

MÁSTER EN ARQUITECTURA, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA

MICROCLIMA Y CONFORT TÉRMICO URBANO

ANÁLISIS SOBRE LA INFLUENCIA DE LA MORFOLOGÍA
DEL CAÑÓN URBANO

CASO DE ESTUDIO EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA, BARCELONA



Ximena Cordero Ordóñez

Tutores:
Helena Coch Roura
Agnese Salvati



Barcelona, Septiembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mis padres Carlos y Adriana, mis hermanas Lourdes y Ana Lucía y demás familia y amigos por su apoyo prestado en todo momento.

A todos los profesores del Máster por los conocimientos impartidos.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
HIPÓTESIS.....	8
OBJETIVOS.....	8
METODOLOGÍA.....	9
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	11
CONFORT TÉRMICO URBANO.....	13
MICROCLIMA URBANO Y SU RELACIÓN CON EL CONFORT TÉRMICO.....	14
VARIABLES MODIFICADORAS DEL MICROCLIMA URBANO.....	17
Propiedades de las superficies urbanas	
El calor antropogénico	
La morfología urbana	
MORFOLOGÍA DEL CAÑÓN URBANO Y CONFORT TÉRMICO.....	19
Radiación solar	
Temperatura media radiante	
Temperatura del aire	
Régimen de vientos	
EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO URBANO.....	27
CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL MICROCLIMA EN CAÑONES URBANOS DE DIFERENTE MORFOLOGÍA EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE LA CIUDAD DE BARCELONA....	31
DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO SOBRE EL MICROCLIMA EN CAÑONES URBANOS EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE BARCELONA	33
Metodología	
Áreas de estudio	
MORFOLOGÍA DE LOS CAÑONES URBANOS ANALIZADOS.....	36
ANÁLISIS DEL MICROCLIMA EN LOS CAÑONES URBANOS ANALIZADOS.....	41
Barrio Raval: Radiación solar por superficies	
Barrio Gracia: Radiación solar por superficies	
Barrio Raval: Temperatura del aire	
Barrio Gracia: Temperatura del aire	
Barrio Raval: Temperatura de las superficies	
Barrio Gracia: Temperatura de las superficies	
Barrio Raval: Temperatura del aire y de las superficies	
Barrio Gracia: Temperatura del aire y de las superficies	
Barrio Raval: Velocidad del viento	
Barrio Gracia: Velocidad del viento	

CONCLUSIONES MICROCLIMA.....	75
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN CAÑONES URBANOS DE DIFERENTE MORFOLOGÍA EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE LA CIUDAD DE BARCELONA.....	77
APLICACIÓN DEL SOFTWARE COMFA + PARA EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO URBANO.....	79
Datos de ingreso	
Cálculo de Intercambio energético	
Evaluación del confort térmico	
BALANCE ENERGÉTICO CUERPO HUMANO – AMBIENTE (SUJETO A LA SOMBRA).....	81
BALANCE ENERGÉTICO - RAVAL: CARRER DE ELISABETS Y PINTOR FORTUNY.....	83
Radiación solar absorbida por el cuerpo humano	
Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano	
Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente	
BALANCE ENERGÉTICO - RAVAL: CARRER DEL NOTARIAT Y RAMBLA DEL RAVAL.....	88
Radiación solar absorbida por el cuerpo humano	
Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano	
Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente	
BALANCE ENERGÉTICO - GRACIA: CARRER DE JESÚS Y TRAVESSERA DE DALT.....	93
Radiación solar absorbida por el cuerpo humano	
Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano	
Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente	
BALANCE ENERGÉTICO - GRACIA: CARRER DE SAN PERE M. Y GRAN DE GRACIA.....	97
Radiación solar absorbida por el cuerpo humano	
Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano	
Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente	
BALANCE ENERGÉTICO CUERPO HUMANO – AMBIENTE (SUJETO AL SOL).....	101
CONCLUSIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

RESUMEN

La ciudad representa la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues además de cambiar la morfología del terreno, la forma urbana constituida por edificios, calles y superficies pavimentadas crea unas condiciones medioambientales concretas, que se define como microclima urbano, el cual es influenciado por varios parámetros, como la densidad y morfología urbana, presencia de vegetación y agua, propiedades de las superficies y fuentes de calor antropogénico.

La combinación de estos factores tiene un papel significativo en la creación de microclimas que pueden diferir considerablemente incluso en distancias cortas. Como evidencian varias investigaciones sobre este fenómeno, la morfología del cañón urbano, definida por la relación de aspecto entre la altura de los edificios (h) y la distancia que los separa (w), orientación y factor de vista del cielo SVF, son los factores claves en la modificación del microclima urbano. Estos parámetros influyen directamente la absorción y emisión de radiación solar y térmica de las superficies así como el régimen de vientos (dirección y velocidad), es decir tienen un significativo impacto sobre las variables climáticas que intervienen en el balance energético del cuerpo humano y el ambiente, por lo tanto influyen directamente la sensación térmica de los usuarios. Esta tesis se centra en un estudio empírico realizado en los barrios del Raval y Gracia de la ciudad de Barcelona, en el cual se analiza el impacto de las variables morfológicas del cañón urbano en la generación de microclimas para deducir cuales son las geometrías más desfavorables desde el punto de vista del confort térmico.

ABSTRACT

The city represents the most radical transformation of the natural landscape, it changes the terrain morphology and also the urban shape structure, consisting of buildings, roads and paved surfaces, creates specific environmental conditions, defined as urban microclimate. It is influenced by multiple parameters, such as urban density and morphology of the urban canyon, presence of vegetation and water, thermal properties of the surfaces and anthropogenic heat sources.

The combination of these factors has a significant impact in the creation of microclimates, which may differ considerably, even over short distances. Research conducted on this term have proved that the morphology of urban canyon, defined by the ratio between the buildings height (H) and street wide (W), the orientation and the sky view factor (SVF), are key factors in urban microclimate alterations. These parameters directly influence the amount of solar and thermal radiation received and emitted by street surfaces and wind regime (speed and direction). Hence the climate factors involved in the energy budget of humans in outdoor spaces are modified, which directly affects the pedestrian thermal comfort.

This study is based on field measurements of climatic factors in different urban canyons located in two neighborhoods of Barcelona, Raval and Gracia. The impact of each morphology aspect is analyzed in order to determine their influenced in the microclimatic conditions and the results on the thermal comfort.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de las ciudades, el ser humano y su relación con el clima ha tenido siempre una gran importancia. El hombre ha buscado adaptarse y modificar las condiciones de su entorno con el fin de conseguir situaciones favorables [1]. En la actualidad como producto del desarrollo tecnológico y la acelerada expansión y crecimiento de las zonas urbanas (desde el año 2008 más de la mitad de la población mundial vive en pueblos y ciudades), las características ambientales y climatológicas del espacio público como calles y plazas se han visto afectadas, encontrándose por lo general espacios en donde producto del intercambio energético entre el cuerpo humano y su entorno, se producen condiciones desfavorables para el bienestar térmico de los usuarios [2].

Si bien desde la antigüedad se ha estudiado la influencia del clima y el medio sobre el bienestar y la salud del ser humano, siendo Hipócrates uno de los primeros en abordar este tema en su obra “De los aires, de las aguas y de los lugares”, es a partir del siglo XX cuando se comienza a precisar el concepto de microclima urbano con estudios sobre la relación entre hombre, ciudad y clima. Algunos autores como Kratzer (1937) y Chandler (1965) publicaron síntesis sobre el clima urbano, dando inicio a numerosos estudios sobre los fenómenos que intervienen en la formación del microclima urbano y su influencia sobre el bienestar de las personas [3]- [4].

Los estudios de la climatología urbana se concentraron en un principio en el estudio del fenómeno conocido como isla de calor urbana (ICU), que es la característica más conocida del clima urbano y consiste en un aumento de la temperatura del aire en relación a las zonas rurales adyacentes, cuya intensidad aumenta en el período nocturno. Este fenómeno tiene un impacto en la habitabilidad de los espacios públicos y sobre la energía demandada para lograr el confort térmico de los espacios habitados. Es así que progresivamente los estudios se han ido dirigiendo hacia micro escalas, debido a que se evidenció la influencia del diseño urbano, en cuanto a morfología, materiales, vegetación y superficies de agua, en la reducción de la isla de calor urbana y el mejoramiento de las condiciones térmicas de los espacios abiertos [5] - [6].

Varias investigaciones han determinado que la geometría urbana y las propiedades térmicas de los materiales son los principales parámetros que influyen en el clima urbano. La relación entre la altura de los edificios y la distancia entre ellos condiciona la cantidad de radiación tanto incidente como saliente del cañón urbano y también afecta la velocidad del viento [2].

De esta manera se evidencia la importancia de realizar un estudio a pequeña escala, ya que la heterogeneidad en la morfología urbana y estructura de los espacios construidos genera varios matices en el microclima urbano, lo cual influye en el balance de energía del cuerpo humano y en consecuencia su sensación de confort.

JUSTIFICACIÓN

La importancia del confort térmico en la vida diaria no puede ser negada, ya sea en relación a espacios interiores o exteriores del entorno urbano. Ciertamente tiene un profundo efecto en la satisfacción mental de las personas y por tanto en el uso que estas hacen de estos espacios. Un espacio con condiciones térmicas no favorables o incluso perjudiciales para la salud de los usuarios no podrá dar respuesta al escenario de vida pública de la ciudad.

Si bien el estado del arte revela que varias investigaciones se han realizado especialmente en relación al confort térmico en espacios interiores, existe una menor atención al estudio de los aspectos del confort térmico urbano, pues este conlleva una mayor complejidad en su estudio debido a la variabilidad en el espacio y tiempo de los factores climáticos implicados.

Con base a lo anterior el estudio del confort térmico urbano proporciona información valiosa para los planificadores urbanos y arquitectos. Los resultados obtenidos pueden contribuir al proceso de planificación para lograr un entorno urbano más adecuado y saludable, que procure aumentar el bienestar de los usuarios del espacio urbano mitigando sobretodo el stress térmico generado por el calor en verano.

Considerando que los centros urbanos densos frecuentemente presentan elevadas temperaturas en el período de verano cuando la intensidad del efecto isla de calor aumenta, se ha visto importante realizar un estudio empírico en la ciudad de Barcelona, considerando dos barrios que cuentan con una elevada densidad edificatoria y una morfología urbana diversa [5] - [2]. De manera que sea posible evaluar el impacto que tienen las características morfológicas del cañón urbano en la generación de microclimas y su consecuencia sobre el confort térmico de los usuarios.

HIPÓTESIS

Las variables morfológicas de distintos cañones urbanos de dos zonas de alta densidad edificada de la ciudad de Barcelona, tienen un impacto significativo en la generación de diversos microclimas que afectan al confort térmico urbano de los usuarios.

OBJETIVO

Objetivo general

Esta tesina tiene como objetivo analizar las condiciones de confort térmico urbano, considerando las modificaciones microclimáticas inducidas por diferentes morfologías de cañón urbano en los barrios el Raval y Gracia de la ciudad de Barcelona, teniendo como propósito principal determinar en este sentido la contribución de cada variable morfológica.

Objetivos específicos

- Analizar los parámetros climáticos y las variables morfológicas que intervienen en el confort térmico en los espacios urbanos abiertos.
- Estudiar teórica y empíricamente la relación de la morfología urbana y el microclima.
- Determinar mediante un estudio empírico en la ciudad de Barcelona, las modificaciones microclimáticas que se generan en función de la morfología y orientación de diferentes cañones urbanos y las condiciones de confort térmico que estas generaran.
- Conocer las variables climáticas y morfológicas más influyentes en términos de confort térmico urbano para así identificar las geometrías de cañón más desfavorables en este sentido.

METODOLOGÍA

La presente tesina se estructura en tres capítulos, el primero corresponde a la revisión teórica de la literatura e investigaciones realizadas en relación a los impactos de la forma urbana en la generación de microclima y su relación con el confort térmico de los usuarios, poniendo especial énfasis en los efectos de la morfología del cañón urbano (orientación, relación de aspecto y factor de vista del cielo). Así como también se realiza una descripción de los modelos de evaluación de confort térmico en espacios exteriores empleados en las investigaciones más recientes sobre este tema.

El segundo capítulo corresponde a un estudio empírico realizado en los barrios del Raval y Gracia de la ciudad de Barcelona, en donde se han seleccionado ocho cañones urbanos de diferente relación de aspecto y orientación. Para ello se han registrado mediciones in situ de las variables climáticas de temperatura del aire y superficies del cañón urbano y velocidad del aire. A partir de esto se ha realizado un análisis de los diversos microclimas generados y se ha definido cuales son las variables morfológicas que tienen una mayor influencia sobre las diferentes alteraciones identificadas.

Finalmente en el tercer capítulo, mediante el empleo del software COMFA + se realiza una evaluación del confort térmico en los espacios analizados en el capítulo II en base al balance energético del cuerpo humano, determinando cuales son las variables morfológicas que tienen un mayor impacto en este sentido.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

CONFORT TÉRMICO URBANO

De acuerdo a investigaciones científicas se establecen tres enfoques para definir el confort térmico; la definición psicológica establece que es una condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico circundante, lo cual es muy difícil de evaluar debido a su carácter subjetivo, sin embargo el aspecto psicológico resulta muy importante sobre todo en la evaluación del confort térmico en espacios abiertos. Un enfoque termo-fisiológico, está basado en los estímulos de los receptores térmicos de la piel y el hipotálamo, y en este sentido se define al confort térmico como la mínima tasa de señales nerviosas de estos receptores. Finalmente de acuerdo a la definición energética se establece que el ser humano se encuentra en una situación de confort térmico, cuando las ganancias y pérdidas energéticas de su cuerpo se encuentran en equilibrio con las del medio ambiente [7]- [8].

Se habla de confort térmico para expresar las condiciones ambientales de un espacio, ya sea interior o exterior, aunque existen diferencias sustanciales entre los dos. Este último por lo general se refiere al estudio de las condiciones térmicas en espacios urbanos, los cuales están caracterizados por una riqueza de características microclimáticas cuya variabilidad en el espacio y el tiempo es la diferencia fundamental entre la evaluación del confort térmico en espacios interiores [7]- [9].

Desde el punto de vista del confort térmico urbano, el estudio de cómo un ambiente externo puede o no generar condiciones de confort térmico, necesariamente pasa por el entendimiento de cómo el cuerpo humano intercambia energía con su ambiente inmediato. Este intercambio de energía entre una persona y el medio que lo rodea se realiza a través de los procesos de convección, conducción, radiación y evaporación a nivel de la piel y por vías respiratorias.

En cuanto al intercambio de calor por convección este ocurre por la circulación del aire alrededor del cuerpo humano [10].

Con respecto a los intercambios por radiación, estos dependerán de las temperaturas del cuerpo humano y de las temperaturas de las superficies adyacentes, ya que éstas irradian calor dependiendo principalmente de las características térmicas de sus materiales y de la radiación solar recibida. En condiciones exteriores el intercambio radiante del cuerpo humano con el ambiente tiene especial importancia debido a la exposición a la radiación solar, la fría bóveda celeste y las cálidas y frías superficies urbanas.

Los intercambios de calor por conducción se producen por la transmisión de calor entre la superficie del cuerpo y los elementos de contacto, depende de la diferencia de temperatura entre las superficies de los cuerpos en contacto y de la conductividad térmica del material en contacto. Finalmente el intercambio de energía por evaporación se refiere a la transmisión de calor del organismo hacia el ambiente a través de la evaporación cutánea y respiratoria [10].

Todos estos procesos mencionados dependen de una serie de factores y parámetros, los primeros se refieren a características propias de las personas como la vestimenta, actividad física, edad, sexo, grado de aclimatación y los segundos se relacionan con el microclima del ambiente urbano donde se encuentran éstas personas, el cual está caracterizado por sus condiciones de temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y la temperatura radiante [7] - [10].

Dentro de estos parámetros propios del ambiente, la temperatura, que es la que indica el estado energético del aire que rodea al cuerpo humano, es determinante en el intercambio de calor con el ambiente a través de convección, conducción y respiración.

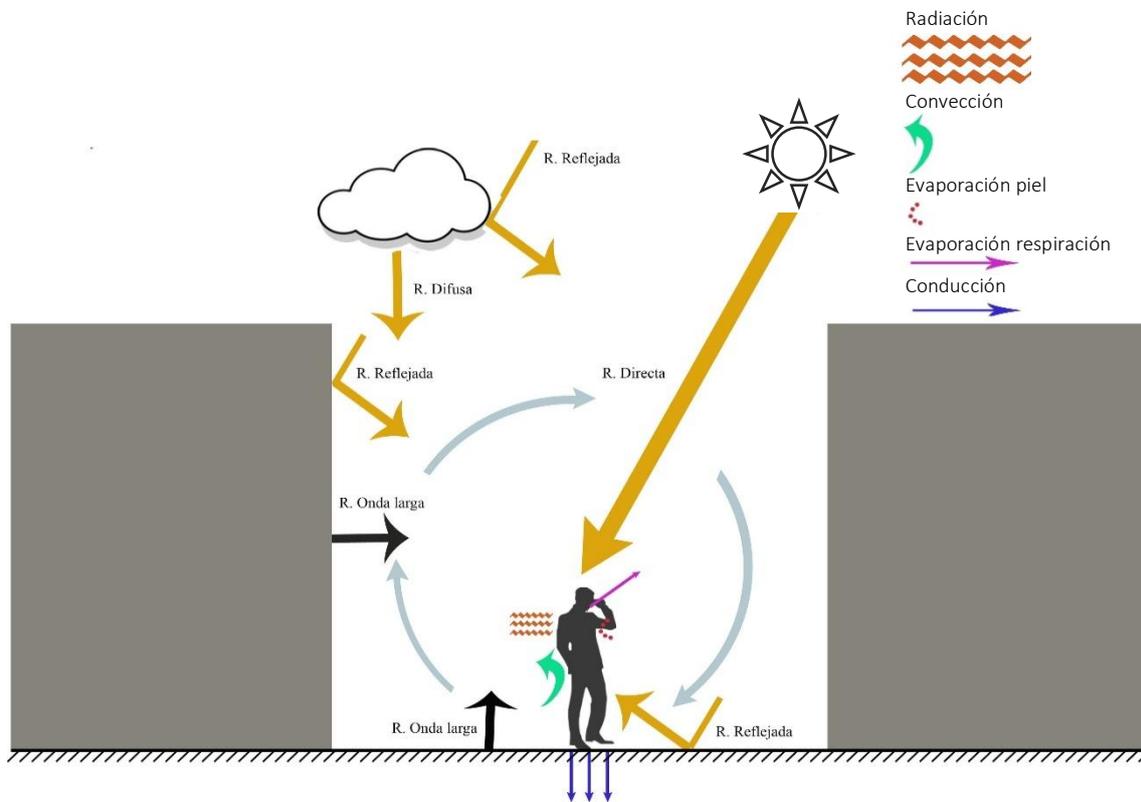


Gráfico N° 1: Intercambio de energía entre el cuerpo humano y el ambiente urbano.
Fuente: Elaboración propia

Así mismo el porcentaje de humedad relativa puede influir negativamente en la sensación térmica, ya que en un ambiente caluroso, si los valores de humedad relativa son altos dificultan las pérdidas de calor del cuerpo humano a través de la evaporación a nivel de la piel, en cambio sí son muy bajos puede producirse deshidratación del organismo.

En cuanto a la temperatura radiante, ésta se entiende como la media ponderada de las temperaturas de las distintas superficies que rodean al usuario y determina la potencia de intercambio por radiación entre éstas y el cuerpo humano [7] - [10].

Finalmente la velocidad del aire afecta la pérdida de calor del cuerpo a través de convección, lo cual varía en función de la velocidad e intensidad del aire. En cuanto a la sensación térmica que produce en las personas, se puede afirmar que el movimiento del aire provoca generalmente un aumento de la evaporación del cuerpo y por eso una sensación de enfriamiento [2] - [10].

MICROCLIMA URBANO Y SU RELACIÓN CON EL CONFORT TÉRMICO

Las investigaciones en climatología urbana han realizado importantes conceptualizaciones de los fenómenos resultantes de la conformación de los tejidos urbanos y el clima creado por estos, diferenciado tres escalas espaciales que ayudan a entender la manera en la cual se producen los fenómenos climáticos a diferentes niveles de la composición horizontal y vertical de la atmósfera urbana.

Según la clasificación de las escalas atmosféricas de Oke, por una parte se tiene la meso escala, es una escala horizontal, que corresponde al estudio climático de la ciudad completa con una superficie de radio entre 10 a 200Km. En segundo lugar se tiene la escala local, también horizontal con una superficie de entre 100m y 50km en donde se estudian los fenómenos climáticos que se desarrollan a nivel de conjunto de edificaciones y sus calles, siendo muy útil para el análisis de tejidos urbanos homogéneos y dinámicas del aire verticalmente. Finalmente se tiene la micro-escala que se refiere al estudio de espacios que varían entre 1cm y 1000m . Esta última escala permite estudiar con mayor precisión las variaciones del clima urbano y su influencia sobre el confort térmico a través del estudio del volumen de aire contenido en una calle [6] - [11].

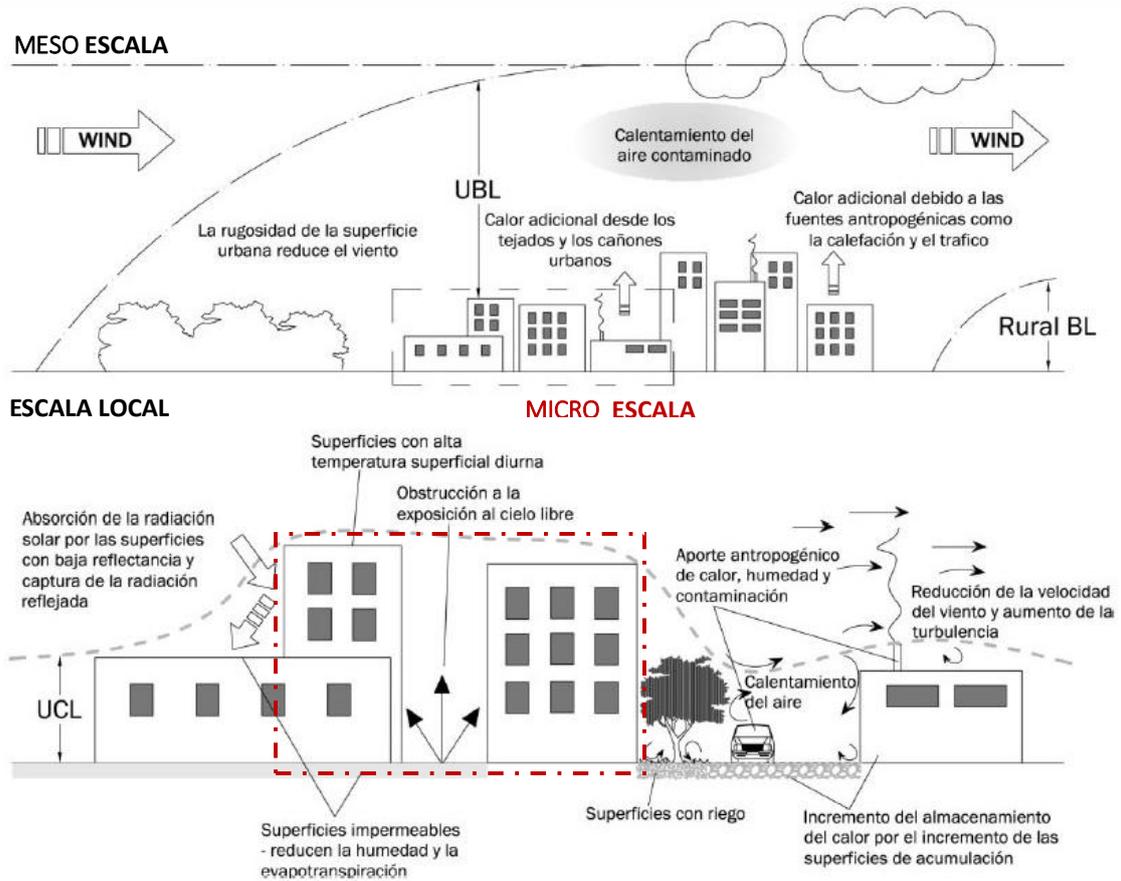


Gráfico N° 2: Escalas espaciales para el estudio de los fenómenos climáticos en la atmósfera urbana
Fuente: TUMINI, Irina. Tesis Doctoral: El microclima urbano en los espacios abiertos, estudio de casos en Madrid

Los factores geográficos tales como la ubicación, topografía e hidrografía establecen el clima para un lugar determinado del planeta, cada uno de ellos tienen diversos elementos y parámetros que en su conjunto diferencian las condiciones climáticas de una zona, entre los que se destacan: la radiación solar, la temperatura del aire, el viento y la humedad, los cuales pueden ser modificados en un contexto urbano. La morfología urbana, las propiedades térmicas de los materiales de edificación, la falta de vegetación y las actividades humanas, todos estos factores tienen un impacto en el clima urbano, ya que cada estructura urbana crea alrededor y sobre si un clima modificado [7].

Las características térmicas, morfológicas y antropogénicas de las áreas urbanas determinan una modificación del balance de energía con respecto a sus alrededores

rurales, que produce una alteración de las variables microclimáticas como temperatura del aire, radiación neta recibida por las superficies, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento. En varios estudios se ha demostrado como el contexto urbano modifica localmente el clima, alterando los flujos naturales de energía y es este comportamiento climático a microescala lo que incide directamente en un suceso climático de mayor escala, conocido como Isla de calor urbana [12] - [13]. Fenómeno que según Landsberg (1981) se presenta en todas las ciudades y es la manifestación más evidente de como la urbanización altera el clima. La isla de calor urbana consiste en el recalentamiento de las zonas centrales urbanas frente a su entorno rural y generalmente es más intensa en periodos nocturnos, por la falta de disipación del calor acumulado durante el día combinado con la contaminación atmosférica y fuentes de calor antropogénico [1]- [2].

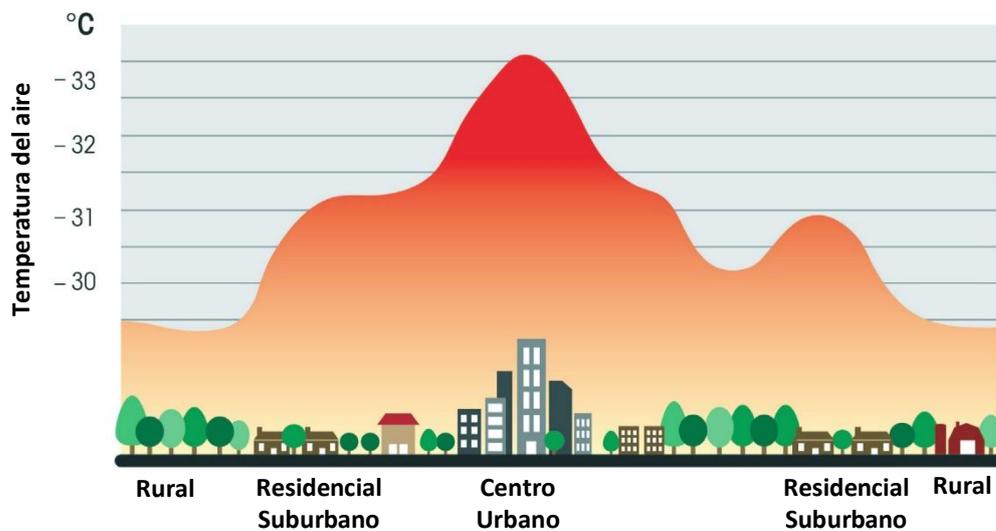


Gráfico N° 3: Perfil de temperatura de la Isla de Calor Urbana
 Fuente: TUMINI, Irina. Tesis Doctoral: El microclima urbano en los espacios abiertos, estudio de casos en Madrid

Desde el punto de vista del bienestar térmico, la isla de calor urbana puede ser considerada como positiva o negativa, dependiendo de las condiciones climáticas y estaciones del año. En invierno por ejemplo puede resultar favorable pues se reducen los requerimientos de calefacción, sin embargo no se puede generalizar pues dependerá también de las características locales, no obstante durante el verano es indiscutible que el efecto de isla de calor agrava la situación de disconfort térmico [2]- [12].

Los estudios de la isla de calor urbana y sus efectos se realizan a nivel de toda la ciudad, es decir la meso escala, mientras que la micro-escala ha sido de gran utilidad para las investigaciones que se han concentrado en estudiar como esta modificación de los parámetros climáticos en el contexto urbano repercute en el balance energético del cuerpo humano y por lo tanto en sus condiciones de bienestar térmico. Pues el clima cerca del nivel de la calle es más determinante en este aspecto, ya que la capa de aire que se encuentra entre el piso y el nivel superior de los techos y arboles es la que afecta directamente a los peatones [11]. Este volumen de aire es lo que se conoce como cañón urbano, término que fue introducido por Oke en 1981 y que ha sido objeto de numerosos análisis en relación a su comportamiento climático [1] -[7]. El autor señala que las condiciones climáticas en un cierto punto del cañón urbano son determinadas

por la naturaleza de su entorno inmediato, en particular la morfología urbana, las propiedades de los materiales, la vegetación, y las actividades humanas que en ella se realicen, por lo que para cortas distancias puede presentar notables diferencias. Dichas alteraciones no solamente se producen espacialmente, sino también a lo largo del día [12]. A continuación se describen estas variables mencionadas, las cuales modifican los parámetros climáticos dentro del cañón urbano.

VARIABLES MODIFICADORAS DEL MICROCLIMA URBANO:

A nivel de cañón urbano, las variables responsables de la alteración de los parámetros climáticos en las zonas urbanas, que han sido ampliamente estudiados son las características de las superficies de cobertura, el calor antropogénico y la morfología urbana.

Propiedades de las superficies urbanas:

El rol de los materiales del pavimento y fachadas de los edificios dentro de un cañón urbano es un aspecto decisivo sobre las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento en las zonas urbanas. Los materiales expuestos a la radiación, convierten la radiación solar recibida en calor, que en parte se acumula y otra parte se re-emite hacia la atmósfera en función de las características físicas del material. Las investigaciones muestran que la alta capacidad térmica y absorción de los materiales sumada a la gran extensión de superficie expuesta, son significativas en el aumento de la temperatura en las ciudades. [6] -[8].

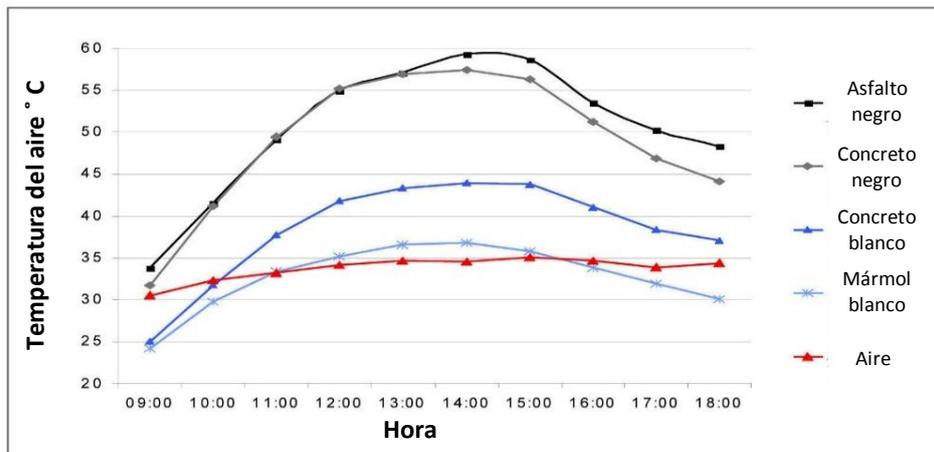


Gráfico N° 4: Temperatura del aire y temperatura superficial de algunos materiales urbano (mediciones Atenas 2001)
Fuente: DESSI, Valentina. Progettare il confort urbano.

Los materiales urbanos se caracterizan por una mayor capacidad calorífica ya que por lo general cuentan con un albedo (fracción de radiación solar, directa y difusa que las superficies alcanzadas por la radiación solar reflejan) menor que los de las superficies rurales. Como consecuencia de esto, son capaces de aumentar el porcentaje de energía absorbida durante el día [7]. Esta característica, unido a la menor porosidad y almacenamiento de humedad, provoca que se calienten lentamente durante el día (retraso del máximo diurno frente al entorno rural), pero acumulan más energía calorífica que las superficies rurales y la transmiten también con mayor lentitud a la atmósfera durante la noche, retrasando el enfriamiento del aire en contacto con ellos.



Gráfico N° 5: Diferencia de temperatura superficial entre una cubierta vegetal y una normal registrada en Chicago un día de verano.

Fuente: TUMINI, Irina. Tesis Doctoral: El microclima urbano en los espacios abiertos, estudio de casos en Madrid

Por otra parte, debido a que en la ciudad predominan las superficies impermeables, existe menor cobertura vegetal y cursos de agua, se genera una elevada escorrentía superficial y una evapotranspiración casi nula, produciendo un rápido drenaje del agua lluvia. Por lo tanto existe menos disposición de agua para la evapotranspiración de la vegetación, que es un fenómeno muy efectivo en la moderación de la temperatura, ya que dadas las condiciones adecuadas puede llegar a producir microclimas con temperaturas entre 2-8°C menos que sus alrededores. Por tanto la menor velocidad de evapotranspiración es un factor determinante en el incremento de las temperaturas diarias [12]. Este proceso contribuye también a la alteración de la humedad relativa del aire, la cual participa en los procesos de evaporación y evapotranspiración que están vinculados al calor latente, por lo que tiene efectos significativos en el enfriamiento del aire. [2]- [12]

El calor antropogénico:

Haider Taha realizó estudios sobre el impacto del calor antropogénico en la temperatura de los cañones urbanos, producto de las actividades que se dan en el área urbana, el transporte y especialmente el uso de calefacción en invierno, si bien en verano también existen fuentes de calor antropogénico muy significativas, debido al uso de sistemas de aire acondicionado. Determinando que la combinación de este efecto en los centros urbanos, que tienen poca cobertura vegetal y superficies oscuras puede incrementar la temperatura entre 2 y 3 °C, tanto en el día como en la noche [12] - [14]. Resultados similares se obtuvieron en un detallado estudio estadístico realizado en Atenas [15].

La morfología urbana:

De las variables que caracterizan el microclima en un cañón urbano, la radiación incidente y por ende la temperatura del aire y radiante así como la velocidad del viento son modificadas por la morfología urbana.

Este estudio se centra en las características climáticas que pueden ser afectadas por la morfología del cañón urbano y sus consecuencias sobre el confort térmico de los peatones. En este sentido las variables morfológicas que interesan son:

- La orientación de la trama urbana.
- La relación de aspecto: Se entiende como la proporción entre la altura de los edificios (H) y la sección de la calle (W).
- El factor de vista del cielo (SVF): Que consiste en la medida tridimensional del ángulo sólido de vista del cielo en un cañón urbano. En una superficie horizontal sin obstrucciones es igual a 1 y en un punto rodeado de edificios muy altos y cercanos puede llegar a ser de 0.1 [2] - [6]- [16].

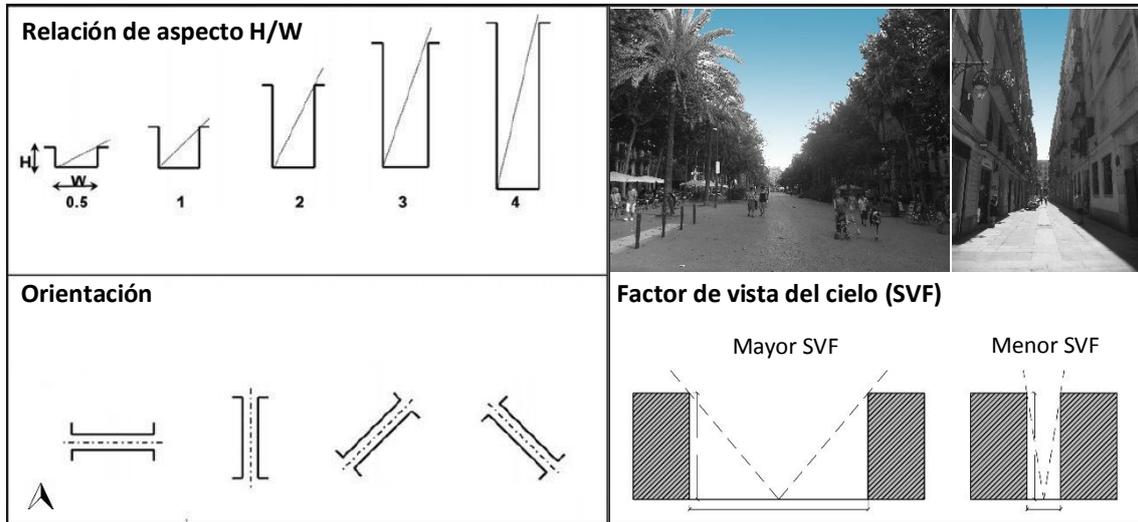
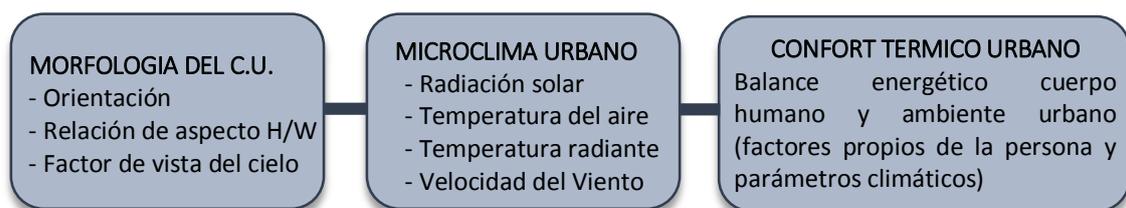


Gráfico N° 6: Variables morfológicas modificadoras del microclima urbano.
Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estos influye en la generación de diversos microclimas y por lo tanto en el balance energético del cuerpo humano, como se indica en el esquema. A continuación se estudia como las variables morfológicas pueden modificar las características climáticas dentro del cañón urbano.



MORFOLOGÍA DEL CAÑÓN URBANO Y CONFORT TÉRMICO

Las variables morfológicas mencionadas anteriormente, son responsables de la modificación de los parámetros climáticos que intervienen en el balance energético entre el cuerpo humano y el ambiente dentro de un cañón urbano. A continuación se describe como la orientación de la trama urbana, su relación de aspecto (H/W) y el factor de vista del cielo alteran las variables climáticas de radiación, temperatura del aire, temperatura radiante y régimen de vientos. En este caso no se analiza la humedad relativa, pues como se mencionó anteriormente son otros aspectos y no la morfología urbana los que tienen una relación con su modificación en la ciudad.

Radiación solar:

Los peatones experimentan una amplia fluctuación de estímulos térmicos debido a la incidencia de radiación solar en dos formas: la primera, la radiación emitida directamente desde la superficie del sol en un espectro que se descompone en luz visible (menor fracción), siendo esta de onda corta y la mayor parte invisible en forma de radiación infrarroja, que es de onda larga; la segunda es la radiación de onda larga o térmica que es emitida por la atmósfera y por las superficies del medio ambiente construido, ambas formas de radiación son absorbidas por el cuerpo humano e interactúan en un intercambio térmico con el medio ambiente urbano (Errell, et al., 2011) [7] - [17].

La Figura 6 muestra las interacciones radiactivas entre el cuerpo humano y el ambiente construido, en donde se puede observar que en un ambiente urbano, la radiación solar directa tiene un gran peso en el balance energético.

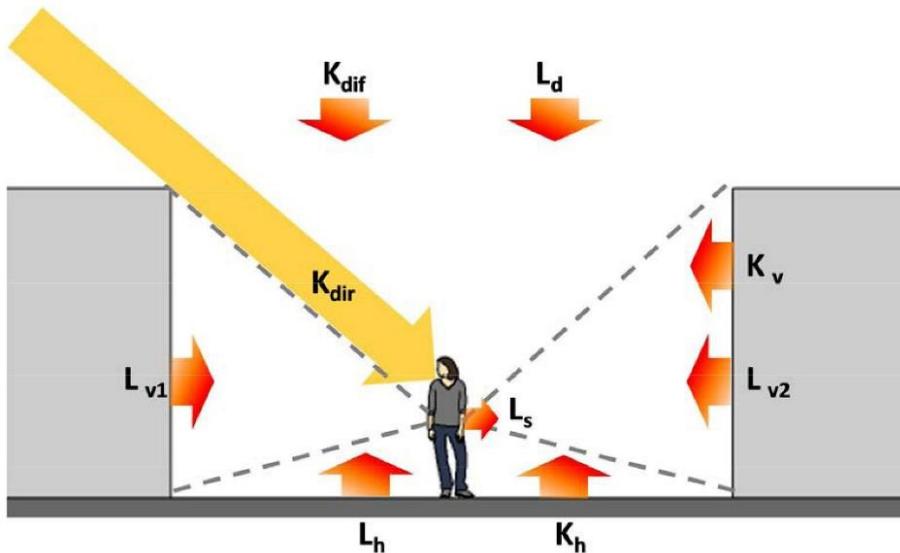


Gráfico N° 7: Intercambios de radiación entre peatón y ambiente urbano inmediato

Fuente: CHICAS, Juan Carlos. Tesis: Morfología urbana y clima urbano, estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile.

K_{dir} : es la radiación de onda corta incidente en el cuerpo humano

K_{dif} : es la radiación difusa incidente sobre el cuerpo humano

K_h : radiación indirecta sobre el cuerpo, reflejada por las superficies horizontales

K_v : radiación solar indirecta reflejada por las superficies verticales

L_d : radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida desde el cielo

L_h : radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies horizontales

L_v : radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies verticales

L_s : radiación de onda larga emitida por el cuerpo al medio ambiente

Esta interacción describe un balance radiativo sobre las personas (ganancias, pérdidas y almacenamiento de calor) que es necesario comprender para la búsqueda del confort térmico en los espacios exteriores. En espacios interiores, por lo general los intercambios radiantes, tanto de onda corta como onda larga son despreciables. Por el

contrario en espacios exteriores este efecto no solo está siempre presente, sino que su cuantía es porcentualmente la mayor de todas las ganancias, en consecuencia el bloqueo efectivo de la radiación, es la medida más eficaz para controlar el confort térmico en espacios urbanos [7].

El diseño de las calles, con su ancho, altura de edificaciones y orientación es determinante en la radiación incidente cerca de la superficie de la tierra y en consecuencia de la creación o no de zonas de sombra en calles y aceras [2] - [12].

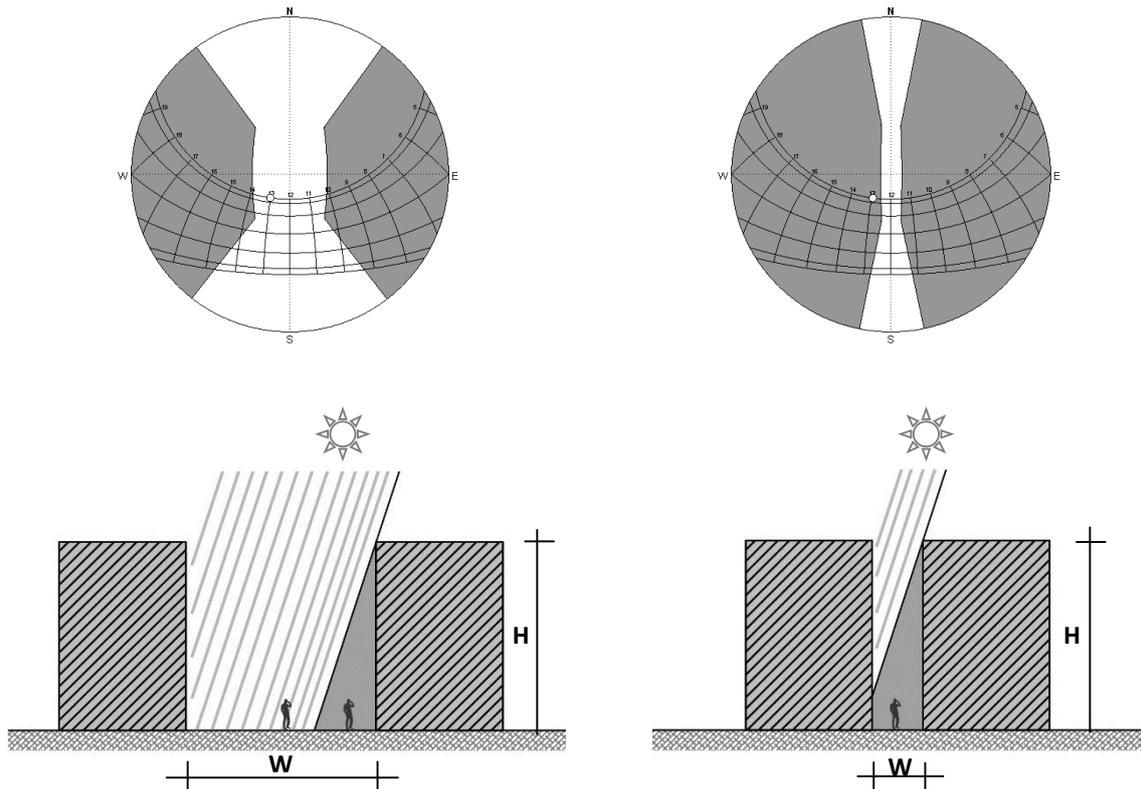


Gráfico N° 8: Morfología urbana y radiación solar directa incidente en el cañón urbano
Fuente: Elaboración propia

Dentro de un cañón urbano y en cualquier superficie, su vista del sol es obstruida cuando el ángulo de altitud del objeto que obstruye (ángulo de obstrucción θ) sobrepasa la altura solar. Los parámetros que definen el ángulo de obstrucción son la altura del objeto obstructor (H), sea un edificio o algún objeto del paisaje y la separación entre el punto estudiado y la obstrucción (D). En la figura se ilustra un caso del ángulo de obstrucción para una sección de una calle [18].

En relación a la orientación, esta genera diferentes comportamiento térmicos en las calles, ya que por ejemplo aquellas con orientación Este – Oeste son las que generalmente presentan condiciones más cálidas en los meses de verano. Esto se debe a que la exposición de radiación solar a lo largo del día es muy alta (las fachadas con orientación sur reciben la mayor cantidad de radiación y la fachada norte permanece en

sombra) y los balances de energía tienden a ser elevados, sobre todo en circulaciones con poca proyección de sombra [13].

Las circulaciones peatonales Norte - Sur en verano, en cambio tienen menor ganancia de calor a lo largo del día, por la mañana la radiación solar la recibe la fachada Este y por la tarde la Oeste.

