros-ático fue Skanska AB empresa para la que también trabaja el supervisor la universidad de este proyecto Roland Forsberg, y para la propuesta de energía solar mediante colectores la información de cantidad de inversión fue un dato aproximado proporcionado por el profesor Björn Klarsson gracias a sus contactos en el campo de la energía solar en Suecia ya que este es su campo. La inversión a realizar en la propuesta de la energía solar fue el más difícil de adquirir por los motivos descritos anteriormente y que sin la ayuda del profesor no habría sido posible.

El supervisor Roland Forsberg recomendó hacer el estudio de inversión con tres casos diferentes en el que el incremento del precio de la energía fuera del 2%, 4% y 6%, durante la duración de años de la inversión que en el campo de la construcción en Suecia utilizan un periodo de 30 años, así entonces los el valor añadido neto y el plazo de recuperación están calculados a un periodo de 30 años.



3.7.1 Valor añadido neto (VAN) o *Net Present Value (NPV)*

Se calcula con una tasa de interés constante del 6% y a 30 años, siendo estos valores muy comunes en las inversiones relativas a construcciones en Suecia.

La fórmula de valor añadido neto o de net present value incluyendo el incremento de coste de la energía es:

$$NPV = -I + \sum_{n=1}^{30} \frac{R + [E \cdot C \cdot (1 + i_e)^n]}{(1 + i)^n} \quad (\text{ec. 9})$$

“I” es la cantidad de la inversión de la propuesta. “R” es la amortización de la propuesta con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Inversión}}{\text{Años}} \quad (\text{ec. 10})$$

“E” es la energía ahorrada por año de la propuesta, “C” es el coste de la energía de *district heating*, dato proporcionado por la empresa Gavlegårdarna, 0.43 SEK/kWh, el factor $(1+i_e)^n$ es el factor que aplica el incremento del coste de la energía, con la tasa i_e , referida a los 3 casos de incremento de coste de energía 2%, 4% y 6%, y “n” es el número de años de la inversión. La tasa i es la tasa de interés constante del 6% a lo largo de los 30 años de la inversión de la propuesta.



Si el NPV es mayor de cero es una buena inversión y se producen beneficios, si es menor que cero es una mala inversión desde el punto de vista económico que no produce beneficios sino un gasto del capital invertido. El NPV no da información de cuando a lo largo del periodo de inversión de 30 años empieza a ser rentable, para saber esta información se utiliza en periodo de retorno o Payback.

3.7.2 Plazo de recuperación o Payback

Informa de cuando la inversión empieza a dar beneficios. La manera de calcular el Payback es la suma año por año de los factores del NTV y ver en qué año esta inversión es mayor de cero. Las tablas con esta información año a año se encuentran en el tomo 3/3 - Apéndice.



4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Informe energético: consumos

En las tablas de consumos en el tomo 2/3 – Proceso y resultados se puede observar que los edificios Glaciärvägen consumen más que los Pinnmovägen esto es debido a que el edificio Pinnmovägen 24 es mucho más reciente y además fue modificado y remodelado por tanto su consumo es menor, pero las *district heating rooms* dan información del gasto energético por grupos de edificios Glaciärvägen 21 y 23 por un lado y Pinnmovägen 26 y 24 por el otro, y Gavlegårdarna no contabiliza este gasto de energía por edificio. Por tanto los datos de consumo al realizarse conjuntos entre Pinnmovägen 26 y 24 no son reales, ya que Pinnmovägen 26 consumirá como los edificios Glaciärvägen y Pinnmovägen 24 consumirá menos del valor proporcionado. Esto es debido a la realización del cálculo, dividiendo el gasto total de consumo de Pinnmovägen entre los metros cuadrados del especio calefactado totales de ambos edificios y multiplicándolos por los metros cuadrados de cada uno.

Gavlegårdarna propuso esta manera de cálculo para estos edificios a pesar de los resultados ficticios para presentarlos a la empresa y proponer un sistema de medición mejor a estos edificios que comparten district heating y así medir también las pérdidas en la red interna o proponer construir *district heating rooms* solicitando así a Gävle Energi AB un nuevo trazado de red para estos edificios sin *district heating rooms* y eliminando en gran parte las pérdidas en la red interna que conectan los edificios. Estas dos propuestas presentadas a la empresa proporcionarían una información veraz sobre el consumo energético de estos en kWh/m², importante para la adquisición de primas económicas por parte del estado sueco.