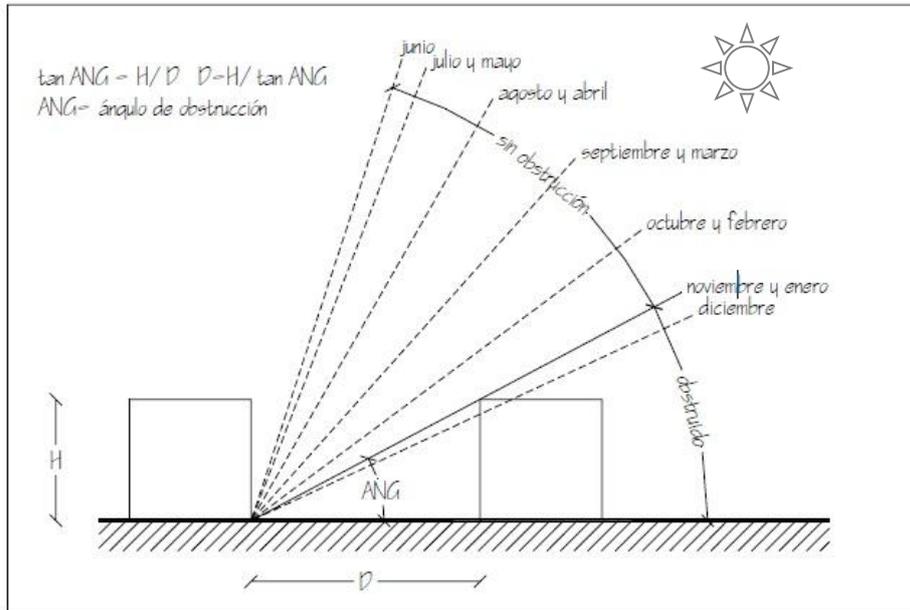


Gráfico N° 9: Morfología urbana y ángulo de obstrucción de la radiación solar directa

Fuente: OCHOA DE LA TORRE, Jose Manuel. Tesis Doctoral: La vegetación como instrumento para el control microclimático

De igual manera se debe considerar la relación de aspecto del cañón urbano (H/W), ya que la altura y la distancia de los edificios colindantes y enfrentados, influye en la cantidad de radiación entrante, directa e indirecta, en la reflexión de onda, en la absorción de onda corta y emisión de onda larga. Ludwig (1970) realizó un estudio sobre la radiación incidente en cañones urbanos en función de su relación de aspecto.

Como se puede ver en el gráfico N°10 que ilustra su análisis y muestra una distribución esquemática de la radiación solar incidente, en un campo abierto la mayor parte de la radiación es reflejada lejos o emitida, después de su absorción, como radiación de onda larga hacia el cielo. En un cañón urbano con un $H/W=1$ gran parte de la radiación se refleja hacia los otros edificios o el piso y es eventualmente absorbida cerca del nivel de la calle. En tanto que en un cañón urbano con un $H/W=4$ o más, la mayoría de la absorción de la radiación tiene lugar muy por encima del nivel de la calle, como consecuencia la cantidad de radiación que llega al piso y calienta el aire cerca de este sería menor que en caso del cañón con un H/W menor [2].

En relación a la radiación difusa esta proviene de la bóveda celeste, por lo tanto la cantidad de radiación incidente sobre el espacio urbano y usuarios depende directamente de la cantidad de cielo que la superficie ve (factor de vista del cielo). Sin embargo en términos de confort térmico urbano la radiación difusa es considerada poco relevante.

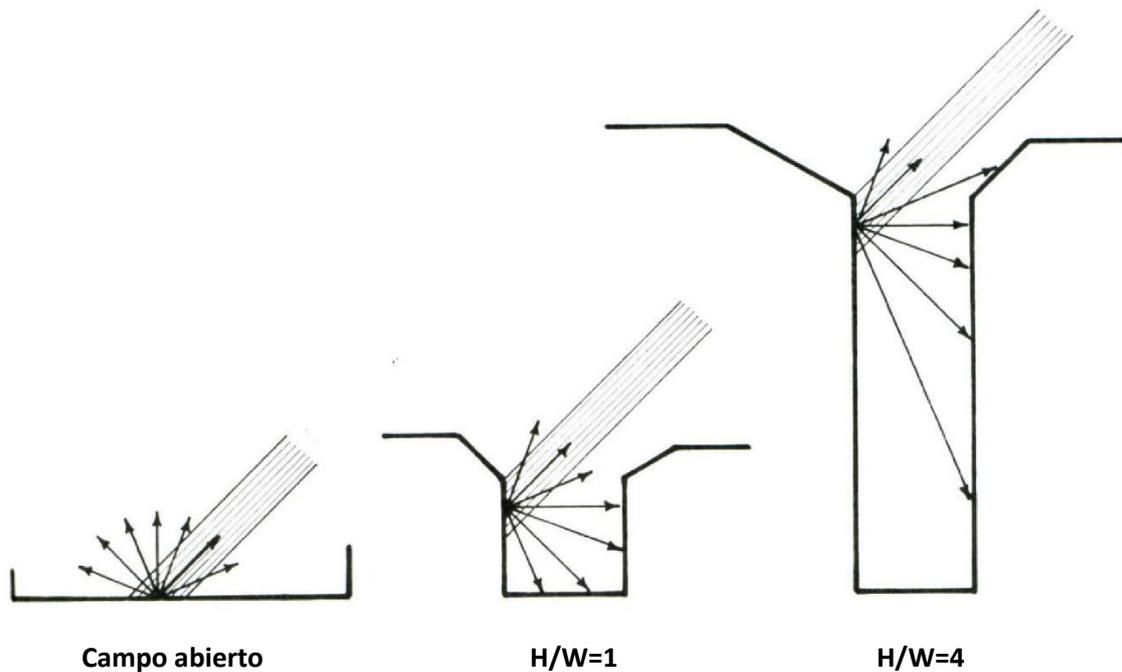


Gráfico N° 10: Distribución esquemática de la radiación solar incidente según la morfología urbana (H/W)
 Fuente: BARUCH, Givoni. Climate considerations in building and urban design.

Temperatura media radiante:

Los intercambios de radiación de onda larga son una contribución muy importante en términos de confort térmico urbano, segundo solo a la contribución de la radiación solar. Las temperaturas de las superficies que componen el espacio urbano, juegan un papel muy importante en la modificación del microclima y las condiciones de confort térmico, pues influyen en el balance térmico a través de los intercambios radiantes, que son dominantes en los espacios con poca ventilación, que son condiciones muy comunes en los espacios urbanos a nivel peatonal [7].

En este sentido, para la evaluación del confort térmico, aparece el término de temperatura media radiante, que es el parámetro más representativo del flujo de energía entre el cuerpo humano y el ambiente, sobretodo en condiciones de verano. Se define como temperatura media radiante a la temperatura uniforme de un cuerpo negro ficticio (con coeficiente de emisión igual a 1), que representa el intercambio de energía debido a la radiación neta entre el sujeto y el ambiente real. Este indicador ha sido introducido con el objetivo de parametrizar el efecto de la radiación de un ambiente complejo en un valor unidimensional [11].

Debido a que el cuerpo humano intercambia radiación de onda larga con las diferentes superficies que componen el cañón urbano y también con el cielo, la morfología urbana está estrechamente ligada con la modificación de esta variable.

Como se indicó anteriormente, la orientación, relación de aspecto y el factor de vista de cielo influyen en el balance de radiación neta al interior del cañón urbano, por lo tanto es determinante en las temperaturas de las superficies urbanas. Sin embargo en relación al confort térmico urbano, la importancia de la relación de aspecto (H/W) y el factor de vista de cielo, en cuanto a la Temperatura media radiante, radica en que dependiendo

de las diferentes geometrías se incrementa o disminuye la cantidad de superficie de intercambio radiante (fachadas, piso y cielo) con el cuerpo humano [7].

Como se observa en la figura el factor de vista entre la persona y el edificio o BFV (superficie radiante) es definido como la fracción de flujo radiante que incide en la persona desde una superficie determinada en relación a la que recibiría de todo el entorno radiando uniformemente. Este factor de vista determina los intercambios radiantes entre el cuerpo humano y las fachadas de los edificios [7].

Por otra parte el cielo es de hecho uno de los elementos definidos como disipador de calor, caracterizado por tener una temperatura más baja respecto de los otros elementos presentes en el ambiente urbanizado, de tal manera que los elementos con temperatura más alta ceden energía en forma de calor al cielo, acelerando así el proceso de refrescamiento. Por lo tanto el SVF es muy importante en los intercambios radiativos que determinan el balance energético del cuerpo humano [2].

Factor de vista del edificio (BFV)
Factor de vista del cielo (SFV)

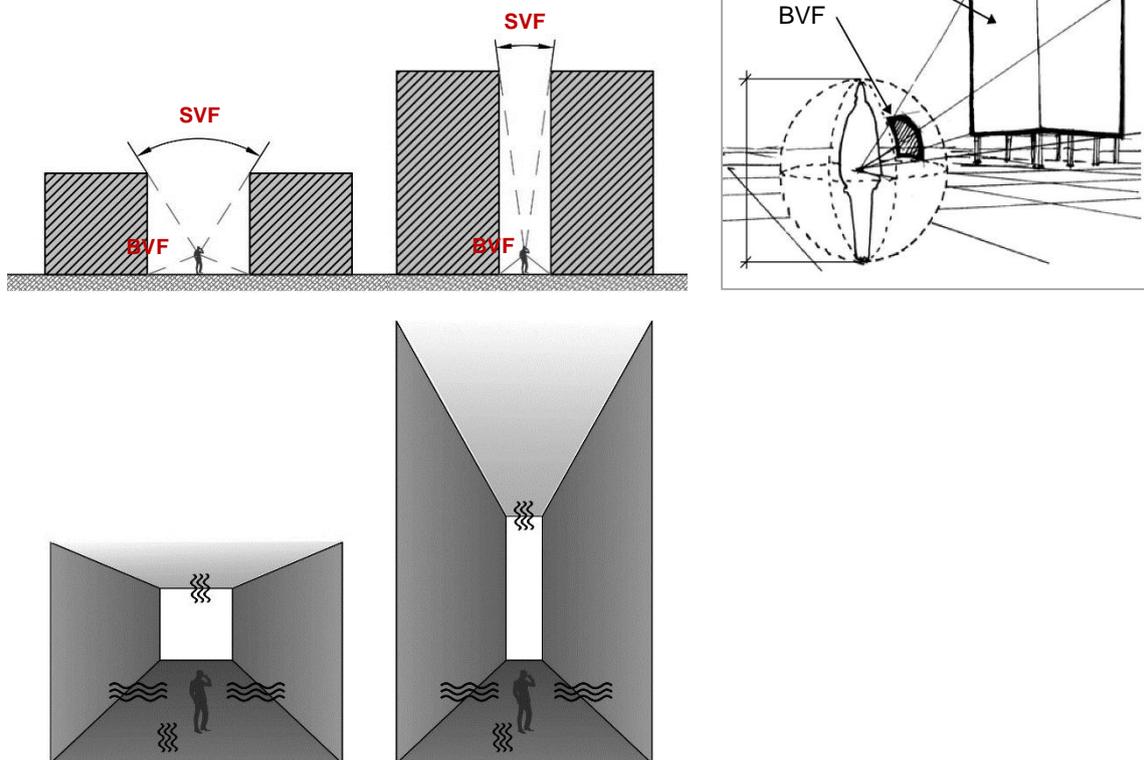


Gráfico N° 11: Morfología urbana y Temperatura media radiante
 Fuente: Elaboración propia.

Temperatura del aire:

Ludwing (1970), estudia la relación entre la radiación solar y la temperatura del aire a nivel de la calle, según la morfología del cañón urbano. De acuerdo a su morfología y relación de aspecto (HW) condiciona el área de superficies expuestas a la radiación solar y dificulta la reemisión de ésta hacia la atmósfera (efecto de entrampamiento), aumentando la acumulación de calor sensible en el área urbana. Así, los flujos de radiación neta dentro del cañón urbano está definida por: el balance de los rayos solares

recibidos, la radiación solar difusa (dispersa por las condiciones de nubes), la radiación solar reflejada y la radiación térmica emitida por las superficies urbanas. Este fenómeno tiene una gran influencia en los flujos e intercambios de calor entre la superficie y la atmósfera urbanas y en la temperatura del aire [2]- [7].

En 1981 los estudios realizados por Oke, relacionaban el aumento de temperatura del cañón urbano, por una parte en función de la relación H/W y otro en base al factor de vista del cielo. Planteándose la hipótesis de que la mayor intensidad que se registraba durante las noches, se debía a las reducidas pérdidas del calor acumulado durante el día hacia el cielo, como consecuencia de un SVF muy bajo. En 1988 Taha estudió de una manera similar la variación de la temperatura en función del factor de vista del cielo en zonas urbanas (con un SVF entre 0.182 y 0.928). Ambos estudios muestran que el factor de vista de cielo, al depender también de las condiciones climáticas particulares al momento de realizar las mediciones y de la forma de los edificios, no es por sí solo un determinante en la variación de la temperatura urbana. De igual manera esto determina también la temperatura superficial que tiene efectos significativos en la sensación térmica de los peatones [2] -[6].

Actualmente se continúan desarrollando estudios para evaluar los efectos del diseño de las calles en el confort térmico, como por ejemplo en el 2004 un análisis en Ghardaia, Algeria (caracterizada por ser una región cálido seca), realizado en diferentes cañones urbanos, demostró que la geometría de las calles (relación H/W) y la orientación tienen un papel decisivo en el incremento de la temperatura de sensación de los usuarios [16].

Régimen de vientos:

El viento es una de las componentes más importantes del microclima urbano, pues desde el punto de vista del confort humano, contribuye a disipar el calor del cuerpo. A mayor turbulencia aumenta el potencial de refrescamiento del viento, sabiendo que la turbulencia está en función de la velocidad del aire y las características de las superficies de rozamiento, variables que sufren importantes modificaciones en las zonas urbanas, esto debido a los cambios de rugosidad de la trama urbana, los cauces de las calles, el efecto barrera de las edificaciones, la circulación de aire del efecto de la isla de calor, etc [13]- [17].

Por lo general, la velocidad del viento dominante en una localidad dada, es reducida al pasar por la ciudad, donde las calles según su orientación re-canalizan la dirección y velocidad de éste y aumentan su temperatura al entrar en contacto con las diferentes superficies del cañón urbano. Si este aire no tiene una dinámica adecuada, genera efectos negativos sobre el confort térmico de los transeúntes, determina la concentración de contaminantes en el aire y condiciona térmicamente los espacios habitables de las edificaciones [7].

Algunos autores como Givoni y Georgii evaluaron como las características del diseño urbano alteran también el régimen de vientos, especialmente cerca del nivel de la calle, ya que el viento experimenta fricción en las diferentes superficies, por lo que su velocidad disminuye y se producen movimientos turbulentos. [2].

Las distintas morfologías urbanas y la relación H/W modifica el flujo del viento, si bien su comportamiento es muy difícil de medir, algunos estudios y simulaciones a través de fluidos dinámicos y túneles de viento han permitido realizar algunas aproximaciones de como el flujo del viento se altera en función de las diferentes relaciones de aspecto de los cañones urbanos.

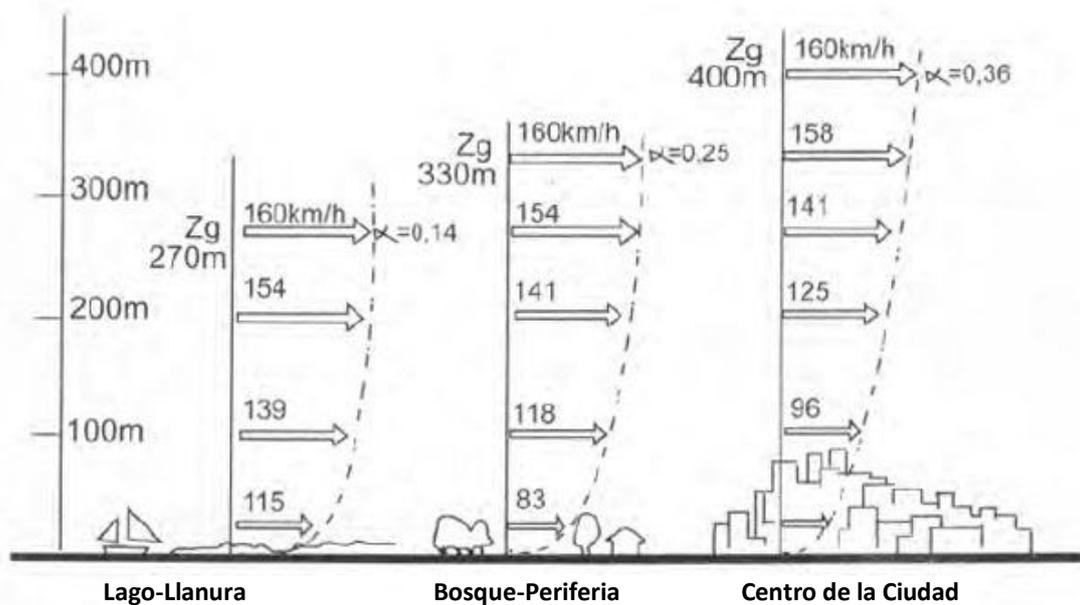


Gráfico N° 12: Disminución de la velocidad del viento en zonas urbanas
Fuente: CARRASCO, Claudio. Tesis Doctoral: Morfología y microclima urbano.

En 1987, Oke realizó un estudio sobre el flujo del aire en dirección perpendicular para cañones urbanos con diferente relación de aspecto. Teniendo que en donde hay una gran separación entre edificios, con una relación de aspecto de H/W menor a 1/3 existe un comportamiento aislado de los flujos de aire, es decir se producen turbulencias aisladas. Mientras que en un cañón urbano con una relación de aspecto media, en donde el alto de los edificios es aproximadamente igual al ancho, es decir un H/W menor o igual a 1, se registra un comportamiento que interactúa dentro del cañón provocando una interferencia entre las turbulencias opuestas y a medida que el cañón se cierra, alcanzándose un H/W mayor que 1, se produce un único movimiento turbulento al interior del cañón urbano. Así mismo en este último en la profundidad y centro del cañón se registran menores velocidades debido al roce de los muros y a que el flujo de aire pasa aceleradamente por el nivel de techo de los edificios, condición que puede considerarse ventajosa o no para protección de los peatones, pues reduce el flujo del aire en el nivel cerca de la calle [2] - [13].

Por otra parte cuando la dirección de la trama urbana es paralela u oblicua respecto de la dirección del viento, esta es re direccionada en el cauce del cañón urbano, de acuerdo a la continuidad y longitud de su sección. Cuando el cañón es de mayor longitud, el viento es más

Encausado. En tramas urbanas continuas y alineadas en dirección del viento dominante se favorece la ventilación en las calles, mientras que la discontinuidad, produce un mayor roce y por tanto una menor ventilación, pues el viento es más suave y controlado.

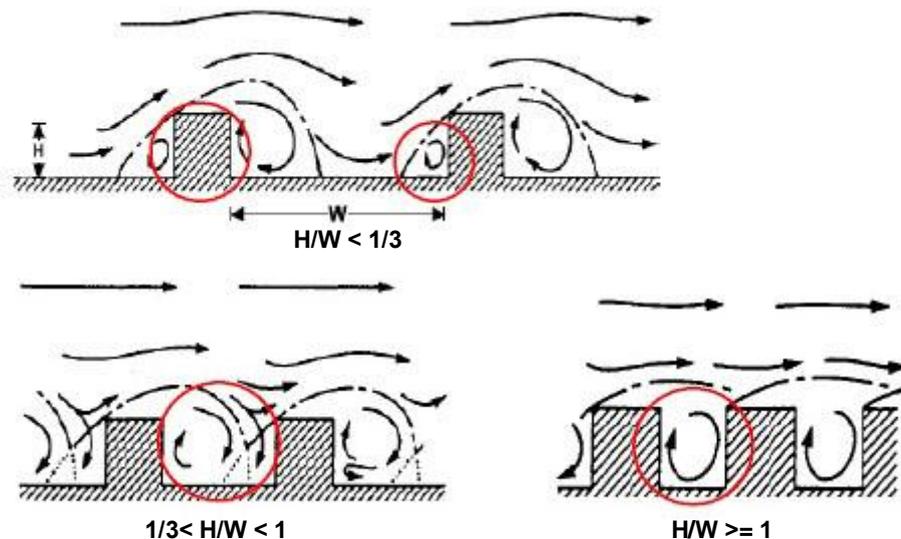


Gráfico N° 13: Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto.
 Fuente: CARRASCO, Claudio. Tesis Doctoral: Morfología y microclima urbano.

Así mismo, los detalles de la estructura física del cañón urbano tienen un efecto importante en la modificación del flujo del viento. La altura promedio de los edificios y sobre todo la disposición de edificios de diferentes alturas, pueden generar situaciones muy distintas de régimen de vientos. Por ejemplo en un cañón urbano con edificios de aproximadamente la misma altura, las condiciones de viento cerca de la calle pueden ser muy diferentes de aquellas existentes en un área con la misma altura promedio pero con la combinación de edificios altos y bajos y que se encuentren muy próximos. Es posible tener una zona urbana de alta densidad con combinación de edificios altos y bajos, con mejores condiciones de ventilación, que un área de menor densidad pero con edificios de la misma altura, ya que contar con edificios que se elevan muy por encima de aquellos que los rodean genera corrientes de aire en la zona, que pueden mejorar las condiciones de ventilación en el nivel de la calle [2].

EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO URBANO

La evaluación de la interacción de los parámetros del microclima con el cuerpo humano y de cómo esto afecta al confort térmico urbano, ha sido objeto de múltiples estudios y esfuerzos por lograr una definición clara, pues la dificultad reside en la cantidad de variables involucradas en su determinación ya que es al mismo tiempo un estado fisiológico (termoregulación) y una percepción (psicológico) de las personas. Igualmente la dificultad para evaluar el confort térmico en espacios exteriores reside en que las condiciones climáticas son más variables y diversas que en espacios interiores. Es así que diversos investigadores han propuesto varios métodos, que por una parte, según afirma Givoni, se centran en establecer la temperatura de confort para una población, lugar y estación dada, lo cual quiere decir, es decir intentan establecer el rango de temperaturas en las cuales la mayor parte de la población encuentra una sensación térmica confortable, mientras que otras investigaciones, tienen como objetivo establecer como las personas responden a los cambios de las condiciones climáticas en cuanto a radiación solar, temperatura, humedad y velocidad de viento [19].

De igual manera, como indican Morgan y Baskett, los estudios de confort térmico tienen dos enfoques. Uno definido como enfoque analítico o racional, basado en el balance energético del cuerpo humano y que describe los intercambios de flujo de calor sensible y latente y otro enfoque sintético o empírico que estudian la combinación de diversas variables meteorológicas sin tomar en cuenta la fisiología humana, vestimenta y actividad física [7] - [11].

Uno de los primeros estudios iniciales fue el propuesto por Houghton y Yaglou en 1923, denominado “índice de temperatura efectiva”, que relacionaba las variables de temperatura y humedad. Posteriormente Missenard con su método de “temperatura resultante” incorpora la variable de radiación.

Para definir los límites del confort térmico, se destacan también la carta bioclimática de V. Olgyay y el diagrama para edificios de Givoni. El primero resulta de especial interés para urbanistas ya que permite evaluar las condiciones de bienestar en espacios abiertos, definiendo una “zona de confort” en base a los parámetros de temperatura y humedad relativa y en caso de encontrarse en condiciones fuera de dicha zona, establece como parámetros correctores a la radiación y velocidad del aire [2]- [7].

En las últimas décadas diversos modelos se han desarrollado para estimar el balance de energía del cuerpo humano en diferentes ambientes urbanos. Estos modelos usualmente incluyen varios parámetros meteorológicos, el albedo de las superficies y el factor de vista de cielo. Utilizan índices de confort complejos, como el PMV (predicted mean vote) o Physiological Equivalent Temperature (PET) [7].

La mayoría de los índices incluyen la temperatura radiante media, la cual es especialmente en climas cálidos, el parámetro más importante en el balance de energía. Estos índices tienen como base la ecuación de balance energético del cuerpo humano propuesta por Höpfe (1999) que se expresa de la siguiente manera [7]- [3]:

$$M+W+R+C+ED+E_{Re}+E_{Sw}+S = 0,$$

M= tasa metabólica

W= Producción de trabajo físico

R= radiación neta del cuerpo

C= flujo de calor por convección

ED= flujo de calor latente a través de la piel

E_{Re}= Flujo de calor por la respiración

E_{Sw}= Flujo de calor por evaporación del sudor

S= flujo de calor de almacenamiento para el calentamiento o enfriamiento del cuerpo.

Estos términos individuales son fuertemente influenciados por los parámetros climáticos, de forma que:

C y E_{Re} son afectados por la temperatura del aire

ED, E_{Re}, E_{Sw} son afectados por la humedad

C, Esw son afectados por la velocidad del viento

R es calculado como el intercambio entre el ambiente y el cuerpo humano a través de radiación de onda corta y onda larga.

El índice PET resulta muy útil para la evaluación del balance energético, porque utiliza una unidad ampliamente conocida (grados centígrados) como indicador del estrés térmico, además tiene en cuenta todos los parámetros ambientales que influyen en el confort térmico urbano, (temperatura del aire y Tmrt, radiación, humedad y velocidad del viento).

Entre los diferentes indicadores de confort térmico, el balance térmico (TB), que expresa las condiciones de confort en función de la cantidad de intercambio energético entre la persona y el ambiente, resulta muy útil en la evaluación de las condiciones térmicas de los espacios urbanos. Este puede ser calculado a través del software COMFA +, que es una actualización del modelo COMFA originalmente desarrollado por Brown y Gillespie (1986) y que tiene en cuenta la influencia de la morfología urbana en los intercambios energéticos, pues considera la presencia de edificios que pueden interceptar, absorber o reflejar radiación, la emisión de radiación térmica de las superficies y el factor de vista del cielo y los edificios. Por esta razón se ha decidido utilizar este software para la evaluación del confort térmico en los cañones urbanos que se estudian en el II y III capítulo.

De esta manera, la ecuación de balance térmico se expresa de la siguiente forma [7]-[20]:

$$TB=M+Kabs+Labs-(Conv+Evap+TRemitida)$$

Donde:

- M es el tasa metabólico neto
- Kabs es la radiación solar absorbida
- Labs es la radiación térmica absorbida
- Conv es la pérdida de calor por convección
- Evap es la pérdida de calor por evaporación
- TRemitida es la radiación térmica emitida

CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL MICROCLIMA EN CAÑONES URBANOS DE DIFERENTE MORFOLOGÍA EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE LA CIUDAD DE BARCELONA.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO SOBRE EL MICROCLIMA EN CAÑONES URBANOS EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE BARCELONA.

Con el propósito de conocer de forma más detallada los efectos de la morfología urbana en relación a los parámetros climáticos y su repercusión en el confort térmico de los usuarios, en este capítulo se desarrolla un estudio sobre el microclima en diversos cañones urbanos, ubicados en los barrios el Raval y Gracia de la ciudad de Barcelona. A continuación se explicará la selección de las áreas de estudio y la metodología seguida para el análisis de estos espacios urbanos.

Metodología:

Para obtener las condiciones microclimáticas que se presentan en cañones urbanos con distintas características morfológicas, se ha realizado una campaña de mediciones in situ de las variables climáticas que son modificadas por estas características físicas. Mediante la utilización de un termo anemómetro y un termómetro infrarrojo se han registrados los valores de temperatura del aire, velocidad del viento y temperatura radiante de las superficies de fachada y piso. En este caso el estudio se llevó a cabo durante la época de verano, a lo largo de 4 días no consecutivos, registrándose datos con un intervalo de dos horas, desde las 7:00 hasta las 3:00, con el objetivo de establecer la oscilación de los parámetros climáticos a lo largo del día. Los días seleccionados se caracterizan por contar con un cielo despejado y condiciones meteorológicas estables.

Áreas de estudio:

Este estudio se desarrolla en dos barrios de la ciudad de Barcelona, el Raval y Gracia, los cuales cuentan con características urbanas similares en cuanto a la orientación de la trama urbana y proporciones entre altura de las edificaciones y ancho de calzada.

El Barrio el Raval está delimitado por el barrio de El Poble-sec, a través de la Avenida del Paralelo; con el Barrio de Sant Antoni, a través de las Rondas de Sant Pau y Sant Antoni; y con el Barrio Gótico, a través de la Carrer de Pelai y La Rambla. Se formó en los siglos XVIII y XIX sobre caminos, huertos, conventos e iglesias de origen medieval. En el XVIII se convirtió así en el barrio más denso de Europa. Este barrio tiene un trazado de las calles de manera rectilínea y cuenta con una trama edificatoria densa.

Es una zona con un alto uso residencial con presencia importante de establecimientos de carácter comercial ubicados en los bajos de las edificaciones.

El barrio de Gracia limita al norte con la Travesera de Dalt, al este con las calles Escorial y Bailén, al sur con la calle Córsega y la Diagonal y al oeste con Via Augusta y la avenida Príncep d'Astúries. Aunque durante un tiempo fue municipio independiente, a finales del siglo XIX se planteó la conveniencia de integración con Barcelona coincidiendo con el desarrollo del plan Cerdá. El proceso de industrialización del siglo XIX supuso la rápida urbanización del área, llevada a cabo muchas veces de forma autónoma por parte de los propietarios de los terrenos y dando lugar a una trama irregular muy densa. El barrio de Gràcia se compone de un denso trazado de calles estrechas que presentan frecuentes irregularidades dentro de una trama que trata de mantener la ortogonalidad. Las manzanas son generalmente de pequeñas dimensiones y la edificación cuenta

habitualmente con cinco o seis altura. La tipología mayoritaria son edificios residenciales de finales del siglo XIX o principios del XX y existe también una alta presencia de establecimientos comerciales.

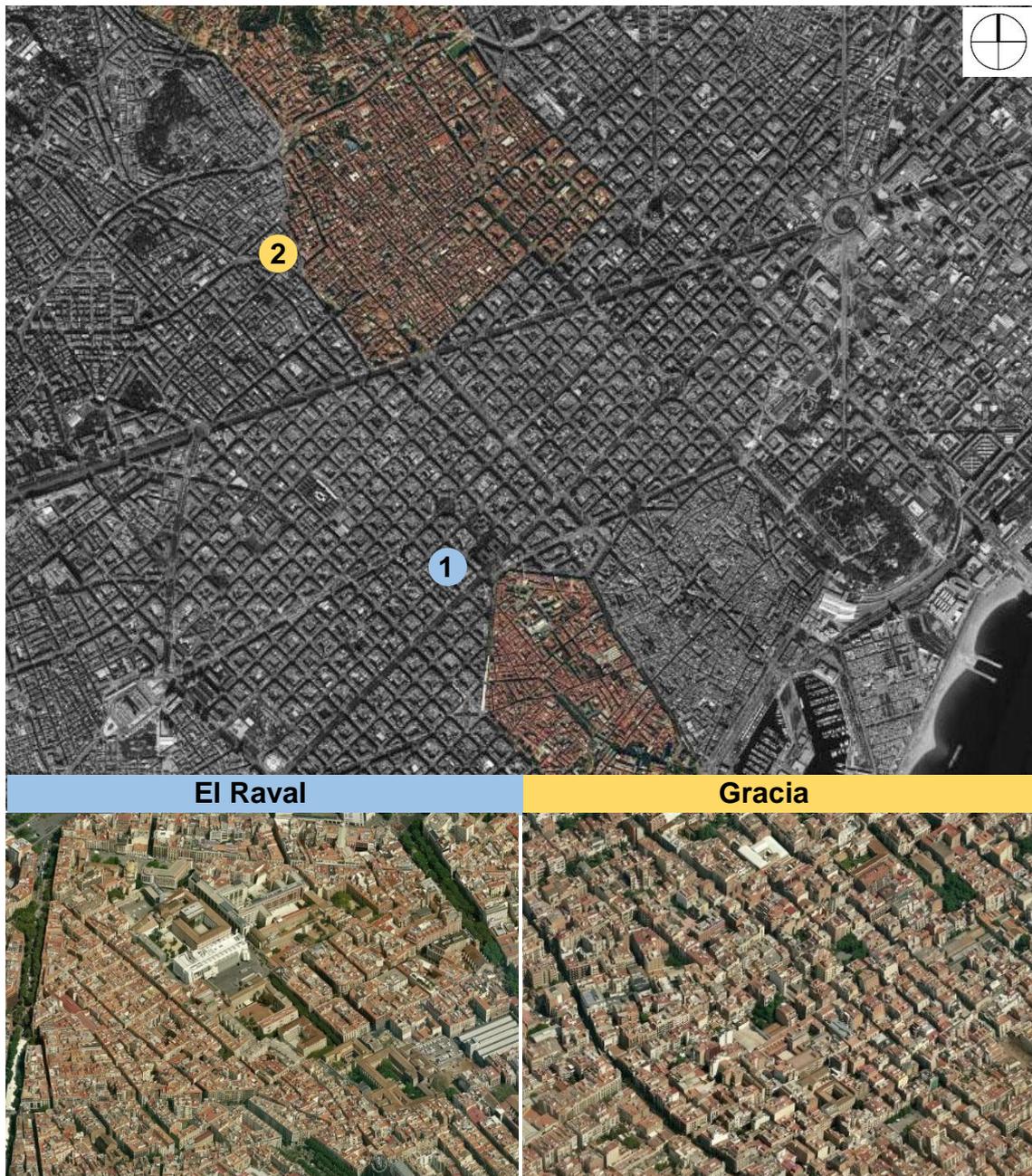
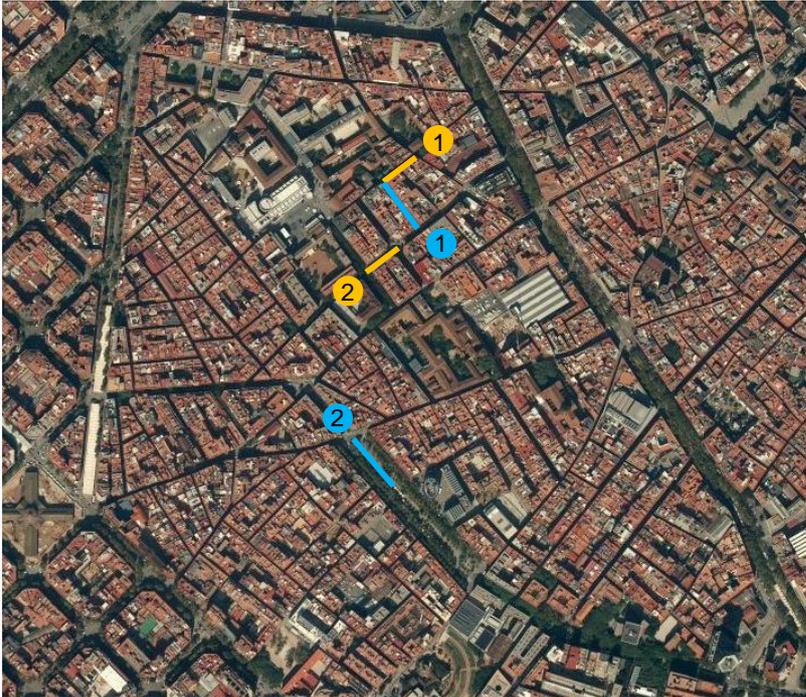


Gráfico N° 14: Ubicación áreas de estudio
Fuente: Google Earth

Considerando que la trama urbana en los dos barrios se caracteriza por contar generalmente con orientaciones NE-SO y NO-SE, en las dos áreas de estudio se han seleccionado dos cañones urbanos con cada orientación. De igual manera con el objetivo de evaluar la importancia de la relación de aspecto H/W, se ha procurado seleccionar los casos más extremos en este sentido. En los gráficos N° 15 y N° 16 se indica los cañones urbanos seleccionados en cada barrio y sus características morfológicas.



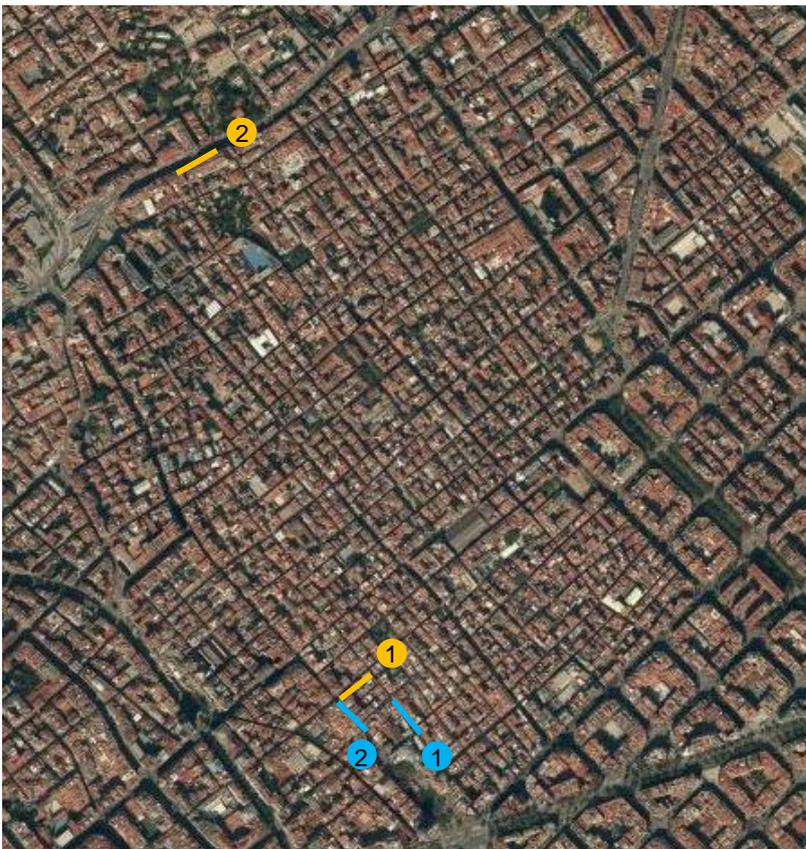
Orientación NE-SO

- 1 C. de Elisabets H/W=4
- 2 C. Pintor Fortuny H/W=1.6

Orientación NO-SE

- 1 C. del Notariat H/W=3.2
- 2 Rambla del Raval H/W=0.3

Gráfico N° 15: Ubicación cañones urbanos estudiados, barrio Raval
Fuente: Google Earth – Elaboración propia



Orientación NE-SO

- 1 C. de Jesús H/W=4.6
- 2 T. de Dalt H/W=1.6

Orientación NO-SE

- 1 C. de San Pere M. H/W=4
- 2 C. Gran de Gracia H/W=1.9

Gráfico N° 16: Ubicación cañones urbanos estudiados, barrio Gracia
Fuente: Google Earth – Elaboración propia

MORFOLOGÍA DE LOS CAÑONES URBANOS ANALIZADOS:

La morfología de los cañones urbanos analizados en los barrios Raval y Gracia se caracteriza según las variables indicadas en las Tablas N°1 y 2. A continuación se realiza una descripción más detallada de cada cañón, en relación a la geometría de la trama urbana, tipología edificada, materiales, presencia de vegetación y una descripción general del uso y ocupación que se hace de estos espacios.

BARRIO EL RAVAL:

Carrer de Elisabets: La calle tiene una orientación NE-SO, con una inclinación de 40 ° con respecto al eje Norte-Sur. En el tramo que se ha estudiado la calle tiene un ancho de 4,8m y los edificios presentan una altura homogénea (19m). Este espacio constituye un sitio de paso importante dentro del barrio del Raval, por lo que existe una presencia considerable y constante de personas a lo largo del día, siendo una calle en donde predomina el uso peatonal, sin embargo existe también circulación vehicular, que es mayor al mediodía. Si bien la zona se caracteriza por una trama de calles estrechas y edificios predominantemente de 5 y 6 pisos de altura, el tramo estudiado se encuentra cerca de espacios urbanos abiertos con presencia de vegetación, ya que hacia el extremo NE se ubica la plaza del Bonsuccés y hacia el SO se encuentran un jardín.

Carrer del Pintor Fortuny: La calle tiene una orientación NE-SO, con una inclinación de 40 ° con respecto al eje Norte-Sur. En el tramo que se ha estudiado la calle tiene un ancho de 11,9m y los edificios presentan una altura homogénea (19m). Este cañón es de circulación preferentemente vehicular, sin embargo existe un número considerable de peatones a lo largo del día. La calzada Norte cuenta con vegetación, que son árboles de hoja perenne de aproximadamente 12m de alto.

Carrer del Notariat: Esta calle presenta una orientación NO-SE, con una inclinación de 140 ° con respecto al eje Norte-Sur. La calzada tiene un ancho de 6m y los edificios tienen una altura uniforme en todo el largo. En cuanto al uso, existe muy poca circulación vehicular por lo que la calle es principalmente de uso peatonal. Se cuenta con vegetación, que son plantas ornamentales de baja altura.

Rambla del Raval: Este espacio corresponde a la calle principal del barrio el Raval y tiene una orientación NO-SE con una inclinación de 140 ° con respecto al eje Norte-Sur. El ancho del cañón urbano es de 58m, que se divide en dos aceras de circulación peatonal, dos vías de circulación vehicular y en el centro se ubica la rambla. Hacia la acera Este, en el tramo estudiado los edificios tienen una altura uniforme de 19m de alto, mientras que en la acera Oeste existen edificios de 5 y 6 pisos de altura, es decir de 16 y 19m de alto, respectivamente. Tanto en las aceras como la Rambla existe presencia de vegetación. Con respecto al uso, la circulación vehicular es permanente y considerable a lo largo del día, igualmente la presencia de peatones es elevado, sobre todo a partir del medio día.

BARRIO GRACIA:

Carrer de Jesús: Esta calle tiene una orientación NE-SO con una inclinación de 40 ° con respecto al eje Norte-Sur. Se trata de una calle bastante estrecha, pues la sección estudiada cuenta con un ancho de 3.2 y los edificios presentan una altura bastante

uniforme de 15m. Se trata de una vía de circulación predominantemente peatonal, siendo de poco tránsito, y no cuenta con vegetación.

Travessera de Dalt: Es una de las vías principales del barrio de Gracia, tiene una orientación NE-SO y una inclinación de 40° con respecto al eje Norte-Sur. La calzada tiene un ancho de 17m y los edificios cuentan con una altura más o menos uniforme de 27m, teniendo entre 8 y 9 pisos de altura. Al ser una vía principal de este barrio, cuenta con un alto tráfico vehicular, pues cuenta con dos carriles de circulación, así como también tiene una elevada presencia de peatones y fuentes de calor antropogénico. En la zona estudiada existe vegetación en ciertos tramos de las aceras.

Carrer de San Pere Martir: Tiene una orientación NO-SE con una inclinación de 135° con respecto al eje Norte-Sur. La calle tiene un ancho de 3,8m y los edificios presentan una altura de 15m. Es de uso peatonal predominantemente, sin embargo un tráfico intermitente de vehículos y también cuenta con vegetación en ciertos tramos, aunque es muy escasa.

Carrer Gran de Gracia: Cuenta con una orientación NO-SE y una inclinación de 135° con respecto al eje Norte-Sur. Aunque la calzada no es muy ancha es una de las vías principales de este barrio, pues lo atraviesa longitudinalmente, teniendo una sección de 8m de ancho y 15m de alto. En este cañón existe la presencia de importantes fuentes de calor antropogénico, pues cuenta con un elevado tráfico vehicular y peatonal. En todo el tramo estudiado existe presencia de vegetación.



C. Elisabets

C. Pintor Fortuny

C. del Notariat

Rambla del Ralval

Gráfico N° 17: Cañones urbanos estudiados en el barrio Raval

Fuente: Elaboración propia



C. de Jesús

Travessera de Dalt

C. San Pere M.

C. Gran de Gracia

Gráfico N° 18: Cañones urbanos estudiados en barrio Gracia

Fuente: Elaboración propia

Los cañones descritos anteriormente presentan una relativa uniformidad en cuanto a los materiales de cobertura de las superficies, en donde se identifican valores de albedo de aproximadamente 0,4 para los edificios y 0,3 en el piso y una emisividad de 0,9. La mayor diferencia en el caso de los materiales, es que en las calles de preferencia peatonal el pavimento es de concreto, mientras que en donde predomina la circulación vehicular el material es asfalto.

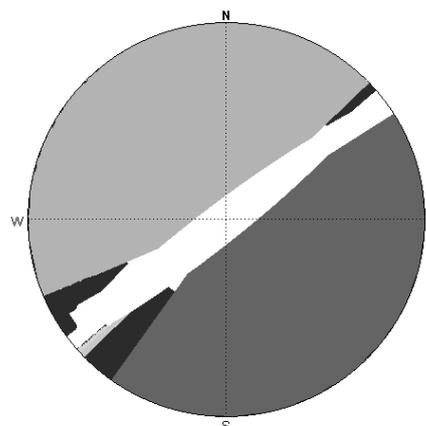
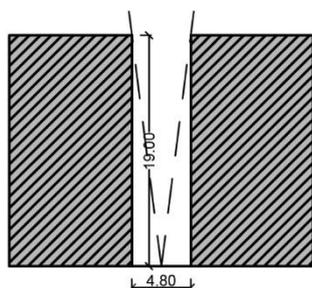
Calle	Variables morfológicas				
	Orientación	Ancho calle (W)	Altura edificios (H)	H/W	SVF
C. Elisabets	NE-SO	4,8	19	4,0	0,1
C. Pintor Fortuny	NE-SO	11,9	19	1,6	0,24
C. del Notariat	NO-SE	6	19	3,2	0,16
Rambla del Raval	NO-SE	58	19	0,3	0,64

Tabla N° 1: Características morfológicas de los cañones urbanos estudiados en el barrio Raval
Fuente: Elaboración propia

Calle	Variables morfológicas				
	Orientación	Ancho calle (W)	Altura edificios (H)	H/W	SVF
C. de Jesús	NE-SO	3,2	15	4,6	0,09
T. de Dalt	NE-SO	17	27	1,6	0,35
C. de San Pere M	NO-SE	3,8	15	4	0,1
C. Gran de Gracia	NO-SE	8	15	1.9	0,2

Tabla N° 2: Características morfológicas de los cañones urbanos estudiados en el barrio Gracia
Fuente: Elaboración propia

ORIENTACIÓN NE-SO		
C. de Elisabets	H/W= 4	SVF=0.10



C. del Pintor Fortuny	H/W= 1.6	SVF=0.3
------------------------------	-----------------	----------------

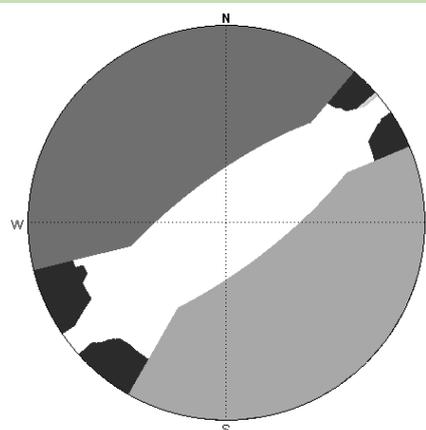
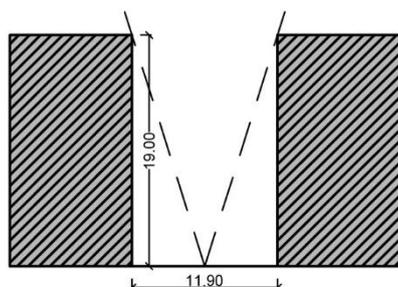


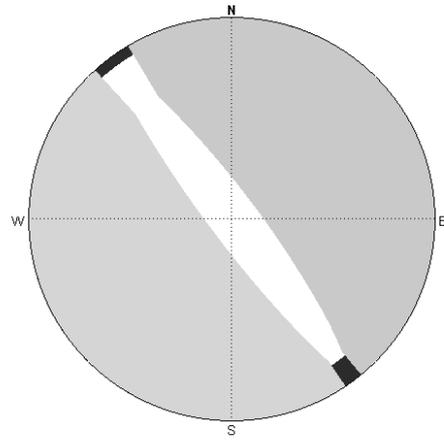
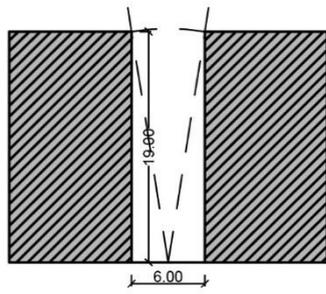
Gráfico N° 19: Variables morfológicas de los cañones urbanos estudiados en el barrio el Raval
Fuente: Elaboración propia

ORIENTACIÓN NO-SE

C. del Notariat

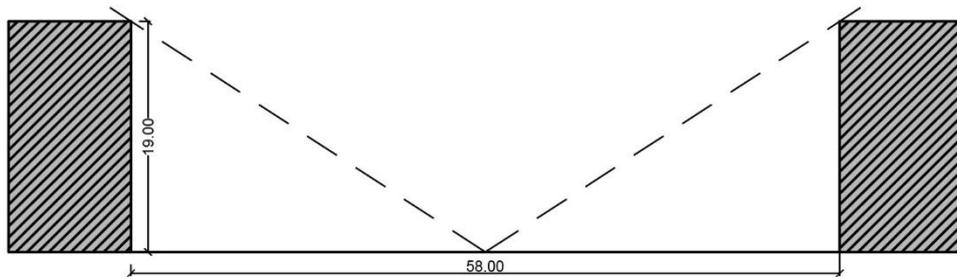
H/W= 3.2

SVF=0.16



Rambla del Raval

H/W= 0.3



SVF= 0.64

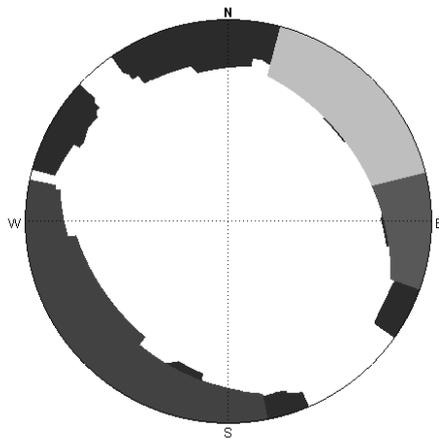


Gráfico N° 20: Variables morfológicas de los cañones urbanos estudiados en el barrio el Raval
Fuente: Elaboración propia

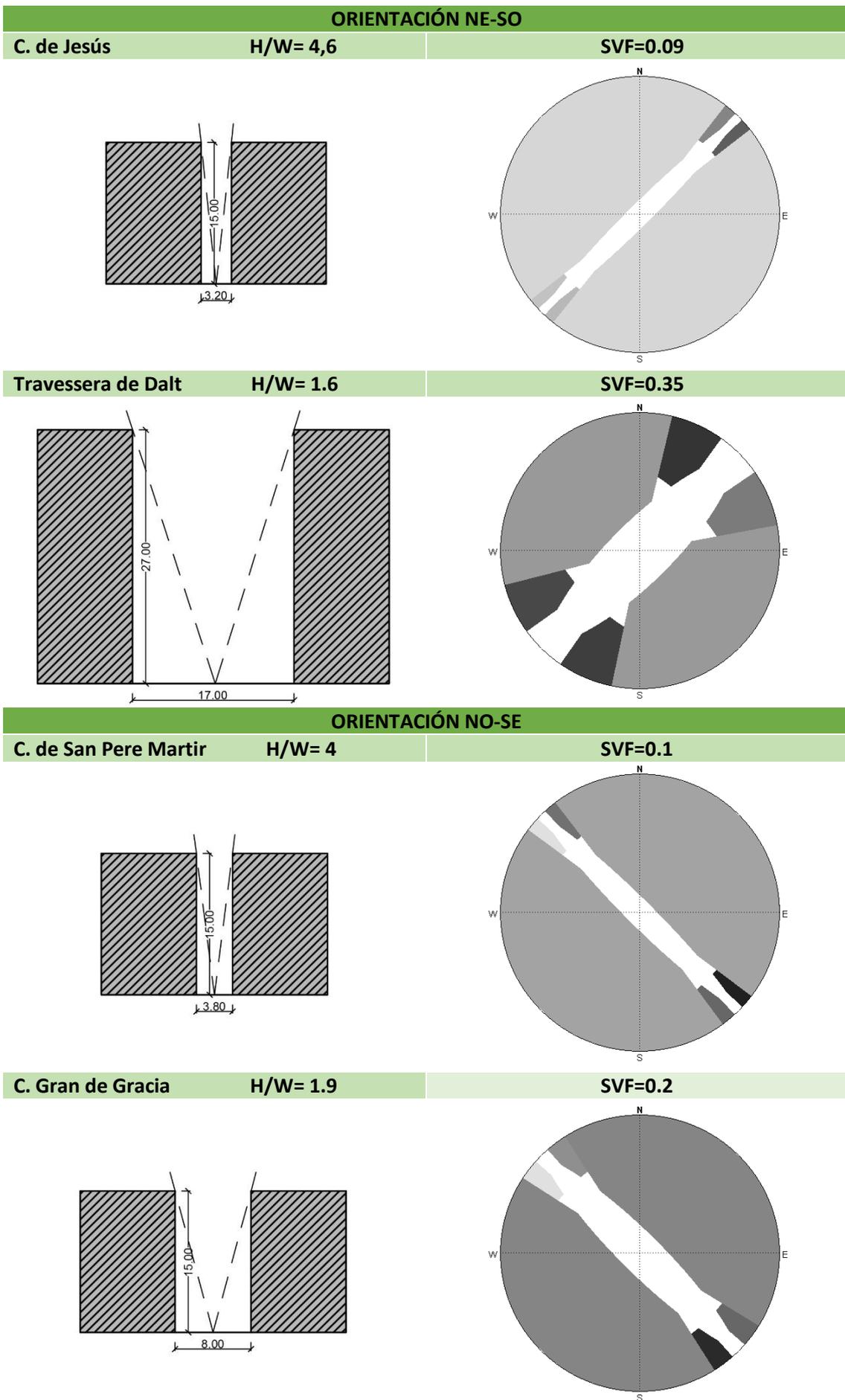


Gráfico N° 21: Variables morfológicas de los cañones urbanos estudiados en el barrio Gracia

ANÁLISIS DEL MICROCLIMA EN LOS CAÑONES URBANOS ESTUDIADOS:

De acuerdo a las mediciones registradas de los parámetros climáticos de temperatura del aire, velocidad del aire y temperatura de las superficies y mediante la simulación para el cálculo de la radiación incidente a través de software Heliodón se ha podido caracterizar las condiciones microclimáticas que se presentan en cada cañón urbano.

A continuación se describen cada uno de los parámetros que modifican el microclima urbano en relación a la morfología de los cañones estudiados.

Barrio Raval: Radiación Solar por superficies

Como se puede observar en los gráficos, mediante una simulación en el software Heliodón se ha calculado la cantidad de radiación incidente (kWh/m^2) cada dos horas, desde las 7:00 am hasta las 21:00, que corresponde al periodo de soleamiento para la fecha analizada. Se ha dividido por fachadas y piso para analizar cómo afecta la orientación y la relación de aspecto del cañón H/W en la radiación incidente sobre las diferentes superficies.

Para el cálculo mediante el software Heliodón, se ha modelado la geometría de cada cañón urbano y como se observa en el gráfico N°22, se ha obtenido la Radiación incidente en KWh en cada fachada y el piso (considerando en cada caso tanto la porción de superficie a la que llega Radiación directa como la que esta a la sombra) y este valor se ha dividido para el área de cada superficie.

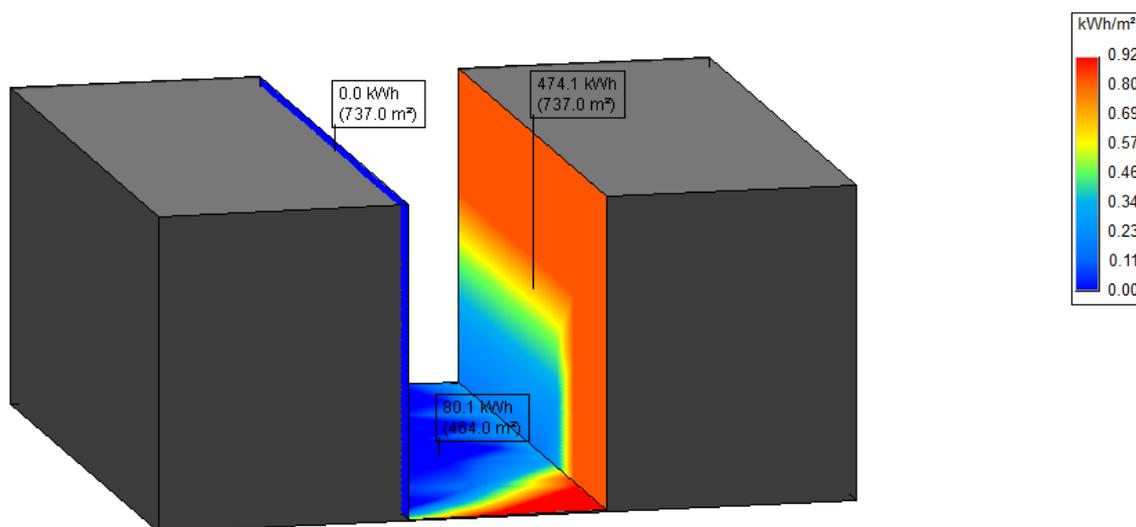


Gráfico N° 22: Ejemplo cálculo de radiación solar incidente en superficies de fachada y piso
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

Analizando los cañones con orientación NE-SO, se puede ver que si bien el cañón con menor relación de aspecto ($H/W=1.6$) recibe una mayor cantidad de Radiación en todas las superficies, con respecto a la Radiación incidente en fachadas, no se observa una diferencia significativa entre las dos calles, sobre todo en las primeras horas de mañana y últimas de la tarde. Como se puede notar de 13:00 a 17:00 la radiación incidente en las fachadas de los dos cañones NE-SO es casi igual. Sin embargo de 9:00 a 13:00 y a 17:00-19:00 el cañón con menor relación de aspecto recibe el doble de radiación que el otro. Respecto al piso, se puede notar una mayor diferencia, ya que la cantidad de radiación incidente en especial en el periodo de 11:00 a 17:00 es considerablemente mayor en el cañón con una relación de aspecto menor.

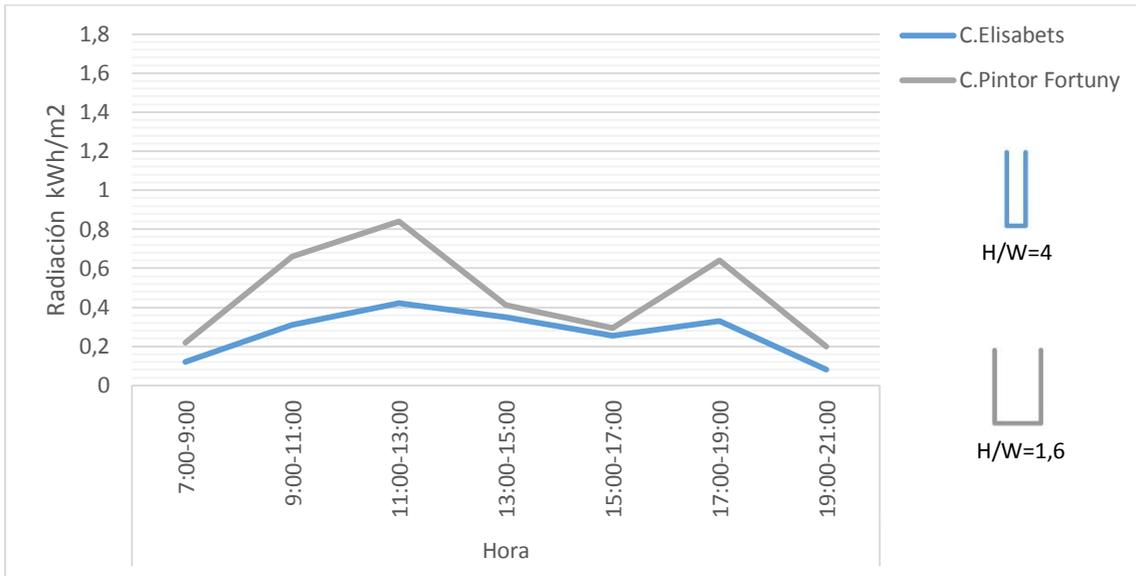


Gráfico N° 23: Radiación solar en fachadas (calles orientación NE-SO)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

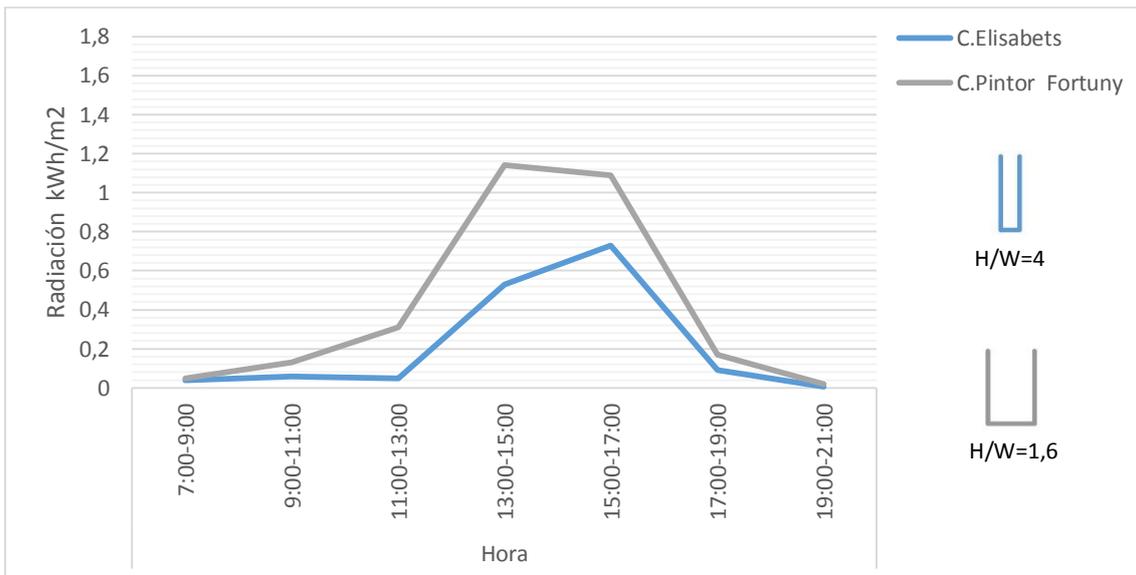


Gráfico N° 24: Radiación solar en piso (calles orientación NE-SO)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

Considerando los cañones urbanos con orientación NO-SE, al tener estos un mayor contraste de relación de aspecto (H/W de 3,2 frente a uno de 0,3), se puede evidenciar una mayor diferencia de radiación incidente. Por ejemplo durante la mañana (7:00 a 11:00) y en la tarde a partir de las 15:00, la radiación que reciben las fachadas en el cañón urbano con menor relación de aspecto (0,3) es aproximadamente el doble y en la mayoría de casos el triple de lo que reciben las fachadas del cañón con una relación de aspecto de 3,2. Igualmente la radiación incidente en el piso es notablemente mayor en el caso de la Rambla de Raval, especialmente en horas de la tarde.

En ambas orientaciones se puede observar que la radiación incide en el piso de los cañones con mayor relación de aspecto (4 y 3,2) únicamente de 11:00 a 15:00 en el caso de la calle Notariat y hasta las 17:00 en la calle Elisabets, mientras que se puede observar que en la Rambla la radiación incide en el piso durante todo el día.

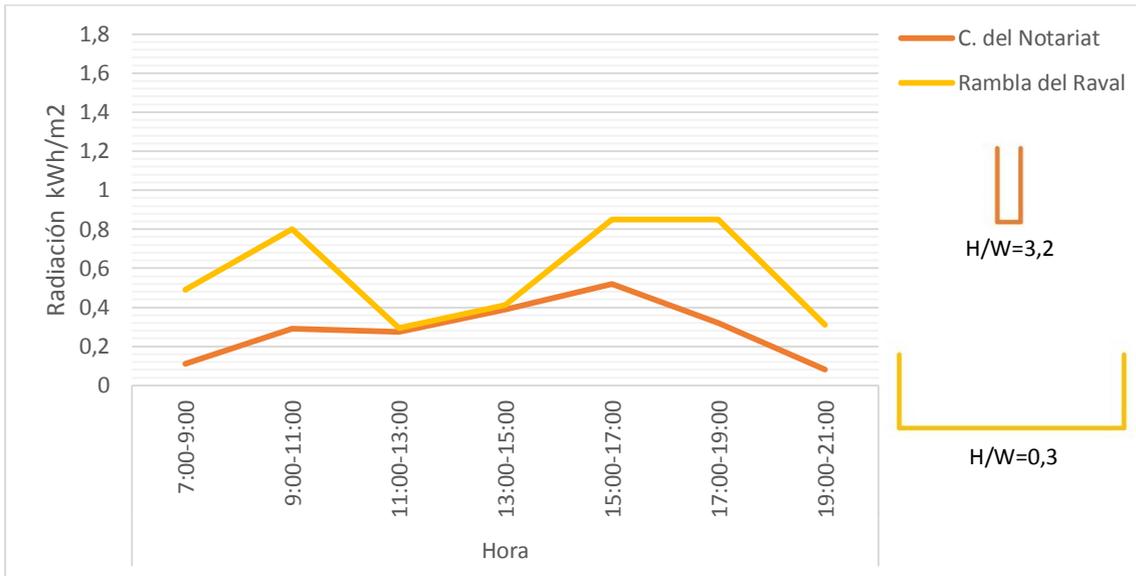


Gráfico N° 25: Radiación solar en fachadas (calles orientación NO-SE)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

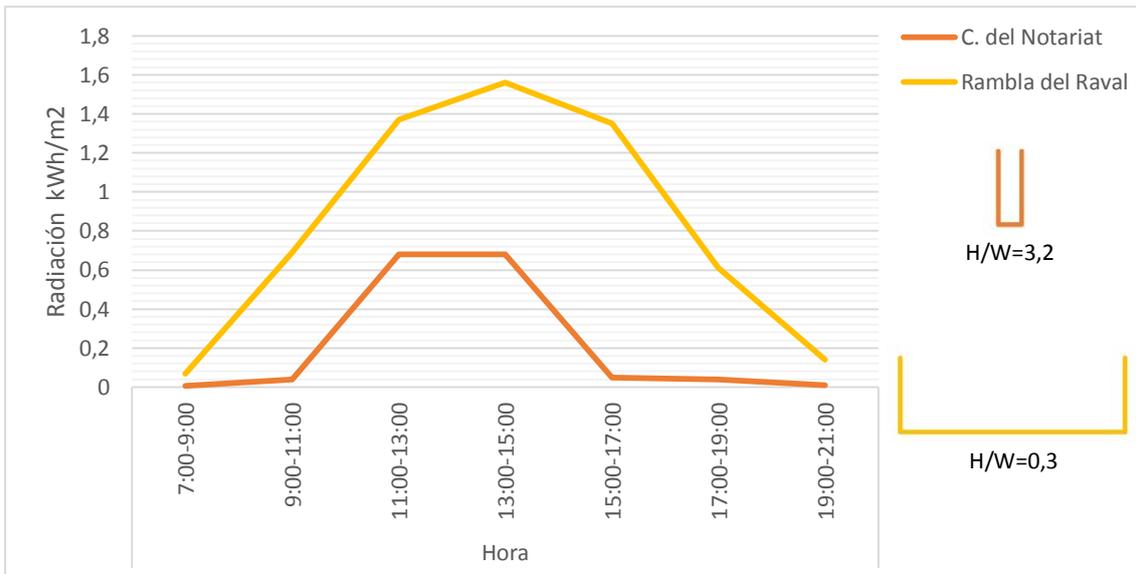


Gráfico N° 26: Radiación solar en piso (calles orientación NO-SE)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

Barrio Gracia: Radiación Solar por superficies

Analizando la radiación solar incidente en las calles del barrio Gracia, si bien se observa la misma tendencia que en el barrio el Raval, se puede notar que en el caso de las calles con orientación NE-SO de Gracia existe una mayor diferencia en la relación de aspecto, por lo que la radiación incidente en fachadas en Travessera de Dalt (menor H/W) las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, es aproximadamente el triple de la radiación que incide en la calle Jesús, que tiene una relación de aspecto mayor. Sin embargo en el periodo de 11:00 a 13:00 y de 15:00 a 17:00 se puede observar que la diferencia es menor, pues la radiación incidente en la calle con menor H/W es el doble que en la calle con mayor relación de aspecto. Así mismo al igual que lo que sucede en Raval, de 13:00 a 15:00 la radiación incidente es casi igual en los dos casos.

Con respecto al piso, se observa que se presenta una mayor diferencia entre las dos calles con orientación NE-SO, que en caso del Raval, sobretodo en las horas de la tarde.

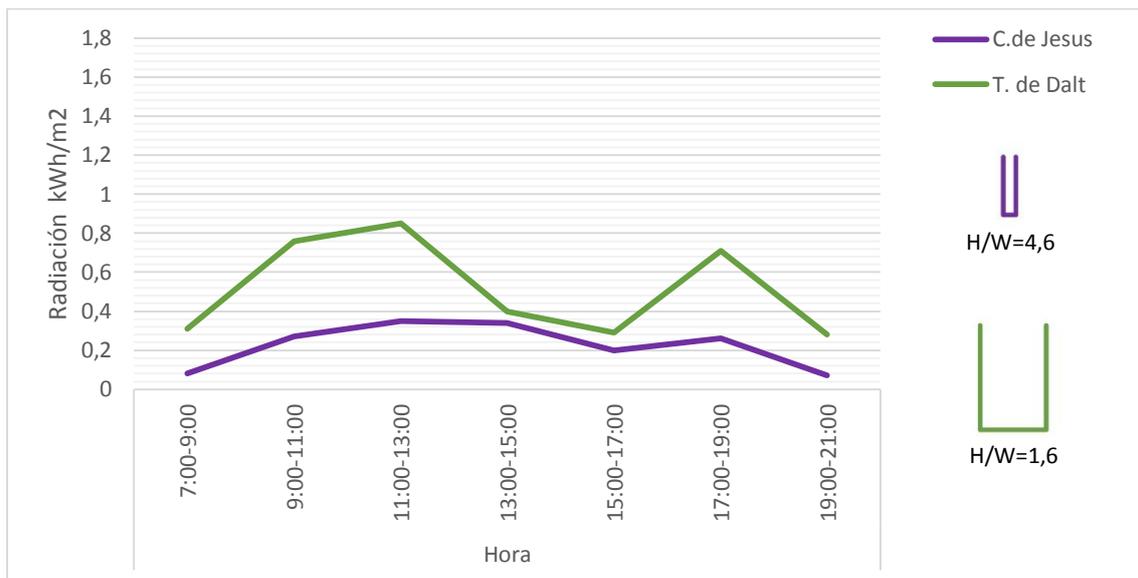


Gráfico N° 27: Radiación solar en fachadas (calles orientación NE-SO)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

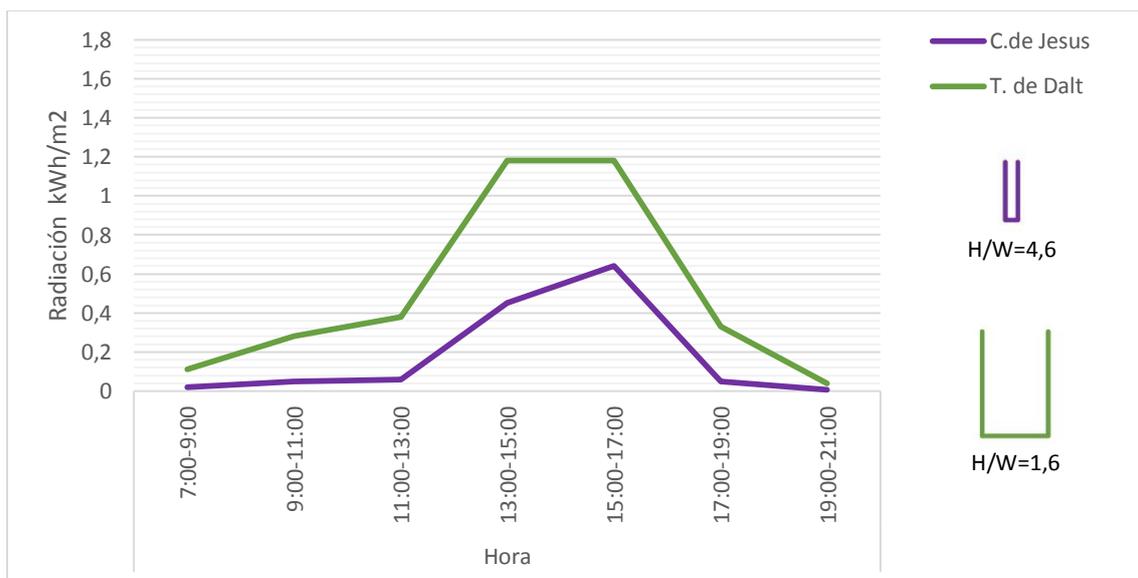


Gráfico N° 28: Radiación solar en piso (calles orientación NE-SO)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

Considerando las calles con orientación NO-SE, se evidencia que por tener un menor contraste en su relación de aspecto, existe una menor diferencia de Radiación incidente entre los dos cañón es urbanos. No ostante a excepción del periodo de 11:00 a 15:00 en donde la radiación incidente es la misma, se puede observar que en la calle con menor relación de aspecto la cantidad de radiación incidente es el doble que en la calle San Pere, que tiene un mayor H/W. Igualmente con relación al piso se puede notar que el cañón con un mayor H/W casi no recibe Radiación especialmente en horas de la mañana, en tanto que en la tarde se observa una diferencia mínima entre las dos calles, sin embargo en el periodo del mediodía, existe una diferencia significativa especialmente a las 15:00.

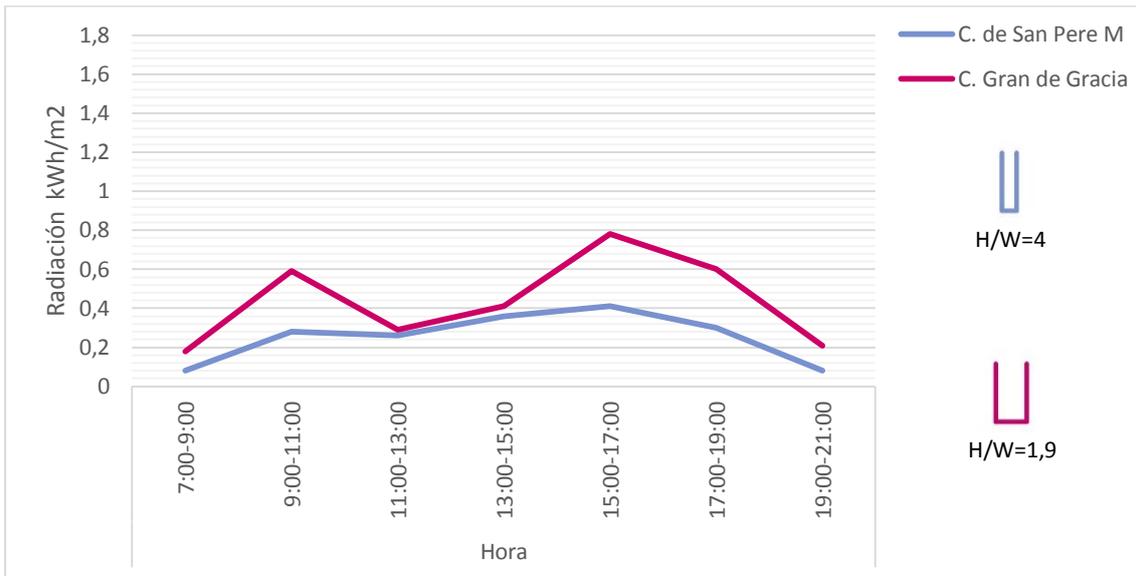


Gráfico N° 29: Radiación solar en fachadas (calles orientación NO-SE)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

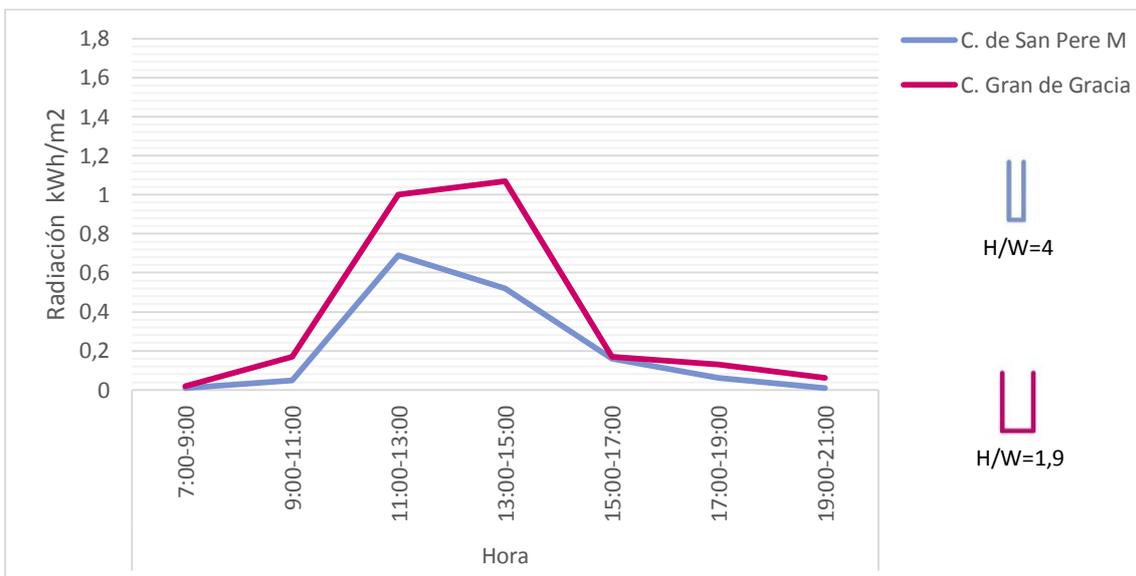


Gráfico N° 30: Radiación solar en piso (calles orientación NO-SE)
Fuente: Cálculo mediante software Heliodón –elaboración propia

Barrio Raval: Temperatura del aire

Como se puede ver en el gráfico 1, durante las horas de la mañana no se observa mayor diferencia entre las calles con orientación NE-SO, teniendo mayores temperaturas en la calle con una relación de aspecto menor (1.6). Sin embargo en las horas de la tarde y noche esto se invierte y se ve que la calle con mayor H/W (4) las temperaturas son superiores y se nota una mayor diferencia entre las dos calles. También se observa que desde las 15:00 a las 19:00 las temperaturas descienden a mayor velocidad en el cañón con menor relación de aspecto, mientras que de 17:00 a 23:00 la temperatura va disminuyendo levemente, lo cual podría justificarse también por el calor antropogénico, ya que durante estas horas había una cantidad considerable de personas y tráfico. Es importante considerar que este descenso menos acelerado de la temperatura del aire que se presenta en la calle con mayor H/W, además de tener relación con un aumento

de radiación en horas de la tarde (especialmente a las 19:00), se puede justificar también por el fenómeno de atrapamiento radiactivo y por un bajo valor de SVF que disminuyen el enfriamiento de las superficies con respecto al cañón de menor relación de aspecto.

En el gráfico 2 se puede observar una tendencia similar en las calles con orientación NO-SE, sin embargo se nota que la diferencia de temperatura por la mañana es más significativa que la registrada en las calles con orientación NE-SO. Se observa también que a partir de las 23:00 la temperatura en la Rambla (menor H/W) desciende más bruscamente.

Esto se justifica debido a que en la orientación NO-SE, la diferencia de relación de aspecto entre las dos calles es mayor, por lo tanto la Rambla del Raval al tener un H/W bastante bajo (0,3) es un espacio casi abierto, se calienta rápidamente por la radiación incidente las primeras horas de la mañana. Mientras que en la calle Notariat la radiación llega a todas las superficies más tarde, pero la geometría del cañón urbano hace que la radiación se refleje dentro de este, determinando un sobrecalentamiento de las superficies con respecto al caso de la Rambla. Esto conduce a que a partir de las 13:00 se conserven temperaturas más altas en la calle con mayor relación de aspecto, que permanecen elevadas durante la tarde y noche, por causa de un enfriamiento más lento al tener un factor de vista menor.

De esta manera igualmente de la segunda medición se puede concluir también que durante la tarde y noche en ambas orientaciones las calles con mayor H/W conservan temperaturas más elevadas y que van descendiendo a menor ritmo que las calles con menor H/W, siendo más evidente como se explicó en las calles con orientación NO-SE.

Con respecto a la medición realizada el día 17 de Julio, esta última medición se puede considerar como un caso especial, ya que como se puede notar las temperaturas registradas son notablemente mayores que en las otras dos mediciones anteriores. Si bien la tendencia de la temperatura se presenta similar a las otras dos mediciones, como se puede observar en las calles con orientación NE-SO, se registran valores que son prácticamente iguales, lo mismo sucede en la orientación NO-SE durante la mañana, ya que en la tarde se puede nuevamente evidenciar que la calle con mayor relación de aspecto cuenta con mayores temperaturas que en la calle con menor H/W. De acuerdo con esto, en la orientación NO-SE, se puede notar la importancia del factor de vista del cielo, ya que a pesar de contar con temperaturas bastante similares a lo largo del día, durante la noche se puede evidenciar que en el cañón urbano de mayor H/W existe un enfriamiento más lento, que conduce a que las temperaturas se conserven más elevadas.

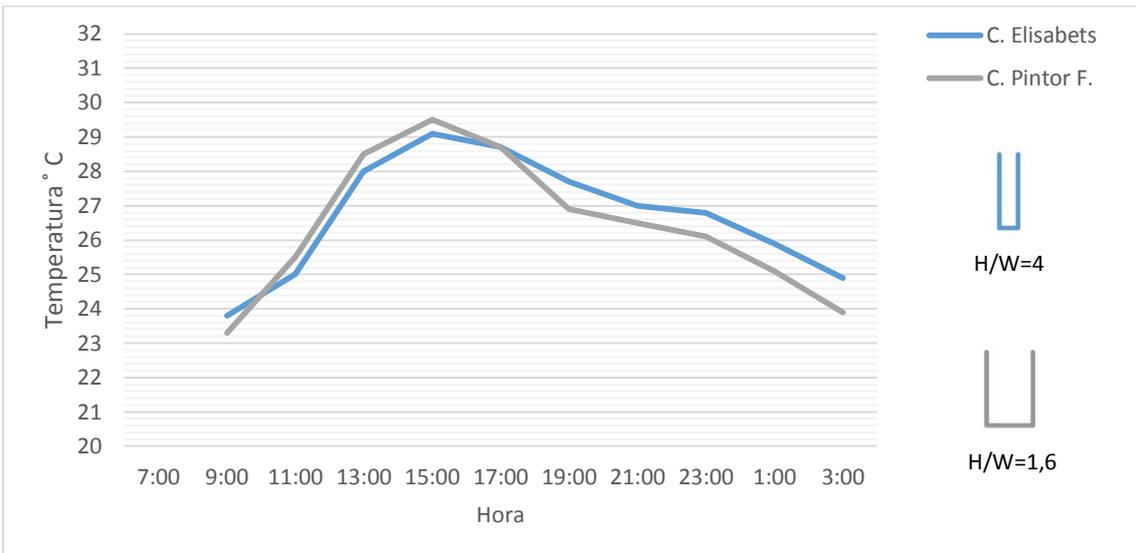


Gráfico N° 31: Temperatura del aire, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 04-07-2014)

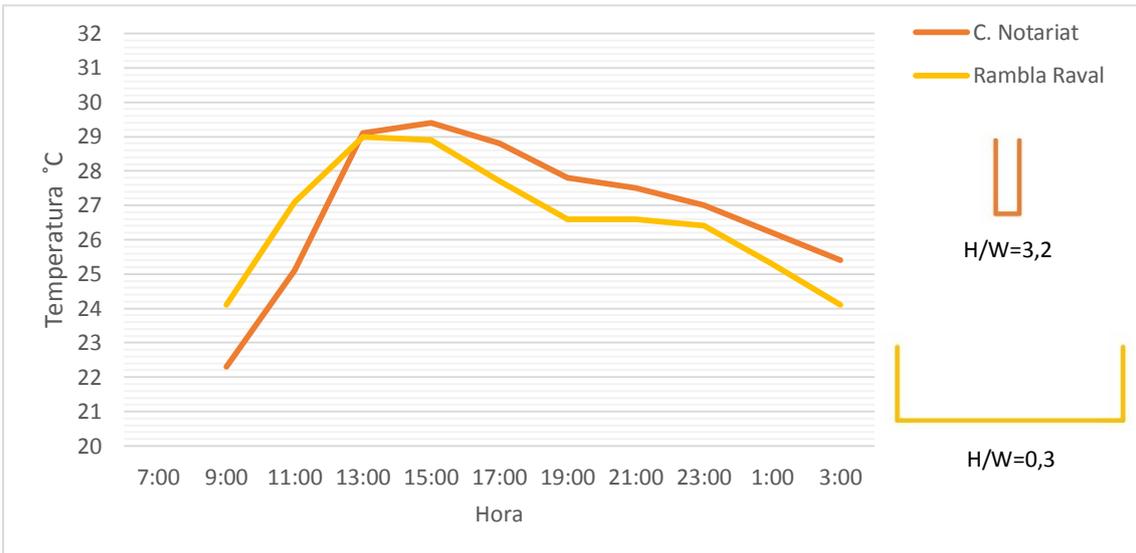


Gráfico N° 32: Temperatura del aire, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 04-07-2014)

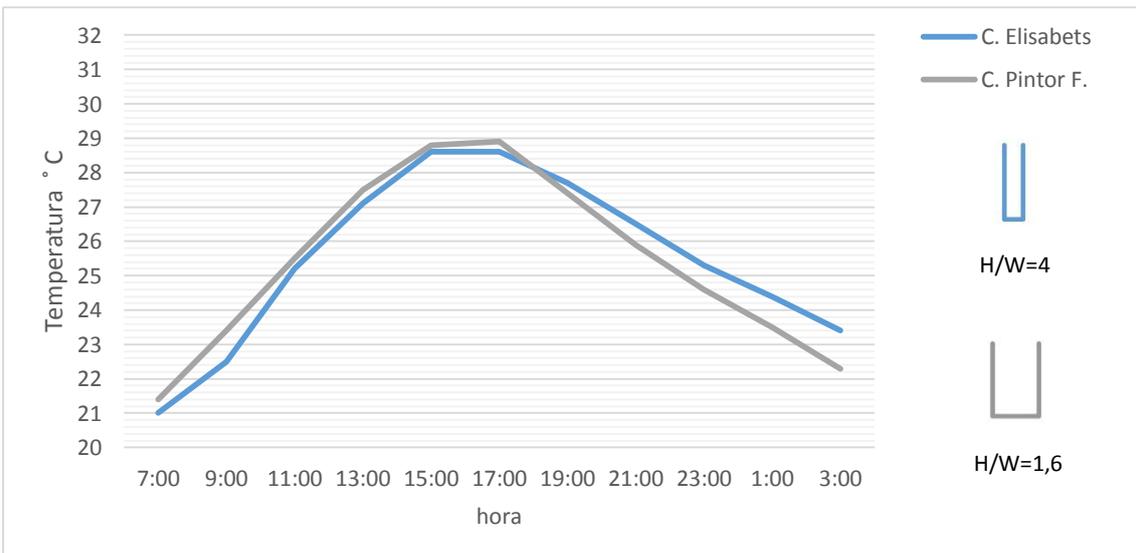


Gráfico N° 33: Temperatura del aire, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 10-07-2014)

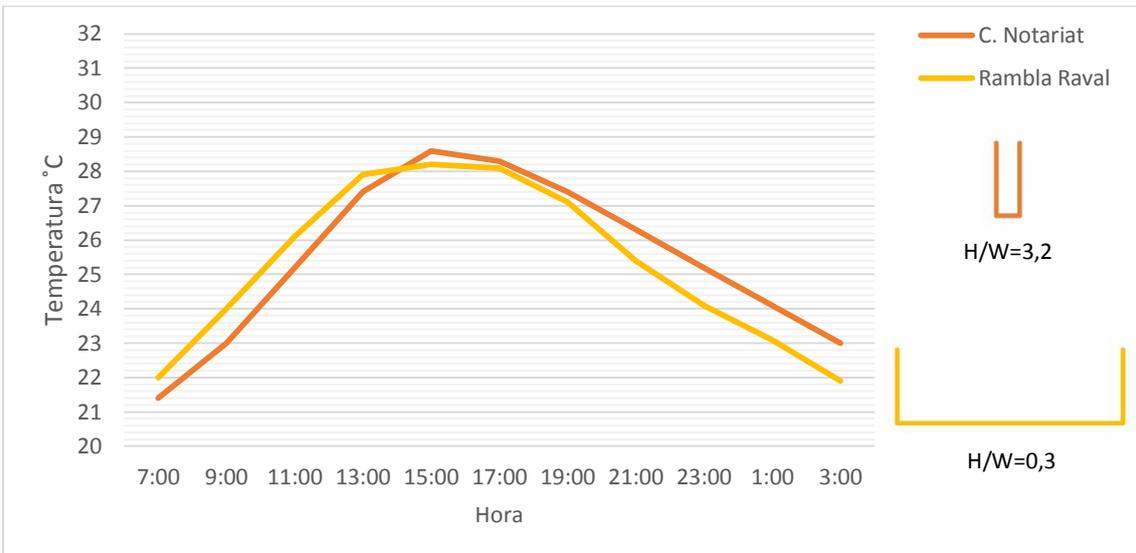


Gráfico N° 34: Temperatura del aire, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 10-07-2014)

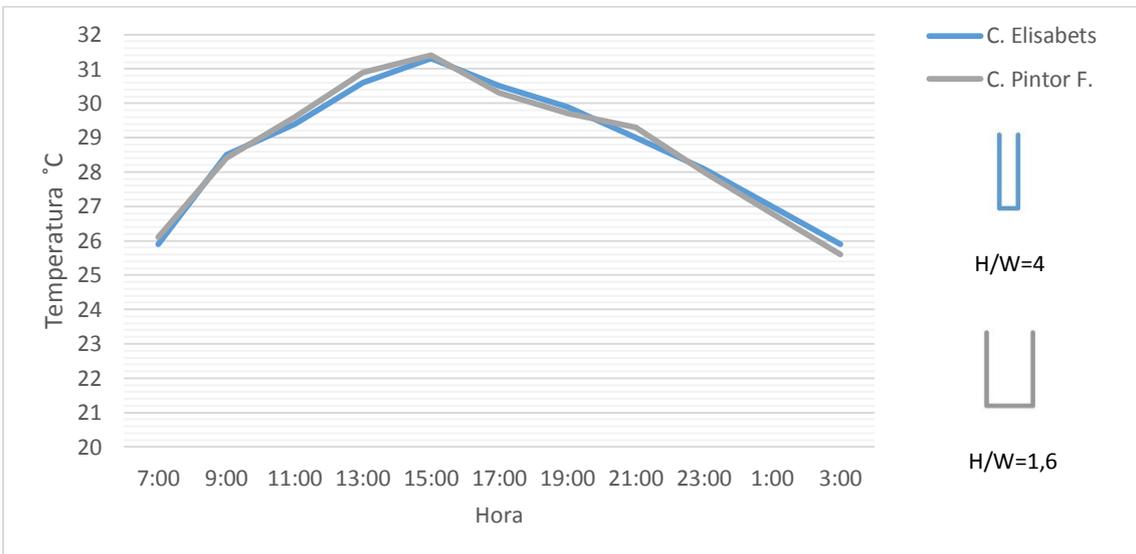


Gráfico N° 35: Temperatura del aire, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 17-07-2014)

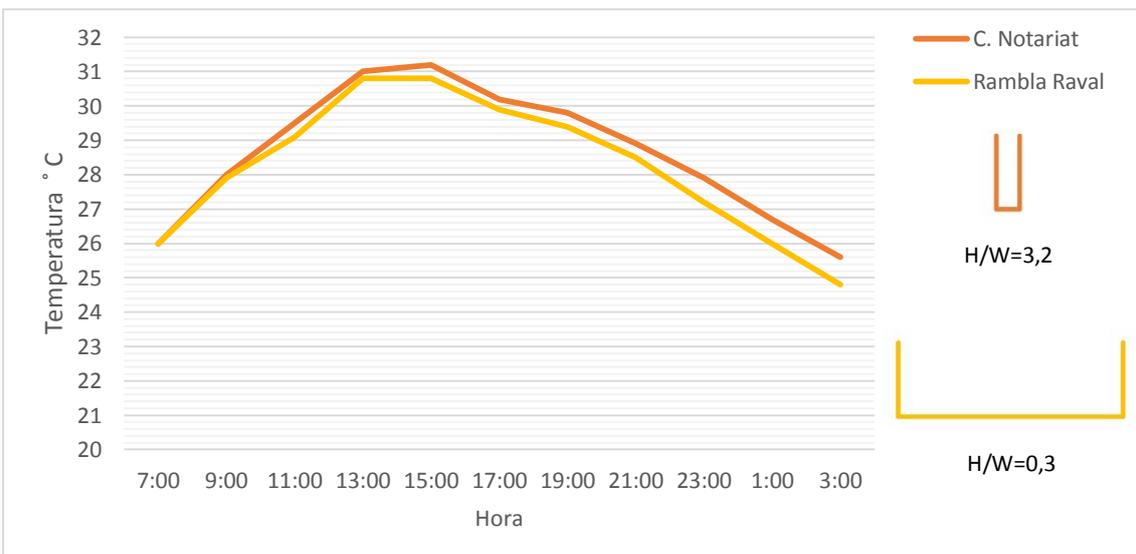


Gráfico N° 36: Temperatura del aire, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 17-07-2014)

Barrio Gracia: Temperatura del aire

Con respecto al barrio de Gracia en la medición del 17 de julio, se puede notar que contrario a lo que se presenta en el barrio el Raval, en la orientación NE-SO, la temperatura durante las mañanas es mayor en la calle de Jesús (mayor H/W), sin embargo a partir de las 15:00 estas comienzan a descender a mayor ritmo que en el caso de Travessera de Dalt (menor H/W), invirtiéndose el comportamiento de la temperatura, pues los valores son menores en la calle con mayor H/W. A partir de las 23:00 nuevamente la situación se invierte y las temperaturas son mayores en el cañón con mayor relación de aspecto, a partir de esta hora la temperatura desciende más levemente en esta calle.