Las irregularidades de los consumos entre edificios es debido a la ocupación de los apartamentos de estos, ya que no siempre están ocupados todos los apartamentos y no siempre con el mismo tipo de inquilinos como familias o estudiantes tanto suecos como extranjeros. En el caso de los estudiantes la ocupación fluctúa mucho porque en verano los apartamentos suelen estar vacíos. Este aspecto sobre la ocupación hace que varíe los consumos de calefacción, *district heating*, y de agua caliente.



Este aspecto sobre la ocupación se puede ver reflejada en los consumos de agua caliente en los edificios de Pinnmovägen que a partir de Septiembre 2009 casi se doblan. Esto es debido a la llegada de nuevos estudiantes, de nacionalidad china, que la universidad decidió colocarlos allí compartiendo habitaciones con literas y por tanto más inquilinos dentro de los apartamentos mayor consumo de agua caliente sanitaria. Estos apartamentos eran ofertados un estudiante por habitación pero en esa fecha se cambio por esta decisión y se incremento el precio del alquiler por habitación. Por tanto el flujo y el tipo de inquilinos hay que tenerlo en cuenta en los consumos de energía.

En el consumo de la electricidad en Pinnmovägen 24 es muy elevado porque tiene dos lavanderías en la planta baja, una propia para los inquilinos del edificio y otra común para el vecindario, además de un local adyacente de una organización de estudiantes. El consumo de Glaciärvägen 23 es más elevado porque también tiene servicio de lavandería.

Hay que tener en cuenta que está incluida en la factura del alquiler la electricidad, la calefacción y el agua caliente y es Gavlegårdarna la que se hace cargo de este cargo, no importa el consumo que haya tenido de agua caliente, calefacción o de electricidad el inquilino la factura de alquiler es siempre la misma.

El consumo de energía de *district heating* en Julio según los grados día de calefacción, *heating degree days*, solo se produce consumo de agua caliente sanitaria teniendo en cuenta que en este mes el nivel de ocupación es más bajo debido a que los estudiantes no viven allí, el consumo de agua caliente es muy elevado. Esto es debido a las grandes pérdidas de energía que implica una única *district heating room* para dos edificios ya que el agua caliente tiene que recorrer grandes distancias desde el intercambiador de agua caliente a los inquilinos que viven en el otro edificio. Estas pérdidas en la red pueden verse en las figuras 3 y 4 del tomo 2/3 – Proceso y resultados donde la energía de agua caliente sanitaria es menor que el consumo de energía de *district heating* y en el mes de Julio solo hay consumo de agua caliente por tanto es uso de “calefacción” en ese mes representa las pérdidas que tienen en la red de agua caliente sanitaria en ese mes.

4.2 Informe energético: Pérdidas

Las pérdidas por ventilación no son calculadas en este proyecto son un dato de otro proyecto de Gavlegårdarna y la universidad de Gävle, Högskolan i Gävle. Las pérdidas en este proyecto son del año 2009 y no están las del 2008 ni una extrapolación al año normal de Gävle. En las siguientes tablas se muestra un resumen con porcentajes de las pérdidas por conducción.

| Glaciärvägen 21 [MWh] | Normal | 2008 | 2009 | % Normal |
|---------------------------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------|
| Cimientos | 7,6 | 7,4 | 7,5 | 4,7 |
| Muros exteriores | 49,8 | 42,9 | 46,9 | 30,5 |
| Ventanas y puertas de balcones | 81,6 | 70,3 | 76,9 | 50,0 |
| Forjado a exterior | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 1,5 |
| Forjado a trasteros-ático | 21,8 | 19,6 | 20,9 | 13,3 |
| Total | 163,4 | 142,4 | 154,9 | 100,0 |

Tabla 20. Resumen pérdidas por conducción en Glaciärvägen 21

| Glaciärvägen 23 o Pinnmovägen 26 [MWh] | Normal | 2008 | 2009 | % Normal |
|---|---------------|-------------|-------------|-----------------|
| Cimientos | 6,0 | 5,7 | 5,9 | 3,7 |
| Muros exteriores | 49,5 | 42,6 | 46,6 | 30,7 |
| Ventanas y puertas de balcones | 81,6 | 70,3 | 76,9 | 50,6 |
| Forjado a exterior | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 1,5 |
| Forjado a trasteros-ático | 21,8 | 19,6 | 20,9 | 13,5 |
| Total | 161,3 | 140,4 | 152,7 | 100,0 |

Tabla 21. Resumen pérdidas por conducción en Glaciärvägen 23 y Pinnmovägen 26

Viendo elemento por elemento de las distintas partes del edificio con pérdidas por conducción se puede observar que las ventanas y puertas de balcones pierden más energía que el resto, alrededor de 50% seguidos por muros exteriores y forjado a trasteros-ático con un 30% y 13% respectivamente el resto de pérdidas en cimientos y forjado al exterior.