Sin embargo en la orientación NO-SE se puede evidenciar un comportamiento similar al que se presenta en el caso del Raval, pues durante la mañana, si bien la diferencia es mínima, las temperaturas son mayores en la calle con menor relación de aspecto, mientras que para la tarde estas comienzan a descender a mayor ritmo que en la calle con mayor H/W, llegando a ser inferiores a partir de las 23:00. A partir de esta hora se registra una mayor diferencia de temperatura entre los dos cañón es.

Con respecto a la medición realizada el 24 de julio, se puede notar la misma tendencia que la medición anterior, sin embargo en el caso de la orientación NE-SO la temperatura en la calle de mayor relación de aspecto es mayor las primeras horas de la mañana y a partir de las 23:00. Aquí se evidencia nuevamente que el enfriamiento en horas de la noche es menos acelerado en el cañón urbano con mayor relación de aspecto. Lo mismo se puede concluir de los datos registrados en las calles con orientación NO-SE, en donde durante el día se sigue conservando mayor la temperatura en el cañón con menor relación de aspecto, mientras que a partir de las 23:00 sucede lo contrario. Esto se produce debido a que como se puede notar a partir de las 21:00 la temperatura va descendiendo más levemente en el cañón con mayor relación de aspecto.

De estas mediciones se puede concluir que la mayor parte del tiempo las temperaturas son más altas en las calles con menor relación de aspecto, lo cual se ve influenciado también porque tanto Travessera de Dalt como carrer Gran de Gracia presentan fuentes de calor antropogénico mucho más importantes que carrer de Jesús y San Pere, lo cual puede afectar los resultados, sobre todo en las horas de tarde cuando el tráfico vehicular se incrementa.

Sin embargo en horas de la noche se hace evidente la importancia de un menor factor de vista del cielo que determina un enfriamiento más lento en los cañones con mayor relación de aspecto, pues por la noche se observa que en general la tendencia de las temperaturas es igual al caso del Raval, conservándose temperaturas superiores en estos cañones.

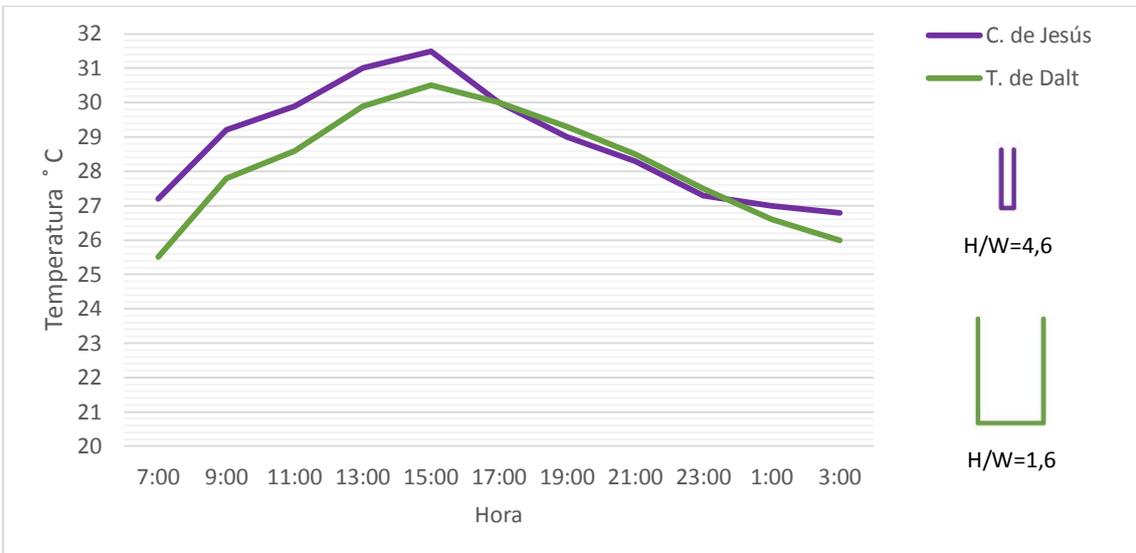


Gráfico N° 37: Temperatura del aire, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 17-07-2014)

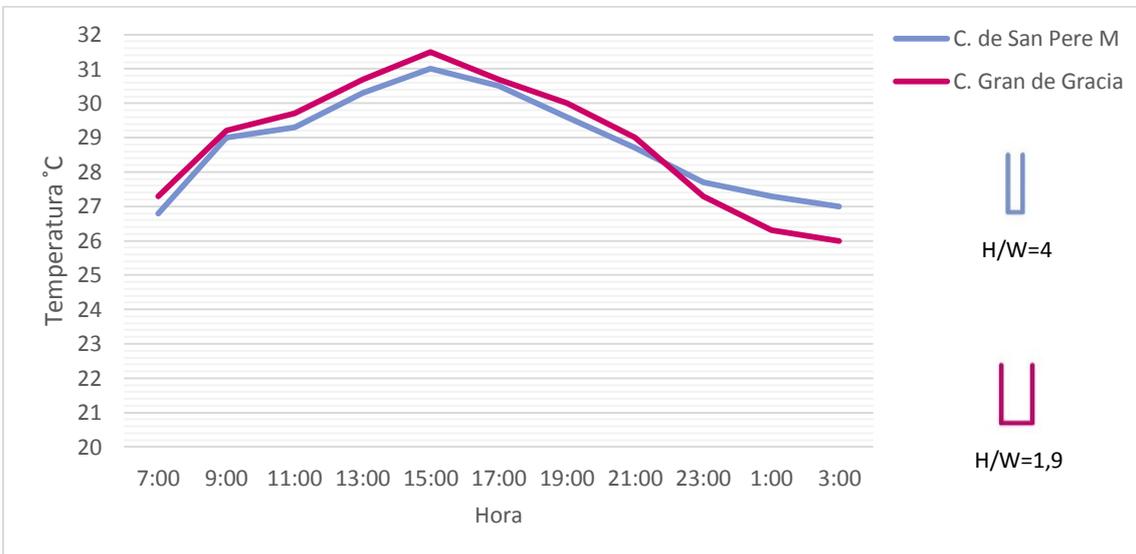


Gráfico N° 38: Temperatura del aire, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 17-07-2014)

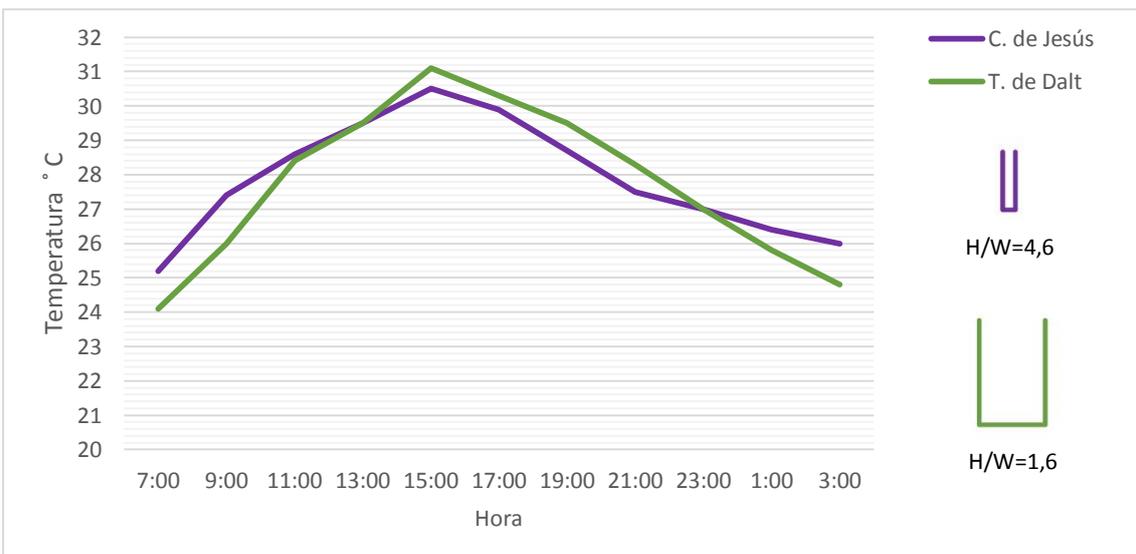


Gráfico N° 39: Temperatura del aire, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 24-07-2014)

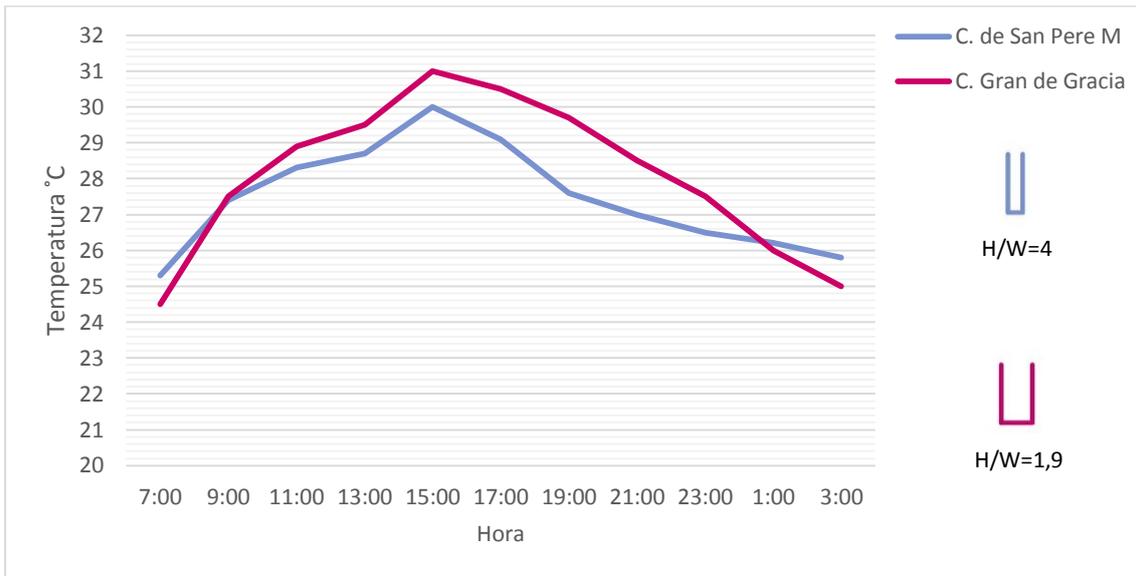


Gráfico N° 40: Temperatura del aire, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 24-07-2014)

Barrio Raval: Temperatura de las superficies

Analizando los cañones con orientación NE-SO, de las mediciones registradas en los dos días se puede observar una tendencia similar con respecto a la fachada 1, en donde la temperatura superficial desde la tarde y noche hasta las 3:00 permanece mínimamente superior en el cañón con menor relación de aspecto, si bien de 17:00 a 21:00 se puede notar una mayor diferencia. Mientras que desde las 9:00 a 15:00 la temperatura superficial de esta fachada es mucho mayor en el cañón con menor H/W, lo cual se corresponde con una mayor radiación incidente como se puede observar en el gráfico N° 41.

Con respecto a la fachada 2, contrario a lo anterior, es durante la mañana cuando las temperaturas superficiales son bastante similares en ambos cañones, mientras que a partir de las 15:00 existe un notable incremento en las temperaturas del cañón con menor H/W, que se mantienen superiores hasta las 3:00. Como se puede observar en el gráfico N° 41, la radiación incidente en el periodo de 13:00 a 17:00 es bastante similar en ambos cañones, sin embargo es justamente en estas horas cuando se registra una notable diferencia entre las temperaturas superficiales de la fachada 2. Igualmente se puede notar que la temperatura superficial (especialmente en la fachada 2) va descendiendo a mayor ritmo en el cañón con menor relación de aspecto.

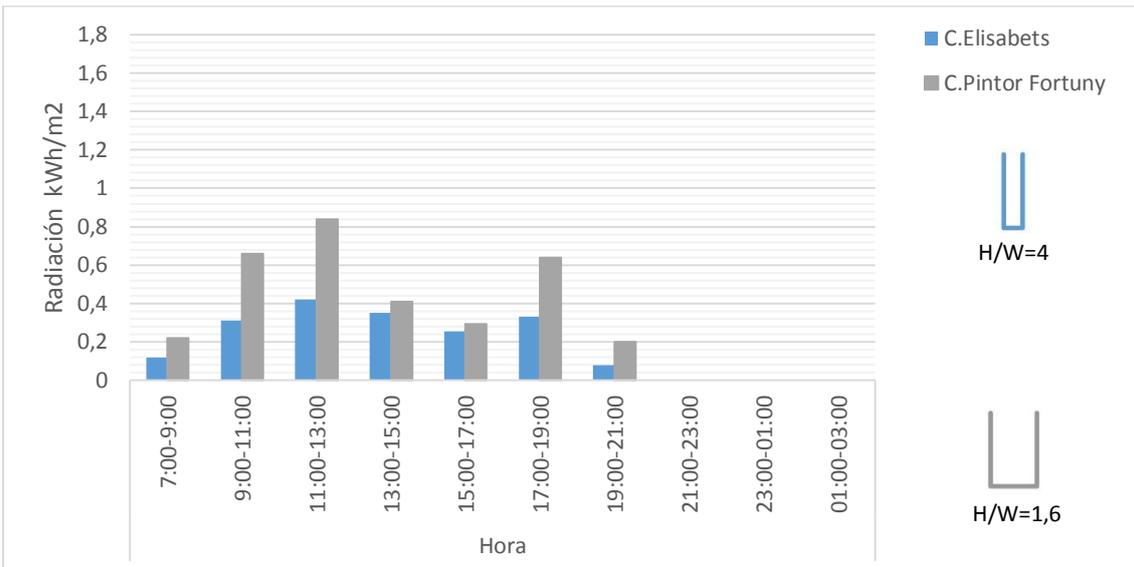


Gráfico N° 41: Radiación incidente en superficie de fachadas, calles Orientación NE-SO (cálculo software Heliodón)

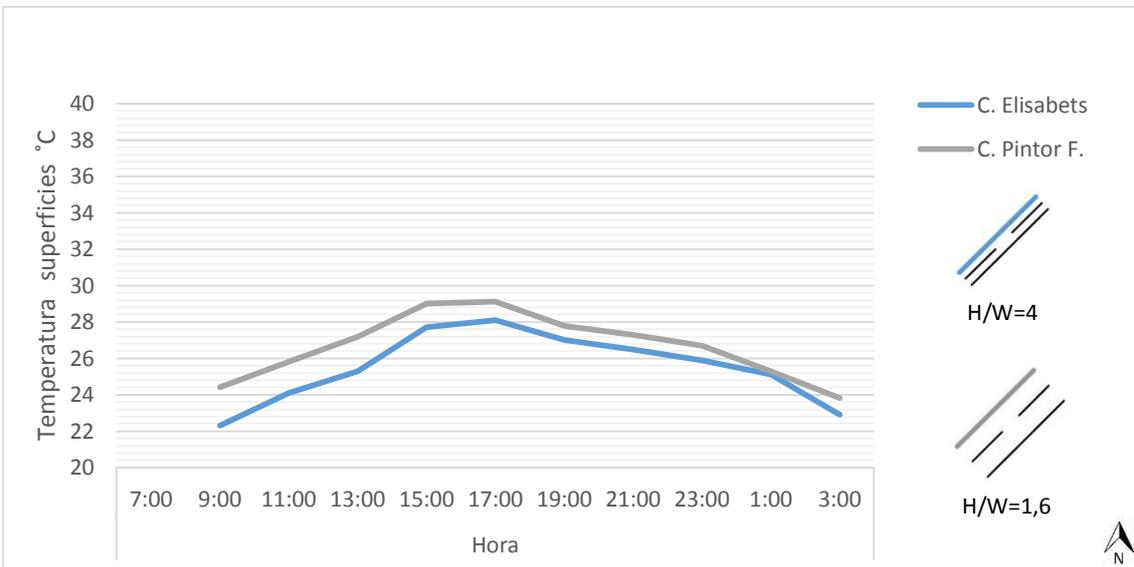


Gráfico N° 42: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 1 (fecha medición: 04-07-2014)

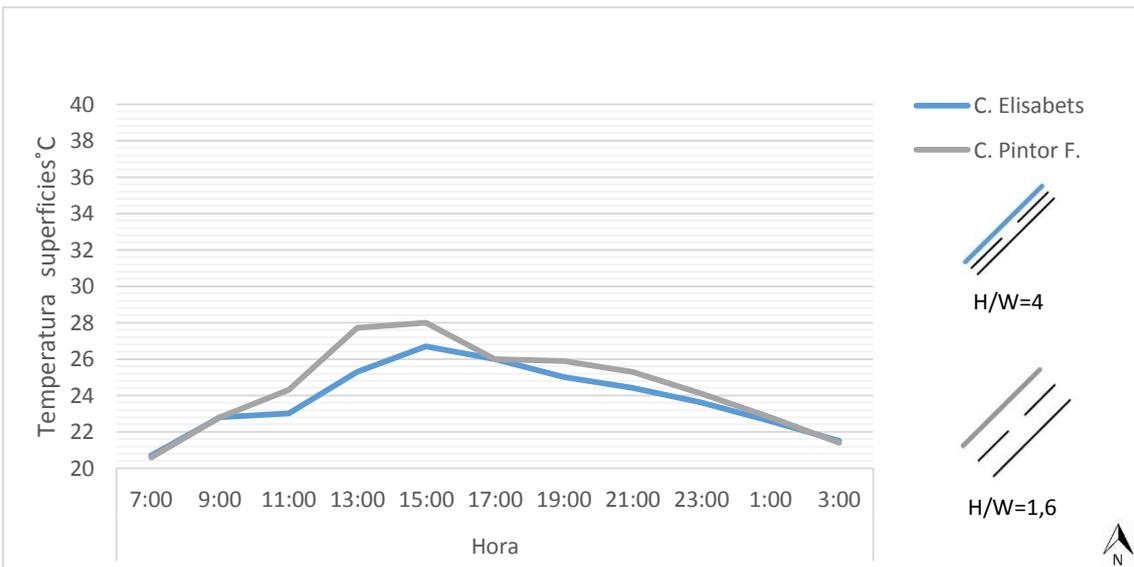


Gráfico N° 43: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 1 (fecha medición: 10-07-2014)

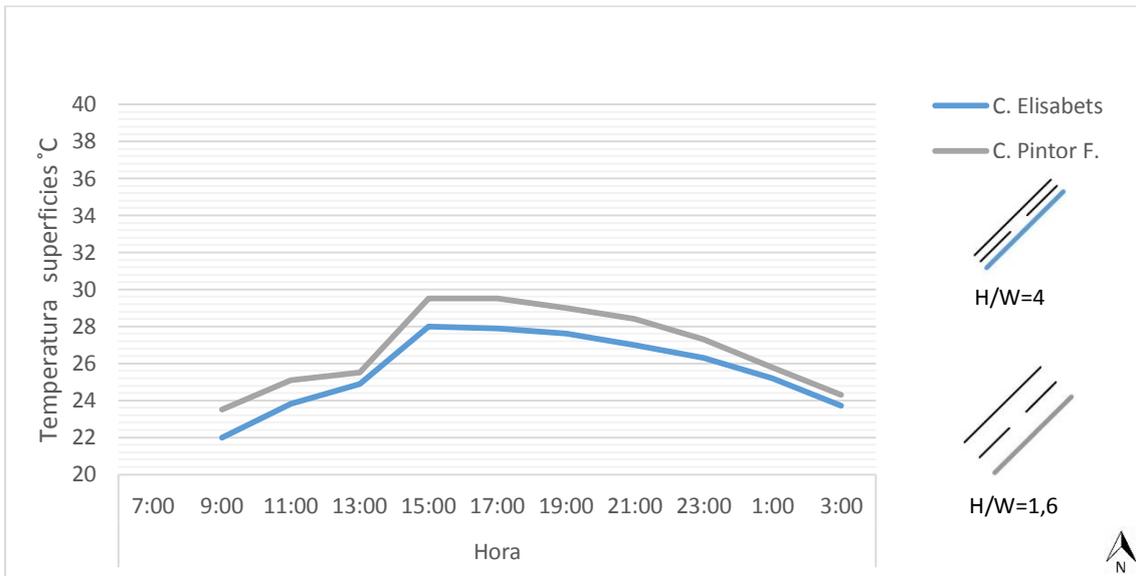


Gráfico N° 44: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 2 (fecha medición: 04-07-2014)

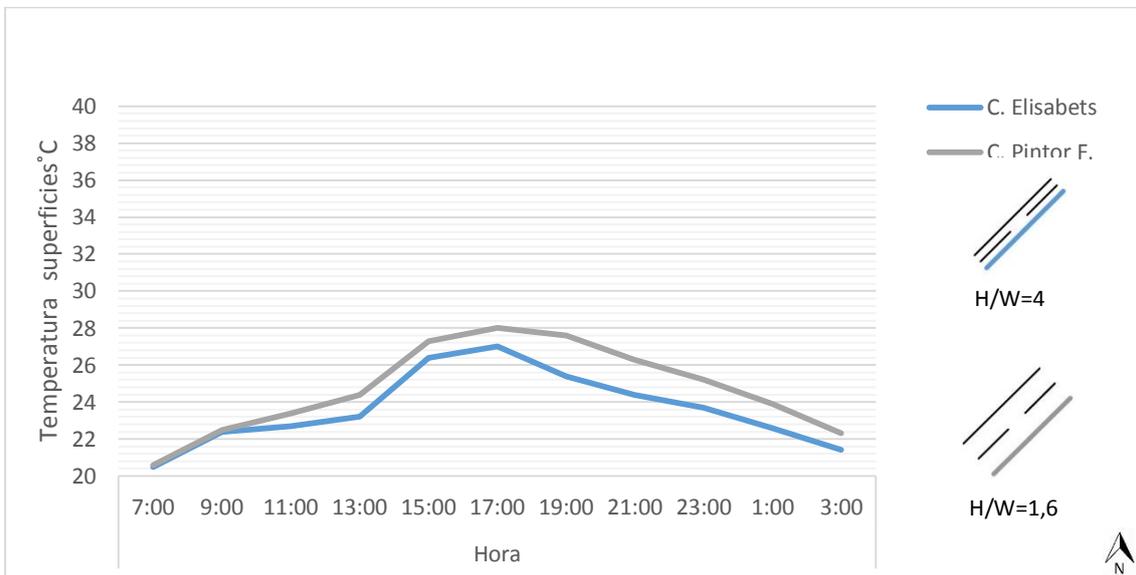


Gráfico N° 45: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 2 (fecha medición: 10-07-2014)

En cuanto a los cañones con orientación NO-SE en ambas fachadas se puede notar que contrario a lo sucedido en los cañones con orientación NE-SO, las temperaturas registradas en la primera medición son superiores en el cañón con menor relación de aspecto durante la mañana, mientras que a partir de las 15:00 estas descienden notablemente y a partir de este momento se mantienen inferiores a las registradas en el cañón con mayor relación de aspecto. Mientras que en una segunda medición si bien durante la mañana las temperaturas son mayores en el cañón con menor H/W, existe muy poca diferencia. En este cañón existe un notable incremento al medio día, sin embargo las temperaturas comienzan a descender a mas bruscamente que en el cañón con mayor H/W. Como conclusión se puede observar que en ambas orientaciones, si bien los cañones con menor relación de aspecto tienen una mayor radiación solar incidente, la temperatura superficial registrada en horas de la tarde y noche revela que en estos cañones el calor es acumulado se libera más rápidamente, ya que en los cañones con mayor H/W las temperaturas van descendiendo más levemente, e incluso son superiores a las registradas en los cañones con menor H/W.

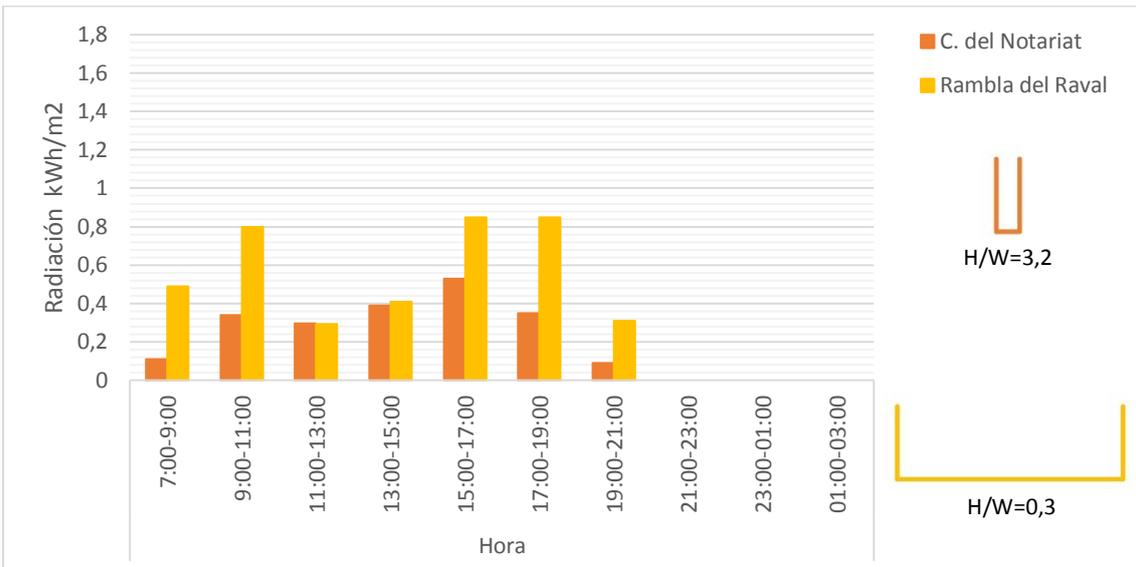


Gráfico N° 46: Radiación incidente en superficie de fachadas, calles Orientación NO-SE (cálculo software Heliodón)

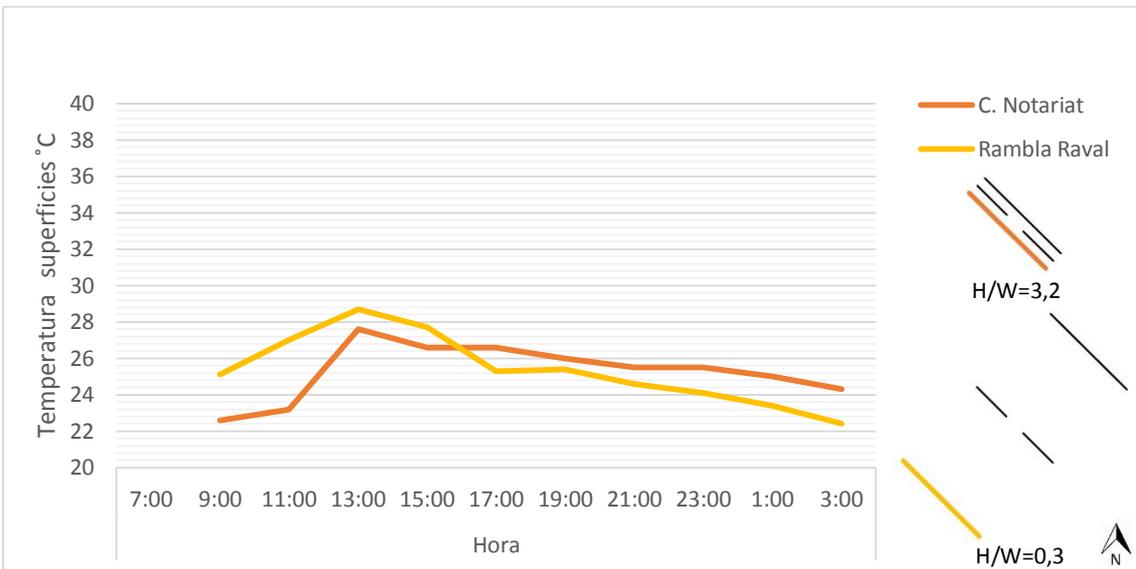


Gráfico N° 47: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 1 (fecha medición: 04-07-2014)

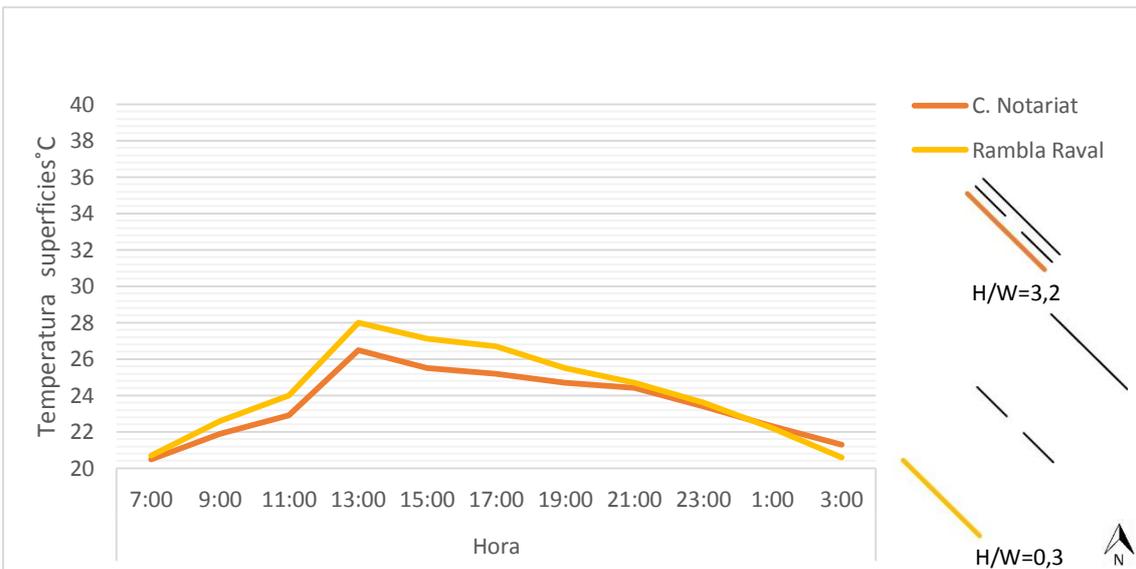


Gráfico N° 48: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 1 (fecha medición: 10-07-2014)

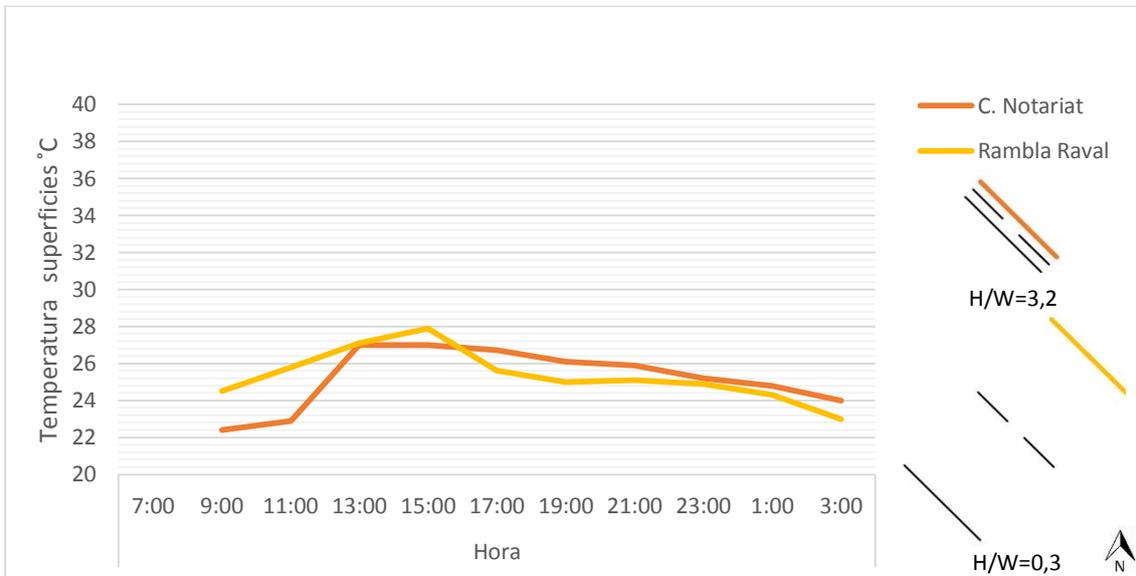


Gráfico N° 49: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 2 (fecha medición: 04-07-2014)

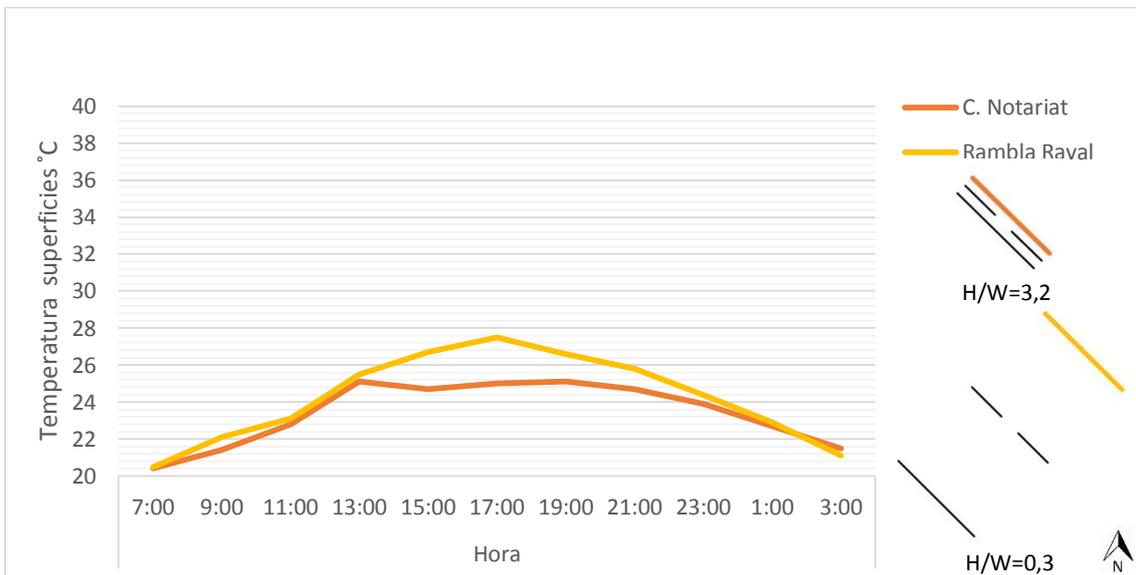


Gráfico N° 50: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 2 (fecha medición: 10-07-2014)

Con respecto a la temperatura superficial del piso, como se puede observar en ambas orientaciones, en correspondencia con la radiación solar incidente (gráfico N° 51), los valores registrados en los cañón es con menor relación de aspecto son notablemente mayores en el periodo de 13:00 a 17:00 para la orientación NE-SO y para los cañón res con orientacion NO-SE esta diferencia es significativa tambien en las horas de la mañana. En el resto del dia y noche las temperaturas superficiales son practicamente iguales entre los cañón es de una misma orientación.

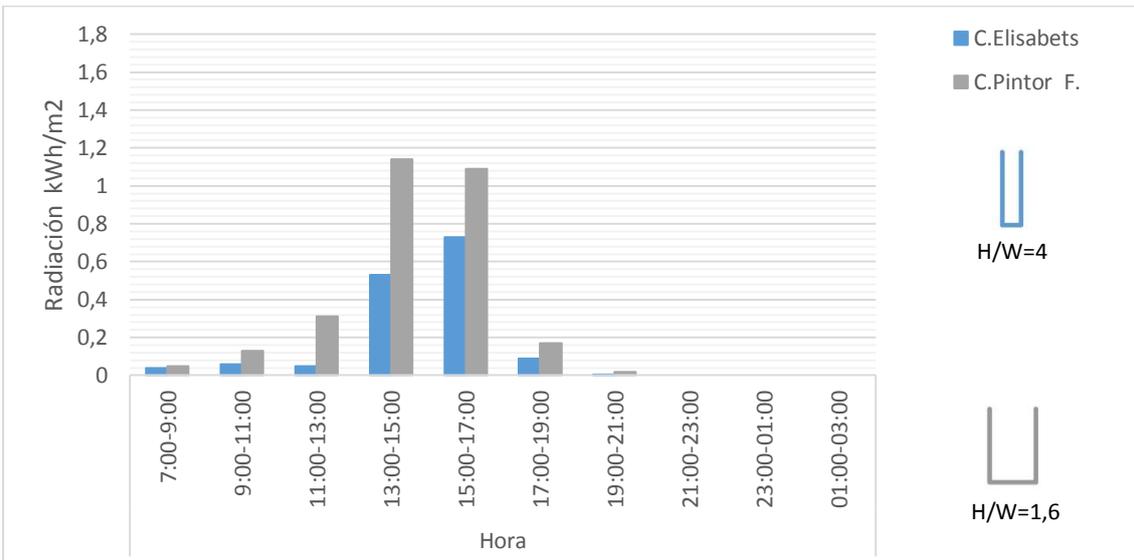


Gráfico N° 51: Radiación incidente en superficie de piso, calles Orientación NE-SO (cálculo software Heliodón)

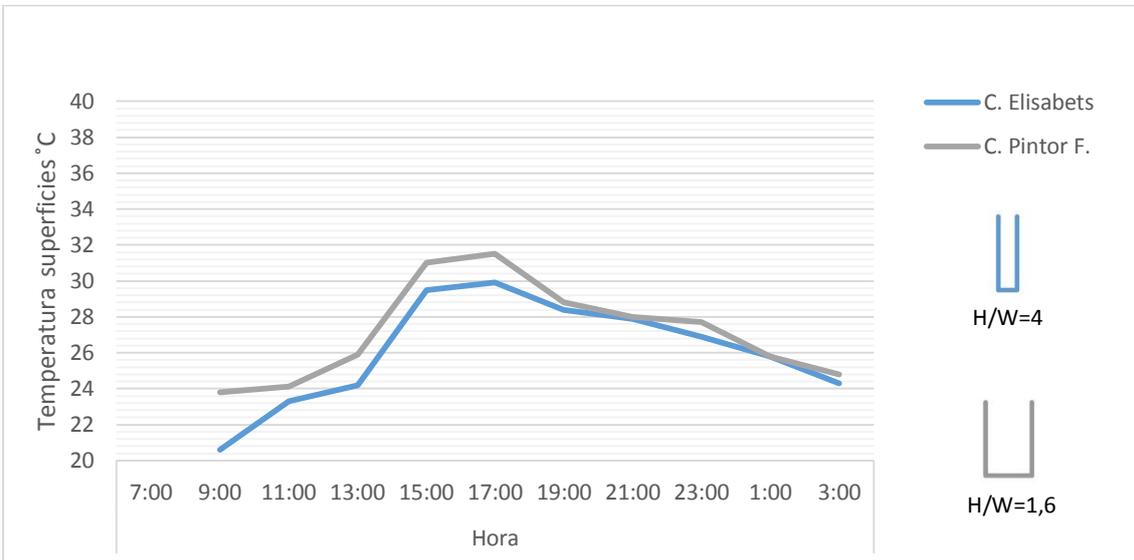


Gráfico N° 52: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - piso (fecha medición: 04-07-2014)

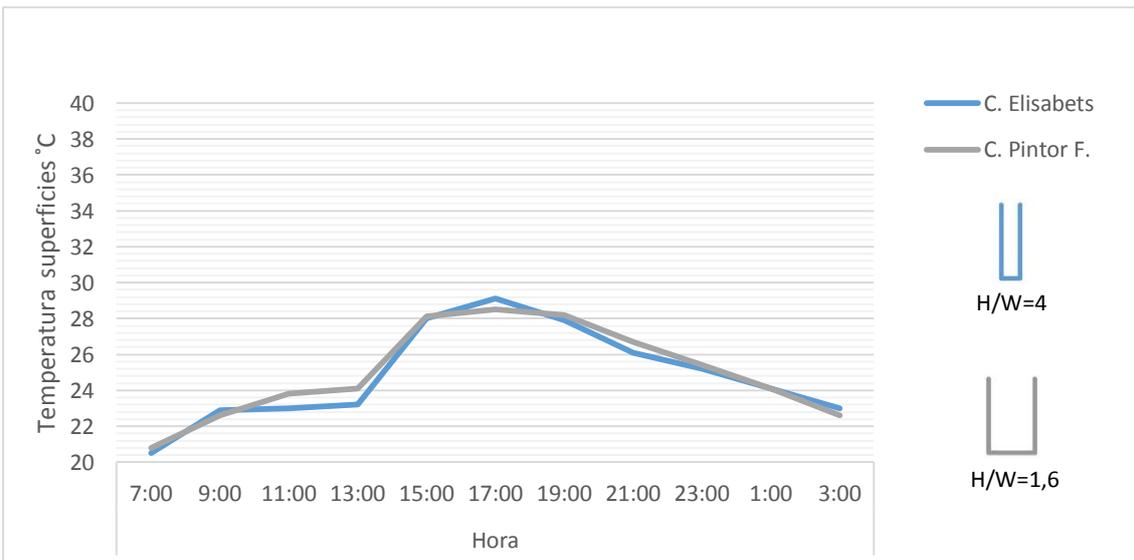


Gráfico N° 53: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - piso (fecha medición: 10-07-2014)

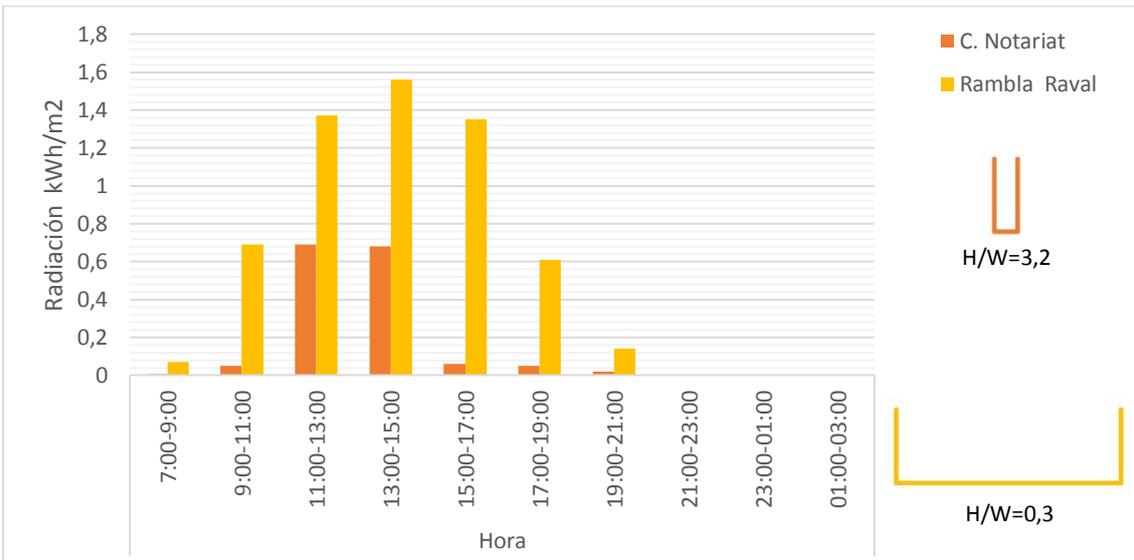


Gráfico N° 54: Radiación incidente en superficie de piso, calles Orientación NO-SE (cálculo software Heliodón)

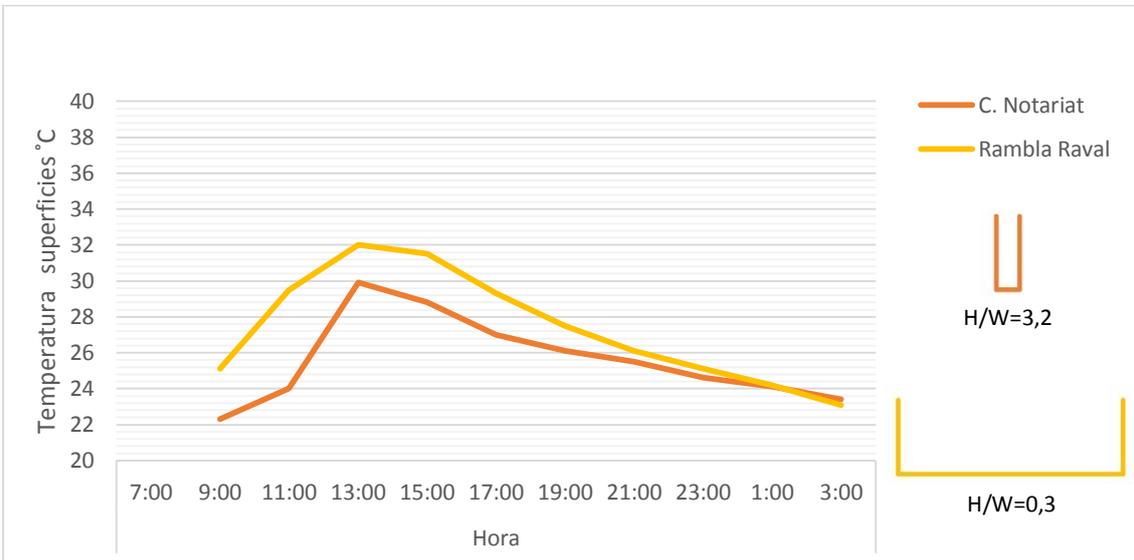


Gráfico N° 55: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - piso (fecha medición: 04-07-2014)

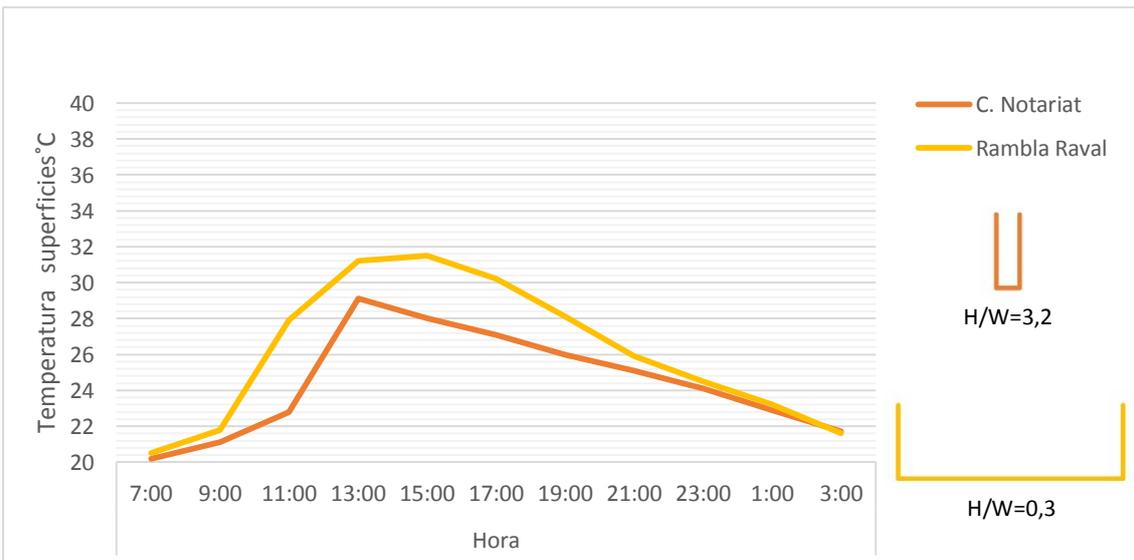


Gráfico N° 56: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - piso (fecha medición: 10-07-2014)

Barrio Gracia: Temperatura de las superficies

Analizando las temperaturas superficiales en el caso del barrio de Gracia, se puede observar que en ambas orientación a excepción de unos pocos casos (en horas de la noche), los valores registrados son mayores en los cañón es con menor relación de aspecto.