Los muros exteriores son un 30% del total, y dentro de estos el muro de hormigón supone un 80% de todas las pérdidas de los muros exteriores debido en gran parte a su elevada área, 840 m², con una transmitancia K o *U-Value* menor de 0.5 W/m²K. Muro de hormigón tiene el valor de transmitancia K más alto de los muros exteriores, exceptuando los muros cortina, que tienen 0.6 W/m²K y el resto están alrededor de 0.3 W/m²K, por tanto se podría mejorar en el muro de hormigón y así reducir más el gasto energético.

Las pérdidas de calor de los apartamentos a los rellanos en los edificios residenciales además de las pérdidas de calor de los apartamentos y de los trasteros de planta baja a las demás dependencias de la planta baja, como rellano, apartamentos de visita, lavandería o zonas sin uso. El motivo de no estudiar estas pérdidas es debido a que Gavlegårdarna remodelará esas zonas, cambiará la distribución del rellano del hueco de escalera y el ascensor para hacerlo accesible a personas de menor movilidad al igual que las zonas de la planta baja, por tanto los muros de los apartamentos al rellano y de las puertas de los apartamentos serán remodeladas y aun no están diseñadas. También esperan remodelar las dependencias de la planta baja a excepción quizás de las lavanderías y los trasteros de planta baja, para construir quizás más apartamentos de visita o zona de ocio como gimnasio o simplemente como aparcamiento interior de bicicletas. Si se hubiera tenido la información de la remodelación se hubiera calculado e incluido en el proyecto. La empresa espera hacer estas remodelaciones en un futuro muy próximo por tanto no estaban interesados en conocer las pérdidas actuales de las zonas que cambiaran ya que después serían otras. Estas remodelaciones se efectuaran en todos los edificios que tienen esta distribución ya que otros edificios del barrio de Sätra comparten este diseño habiéndose construido poco después de estos, por tanto estos resultados de pérdidas pueden ser extrapolados aproximadamente a otros edificios de Gavlegårdarna.

La diferencia entre los valores de consumo de energía de *district heating* y de pérdidas es debido a estas pérdidas no calculadas y a las pérdidas propias de la red de calefacción en los edificios y las pérdidas en la red de suministro de agua caliente sanitaria. En la siguiente tabla se muestran estas diferencias.

| Pérdidas en la red y pérdidas no contabilizadas año 2009 | | | | | |
|---|------|-----------------|------|----------------|-----|
| Glaciärvägen 21 | | Glaciärvägen 23 | | Pinnmovägen 26 | |
| MWh | % | MWh | % | MWh | % |
| 146,3 | 27,8 | 115,2 | 23,3 | 23,7 | 6,9 |

Tabla 22. Pérdidas en la red y pérdidas no contabilizadas año 2009

Estas pérdidas son alrededor del 25% en edificios de Glaciärvägen exceptuando en Pinnmovägen 26 debido a la influencia en el consumo de Pinnmovägen 24 por ser un edificio prácticamente de reciente construcción.



4.3 Propuesta de mejora de ventanas y puertas de balcones

Con esta propuesta se ahorra alrededor de 50 MWh por edificio y por año normal, esto significa un ahorro económico total en energía de 20 000 SEK o 2 000 € por edificio en un año normal. En términos de los tres edificios esto supone 150 MWh y 60 000 SEK o 6 000 € en un año normal. Se consigue un ahorro energético de 59.3% en pérdidas térmicas en las ventanas y puertas de balcones. Estas cifras son un gran ahorro energético y un aceptable ahorro económico, en contraposición esta la alta inversión a realizar en la propuesta.

El precio de la inversión fue proporcionada por la empresa Beijer Byggmaterial de Gävle (www.beijerbygg.se). Esta empresa es una distribuidora de la empresa Elit Fönster AB, el precio incluye también la instalación, 1 930 000 SEK o 193 000 €. Esta empresa fue la única que dio un presupuesto, por tanto no se pudo intentar buscar más precios y así poder comparar y buscar un precio más bajo.

En el estudio de inversión se puede observar que tanto para los tres casos de incremento de precio de la energía el VAN o NPV es positivo con 44 565 SEK o 4 456 €, 367 524 SEK o 36 752 € y 826 944 SEK o 82 694 € para 2%, 4% y 6% de incremento de energía respectivamente. En el caso del Payback empieza a haber beneficios desde el año 29, 23 y 20 para 2%, 4% y 6% de incremento de energía respectivamente. En este caso para el 2% se produce beneficio justo casi en el último año del periodo de inversión.



4.4 Propuesta de mejora en el forjado trastero-ático

Esta propuesta ahorra alrededor de 13 MWh por edificio en un año normal y un total de 5 500 SEK o 550 € por edificio. Este ahorro supone un total de 38 MWh y 16 500 SEK o 1 650 € al año para los tres edificios del proyecto. Esta energía supone una reducción de 58.15% de las pérdidas al trastero-ático.

La inversión incluida la instalación es de alrededor de 500 SEK/m² o 50 €/m². La empresa Skanska AB (www.skanska.se) fue la que proporcionó esta información a través del supervisor de la universidad de Gävle del proyecto Roland Forsberg.

El estudio de la inversión da una información muy interesante ya que el VAN o NPV es de 252 755 SEK o 25 275 €, 337 232 SEK o 33 723 € y de 457 402 SEK 45 740 €, con un incremento del coste de la energía del 2%, 4% y 6% respectivamente. En los tres casos el Payback a dar beneficios a partir del cuarto año de la inversión. Estos datos económicos son muy beneficiosos con una inversión muy baja de 59 320 SEK o 5 932 €. Además de los beneficios económicos hay que destacar que es una construcción sencilla y puede ser realizada en poco tiempo sin molestias para los inquilinos. Por otra parte una consecuencia de la propuesta es la bajada de temperatura interior que se produce en los trasteros-ático al ser un espacio ventilado pero no calefactado, pero para hacerlo confortable se estableció un mínimo de temperatura de diseño de 0°C en invierno para un año normal como se especificó anteriormente.

La reducción de estas pérdidas es importante también para los inquilinos de la planta quinta que incrementaría el confort dentro de estos apartamentos.



4.5 Propuesta energía solar

La propuesta de energía solar ahorra aproximadamente 50 MWh por edificio y por año de energía destinada a agua caliente, o 190 MWh entre los cuatro edificios ya que en esta propuesta está incluido el edificio Pinnmovägen 24, estos ahorros energéticos son considerables. Observando el aspecto económico el ahorro económico es de 80 000 SEK u 8 000 € por año en energía de *district heating*. Es un gran ahorro en cuanto a energía pero como en la propuesta de ventanas y puertas a balcones requiere una gran inversión 3 300 000 SEK o 330 000 €.

Los datos de inversión fueron obtenidos gracias al profesor Björn Klarsson de la universidad de Gävle, Högskolan i Gävle, debido a la dificultad de contactar con una empresa y conseguir información acerca de precios de sus productos e inversión para esta propuesta. El precio de referencia utilizado en la propuesta es de 4 000SEK/m² o 400 €/m² incluyendo la instalación.

En el estudio de inversión de la propuesta es negativa para el caso de un incremento de la energía del 2% tanto para el VAN o *NPV* y para el Payback. En este caso no se conseguiría un retorno de la inversión antes de los 30 años y conllevaría una pérdida de capital de 390 000 SEK o 39 000 € al final del periodo de 30 años. En los casos en la que el precio de la energía se encareciese un 4% el Payback sería 29 años prácticamente el periodo de la inversión y el VAN sería positivo con 22 000 SEK o 2 200 € de beneficio, mientras que con un incremento del 6% el ahorro económico sería considerable con un VAN de 620 000 SEK o 62 000 € y con un Payback de 25 años. Como se puede comprobar en esta propuesta al ser una inversión inicial muy alta y tener un largo periodo de inversión el incremento del precio de la energía juega un papel muy importante a la hora de ser rentable o no la inversión.