En la fachada NE-SO, se puede notar que durante las mañanas las temperaturas son muy similares a pesar de que como se observa en el gráfico N° 57, la radiación incidente difiere significativamente entre los dos cañones. A partir de las 15:00 se nota una mayor diferencia, sin embargo sobretodo en la medición del 24 de julio se puede evidenciar que a partir de las 23:00 las temperaturas superficiales en las calles con menor relación descienden a mayor ritmo, llegando a ser aunque mínimamente inferiores a las registradas en la calles con mayor h/w.

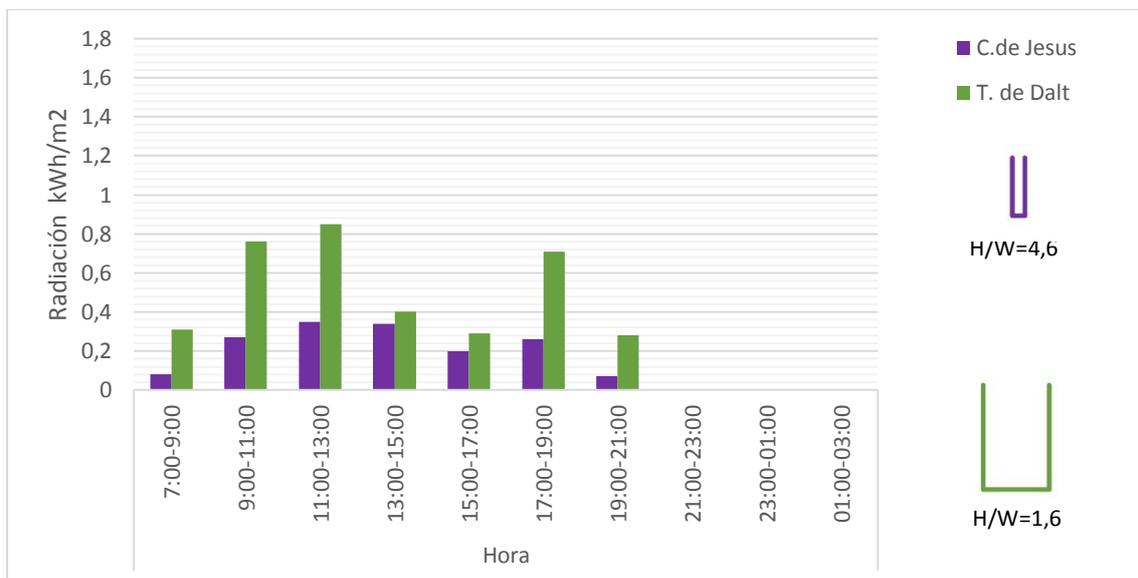


Gráfico N° 57: Radiación incidente en superficie de fachadas, calles Orientación NE-SO (cálculo software Heliodón)

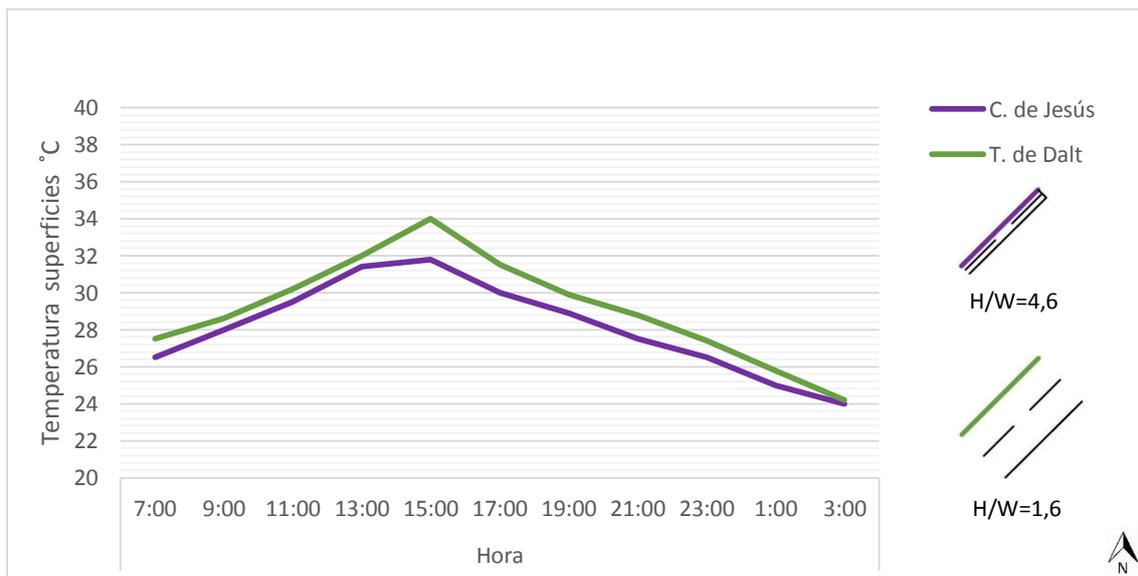


Gráfico N° 58: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 1 (fecha medición: 17-07-2014)

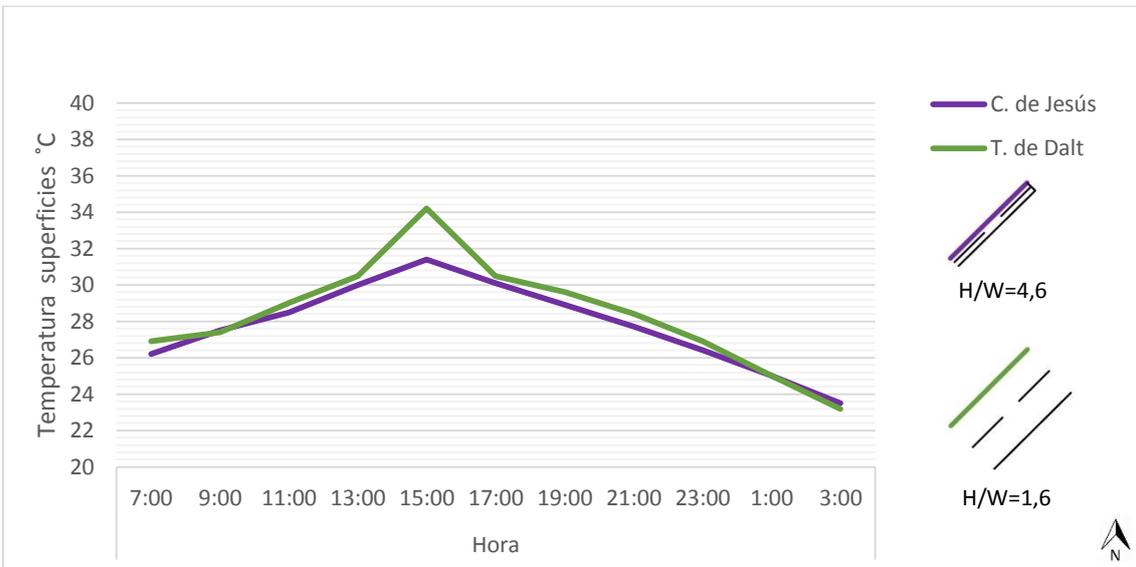


Gráfico N° 59: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 1 (fecha medición: 24-07-2014)

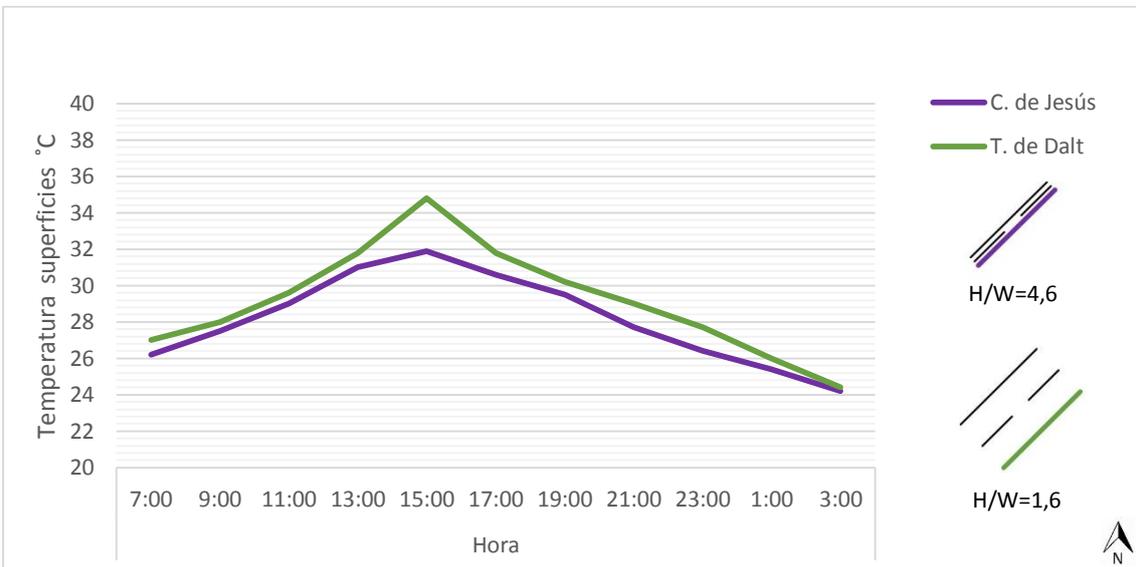


Gráfico N° 60: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 2 (fecha medición: 17-07-2014)

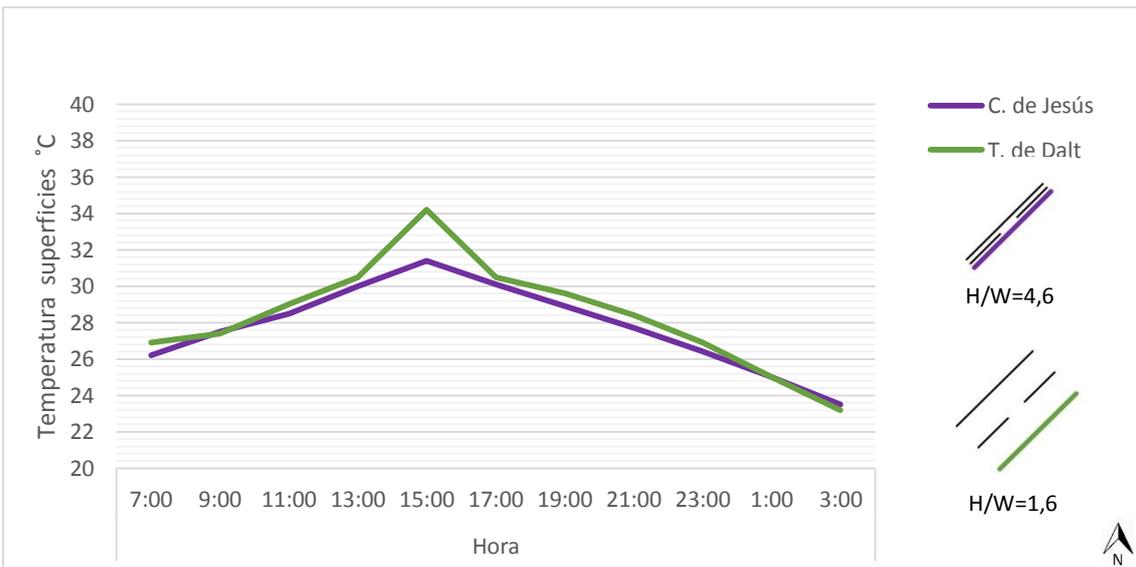


Gráfico N° 61: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - fachada 2 (fecha medición: 24-07-2014)

Para la orientación NO-SE, se observa que en las mañanas hay una mayor diferencia de temperatura superficial entre las dos calles, a diferencia de lo que sucede en la orientación NE-SO en donde los valores son bastante similares. Pero por lo demás la temperatura superficial conserva la misma tendencia, es decir se mantiene más elevada en las calles con menor relación de aspecto, pero en las noches se puede notar que en estos cañones existe un enfriamiento de las superficies más acelerado y que por esta razón a partir de las 23:00 las temperaturas son muy similares y en algunos casos inferiores a las registradas en las calles con mayor H/W.

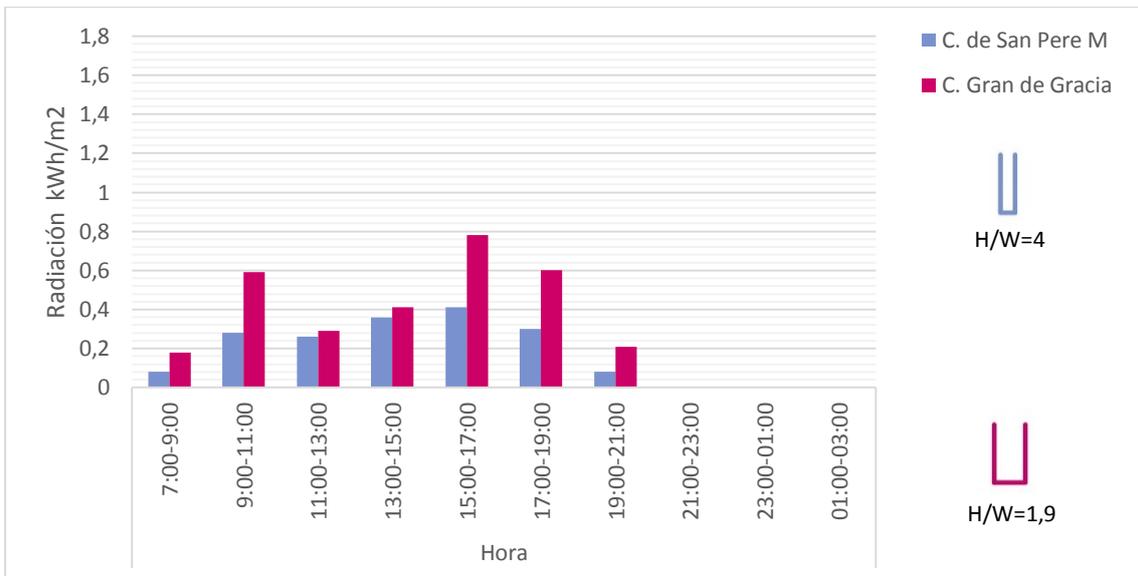


Gráfico N° 62: Radiación incidente en superficie de fachadas, calles Orientación NO-SE (cálculo software Heliodón)

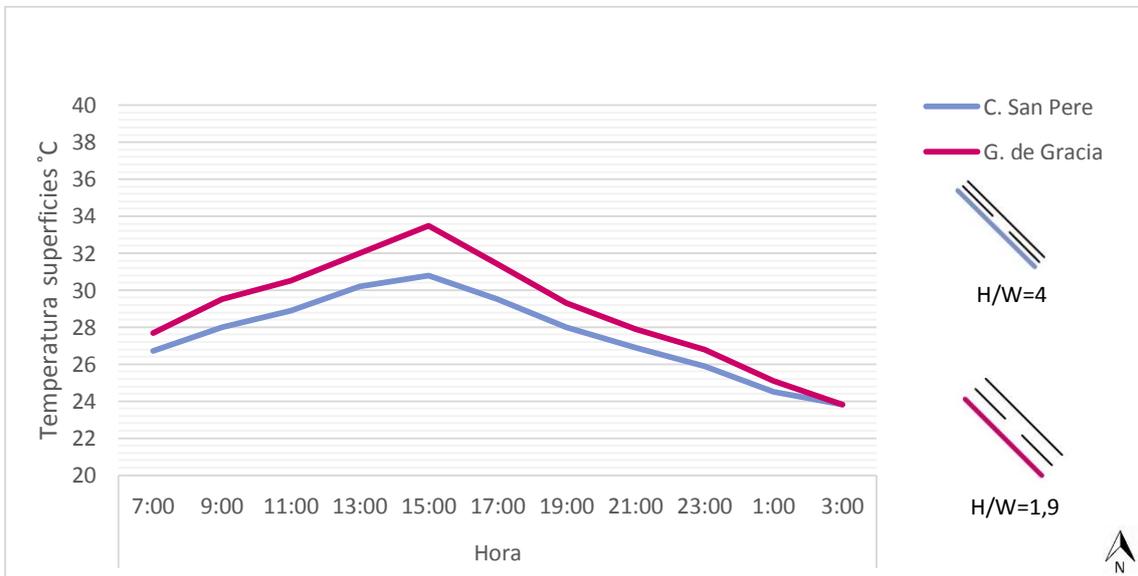


Gráfico N° 63: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 1 (fecha medición: 17-07-2014)

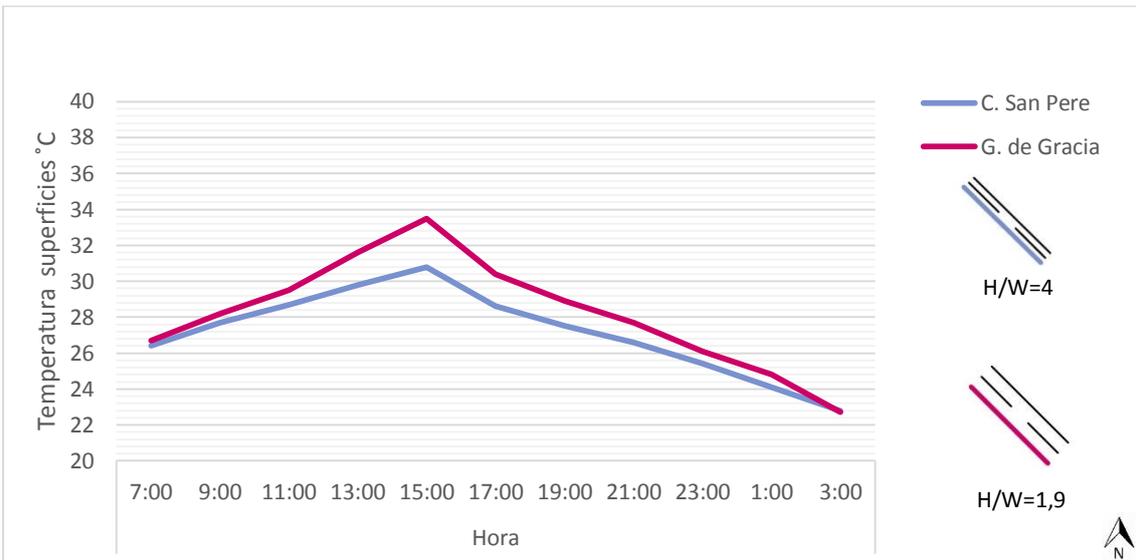


Gráfico N° 64: *Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 1 (fecha medición: 24-07-2014)*

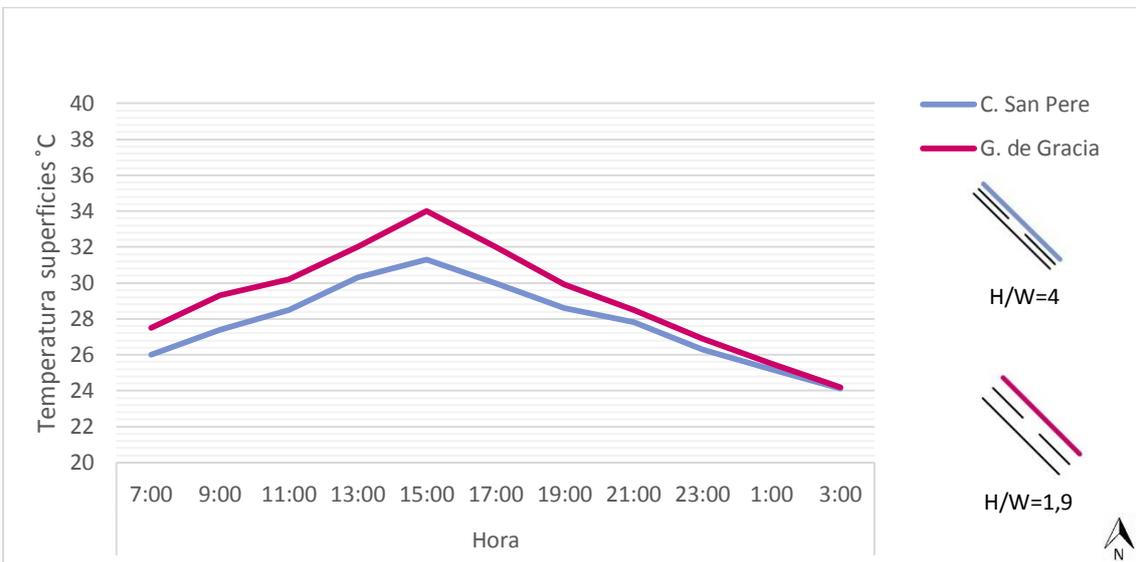


Gráfico N° 65: *Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 2 (fecha medición: 17-07-2014)*

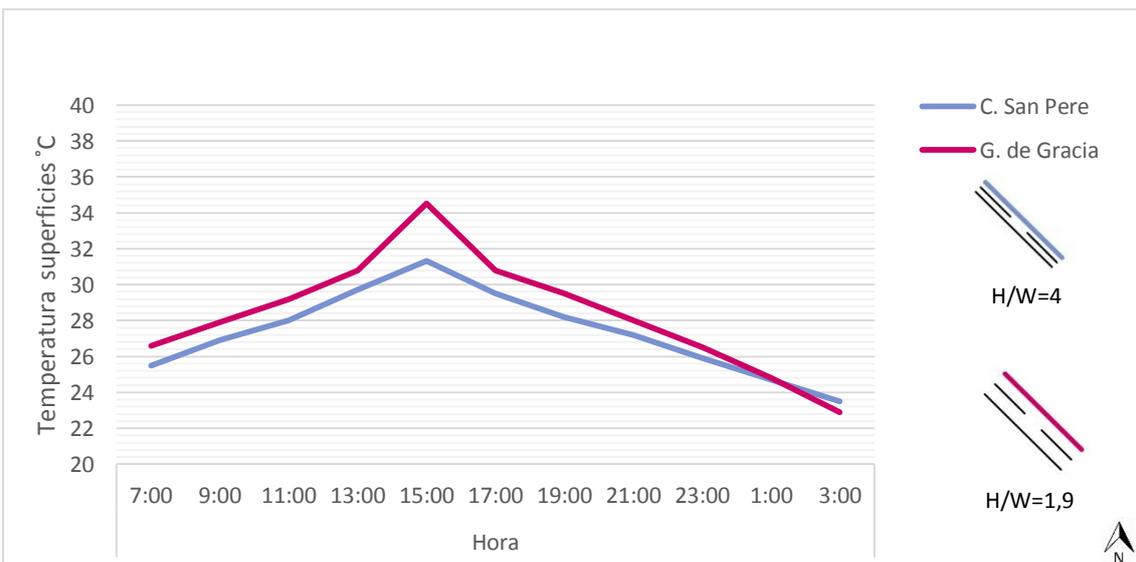


Gráfico N° 66: *Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - fachada 2 (fecha medición: 24-07-2014)*

En cuanto a la temperatura superficial registrada en la superficie de piso en ambas orientaciones se puede observar en los gráficos N° 67 y N° 70 que la diferencia de radiación incidente es significativa entre las calles con diferente relación de aspecto, sin embargo los valores de temperatura superficial son bastante similares, especialmente en la medición del 24 de julio. Si bien se puede notar que en el periodo de mayor incidencia de radiación solar (13:00 a 17:00) se presenta una diferencia mayor entre las dos calles, conservándose más elevadas en la calle con menor relación de aspecto. Al igual que en el caso de las fachadas se puede notar que las superficies de piso en las calles con menor H/W tienen un enfriamiento más acelerado, pues en especial la medición del 24 de julio revela que los valores llegan a ser inferiores a los registrados en la calle con mayor relación de aspecto.

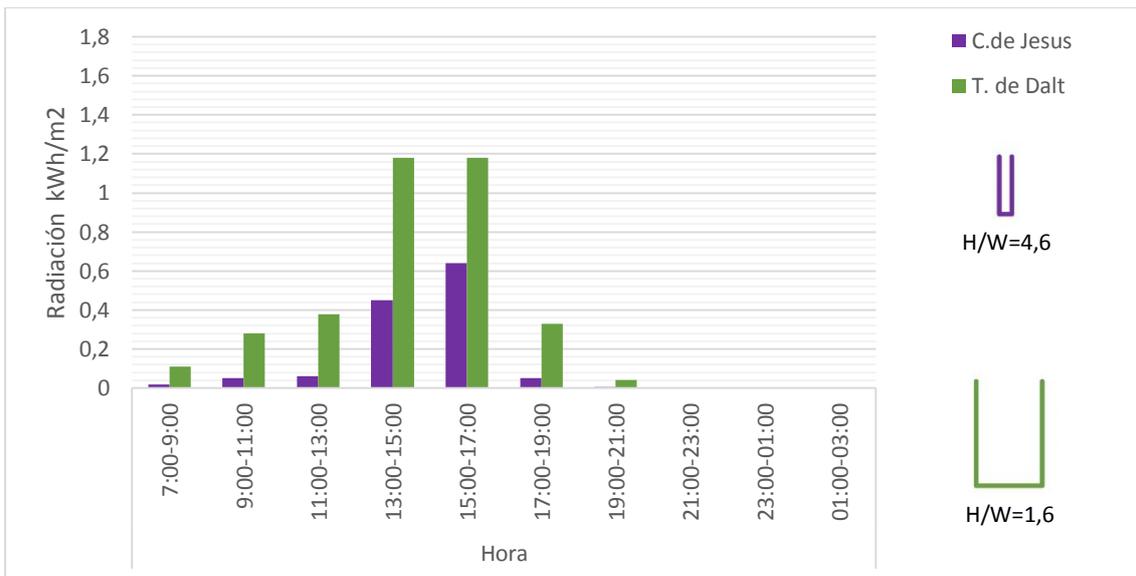


Gráfico N° 67: Radiación incidente en superficie de piso, calles Orientación NE-SO (cálculo software Heliodón)

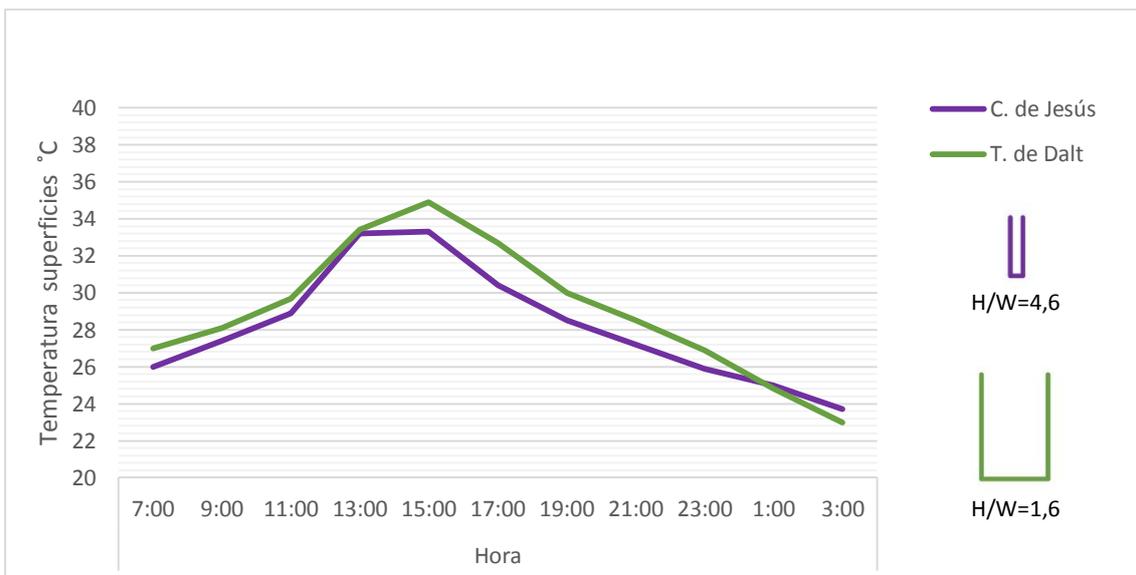


Gráfico N° 68: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - piso (fecha medición: 17-07-2014)

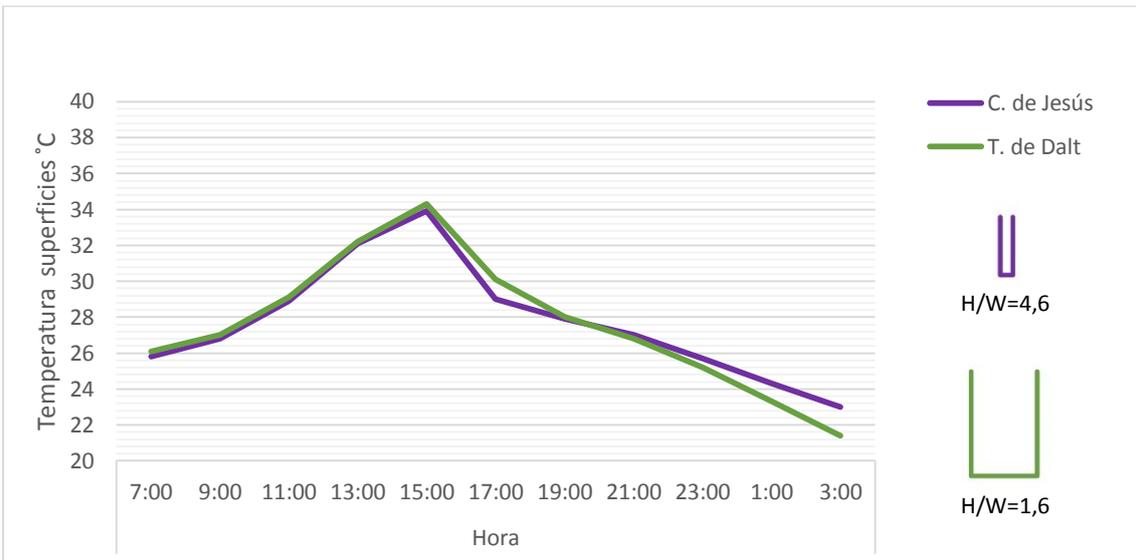


Gráfico N° 69: Temperatura superficies, calles Orientación NE-SO - piso (fecha medición: 24-07-2014)

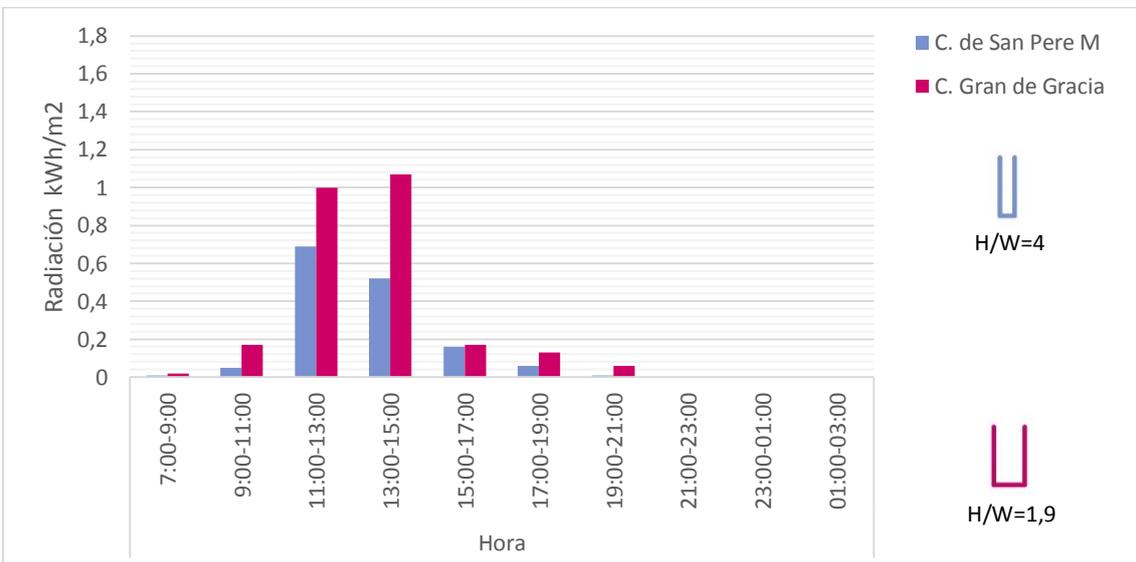


Gráfico N° 70: Radiación incidente en superficie de piso, calles Orientación NO-SE (cálculo software Heliodón)

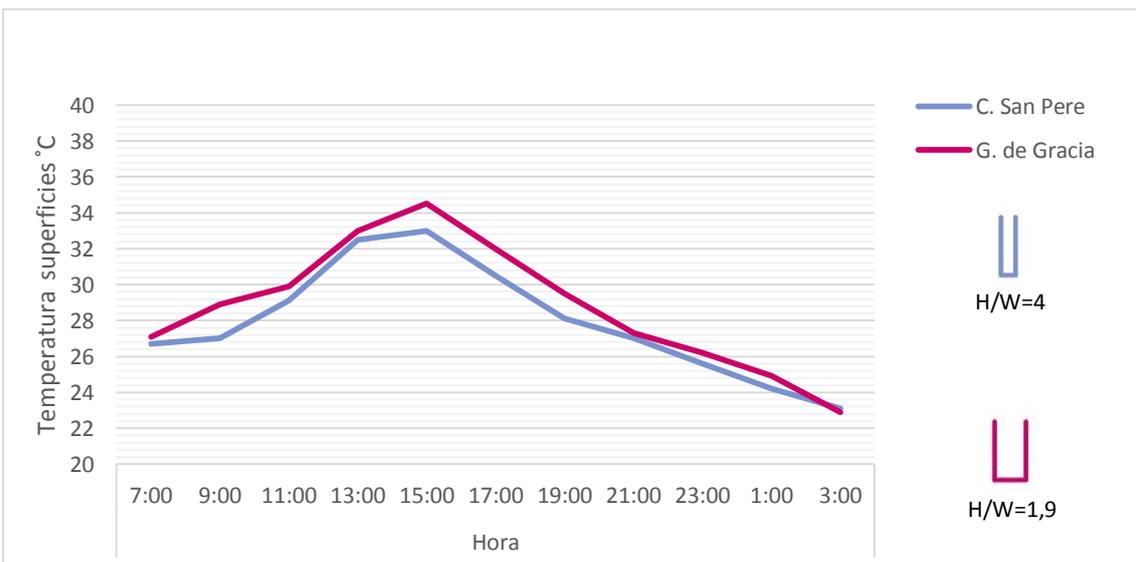


Gráfico N° 71: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - piso (fecha medición: 17-07-2014)

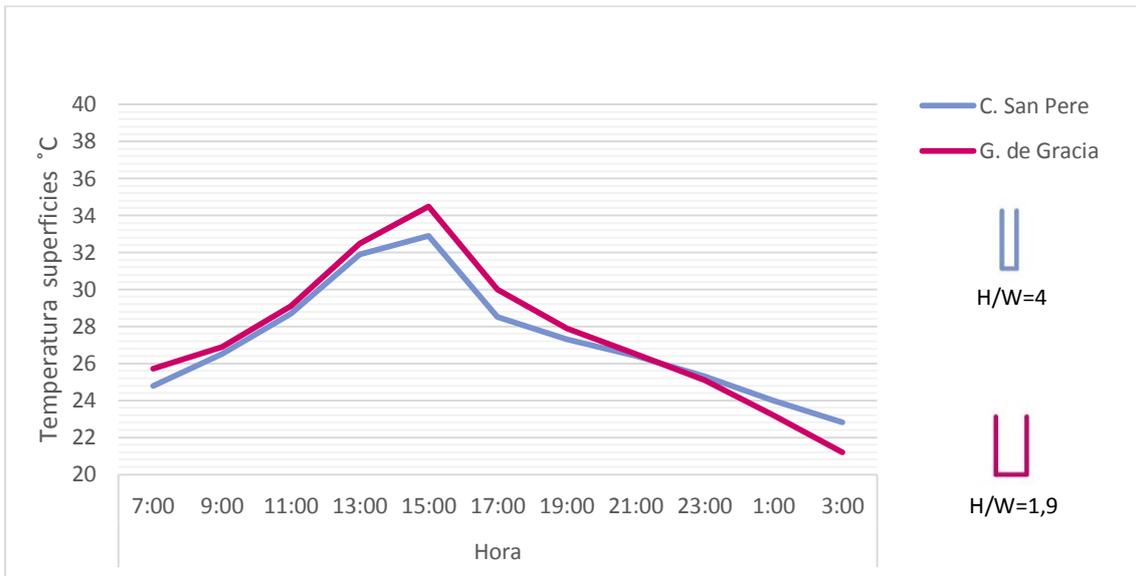


Gráfico N° 72: Temperatura superficies, calles Orientación NO-SE - piso (fecha medición: 24-07-2014)

Barrio Raval: Temperatura del aire y temperatura de las superficies por calles

Analizando la temperatura de aire y temperatura superficial se puede notar que los mayores valores se corresponden en ambos casos. En la orientación NE-SO, el cañón con mayor relación de aspecto tiene una temperatura del aire que se conserva superior a la temperatura de las superficies de fachada durante todo el periodo de medición, mientras que en el cañón con menor relación de aspecto, la temperatura del aire es inferior que la superficial en horas de la tarde y noche.

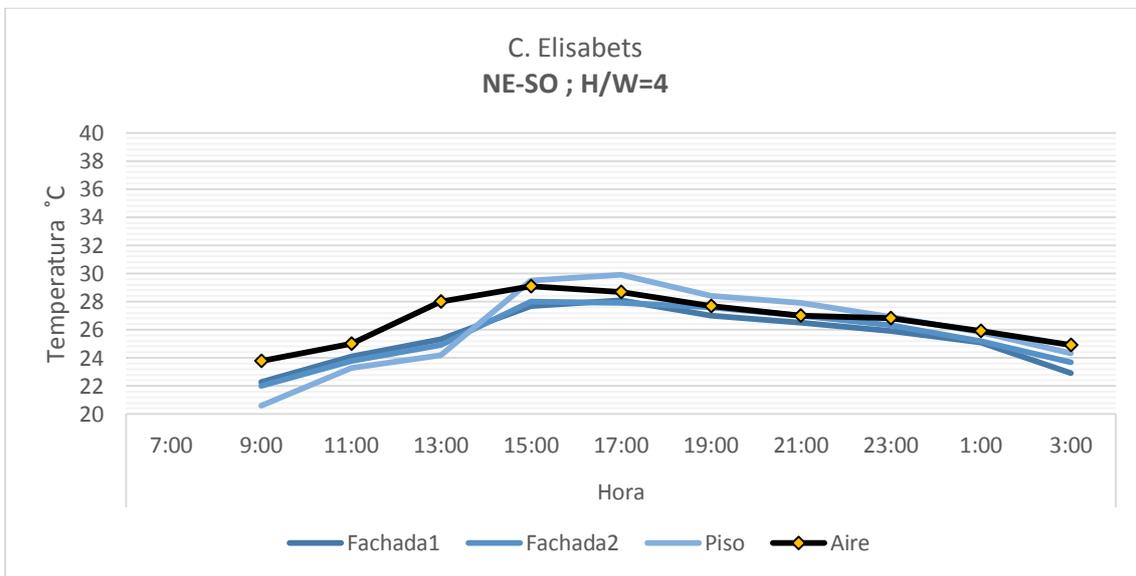


Gráfico N° 73: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 04-07-2014)

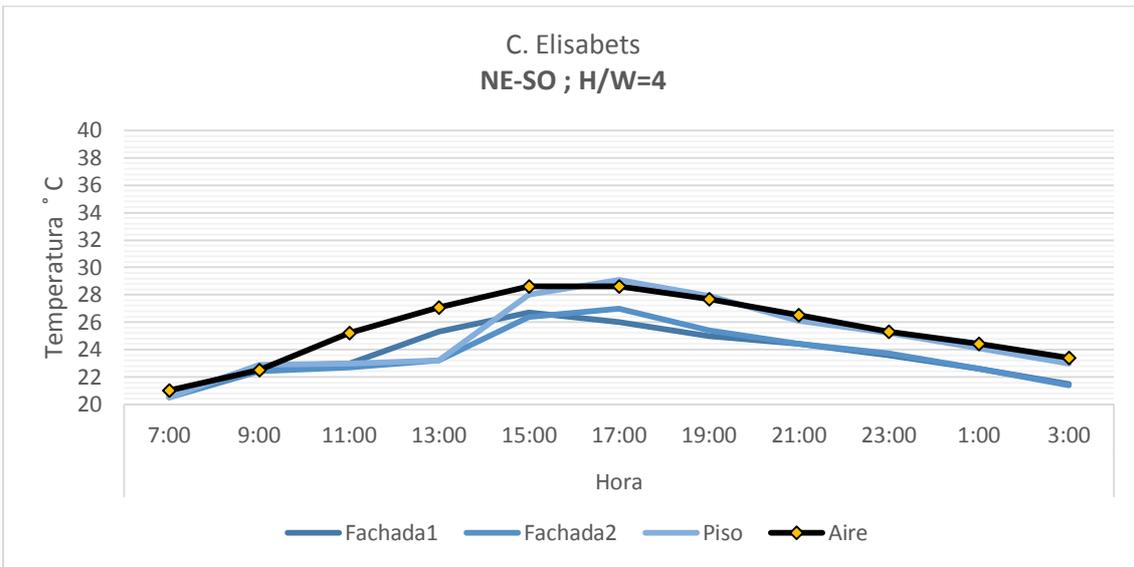


Gráfico N° 74: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 10-07-2014)

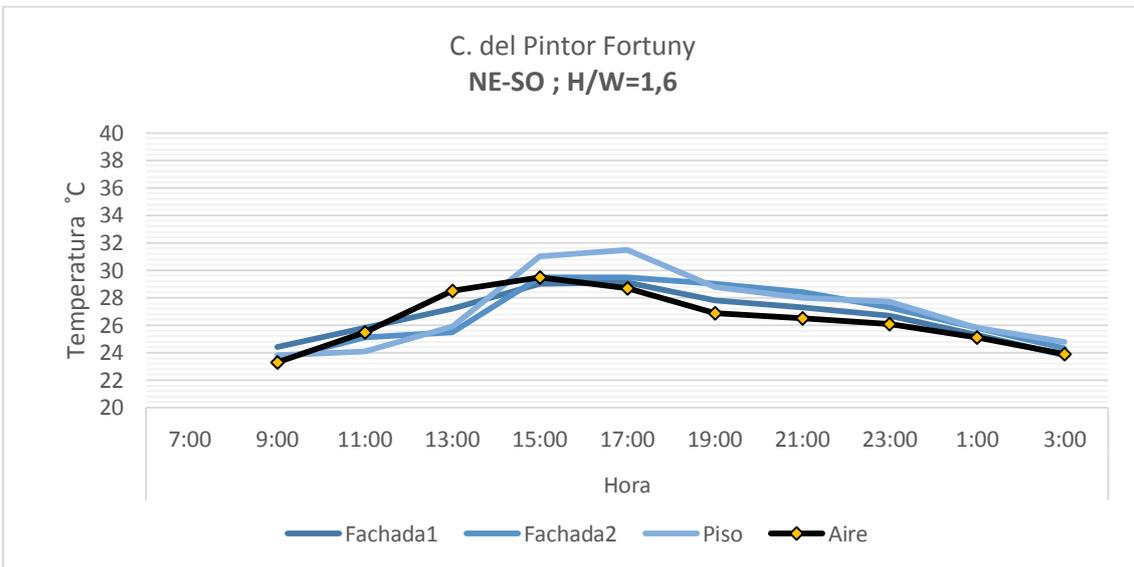


Gráfico N° 75: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 04-07-2014)

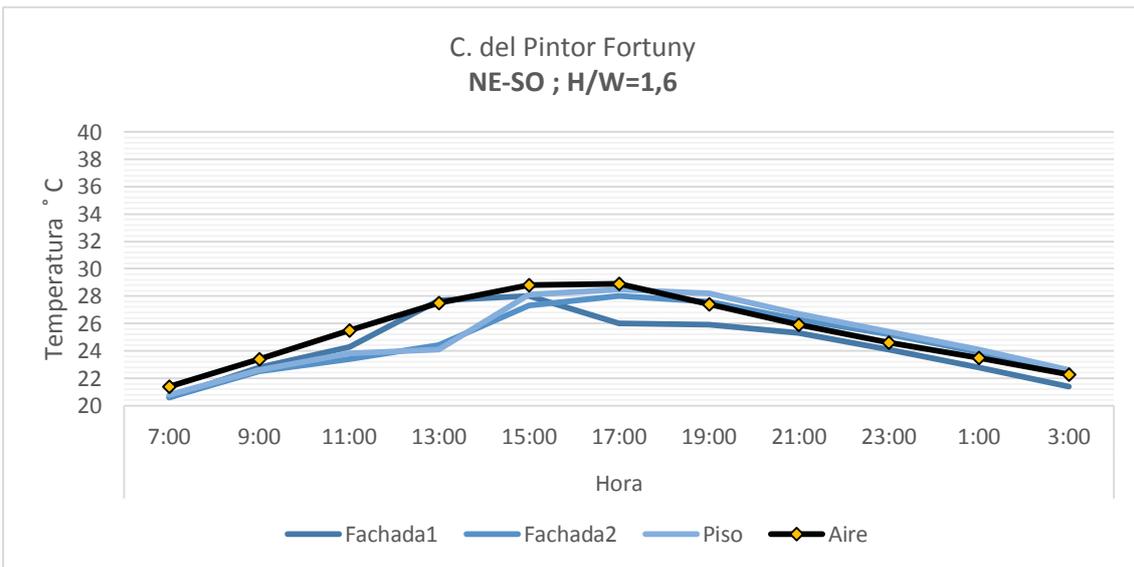


Gráfico N° 76: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 10-07-2014)

En la orientación NO-SE en ambos cañón es, la temperatura del aire se mantiene superior a la temperatura superficial en fachadas.

Se puede concluir de las dos fechas de medición, que en la orientación NO-SE el cañón con menor h/w, durante las mananas tiene una temperatura del aire y temperatura superficial mayor a la registrada en el cañón con mayor h/w, mientras que en la noche esta situación se presenta en el cañón con mayor relación de aspecto, si bien en la segunda medición, las temperaturas superficiales en la noche difieren minimamente entre ambos cañón es.