El sistema de la instalación no es diseñado en la propuesta por encontrarse fuera del alcance del proyecto debido a que la empresa no estaba interesada, solo querían unos valores de referencia para saber si la energía solar les podría ser de ayuda para ahorrar una cantidad apreciable de energía debido a su desconocimiento en estas tecnologías. La no profundización en el diseño hace difícil la real cuantificación tanto de energía que se podría ahorrar tanto como el precio de la inversión ya que debido a la distancia de los edificios y a la carencia de *district heating rooms* en dos edificios crea complicaciones en la implantación de este sistema.

Por este motivo se ha especificado la cantidad de energía ahorra por edificio al principio de esta sección, por tanto el ahorro energético total y la inversión podrían reducirse a la mitad. Se ofrecieron más alternativas en cuanto se supo esta dificultad pero ya era tarde para el estudio en este proyecto y para la inclusión de estas mismas en el proyecto, como la utilización de energía solar en los edificios con *district heating room*, creación de *district heating rooms* en los edificios no existentes o la utilización de energía fotovoltaica en los edificios sin *district heating room* para conseguir electricidad y ahorrar en energía eléctrica. Pero la empresa no estaba muy interesada en estas otras propuestas solo en la utilización de energía solar en los edificios con *ditrict heating room* y descartar los edificios de Glaciärvägen 21 y Pinnmovägen 24.

4.6 Consumo de energía con las propuestas

En las tablas siguientes se muestra cual sería el consumo de energía en el año 2009 si las propuestas hubieran sido implementadas, en la tabla de ahorro energético se muestra también en edificio de Pinnmovägen 24 ya que en la propuesta de energía solar está incluido este edificio. Se muestran los MWh de ahorro en cada edificio así como su supuesto consumo en 2009 comparado con el real y mostrando la reducción de energía en cada edificio que conlleva en el caso de que se implantaran las propuestas. Se incluye el dato del ahorro energético en la ventilación que fue facilitado por otro proyecto de la empresa.

| Mejoras [MWh] | Glaciärvägen 21 | Glaciärvägen 23 | Pinnmovägen 26 | Pinnmovägen 24 |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Ventanas y puertas de balcones | 45,6 | 45,6 | 45,6 | - |
| Forjado a trasteros-ático | 12,2 | 12,2 | 12,2 | - |
| Energía solar | 47,1 | 47,1 | 47,1 | 47,1 |
| Ventilación | 100,0 | 100,0 | 100,0 | - |
| Ahorro Total | 204,9 | 204,9 | 204,9 | 47,1 |

Tabla 23. Ahorro total con las propuestas en los edificios y ventilación

| Energía District Heating | Consumo 2009 | | Nuevo consumo | | Ahorro |
|--------------------------|--------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--------|
| | [MWh] | [kWh]/[m ²] | [MWh] | [kWh]/[m ²] | |
| Glaciärvägen 21 | 525,0 | 275,6 | 320,2 | 168,1 | 39,0% |
| Glaciärvägen 23 | 493,2 | 275,6 | 288,3 | 161,1 | 41,5% |
| Pinnmovägen 26 | 343,1 | 180,4 | 138,2 | 72,7 | 59,7% |
| Pinnmovägen 24 | 343,7 | 180,4 | 296,6 | 155,7 | 13,7% |

Tabla 24. Nuevo consumo y ahorro con las propuestas

| Coste energético de District Heating | 2009 | | Nuevo consumo | | Ahorro | |
|--------------------------------------|---------|--------|---------------|--------|---------|--------|
| | SEK | € | SEK | € | SEK | € |
| Glaciärvägen 21 | 225 758 | 22 575 | 139 131 | 13 913 | 86 627 | 8 662 |
| Glaciärvägen 23 | 212 068 | 21 206 | 125 441 | 12 544 | 86 627 | 8 662 |
| Pinnmovägen 26 | 147 534 | 14 753 | 60 907 | 6 090 | 86 627 | 8 662 |
| Pinnmovägen 24 | 147 790 | 14 790 | 127 530 | 12 753 | 20 260 | 2 026 |
| Total | 733 150 | 73 315 | 453 008 | 45 300 | 280 142 | 28 014 |

Tabla 25. Coste energético con el nuevo consumo de las propuestas



En estas tablas se observa tanto el impacto en el ahorro energético tanto el ahorro económico con la implantación de las propuestas. La reducción de energía en los edificios Glaciärvägen es de alrededor de 40% mientras que en los edificios Pinnmovägen es muy distinata entre ambos debido a que Pinnmovägen solo se implantaría la propuesta de energía solar.

En el análisis de estos datos hay que decir que los que realmente son significativos son los de Glaciärvägen ya que estos dos comparten una *district heating room* tienen características semejantes y tienen consumos parecidos mientras que los edificios Pinnmovägen son muy distintos al ser el numero 24 de moderadamente reciente construcción y el número 26 al ser de la misma época que los Glaciärvägen. Un dato a tener en cuenta es la reducción de kWh/m² en los edificios siendo un ahorro en Glaciärvägen de 275 kWh/m² a 160 kWh/m² por debajo de los 200 kWh/m² pero todavía no lo suficientemente bajos. Por tanto podemos deducir que el porcentaje de ahorro será próximo al 40% y no entre el 50% y el 60% como la empresa supuso con la implantación de estas tres propuestas y la de ventilación para poder llegar al objetivo que el proyecto *Retrofitting together project* propuso por EURHONET.



5 CONCLUSIÓN

Con las propuestas de Gavlegårdarna se puede observar que el objetivo del proyecto *Retrofitting together project* de EURHONET no es suficiente ya que el ahorro es de alrededor del 40% y no del objetivo del 50%-60% por tanto esta falta de 10%-20% habría que conseguirla con otras propuestas mencionadas anteriormente como la mejora en los muros hormigón, la implantación de *district heatings rooms* en los edificios que no tienen o un aprovechamiento mejor de la energía solar para poder captar más energía solar bajando la temperatura de operación de los colectores buscando un mejor sistema que el propuesto por Gavlegårdarna para conseguir el máximo aprovechamiento de esta energía.

El informe de pérdidas es muy interesante para la empresa Gavlegårdarna ya que dentro del barrio de Sätra posee muchos edificios que comparten el mismo diseño de las plantas residenciales y solo en la planta baja hay diferencias por tanto los resultados pueden ser extrapolados para otros edificios y utilizados para otros estudios.

A pesar de no llegar a la meta propuesta por EURHONET estas propuestas suponen un ahorro considerable del gasto energético y muestra la preocupación de la empresa en el control del gasto energético, ya que esta se hace cargo en la factura, y de su preocupación por el medio ambiente y la reducción por tanto de CO₂ que suponen estas mejoras. Esta preocupación de la empresa coincide con la preocupación del estado sueco reflejada en sus políticas medio ambientales debido a que empresas como Gavlegårdarna reduciendo su gasto energético de *district heating* y por tanto de CO₂ pueden acceder a primas económicas importantes que no han sido especificadas en el proyecto. Este comportamiento verde de la empresa supone una buena publicidad ya que la sociedad sueca está comprometida con estas medidas de ahorro energético y reducción de CO₂ a diferencia de generaciones anteriores.



En el informe económico se expone el punto de vista económico de las inversiones con los parámetros recomendados por los supervisores y ofreciendo tres casos de incremento del precio de la energía. Son datos aproximados debido a la dificultad de encontrar un dato certero o el más óptimo en el mercado del presupuesto, pero son favorables en todos sus casos exceptuando en un caso de energía solar. Hay que tener en cuenta que las primas por reducción de energía no son incluidas ni la empresa ofreció información sobre estas. Por tanto en algunos resultados que no son muy convincentes podrían serlo contabilizando las propuestas.

Al final con este proyecto Gavlegårdarna obtiene una presentación muy útil para sus posteriores presentaciones en EURHONET, un informe energético de consumos de los edificios, un informe energético de pérdidas que puede ser extrapolable a otros edificios, fotografías térmicas, y el resultado de las propuestas que la empresa tenía quería contabilizar todo ello necesario para el proyecto *Retrofitting together project* de EURHONET en el que Gavlegårdarna forma parte.



6 REFERENCIAS

- Agencia energética sueca, Energía en Suecia 2009.
<http://www.energimyndigheten.se>
- Figuras de la agencia energética sueca, Energía en Suecia 2009.
<http://www.energimyndigheten.se> en la introducción para Gavlegårdarna.
- EURHONET Association, <http://www.eurhonet.eu/#/home/>
- Grados-día o *degree days* página web: <http://knol.google.com/k/degree-days#>
- Temperaturas normales de referencia utilizadas en Gävle. Media de 1931 a 1960.
VVS-Handboken 1931-1960
- Página web:
http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_benchmark_comm_bldgs