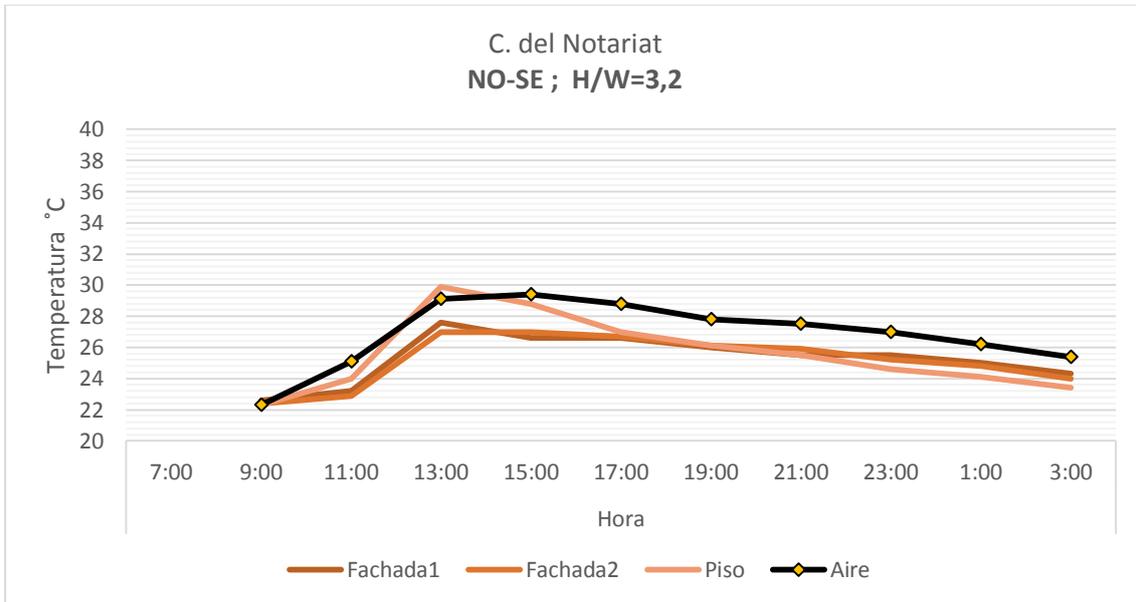


Gráfico N° 77: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 04-07-2014)

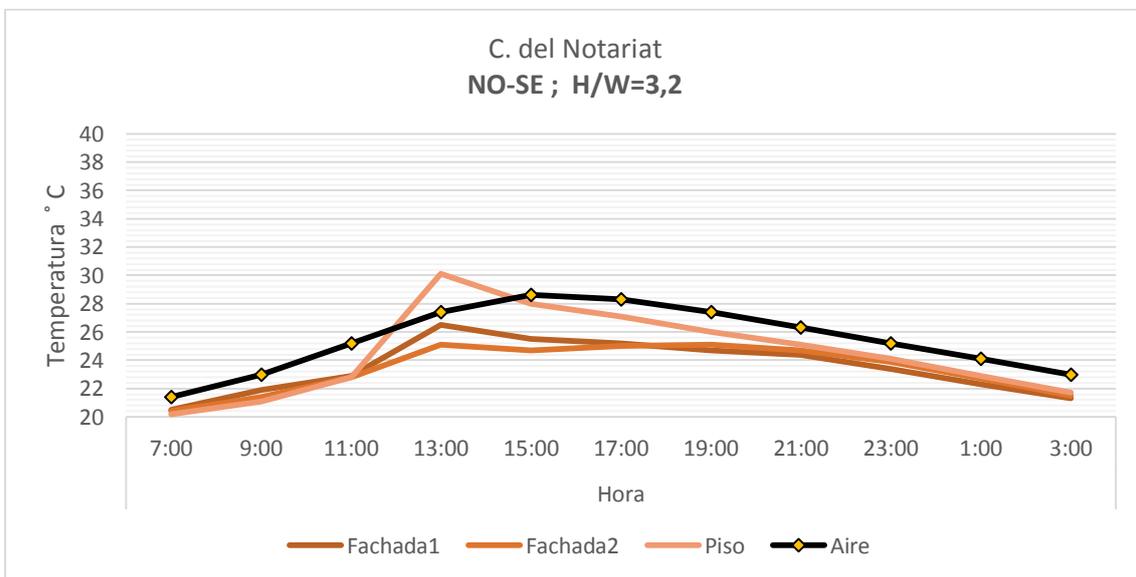


Gráfico N° 78: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 10-07-2014)

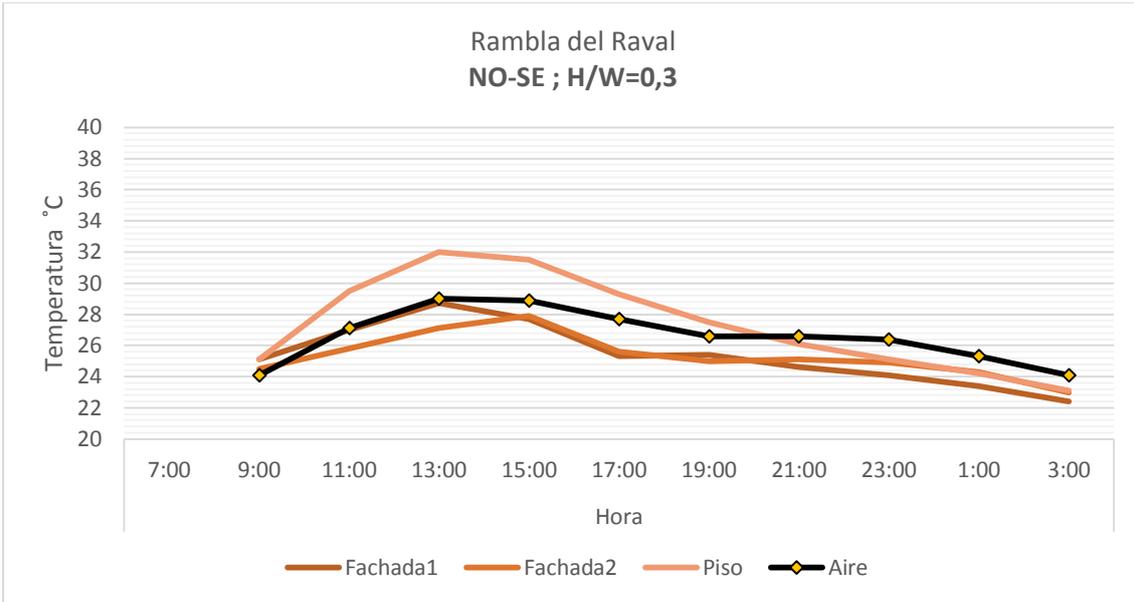


Gráfico N° 79: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 04-07-2014)

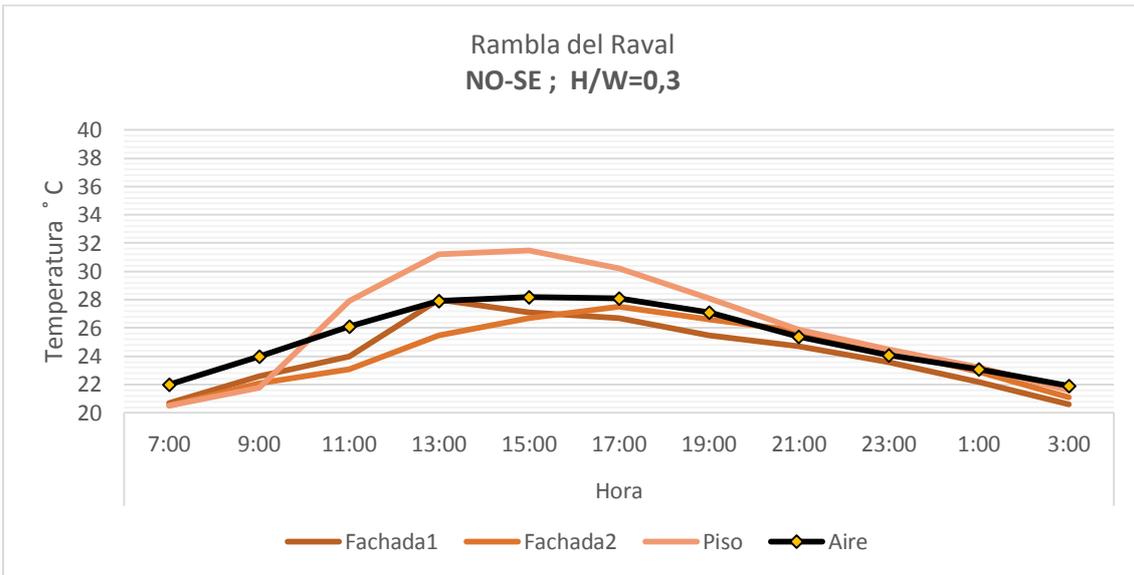


Gráfico N° 80: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 10-07-2014)

Barrio Gracia: Temperatura del aire y temperatura de las superficies por calles

Con respecto a las calles con orientación NE-SO. Se puede observar que en el cañón con mayor relación de aspecto, durante el día la temperatura del aire es bastante similar a la temperatura superficial, a excepción del periodo del medio día en donde se evidencia que el piso cuenta con una temperatura superior. Sin embargo en la noche se puede ver que la temperatura del aire se mantiene más elevada y va descendiendo a menor ritmo que la superficial.

Mientras que en el cañón con menor relación de aspecto se evidencia una mayor diferencia entre la temperatura del aire y de las superficies, y contrario al caso anterior, en ambas mediciones se registra que durante el día la temperatura del aire es más elevada que la superficial. Sin embargo en la noche se presenta un comportamiento

similar al que se tiene en la calle con mayor H/W, pues se observa que la temperatura del aire va disminuyendo más lentamente y que a partir de las 19:00 es mayor que la superficial.

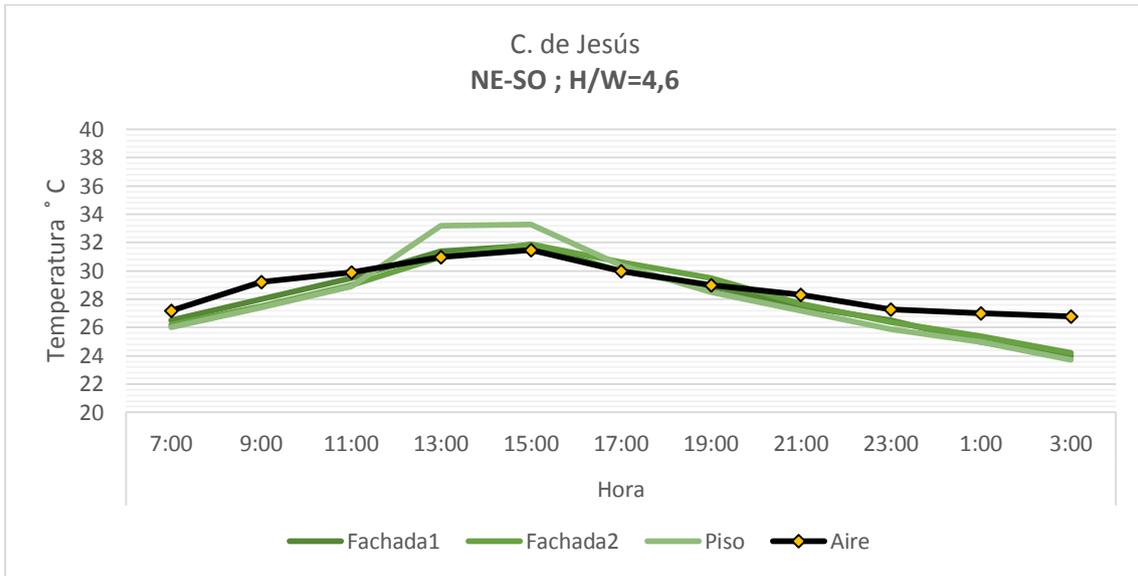


Gráfico N° 81: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 17-07-2014)

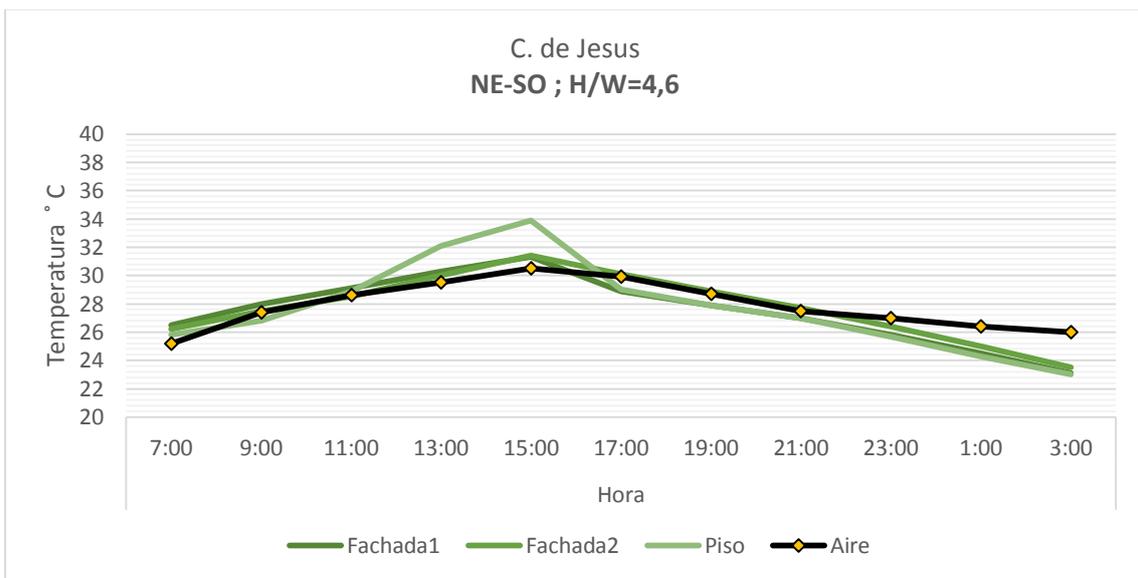


Gráfico N° 82: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 24-07-2014)

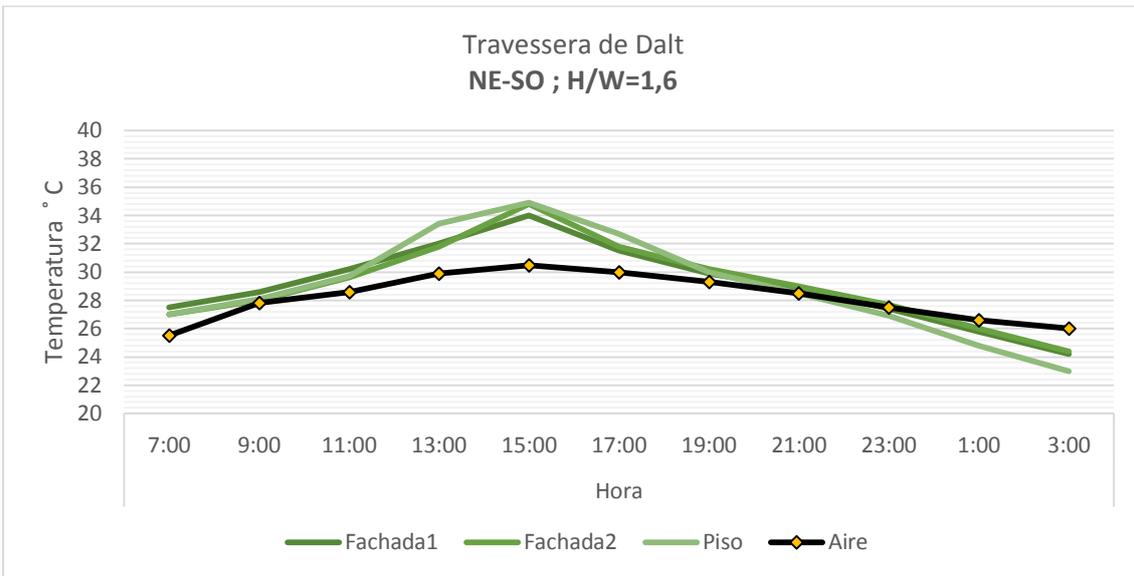


Gráfico N° 83: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 17-07-2014)

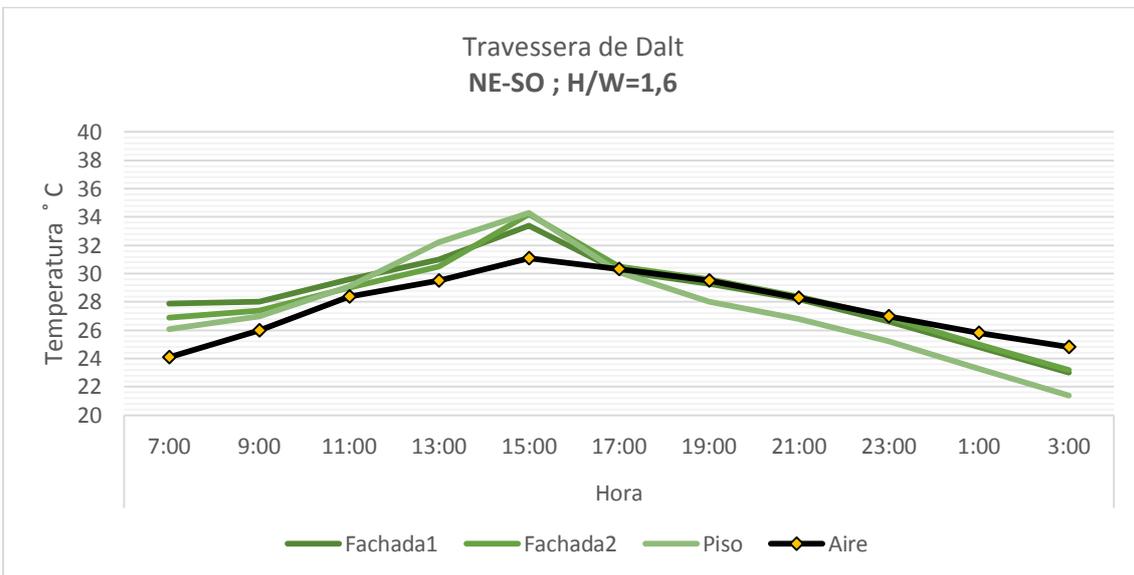


Gráfico N° 84: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 24-07-2014)

Analizando las temperatura del aire y superficial en las calles con orientación NO-SE se puede concluir que ambos cañones tienen un comportamiento similar, ya que los valores de temperatura del aire y superficial son muy similares durante el día, mientras que en la noche al descender la temperatura del aire a un menor ritmo, se va manteniendo más elevada que la superficial. Al igual que en las orientación NE-SO, en la calle con menor relación de aspecto durante el día se puede evidenciar una mayor diferencia entre la temperatura del aire y la superficial, siendo la primera menor que la segunda.

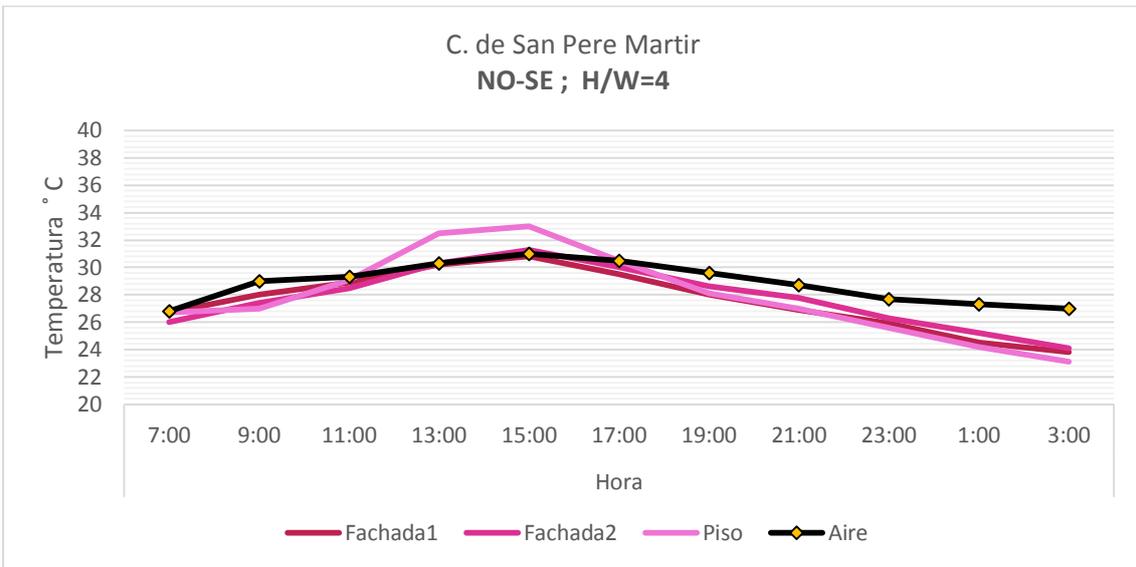


Gráfico N° 85: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 17-07-2014)

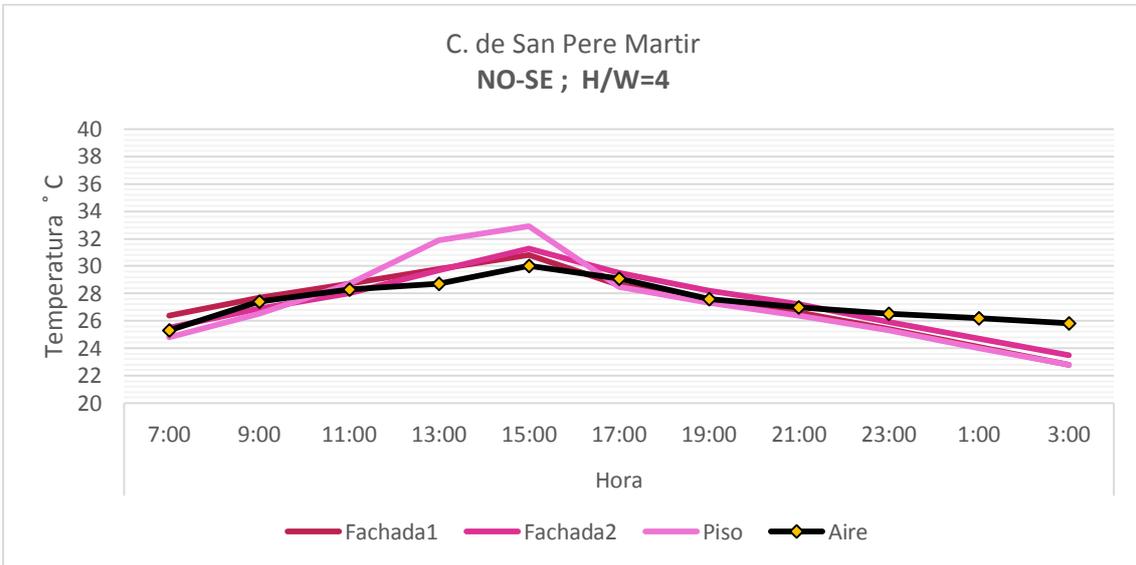


Gráfico N° 86: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 24-07-2014)

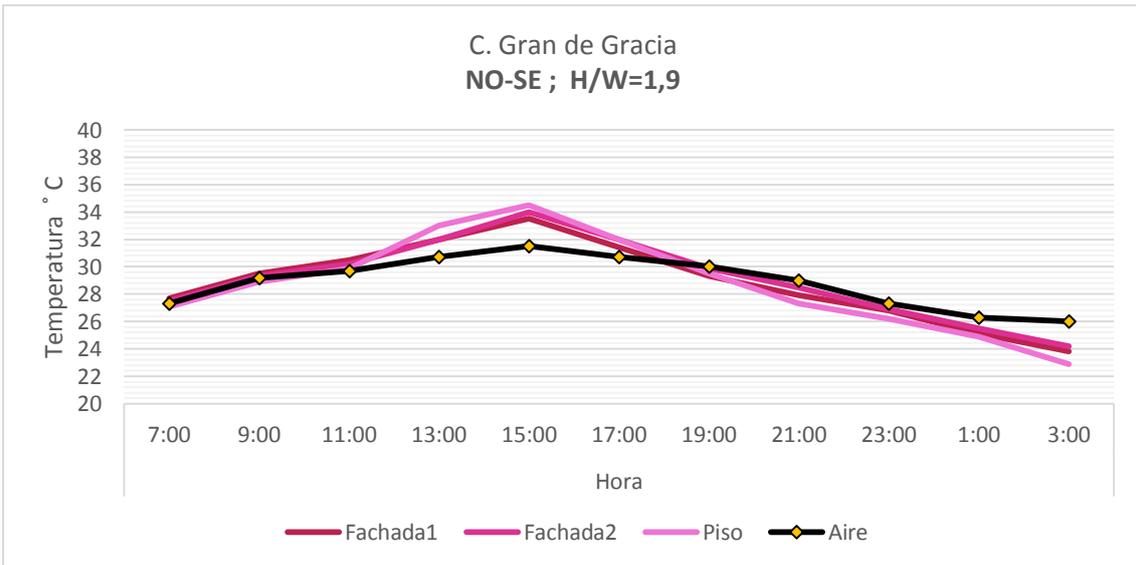


Gráfico N° 87: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 17-07-2014)

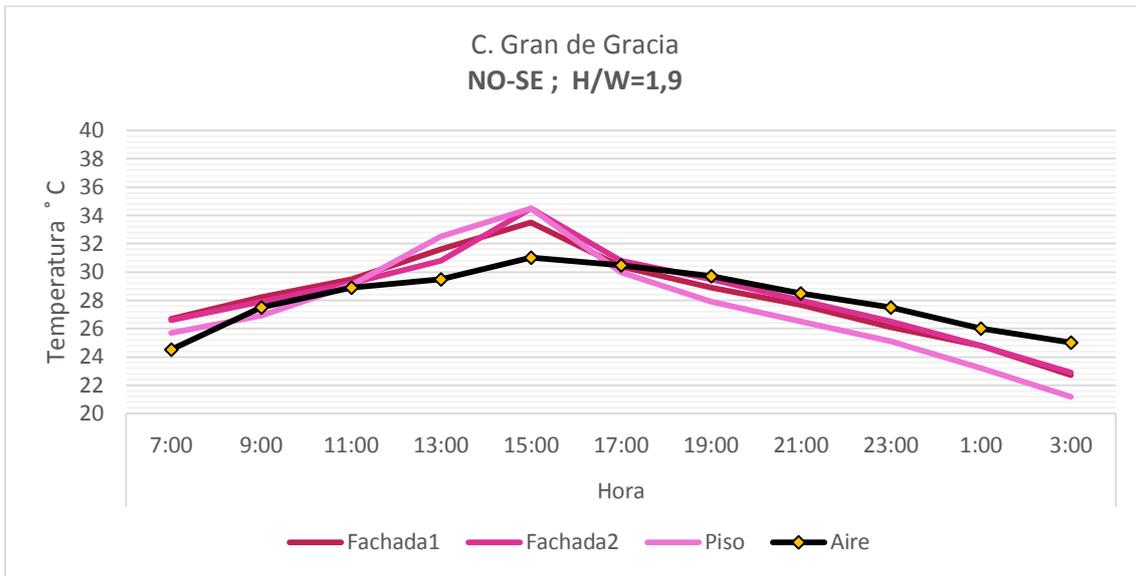


Gráfico N° 88: Temperatura del aire y superficies (fecha medición: 24-07-2014)

Barrio Raval: Velocidad del Viento

En relación a la velocidad del viento, si bien esta es muy variable entre las tres mediciones registradas, se puede concluir que en general en ambas orientaciones los cañón es con mayor relación de aspecto tienen una mayor velocidad que se incrementa en horas del mediodía y la tarde, mientras que en la noche en todos los casos descende la velocidad y es notablemente inferior la registrada en los cañón es con mayor relación de aspecto.

Como se puede observar esta diferencia de velocidad en las noches es mas evidente en el caso de la orientación NO-SE, (especialmente en las mediciones del 10 y 17 de julio) ya que como se ha mencionado en otros apartados, existe una mayor diferencia entre la relación de aspecto de las calles, que la que se tiene en la orientación NE-SO.

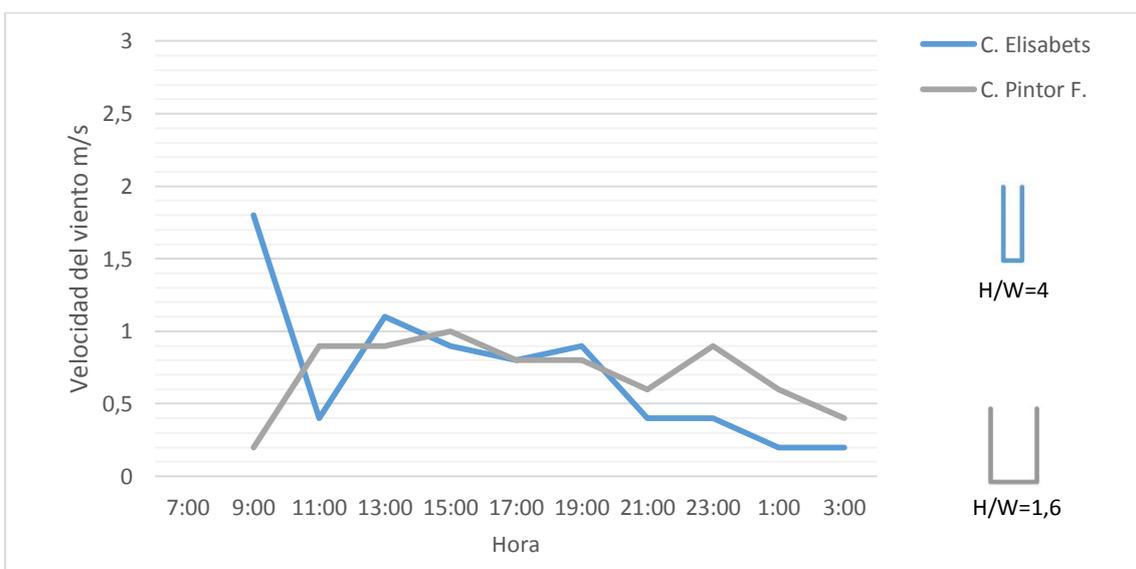


Gráfico N° 89: Velocidad del viento, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 04-07-2014)

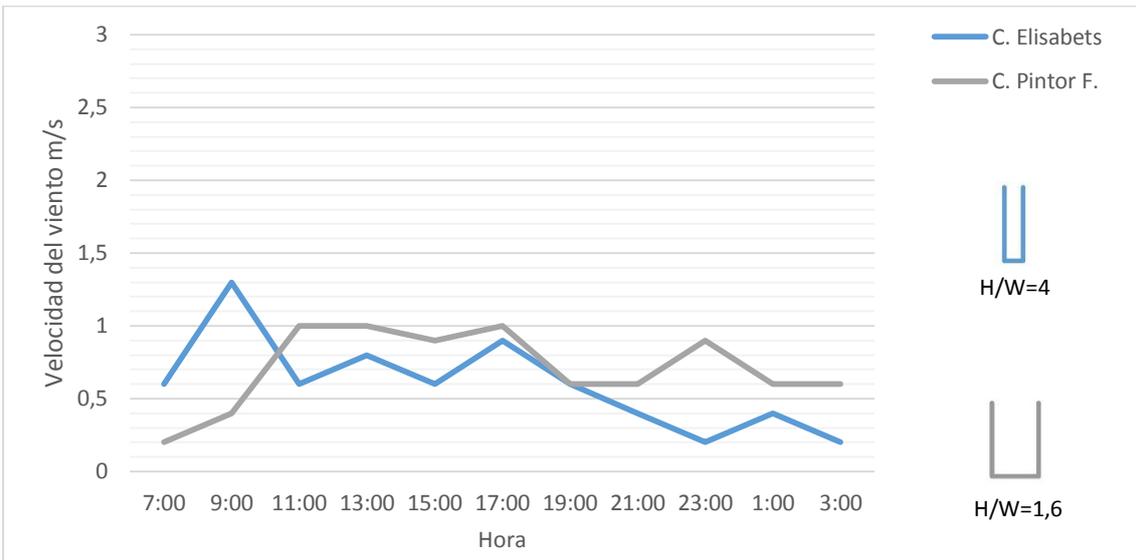


Gráfico N° 90: Velocidad del viento, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 10-07-2014)

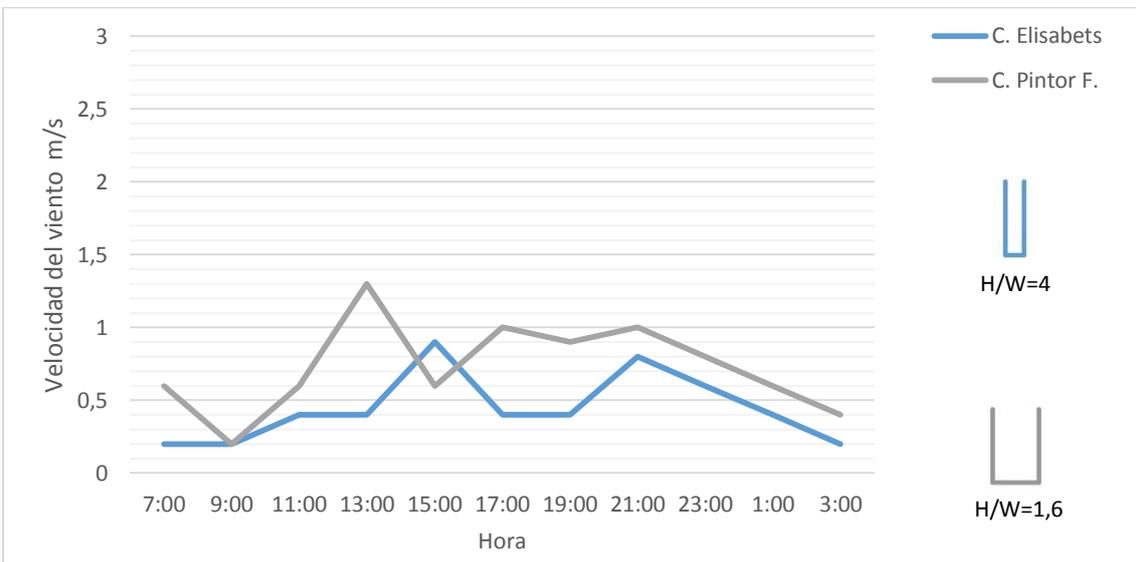


Gráfico N° 91: Velocidad del viento, calles Orientación NE-SO (fecha medición: 17-07-2014)

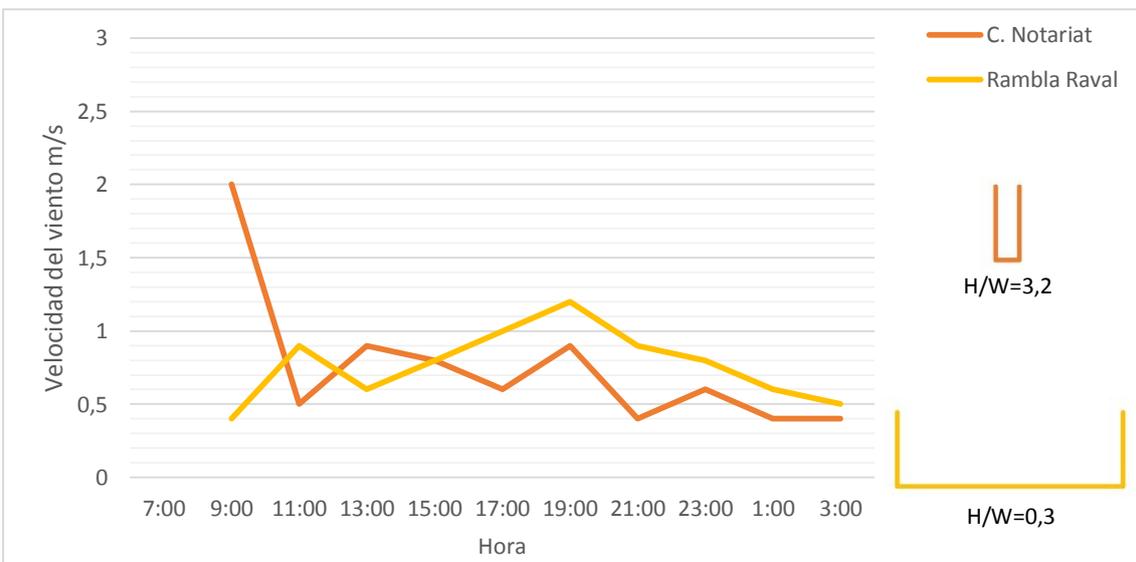


Gráfico N° 92: Velocidad del viento, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 04-07-2014)

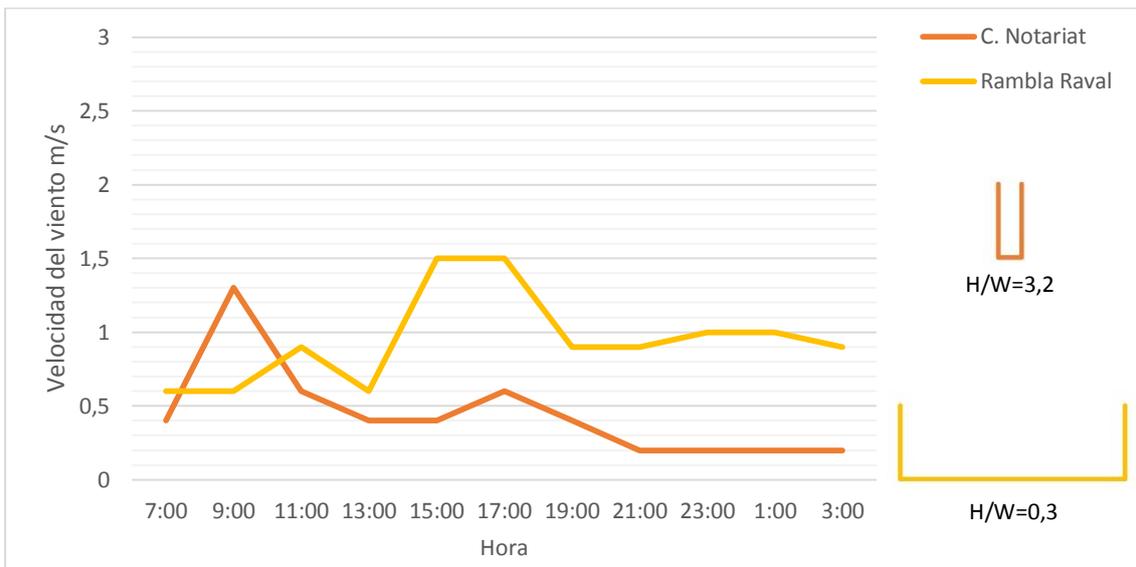


Gráfico N° 93: Velocidad del viento, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 10-07-2014)

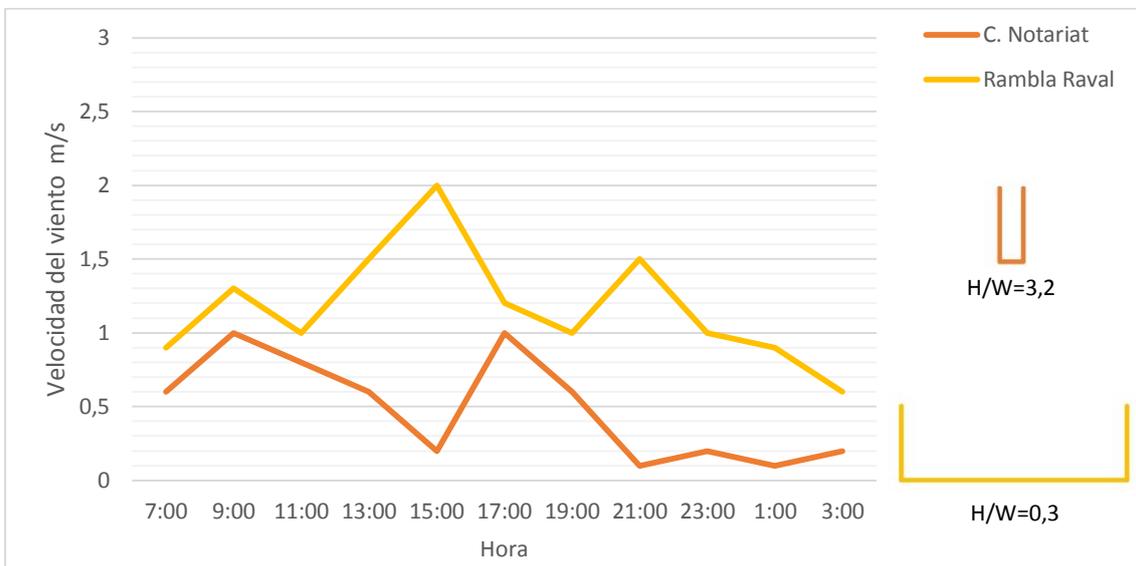


Gráfico N° 94: Velocidad del viento, calles Orientación NO-SE (fecha medición: 17-07-2014)

Barrio Gracia: Velocidad del Viento

Con respecto a la velocidad del viento en el barrio de Gracia, existe una tendencia similar a lo que ocurre en el Raval, ya que la velocidad del viento es mayor en las calles con una menor relación de aspecto. Se observa sin embargo que contrario a lo que se presenta en el Raval, esta diferencia es más significativa en las calles con orientación NE-SO. Igualmente se puede notar que en las horas del mediodía y la tarde hay un incremento en la velocidad que es más representativo en las calles con menor H/W y que en las noches desciende en todos los casos, manteniéndose bastante baja en las calles con mayor relación de aspecto.



Gráfico N° 95: Velocidad del viento, Orientación NE-SO (fecha medición: 17-07-2014)

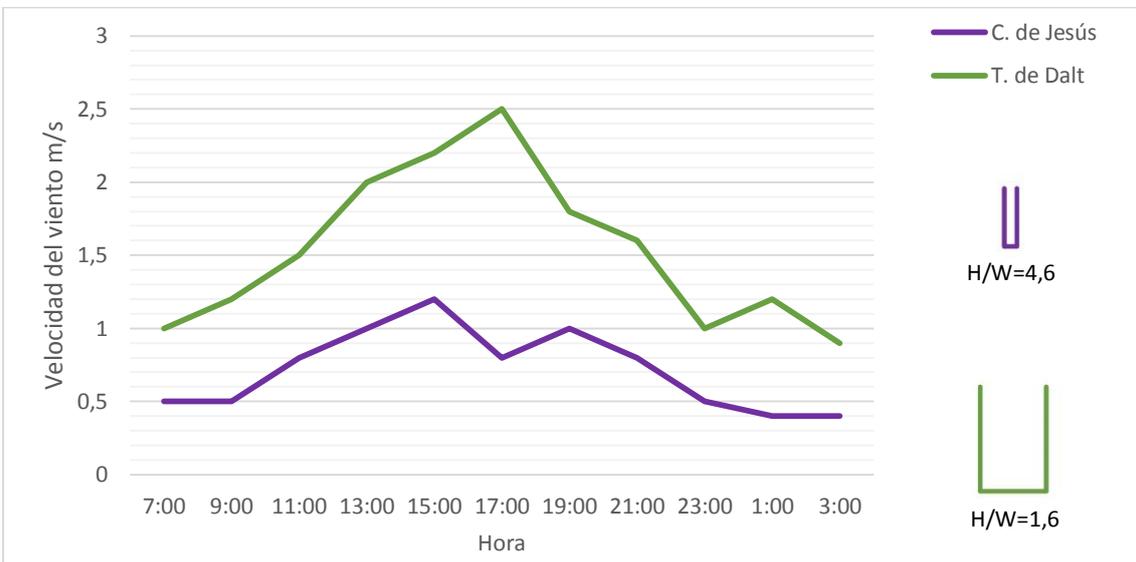


Gráfico N° 96: Velocidad del viento, Orientación NE-SO (fecha medición: 24-07-2014)

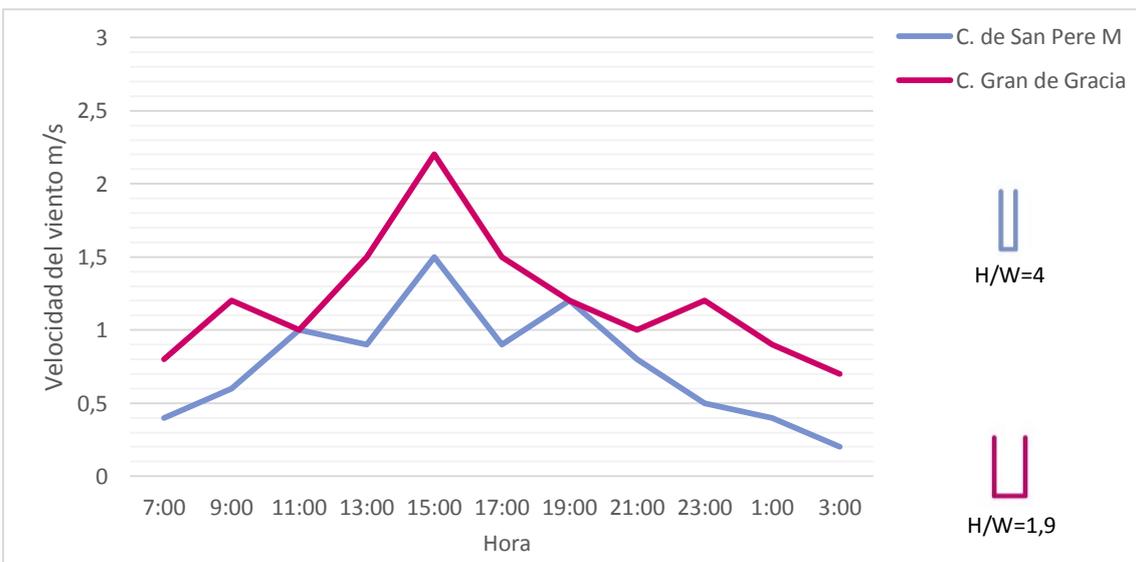


Gráfico N° 97: Velocidad del viento, Orientación NO-SE (fecha medición: 17-07-2014)

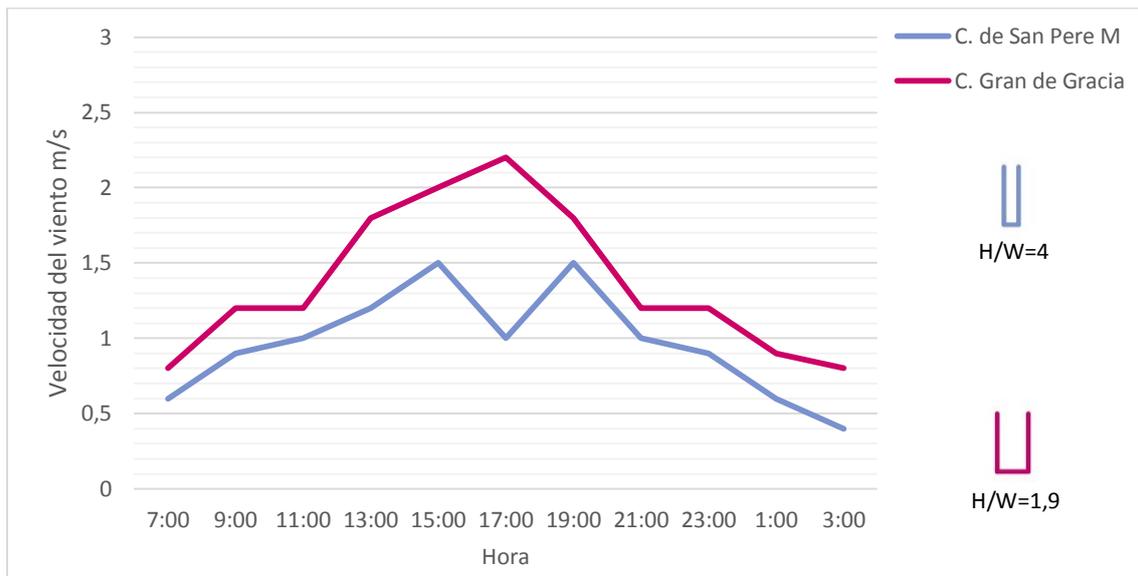


Gráfico N° 98: Velocidad del viento, Orientación NO-SE (fecha medición: 24-07-2014)

CONCLUSIONES MICROCLIMA

Como se mencionó en un inicio, el apartado correspondiente al marco teórico, dentro de una trama urbana es posible encontrarse con diferentes microclimas, incluso en distancias muy cortas. Es así que después de haber analizado los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas in situ, se ha podido obtener algunas conclusiones sobre el microclima que se genera por la combinación de las variables climáticas en los diferentes cañones urbanos estudiados.

Con respecto al barrio el **Raval**, se puede concluir que en ambas orientaciones durante la mañana la temperatura del aire es superior en las calles con menor relación de aspecto, lo cual está justificado por tener una mayor radiación solar incidente, si bien es importante mencionar que en estas calles existe un mayor calor antropogénico. Se observa que para las horas de la tarde esta situación se invierte pues el descenso de temperatura es más acelerado en las calles con menor H/W. Es decir en la tarde y noches se conservan temperaturas más elevadas en las calles con mayor relación de aspecto.

En cuanto a la temperatura superficial en las calles con orientación NE-SO, los valores son siempre superiores en la calle con menor relación de aspecto, mientras que en la orientación NO-SE se puede evidenciar que en la medición registrada el 4 de julio la temperatura superficial durante la mañana es mayor en el cañón con menor relación de aspecto, pero que en la tarde y noche sucede lo contrario. Sin embargo pese a estas diferencias se puede concluir que en ambas orientaciones se presenta la misma tendencia de que durante las tardes y noche la temperatura superficial disminuye más lentamente en los cañones con mayor relación de aspecto, debido a que se tienen un menor SVF que dificulta la liberación de calor de las superficies hacia la atmósfera.

Finalmente considerando la variable del viento, se puede concluir que en las calles con mayor relación de aspecto es importante mencionar que durante las noches se combinan bajas velocidades del viento con temperaturas del aire y en algunos casos superficiales más elevadas. Mientras que en las calles con menor relación de aspecto la

velocidad del viento si bien disminuye en las noches, es mayor todo el tiempo, y se cuentan con temperaturas del aire y superficial que van descendiendo a mayor ritmo y llegan a ser menores en la noche.

Considerando los datos registrados en el barrio de **Gracia** se puede observar que las diferencias más importantes con respecto al barrio el Raval se presentan en la temperatura del aire, ya que en Gracia la mayor parte del tiempo se cuentan con mayores temperaturas en las calles con menor relación de aspecto (que como se mencionó anteriormente esta seguramente afectado por un mayor calor antropogénico presente en estas calles) a excepción de las noches a partir de las 23:00 cuando esta situación se invierte y ocurre lo mismo que en el Raval.

En cuanto a la temperatura radiante se puede observar que durante el día siempre son superiores en las calles con menor relación de aspecto y que en las noches se presenta al igual que en el Raval un descenso más acelerado en estas calles, llegando a temperaturas bastante similares y en algunos casos inferiores a las registradas en las calles con mayor H/W.

Por ultimo con respecto al viento, se observa mayores velocidades que las registradas en el barrio el Raval, pero conservando la misma tendencia, pues se mantienen superiores en las calles con menor relación de aspecto, e igualmente en las noches existe un descenso importante en ambos casos. De manera que se puede concluir que en el barrio de Gracia a partir de las 23:00 se presenta la misma situación que en el Raval, pues en las calles con mayor H/W, se cuenta con bajas velocidades del viento y temperaturas del aire y en algunos casos superficiales más elevados y que sobre todo van descendiendo muy levemente. Mientras que en el resto del día, en general se cuenta con mayores temperaturas del aire y superficial en las calles con menor relación de aspecto, pero que sin embargo se combina con una mayor velocidad del viento.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN CAÑONES URBANOS DE DIFERENTE MORFOLOGÍA EN LOS BARRIOS EL RAVAL Y GRACIA DE LA CIUDAD DE BARCELONA.

APLICACIÓN DEL SOFTWARE COMFA + PARA EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO URBANO:

Para el análisis del confort térmico urbano en los diferentes cañones urbanos estudiados se ha empleado el software COMFA +, mediante el cual es posible determinar el balance energético del cuerpo humano, mediante el cálculo del intercambio energético de las siguientes variables: Taso metabólico neto, radiación solar absorbida, radiación térmica absorbida, flujo convectivo, radiación térmica emitida y flujo evaporativo.

Datos de ingreso:

Para el cálculo del taso metabólico se han ingresado los datos correspondientes a una persona con una vestimenta tipo y una actividad de estar en pie caminando lentamente, teniendo los siguientes valores: Albedo de la persona= 0,6, emisividad=0,9, resistencia del vestuario $clo=0.41$ o $r_{co} (m^2K/W)= 0,063$.

También se han ingresado los datos climatológicos de cada cañón urbano, de los cuales la temperatura del aire, temperatura de las superficies y velocidad del viento corresponden a los valores registrados en las mediciones en campo, mientras que para la humedad relativa se han utilizado los datos de las correspondientes estaciones meteorológicas ubicadas en los barrios de El Raval y Gracia.

Empleando el software COMFA+ se han calculado teóricamente los datos de radiación solar directa y difusa (w/m^2), tanto en una superficie horizontal como en las superficies verticales de diferentes orientaciones y mediante el software Heliodón se ha calculado también el porcentaje de superficie al sol y a la sombra de las superficies verticales y horizontales, así como también la altura solar en cada hora, que es empleada también en el cálculo. También se ha utilizado el software COMFA+ para el cálculo de la temperatura del cielo, el cual se realiza en función de la temperatura del aire.

Con respecto a las superficies que componen el cañón urbano se han ingresado los valores de albedo=0,4 (edificios) y 0,3 (piso) y emisividad=0,9 (obtenidos de tablas propias del software COMFA+ de acuerdo a los materiales).

Por último se han ingresado los valores de factor de vista del cielo SVF (calculado mediante el software heliodón) y el factor de vista entre la persona y los edificios BFV (calculado mediante el software COMFA+). Con respecto al BFV, este corresponde al factor de vista entre una persona y una superficie colocada verticalmente o lateralmente, y para su cálculo se tiene en cuenta la relación de aspecto del cañón urbano (ancho y alto) y se ha considerado para una persona colocada al centro del cañón urbano. Los valores calculados para estos se encuentran en la tabla N°3, que como se observa mientras más ancha es la calle el BFV es menor.

Cálculo de Intercambio energético:

Como se mencionó anteriormente el software calcula los diferentes flujos de energía entre el cuerpo humano y el ambiente, de los cuales la radiación solar absorbida, la radiación térmica absorbida y el flujo convectivo se han considerado importantes analizar, para entender la incidencia de cada uno de estos en el balance total de energía,

ya que son estos factores los que se modifican en función de las diferentes variables morfológicas.

La radiación solar total absorbida, se compone de la radiación solar directa, la radiación difusa, la radiación global reflejada de los edificios y la reflejada del piso. Para el cálculo de cada una de estas componentes se tiene en cuenta la radiación solar directa y difusa incidente en las diferentes superficies, el SVF (para la radiación solar directa y difusa), el BFV, albedo y emisividad de las superficies (para la radiación reflejad de edificios y piso).

La radiación solar térmica absorbida, se compone de la radiación térmica emitida del cielo, la emitida de los edificios y emitida del piso. Para el cálculo de éstas se considera entre otros factores la temperatura del cielo y el SVF (para la radiación térmica emitida del cielo), la temperatura de las superficies, la emisividad de las mismas y el BFV (para la radiación térmica emitida de los edificios y piso).

El flujo convectivo, que para su cálculo considera entre varios factores, la velocidad del viento, el tasa metabólico neto (que determina la temperatura del cuerpo que se calcula en función de la temperatura del aire) y datos de ingreso de la persona como la resistencia del vestuario.

Calle	Variables morfológicas			
	Ancho calle (W)	Altura edificios (H)	H/W	BFV
C. Elisabets	4,8	19	4,0	0,28
C. Pintor Fortuny	11,9	19	1,6	0,2
C. del Notariat	6	19	3,2	0,27
Rambla del Raval	58	19	0,3	0,09
C. de Jesús	3,2	15	4,6	0,3
T. de Dalt	17	27	1,6	0,16
C. San Pere M	3,8	15	4	0,32
C. Gran de Gracia	8	15	1,9	0,24

Tabla N° 3: Factor de vista entre la persona y los edificios (BFV), calculado mediante el software COMFA +
Fuente:Elaboración propia

Evaluación del confort térmico:

En la tabla N°4 se puede observar las diferentes condiciones de confort térmico de acuerdo a los rangos en los valores del balance energético obtenido. Como se observa se obtienen condiciones de confort cuando el balance energético es mayor o igual a – 50 y menor o igual a 50.

Balance energético	Sensación Térmica
$BT < -150$	Mucho frío
$-150 \leq BT < -50$	Un poco de frío
$-50 \leq BT \leq 50$	Confort
$50 < BT \leq 150$	Calor
$BT > 150$	Mucho calor

Tabla N° 4: Balance energético cuerpo humano y ambiente y sensación térmica percibida.
Fuente: software COMFA+

BALANCE ENERGÉTICO CUERPO HUMANO – AMBIENTE (SUJETO A LA SOMBRA):

El presente análisis se ha realizado considerando los datos registrados el día 10-07-2014 (Raval) y el día 24-07-2014 (Gracia).

Realizando el cálculo del balance energético cuerpo humano-ambiente, en el caso de un sujeto a la sombra se puede observar que para el barrio el Raval, en el caso de la orientación NE-SO, la mayor parte de tiempo se encuentra dentro de la zona de confort, a excepción de las 15:00, cuando en ambos cañones urbanos se alcanzan valores que se encuentran en una condición de calor, mientras que a las 7:00 en el caso del cañón con menor relación de aspecto se encuentra por debajo de la zona de confort, correspondiente a una sensación un poco fría.

Es importante mencionar que en todas las horas analizadas, la calle con mayor relación de aspecto cuenta con un balance energético mayor, es decir siempre se encuentra en una condición más cálida que en la calle con menor H/W, teniendo diferencias significativas a excepción de las 13:00. Se puede observar que a partir de las 15:00 se alcanzan valores más altos, debido a que en la tarde y noche los valores de temperatura son elevados y van descendiendo muy lentamente, además se combina con una reducción de la velocidad del viento. Mientras que en la calle con menor relación de aspecto, en horas de la mañana se tienen valores bajos, siendo incluso negativos, es decir se tiende más hacia una sensación de frío.

Por otra parte en la orientación NO-SE por lo general se cuenta con un balance energético más bajo, pues en ningún momento se sobrepasa la zona de confort, sin embargo se presenta una situación similar que en la orientación NE-SO, ya que a excepción de las 11:00 y 15:00, el balance energético es superior en la calle con mayor relación de aspecto. Estas diferencias se hacen más significativas en horas de la noche pues se debe a lo antes mencionado, de que en la calle con mayor relación de aspecto se registraron temperaturas, en este caso del aire y superficiales más elevadas y una velocidad del viento baja.

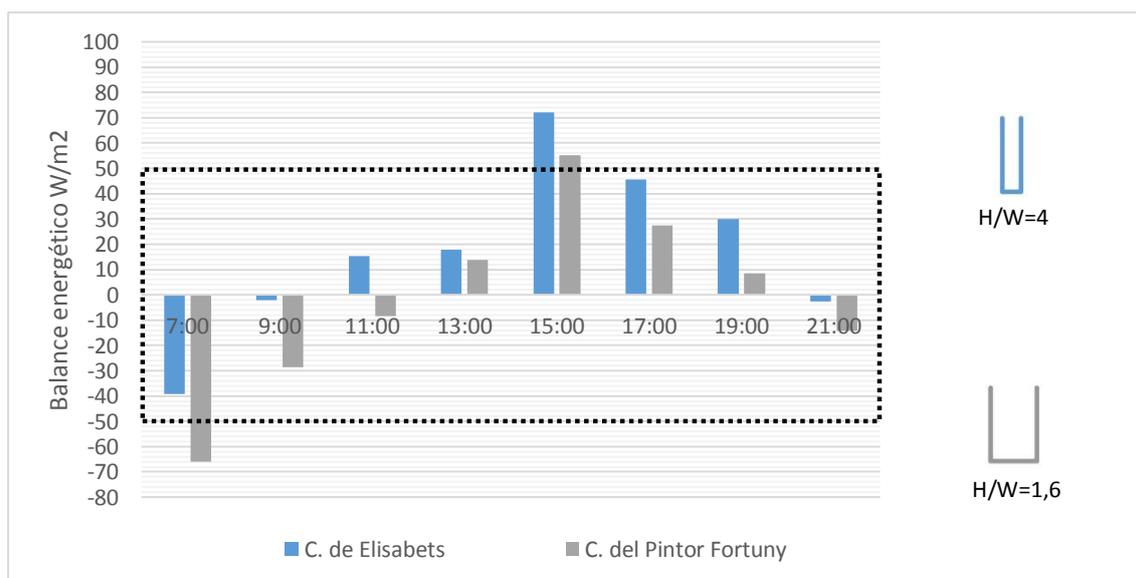


Gráfico N° 99: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

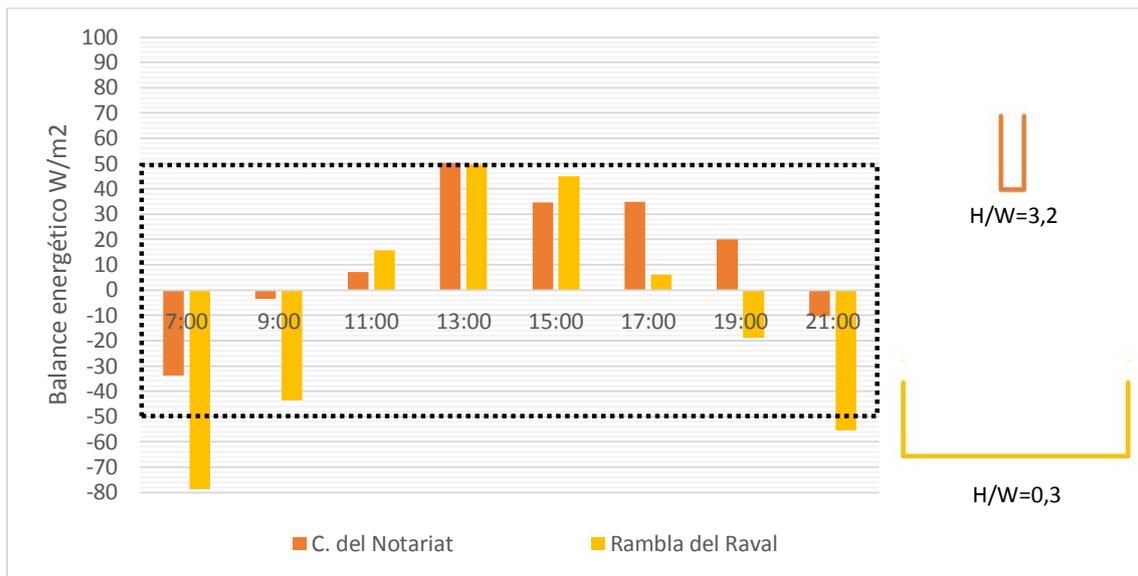


Gráfico N° 100: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

En cuanto al barrio de Gracia, en relación a la orientación NE-SO, como se había mencionado en el apartado correspondiente al análisis de temperatura del aire registrada en las mediciones, la calle Jesús, que tiene mayor relación de aspecto, cuenta en las primeras horas de la mañana con temperaturas más elevadas. Esto justifica que en las primeras horas de la mañana los valores son considerablemente más altos que en la calle con menor H/W. Sin embargo al igual que en el barrio el Raval, en la tarde y noche siguen siendo superiores en la calle con mayor relación de aspecto, a pesar de haber registrado temperaturas menores, pero que sin embargo no difieren mucho de las obtenidas en la calle con menor H/W y además se cuenta con una velocidad del viento baja. En este caso se sobrepasa la zona de confort únicamente a las 15:00, sin embargo en la calle con mayor relación de aspecto los valores permanecen bastante cercanos a este límite.

Finalmente con respecto a la orientación NO-SE, se puede concluir una tendencia similar, es decir el balance energético es la mayor parte del tiempo mayor en las calles con mayor relación de aspecto, sin embargo se puede notar que desde las 11:00 a 19:00 las diferencias no son muy significativas.

De estos resultados se puede notar que a pesar de que en el caso del Raval (durante la mañana) y de Gracia (la mayor parte del día), las calles con mayor relación de aspecto, que cuentan con temperaturas del aire y superficiales mínimamente inferiores presentan un balance energético mayor que el que se obtiene en las calles con menor relación de aspecto. Este se justifica en parte por tener una menor velocidad del viento y por contar con factores de vista entre la persona y los edificios (BFV) más altos, lo que produce un mayor intercambio térmico entre las superficies calientes de los edificios y la persona. Por tanto se considera importante realizar un estudio más detallado de las diferentes componentes que intervienen en este balance energético cuerpo humano-ambiente, para determinar la incidencia de cada variable morfológica en los resultados obtenidos. A continuación se estudia de cada balance energético, los resultados de radiación solar absorbida, radiación térmica absorbida y flujo convectivo.

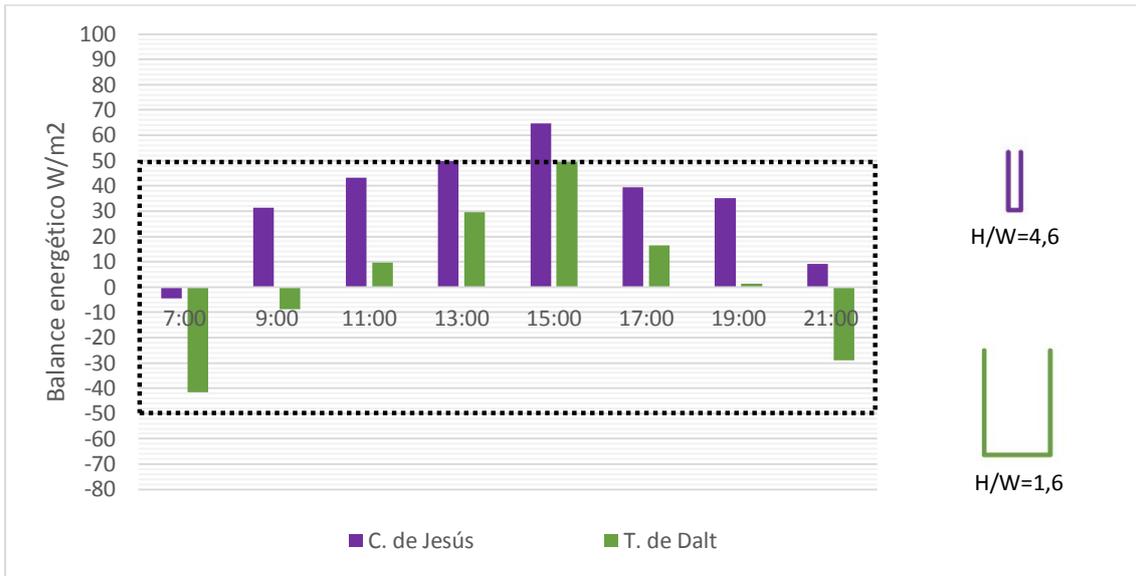


Gráfico N° 101: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

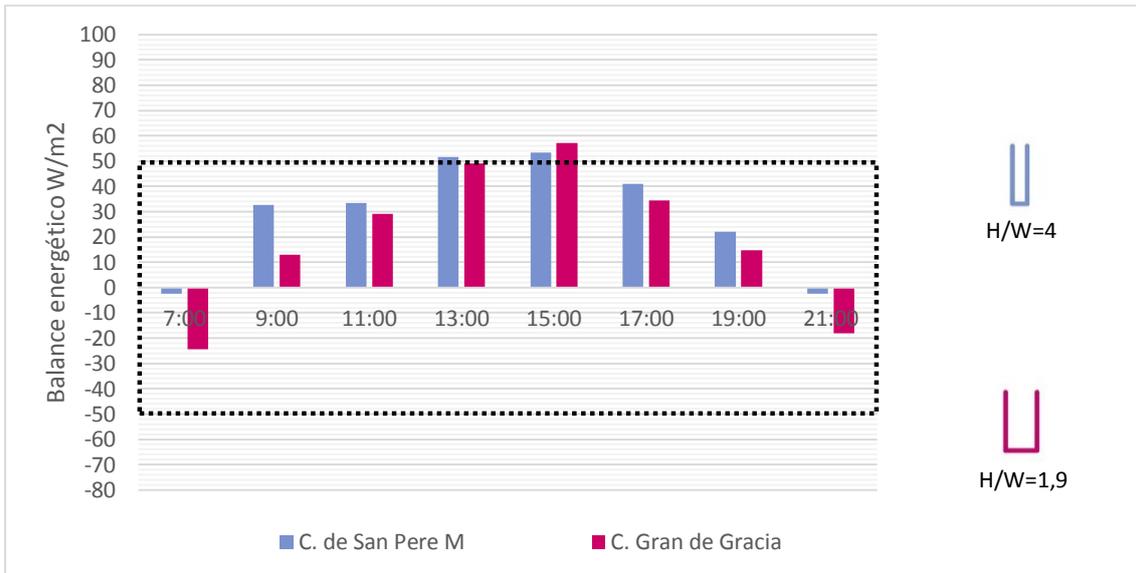


Gráfico N° 102: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente:

RAVAL: CARRER DE ELISABETS Y PINTOR FORTUNY

Radiación solar absorbida por el cuerpo humano:

Considerando las diferentes componentes de la radiación solar absorbida, se puede observar que la **radiación solar difusa** es siempre mayor en las calles con menor relación de aspecto, debido a que se tiene un mayor SVF y por lo tanto incide mayor radiación en esta calle.

En cuanto a la **radiación reflejada de los edificios**, se observa que es siempre mayor en las calles con mayor relación de aspecto, debido a que a pesar de que existe una menor radiación solar incidente, tiene mucha importancia el factor de vista de los edificios o BVF, que es mayor en las calles con mayor relación de aspecto.

En cambio la **radiación reflejada del piso** es mayor en el caso de la calle con menor relación de aspecto, sobre todo en las horas del mediodía cuando el piso recibe mayor radiación. Sin embargo se puede ver que la diferencia de radiación reflejada por el piso no es muy significativa entre los dos cañones, a excepción de las 13:00, a diferencia de lo que ocurre con la radiación solar reflejada de los edificios. Es por eso que en las mañanas y a partir de las 17:00 en la calle con menor relación de aspecto, a pesar de que se tiene una mayor radiación difusa y una mayor radiación en el piso, el balance de radiación solar total absorbida resulta menor que en la calle con mayor relación de aspecto, porque la radiación solar reflejada de los edificios tiene mucha más incidencia en la calle con mayor relación de aspecto.

En cambio a las 13, 15 y en menor medida a las 17 horas, sucede lo contrario y la radiación solar absorbida es mayor en la calle con menor relación de aspecto porque en esas horas aumenta más significativamente la radiación que se recibe en el piso la calle con menor H/W, por lo que la radiación reflejada por este cobra una mayor importancia y en cambio la radiación reflejada por las paredes disminuye.

Si bien se puede notar que la mayor parte del tiempo el total de radiación solar absorbida se mantiene más o menos equilibrado entre los dos cañones, se puede evidenciar que en las mañanas y últimas horas de la tarde tiene mucha importancia el BVF y que en cambio la radiación incidente en fachadas no es lo determinante en la radiación reflejada por los edificios. En cambio la radiación incidente en el piso si es importante a las horas del medio día porque es lo que determina que el balance de radiación solar total sea mayor en esas horas en la calle con menor relación de aspecto.

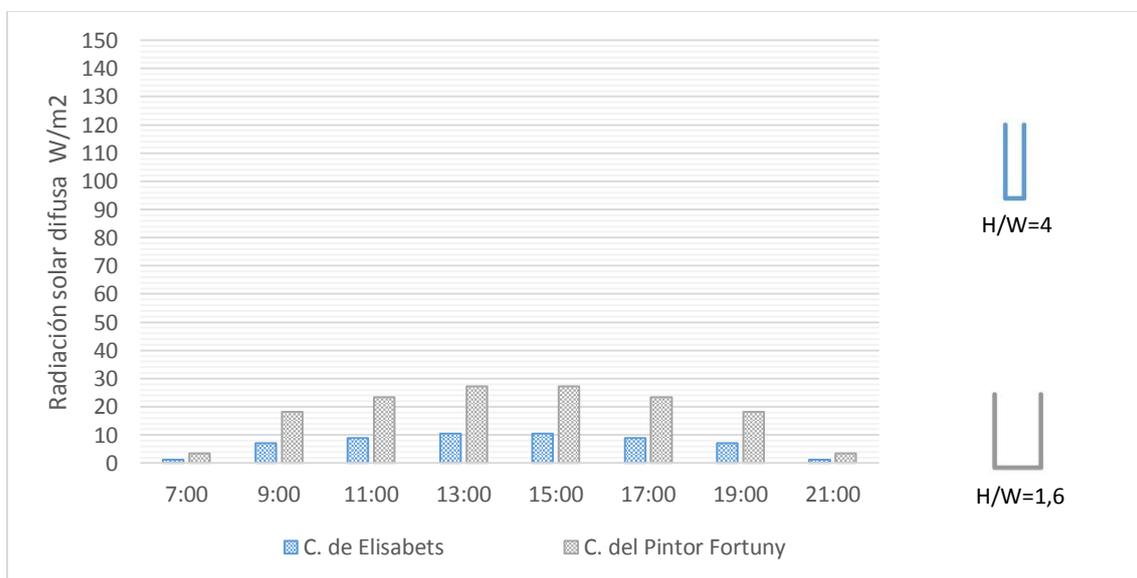


Gráfico N° 103: Radiación solar difusa absorbida – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

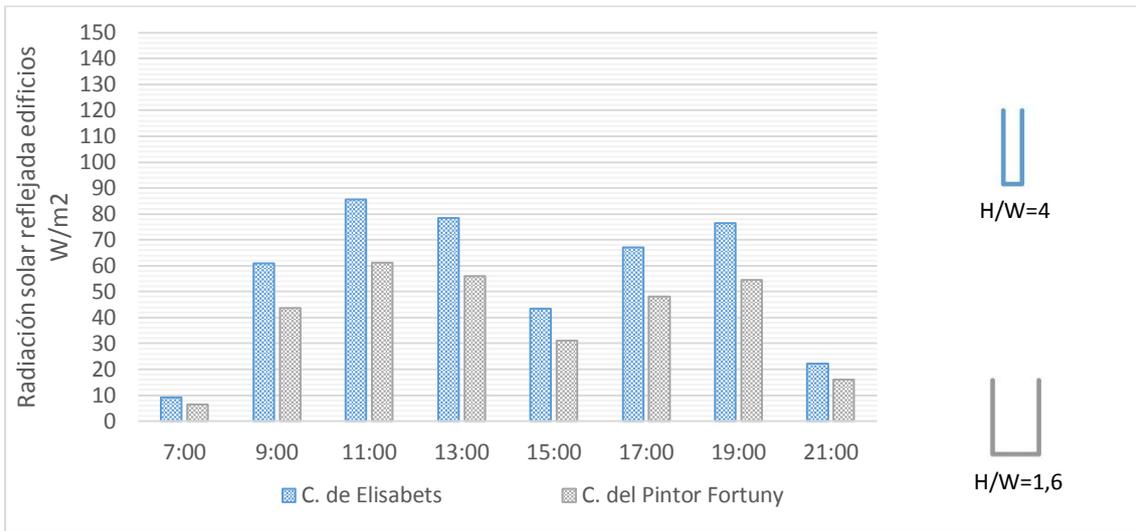


Gráfico N° 104: Radiación solar reflejada de edificios – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

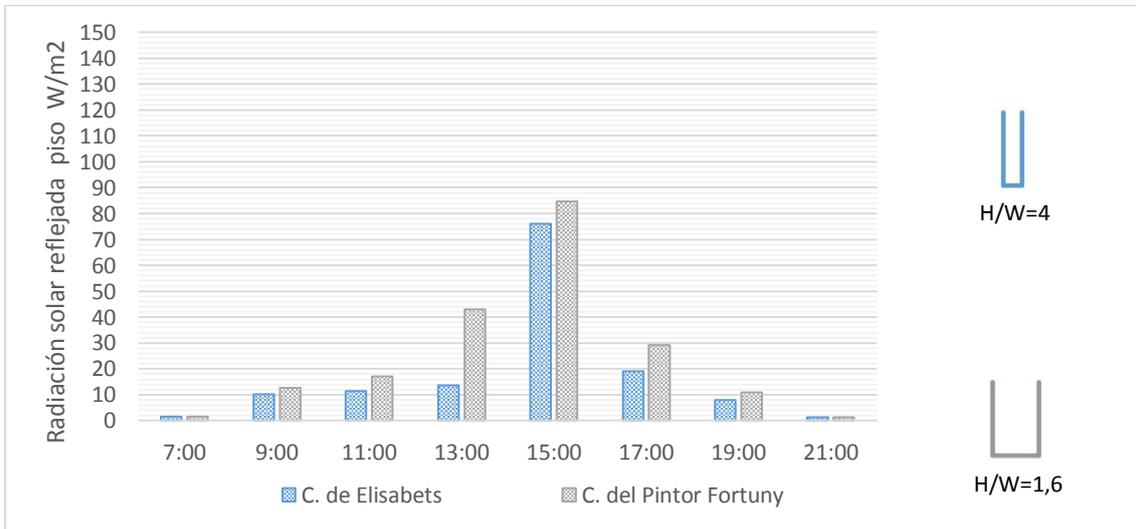


Gráfico N° 105: Radiación solar reflejada del piso – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

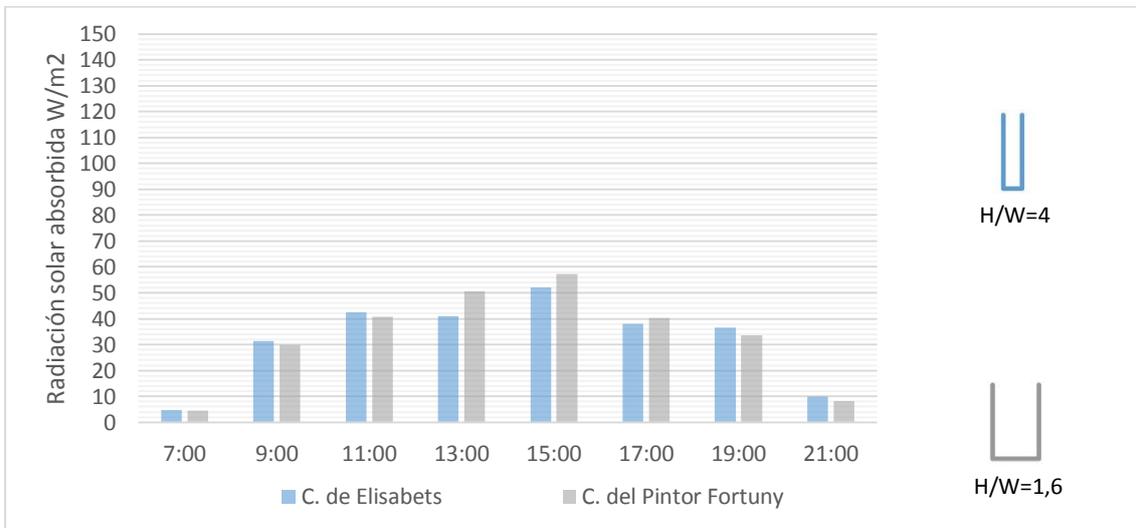


Gráfico N° 106: Radiación solar total absorbida – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano:

De las diferentes componentes de la radiación térmica absorbida, se observa que por tener un mayor SVF, **la radiación térmica emitida del cielo** es mayor en la calle con menor relación de aspecto, siendo la diferencia de aproximadamente el doble.

Sin embargo en cuanto a la **radiación térmica emitida de los edificios**, a pesar de que las temperaturas de las superficies son mayores en la calle con menor relación de aspecto, la radiación emitida de los edificios es en todos los casos mayor en la calle con mayor relación de aspecto. Se observa que a lo largo del día en ambos cañones se va incrementando y en las noches disminuye, pero en definitiva se mantiene más o menos constante. Aquí nuevamente se puede notar la importancia que tiene el BVF, ya que al ser mayor en la calle con menor H/W, la temperatura superficial tiene una mayor incidencia que en la calle con menor H/W.

Sin embargo la **radiación térmica emitida por el piso** es prácticamente igual en los dos cañones, se mantiene constante a lo largo de la mañana, a partir de las 15 h se registra un incremento.

Es así que del total de radiación térmica absorbida, la componente que tiene una mayor importancia y que determina las diferencias que se observan entre los dos cañones es la radiación térmica emitida por los edificios. De esta forma el total de radiación térmica absorbida se mantiene siempre mayor en la calle con mayor relación de aspecto y se evidencia que la diferencia entre las dos calles es más significativa que lo observado en cuanto a la radiación solar. Esto explica porque en las calles con relación de aspecto mayor casi siempre se encuentra un balance energético más alto y por tanto una sensación más cálida.

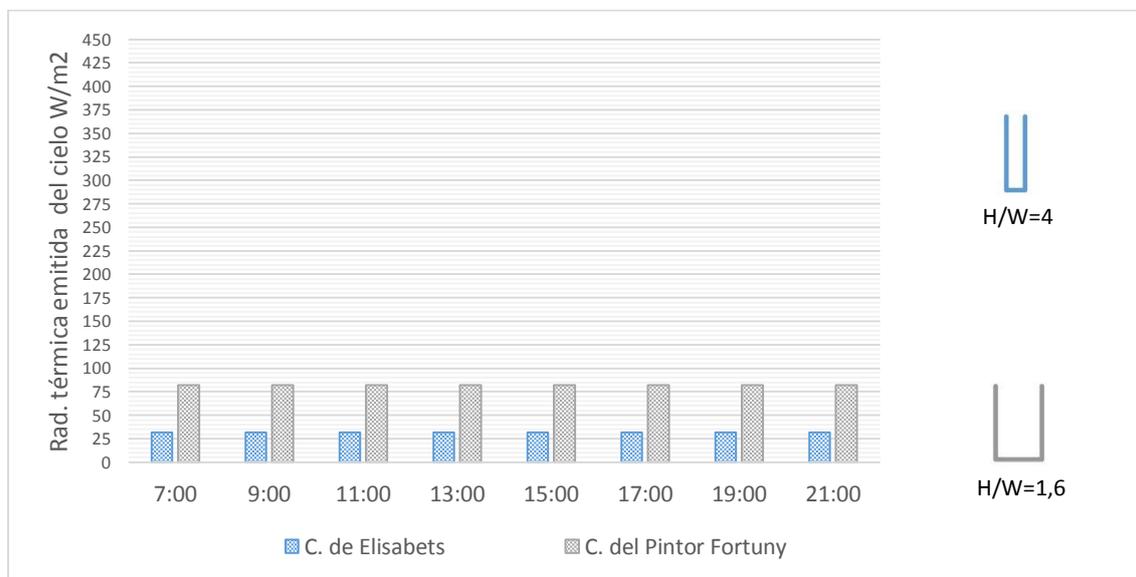


Gráfico N° 107: Radiación térmica emitida del cielo – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

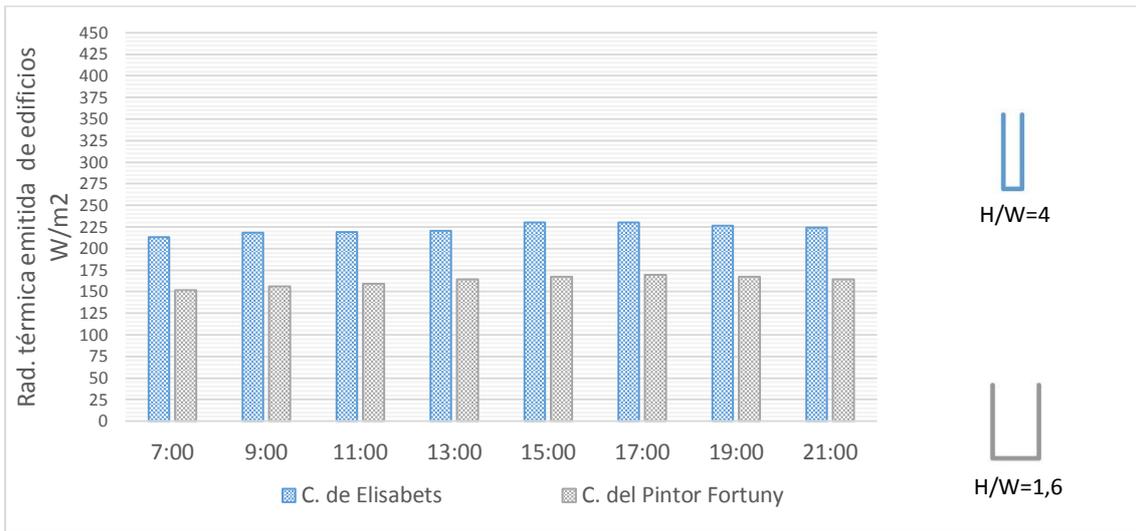


Gráfico N° 108: Radiación térmica emitida de los edificios – Raval, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

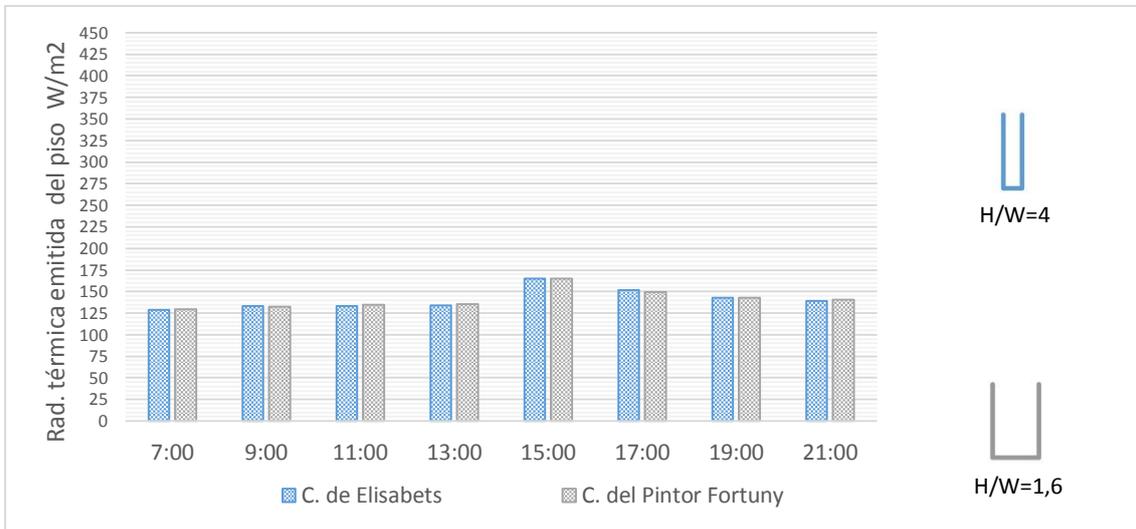


Gráfico N° 109: Radiación térmica emitida del piso – Raval, Orientación NE-SO
 Fuente:

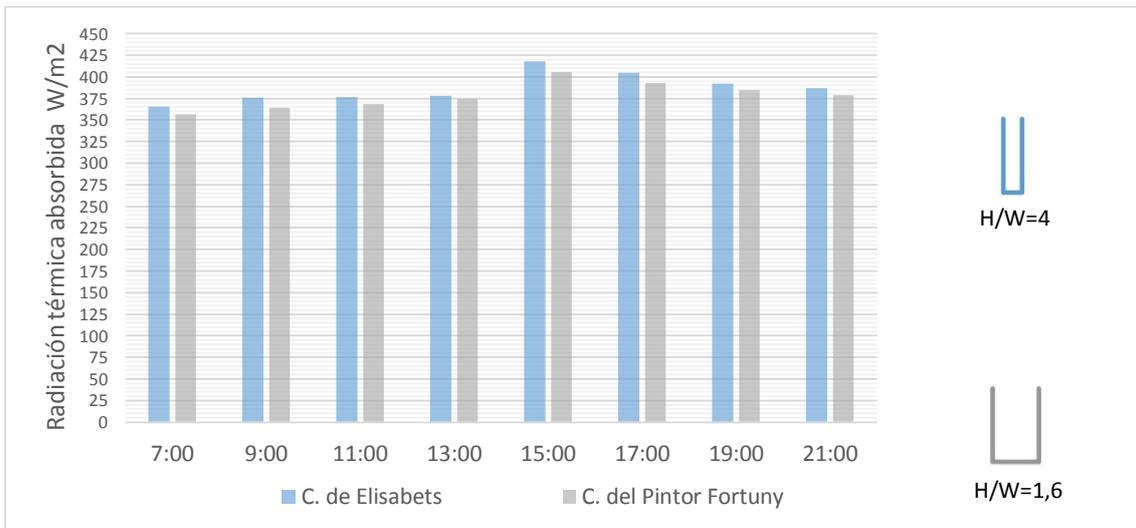


Gráfico N° 110: Radiación térmica total absorbida por el cuerpo humano – Raval, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente:

Se puede observar que todo el tiempo el flujo convectivo es mayor en la calle con menor relación de aspecto, pues en esta se registra una mayor velocidad del viento. Durante las primeras horas del día se obtienen los mayores valores, ya que se cuenta con menor temperatura, y en el medio día si bien aumenta la velocidad del viento, también aumenta la temperatura del aire, por lo que el flujo convectivo disminuye. En la noche con el descenso de temperatura, si bien la velocidad el viento disminuye, el flujo convectivo va ascendiendo levemente.

Se puede observar que en la noche al combinarse temperaturas más altas y velocidad del viento más baja en la calle con mayor relación de aspecto las diferencias de flujo convectivo entre los dos cañones se van acentuando aunque mínimamente.

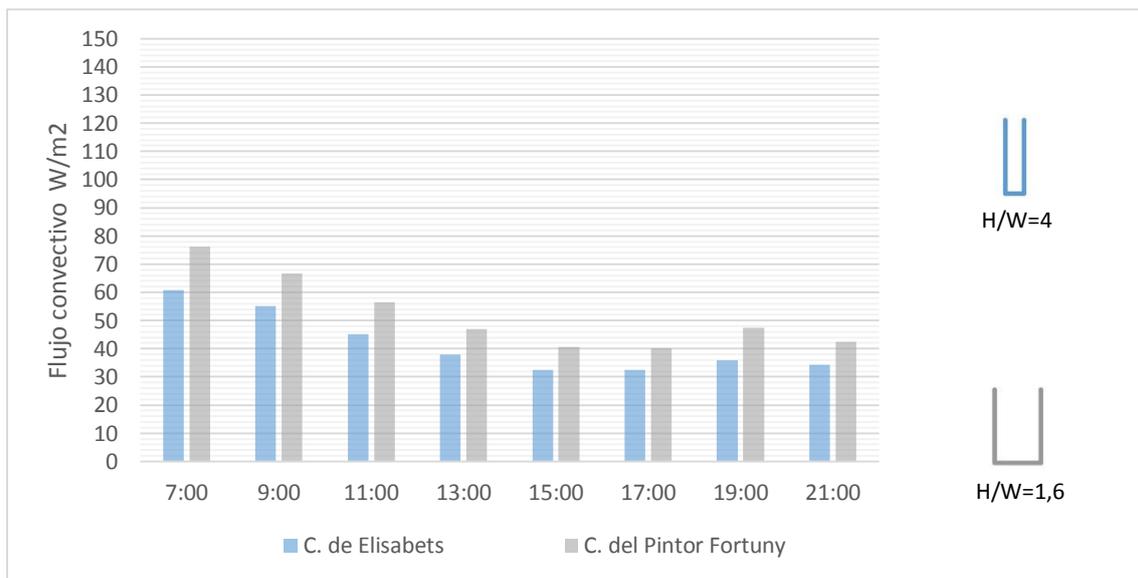


Gráfico N° 111: *Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente – Raval, Orientación NE-SO*
Fuente: *Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+*

RAVAL: CARRER DE NOTARIAT Y RAMBLA DEL RAVAL:

Radiación solar absorbida por el cuerpo humano:

Observando la radiación solar absorbida por las diferentes superficies se puede notar que al tener una gran diferencia en el SVF, la **radiación difusa** es bastante considerable en el cañón con menor H/W, mientras que en la de mayor H/W se mantiene baja.

En cambio la **radiación reflejada de los edificios** al igual que lo que sucede en las calles de orientación NE-SO, adquiere mucha importancia en la calle con mayor H/W, pues como se mencionó antes se tiene un BFV mayor, mientras que en la Rambla de Raval al tener una sección bastante ancha, el BFV es bastante bajo en comparación con el que se tiene en Notariat, por lo tanto la radiación reflejada de los edificios en la calle con menor H/W es poco significativa.

Sin embargo sucede lo inverso en relación a la **radiación refleja del piso**, que tiene mucha importancia en el caso del cañón con menor relación de aspecto, pues se tienen valores muy superiores a los que se obtienen en la calle con mayor H/W. Debido a esto

los valores se compensan en ambos cañones, es decir se puede observar que la radiación reflejada de los edificios más la reflejada del piso en definitiva es más o menos equilibrada en los dos cañones, teniendo un papel decisivo la radiación difusa que determina que el total de radiación solar absorbida es mayor en la calle con menor relación de aspecto.

Es así que el total de radiación solar absorbida es siempre mayor en la rambla, si bien las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde no hay mucha diferencia entre las dos calles, pero que en el resto de horas la diferencia es más significativa que en caso de las calles con orientación NE-SO. De esta manera se puede concluir que al tener en las calles NO-SE un mayor contraste en la relación de aspecto, el SVF adquiere mucha importancia, pues la mayor radiación solar difusa que se tiene en la Rambla de Raval es lo que determina que el total de radiación solar absorbida sea mayor en este caso.

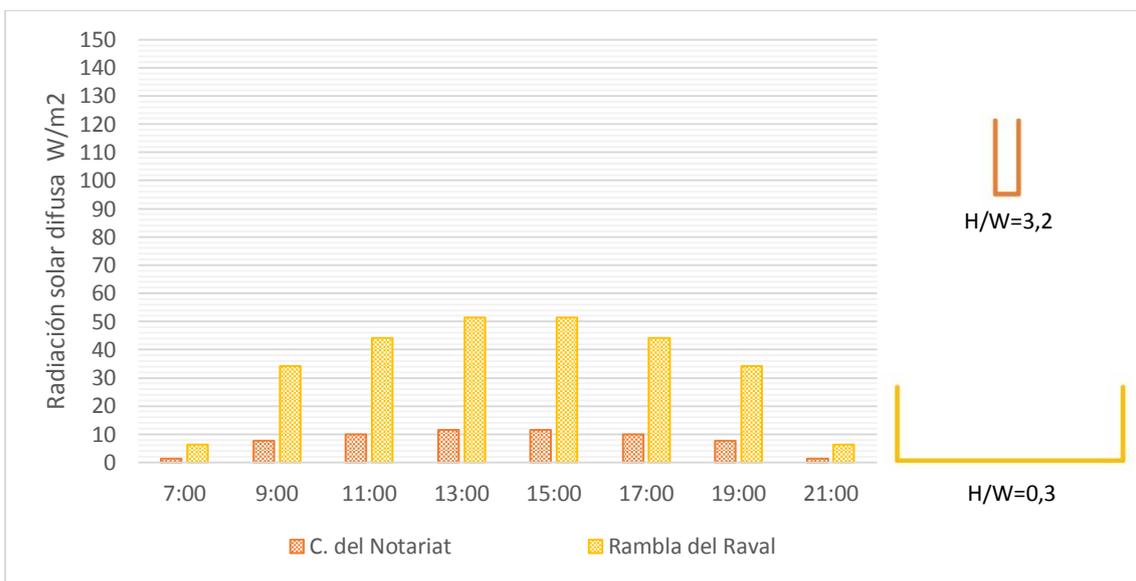


Gráfico N° 112: Radiación solar difusa absorbida – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

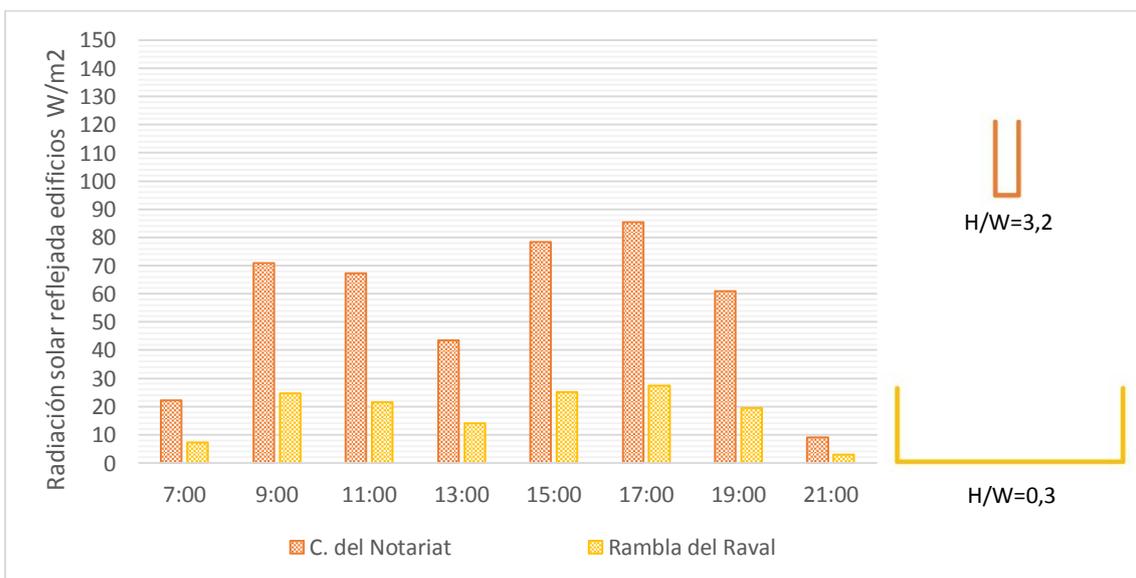


Gráfico N° 113: Radiación solar reflejada de edificios – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

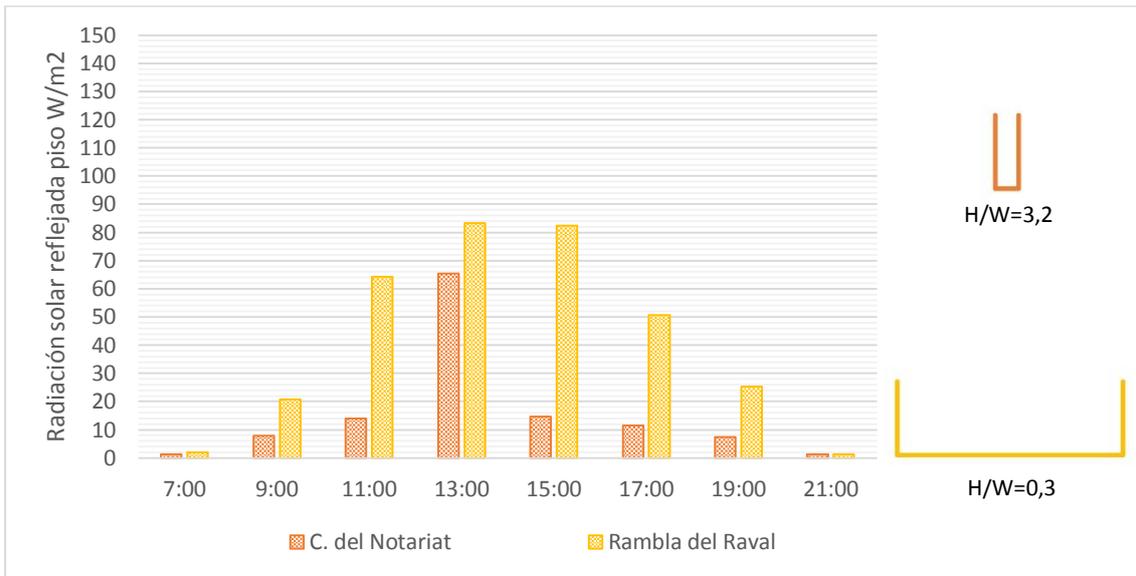


Gráfico N° 114: Radiación solar reflejada del piso – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

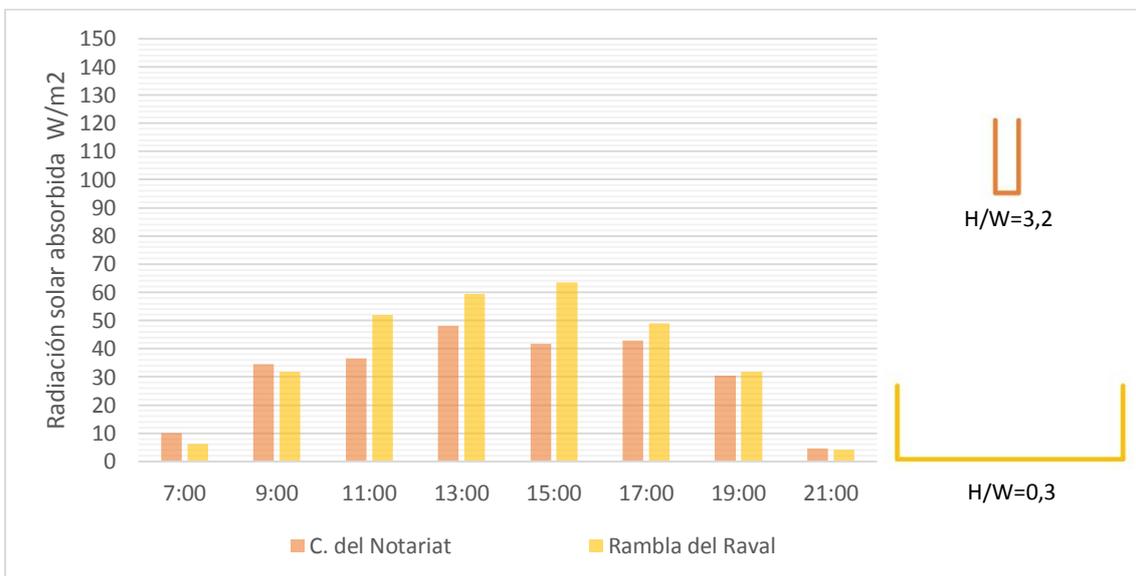


Gráfico N° 115: Radiación solar total absorbida – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano:

En cuanto a la radiación térmica absorbida se puede observar resultados similares que las calles NE-SO, ya que como se observa la **radiación térmica emitida del cielo** es bastante mayor en la calle con menor relación de aspecto, por las diferencias importantes de SVF que se tiene. Mientras que al tener diferencias importantes del BVF, pues en la calle con menor relación de aspecto es bastante bajo, en correspondencia con temperaturas superficiales que son bastante similares en ambos cañones (a excepción del medio día), se obtiene que la **radiación térmica emitida por los edificios** es bastante relevante en la calle con mayor H/W, pues es aproximadamente en triple de la que se emite en la calle con menor H/W.

Sin embargo en cuanto a la **radiación emitida por el piso**, las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, se mantiene equilibrado entre los dos cañones, mientras

que al medio día y primeras horas de la tarde se evidencia que es mayor en la calle con menor H/W, si bien las diferencias no son importantes.

De esta manera se obtienen la misma tendencia que en las calles con orientación NE-SO, ya que el total de radiación térmica absorbida es mayor en el cañón con mayor relación de aspecto, sin embargo al medio día se obtienen valores bastante equilibrados.

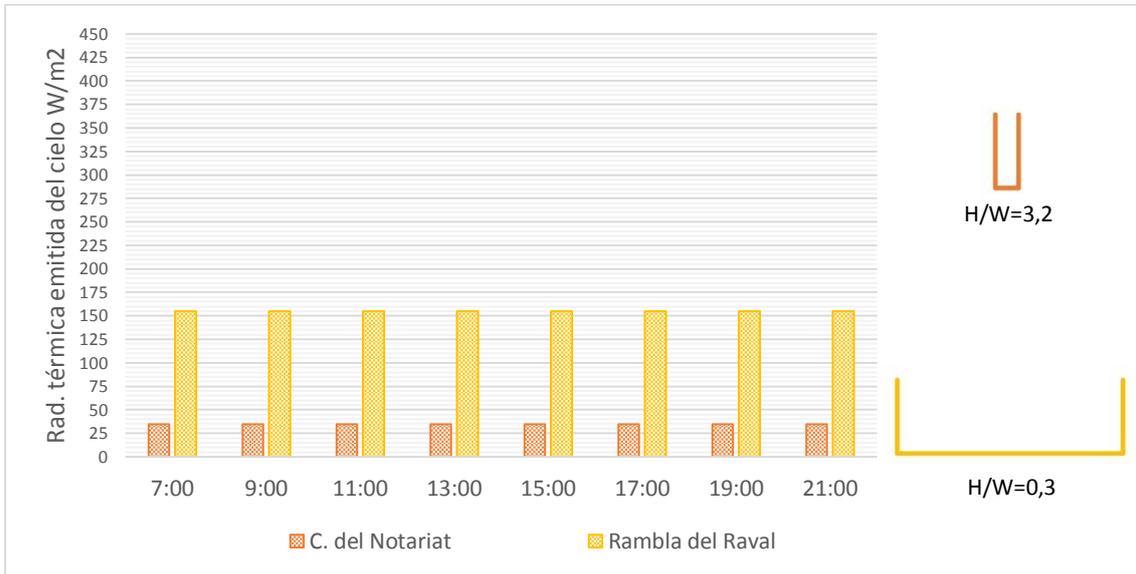


Gráfico N° 116: Radiación térmica emitida del cielo – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

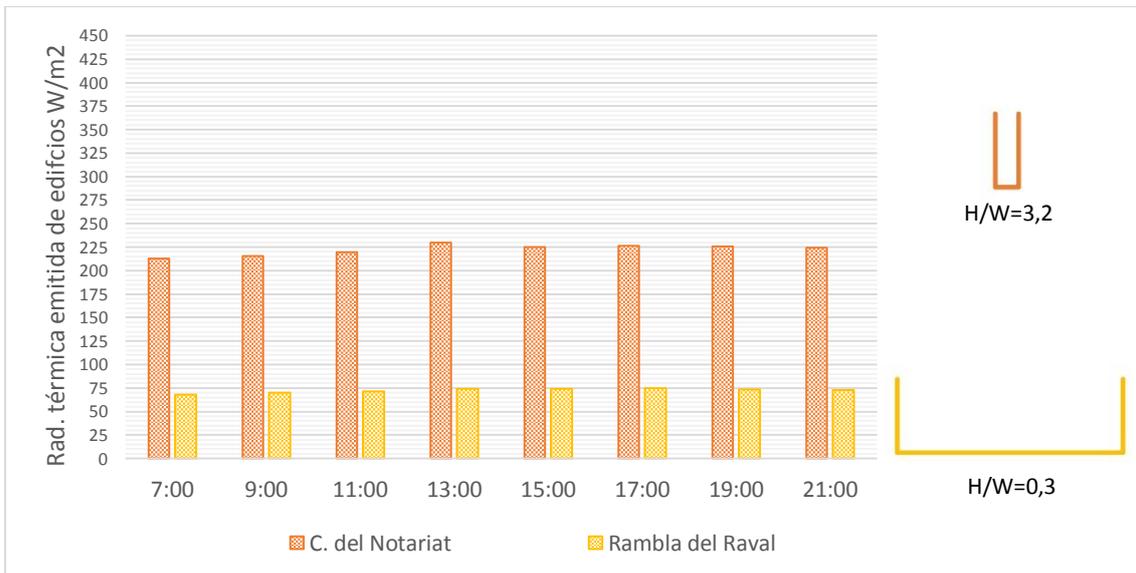


Gráfico N° 117: Radiación térmica emitida de los edificios – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

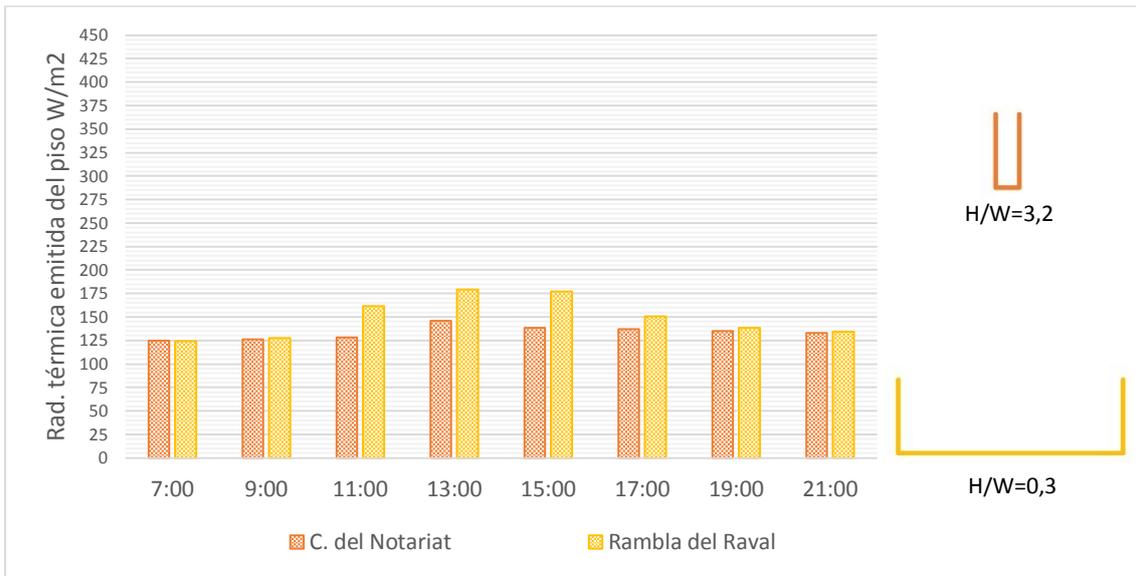


Gráfico N° 118: Radiación térmica emitida del piso – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

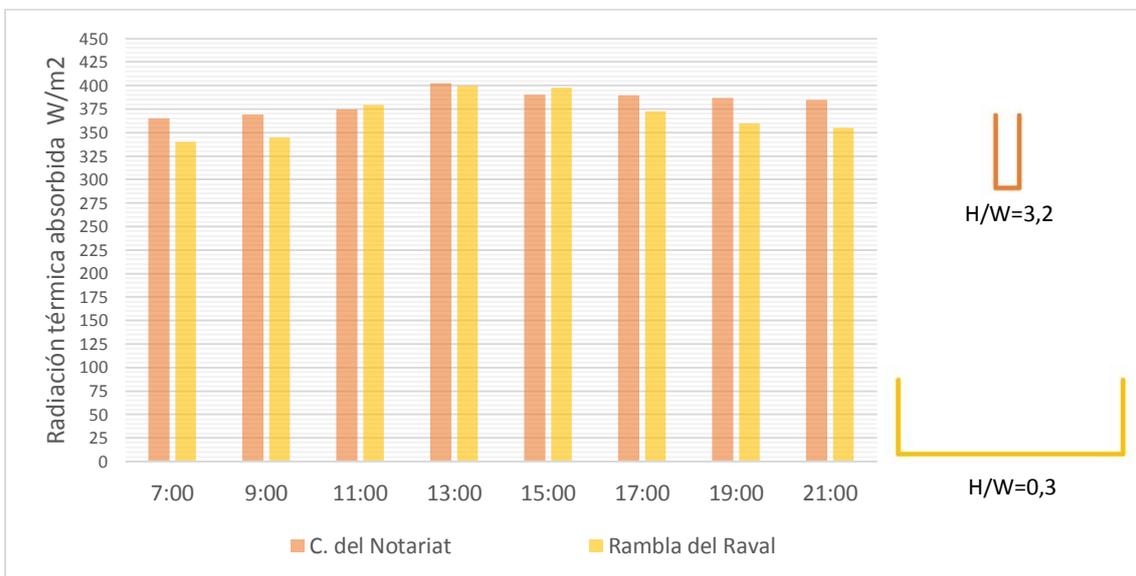


Gráfico N° 119: Radiación térmica total absorbida por el cuerpo humano – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente:

Se observa la misma tendencia que en la orientación NE-SO, ya que el flujo convectivo es siempre mayor en la calle con menor relación de aspecto. Si bien se puede recalcar que las diferencias entre los dos cañones se acentúan a partir de las 15:00 cuando se tiene una velocidad del viento significativamente mayor en la calle con menor H/W y al mismo tiempo las temperaturas en esta calle comienzan a ser inferiores a las registradas en la calle con mayor H/W.

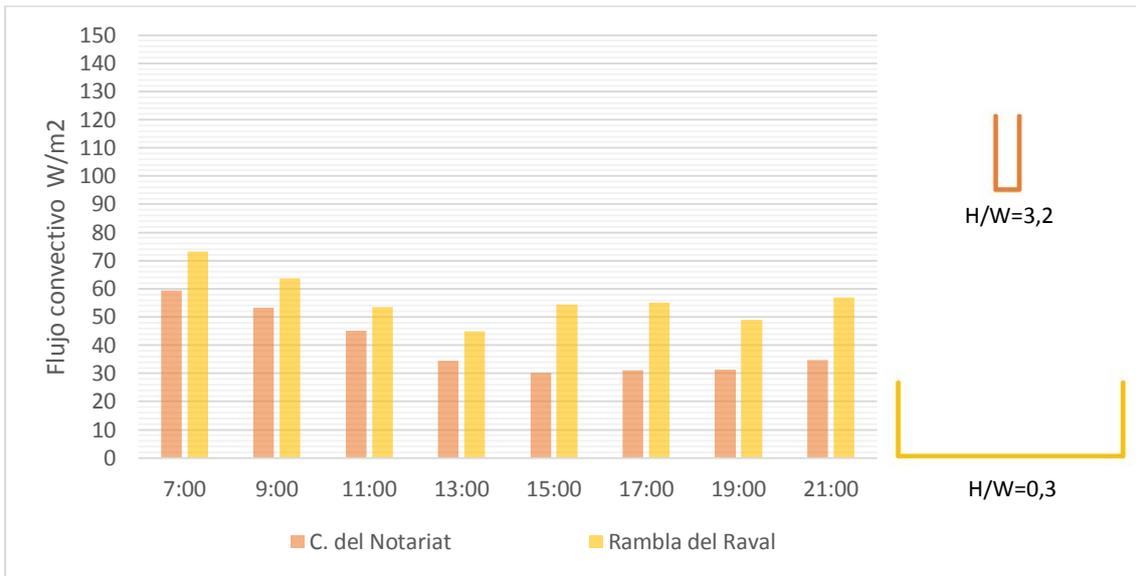


Gráfico N° 120: Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente – Raval, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

GRACIA: CARRER DE JESÚS Y TRAVESSERA DE DALT:

Radiación solar absorbida por el cuerpo humano:

Se pueden obtener conclusiones similares que en el caso de las calles con misma orientación en el barrio el Raval, ya que como se puede observar en **la radiación solar difusa** es mayor en la calle con menor relación de aspecto H/W en correspondencia con un mayor SVF. Mientras que en cuanto a **la radiación reflejada de los edificios** se puede notar que es mayor en la calle con mayor relación de aspecto en función de un mayor BVF, y en **la radiación reflejada por el piso** sucede lo contrario. En comparación con lo del Raval, al tener un en el caso de Gracia un mayor contraste en la relación de aspecto se puede notar que en estas tres componentes las diferencias entre los dos cañones son más significativas, pero que la tendencia es siempre la misma.

En definitiva se obtiene que la radiación solar total absorbida en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, casi no presenta diferencias entre las dos calles, en cambio en las horas del mediodía se ve que es mayor en las calle con menor relación de aspecto.

Es importante notar que las diferencias de radiación solar absorbida es significativa solamente en las horas del mediodía, es decir tiene importancia la cantidad de radiación incidente en el piso, mientras que en el resto de horas cuando la radiación incide en las fachadas casi no tiene diferencia la radiación solar absorbida.

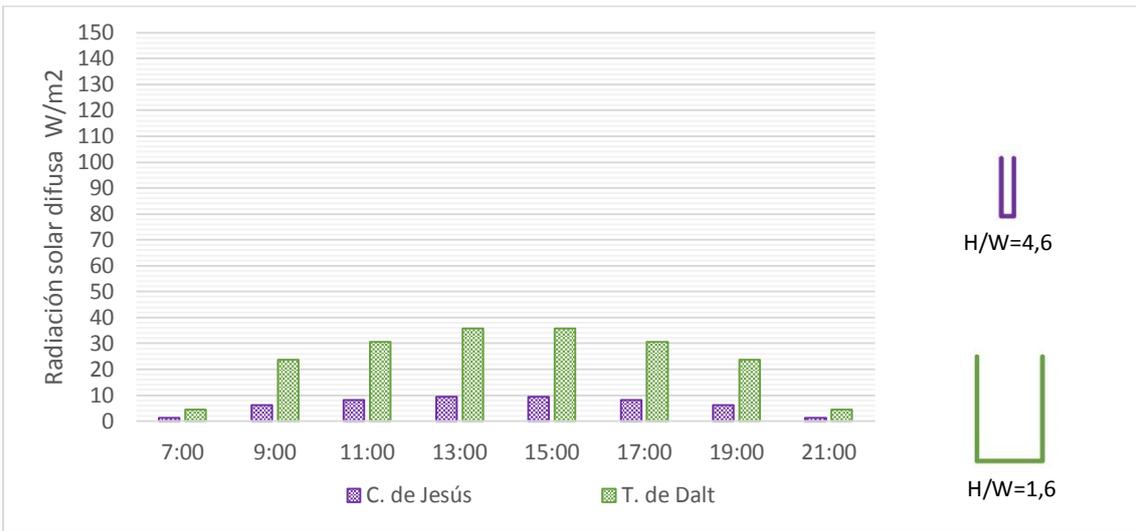


Gráfico N° 121: Radiación solar difusa absorbida – Gracia, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

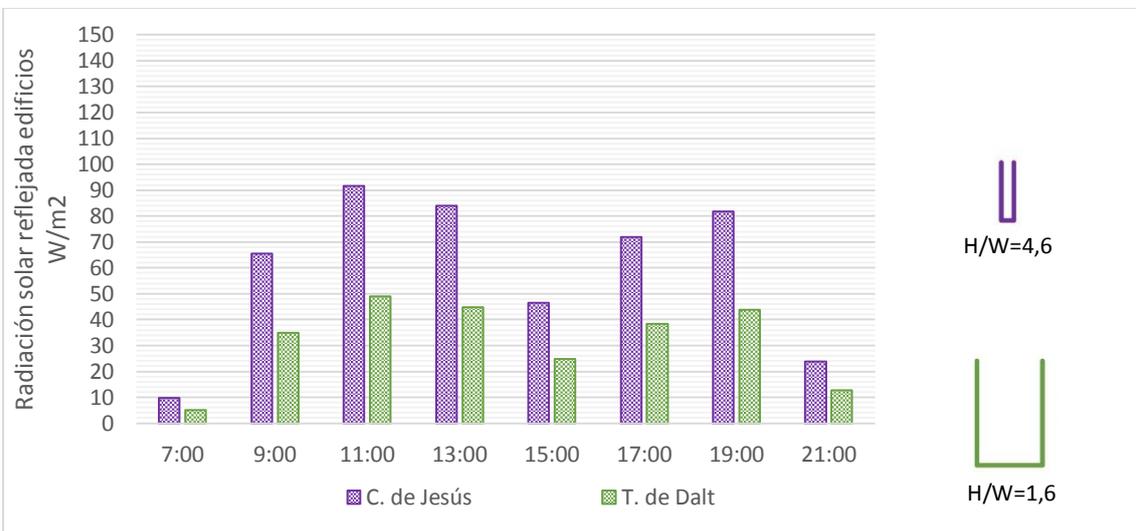


Gráfico N° 122: Radiación solar reflejada de edificios – Gracia, Orientación NE-S
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

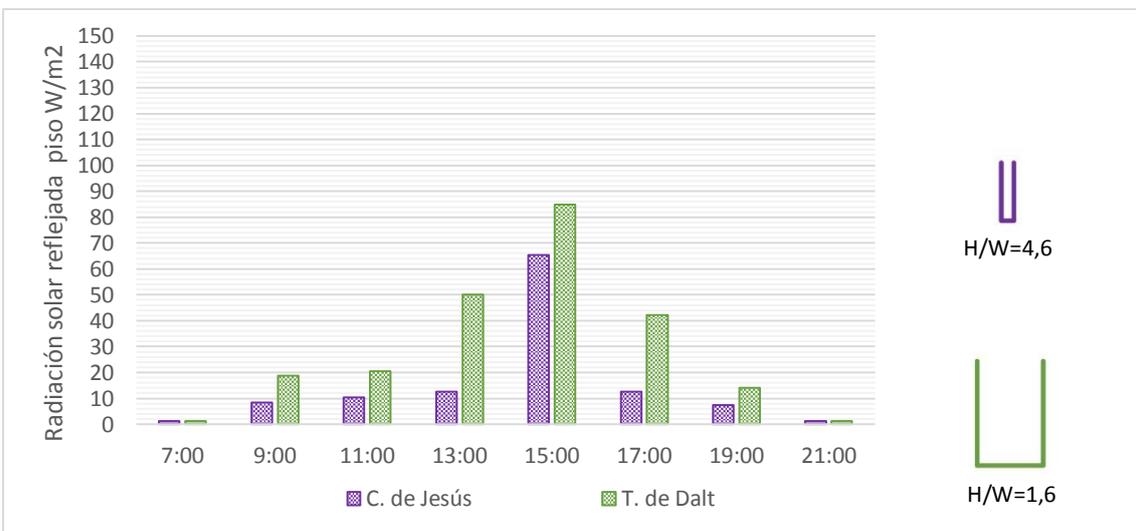


Gráfico N° 123: Radiación solar reflejada del piso – Gracia, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

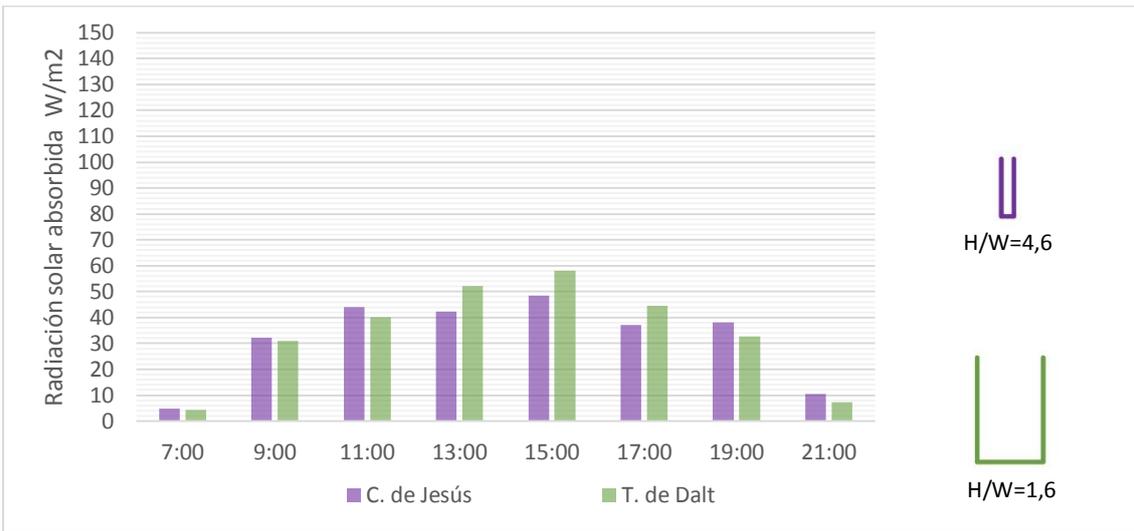


Gráfico N° 124: Radiación solar total absorbida – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano:

De igual manera se puede concluir que la radiación solar térmica absorbida es siempre mayor en la calle con mayor H/W, recalcando la importancia de la **radiación térmica emitida por los edificios**, ya que a pesar de que en esta calle se cuenta con menores temperaturas superficiales, al no haber mucha diferencia con los valores registrados en la calle con menor H/W, se observa que lo determinante es que contar con un mayor BFV.

Con respecto a la radiación **térmica emitida del cielo** y la **emitida por el piso** se puede evidenciar el mismo comportamiento que en el caso del Raval, notándose obviamente mayores contrastes en Gracia porque la diferencia de relación de aspecto es mayor que la que se tiene en Raval.

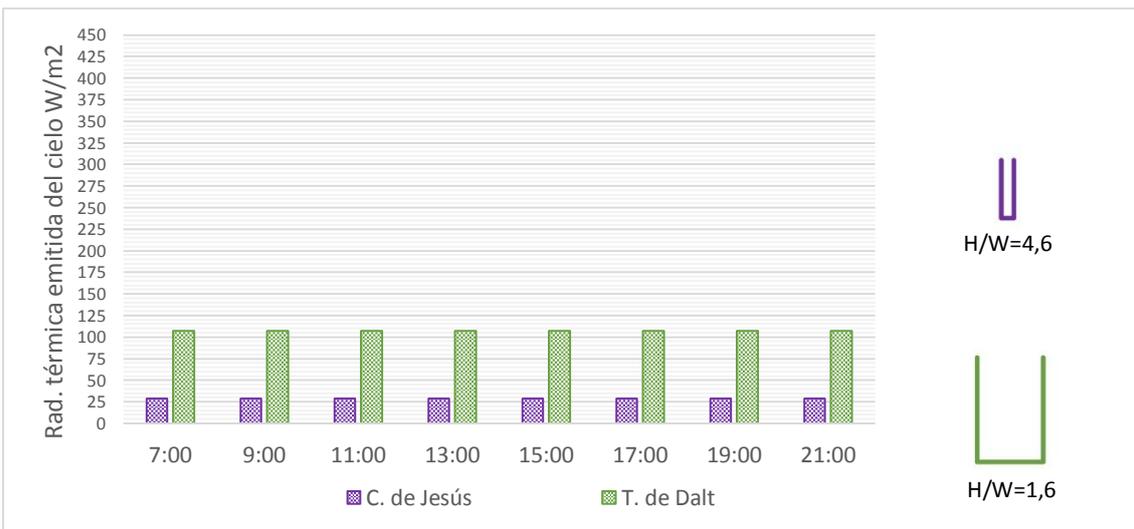


Gráfico N° 125: Radiación térmica emitida del cielo – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

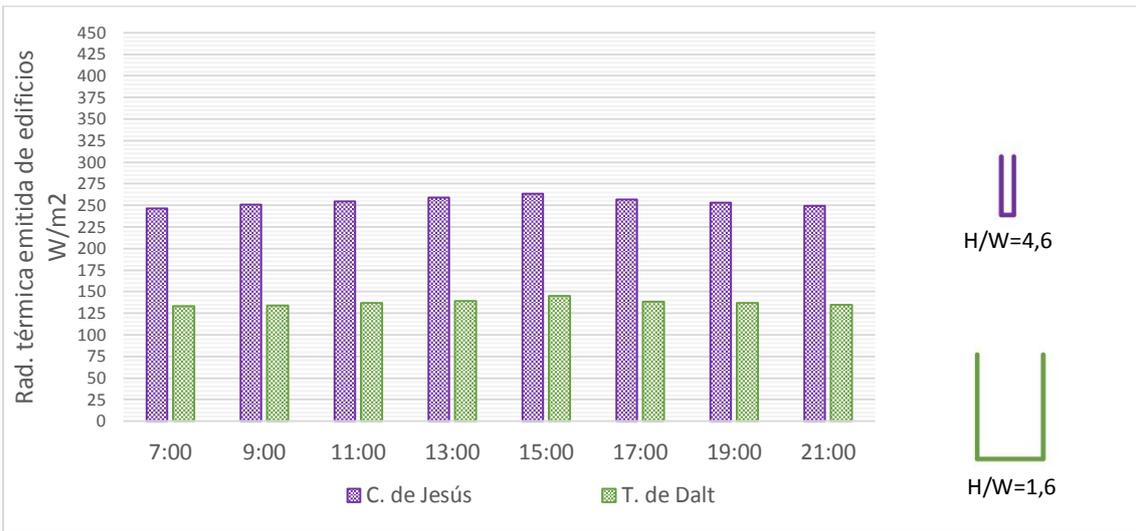


Gráfico N° 126: Radiación térmica emitida de los edificios – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

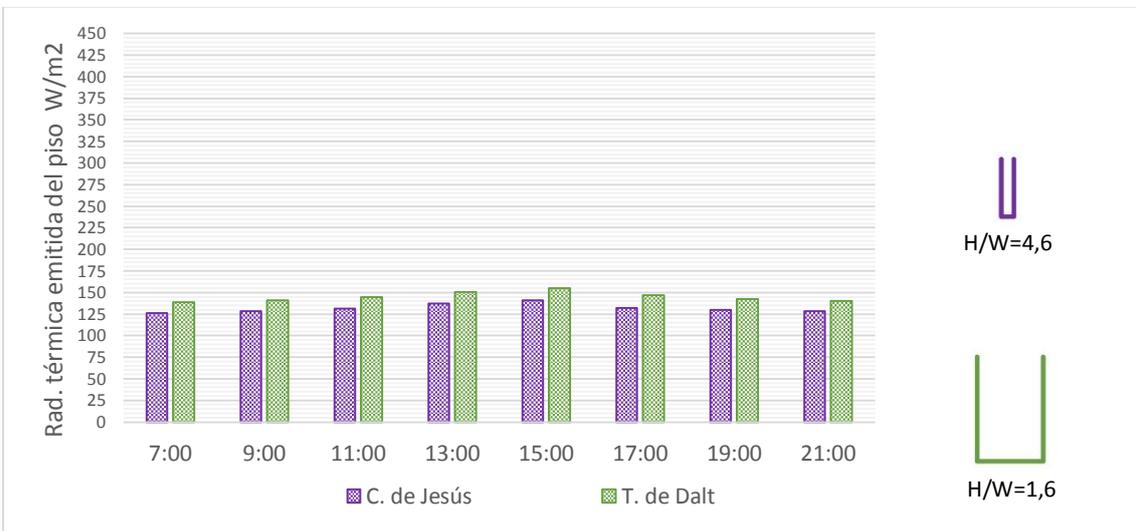


Gráfico N° 127: Radiación térmica emitida del piso – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

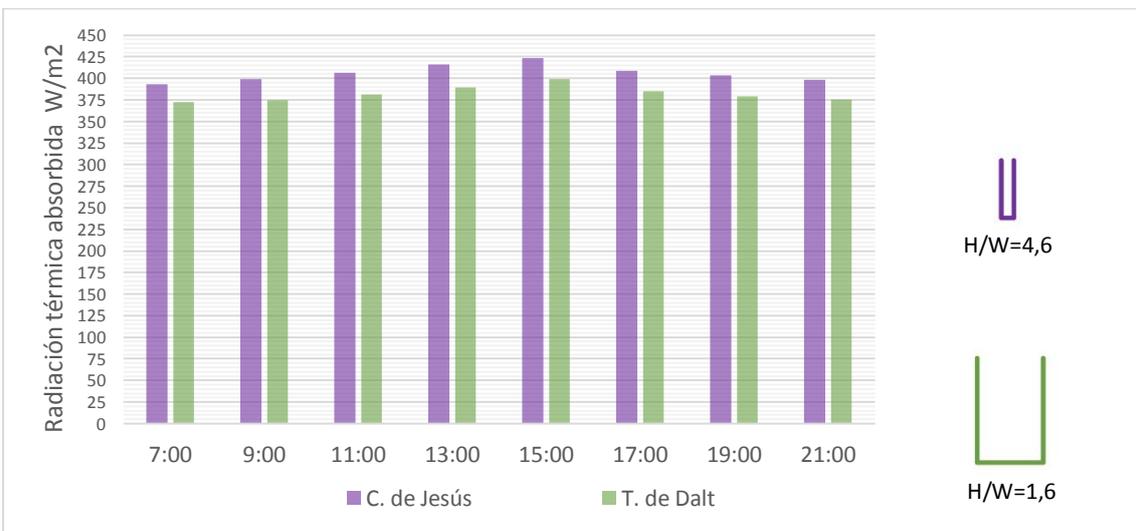


Gráfico N° 128: Radiación térmica total absorbida por el cuerpo humano – Gracia, Orientación NE-SO
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente:

Se puede observar que el flujo convectivo se mantiene más o menos constante a lo largo del día, siendo siempre superior al igual que en los casos anteriores en la calle con menor relación de aspecto, por tener una mayor velocidad del viento y menor temperatura del aire que en la calle con mayor H/W. A diferencia de lo que ocurre en el Raval, se evidencia que no hay mayor diferencia entre el flujo convectivo de los dos cañones, sobretodo en horas de la tarde y noche, ya que a pesar de que en ambas calles la velocidad del viento disminuye, contrario a lo que ocurre en Raval, hasta las 21:00 las temperaturas del aire se mantienen superiores en la calle con menor relación de aspecto.

Como se puede observar estas diferencias se acentúan a las 7:00 y 9:00 debido a que como se había mencionado en la calle de Jesús se pudo registrar como un caso particular que la temperatura del aire en estas horas es mayor en la calle con mayor H/W y la velocidad del viento es menor.

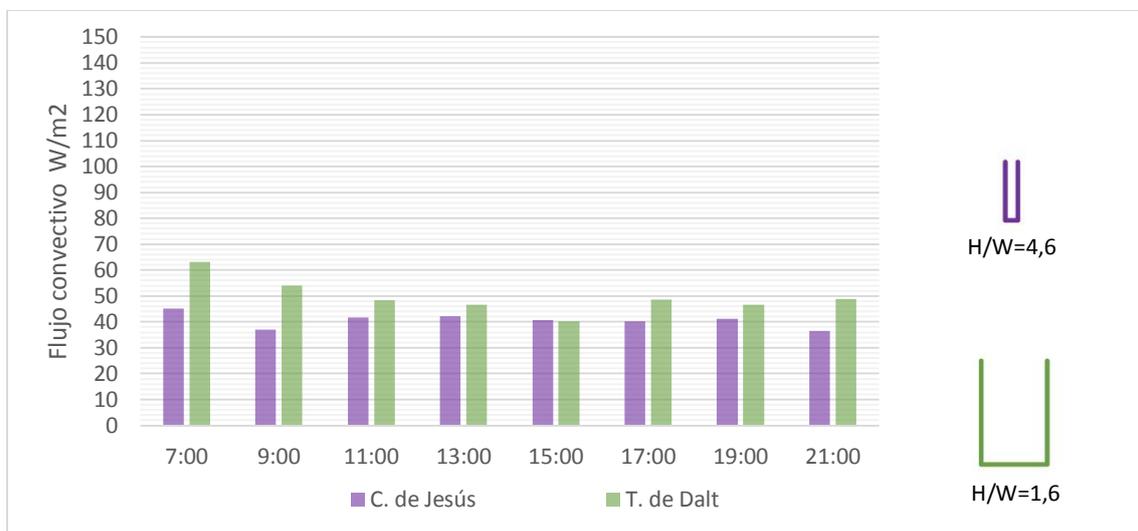


Gráfico N° 129: Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente – Gracia, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

GRACIA: CARRER DE SAN PERE MARTIR Y CARRER GRAN DE GRACIA:

Radiación solar absorbida por el cuerpo humano:

Al igual que en los anteriores cañones analizados, **la radiación solar difusa, la reflejada en los edificios y reflejada en el piso** presenta el mismo comportamiento.

De esta manera los resultados obtenidos en esta calle evidencian una vez más que la radiación solar absorbida las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde se mantiene equilibrada entre ambos cañones, mientras que al medio día se puede notar que es mayor en la calle con menor relación de aspecto. En este caso las diferencias son menos evidentes que en las demás calles analizadas anteriormente, ya que estos cañones son los que presentan el menor contraste en sus variables morfológicas.

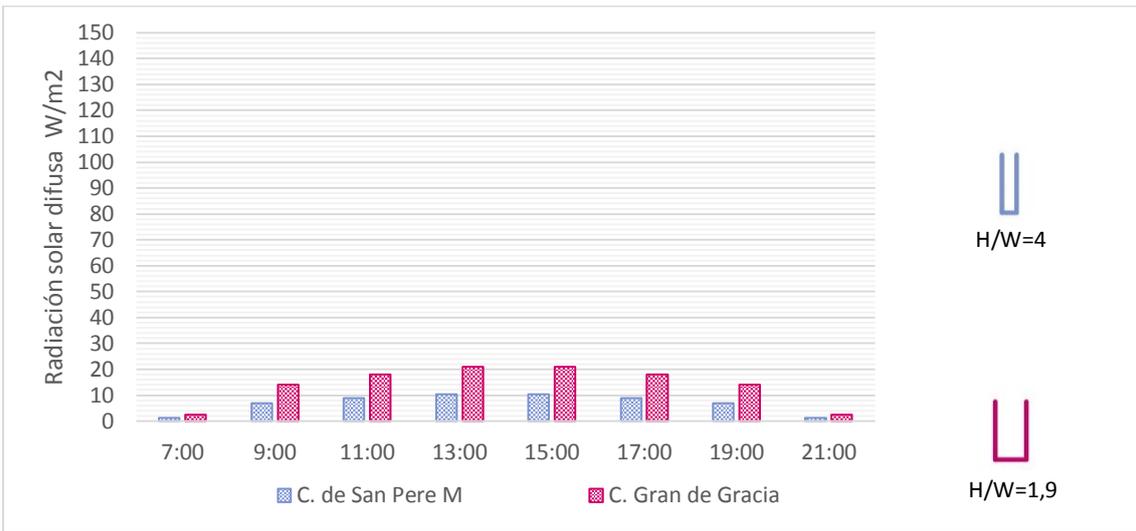


Gráfico N° 130: Radiación solar difusa absorbida – Gracia, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

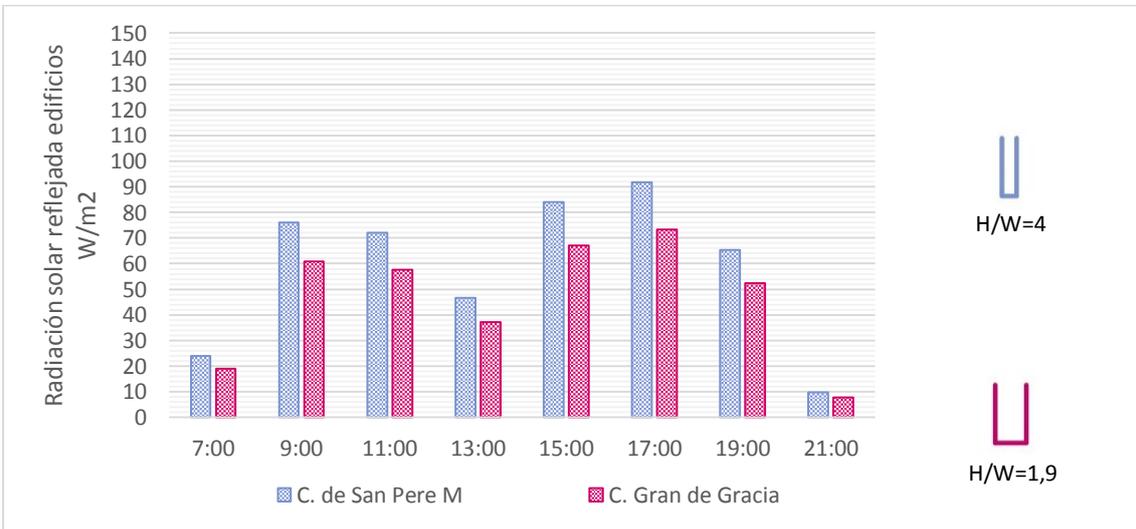


Gráfico N° 131: Radiación solar reflejada de edificios – Gracia, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

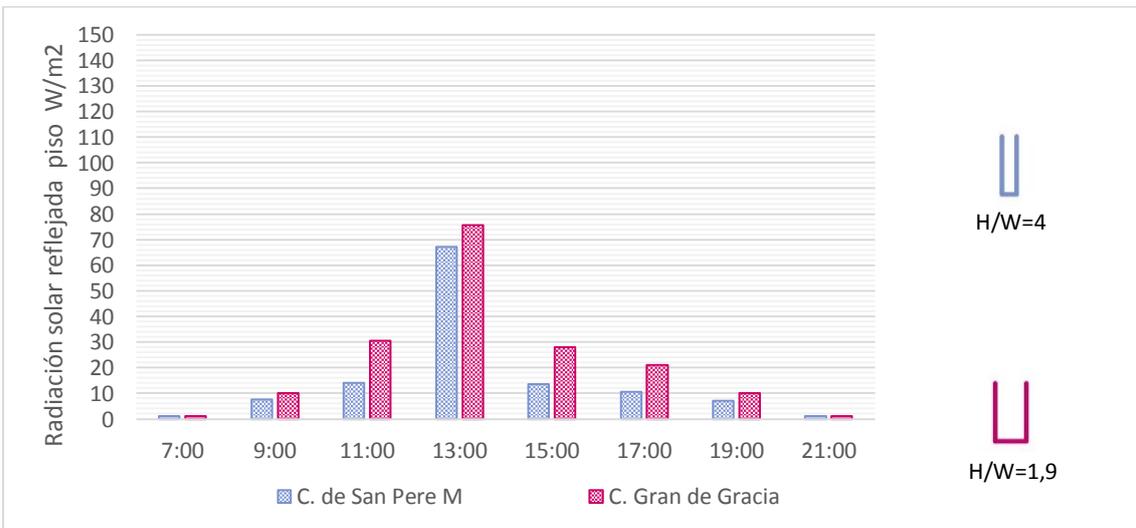


Gráfico N° 132: Radiación solar reflejada del piso – Gracia, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

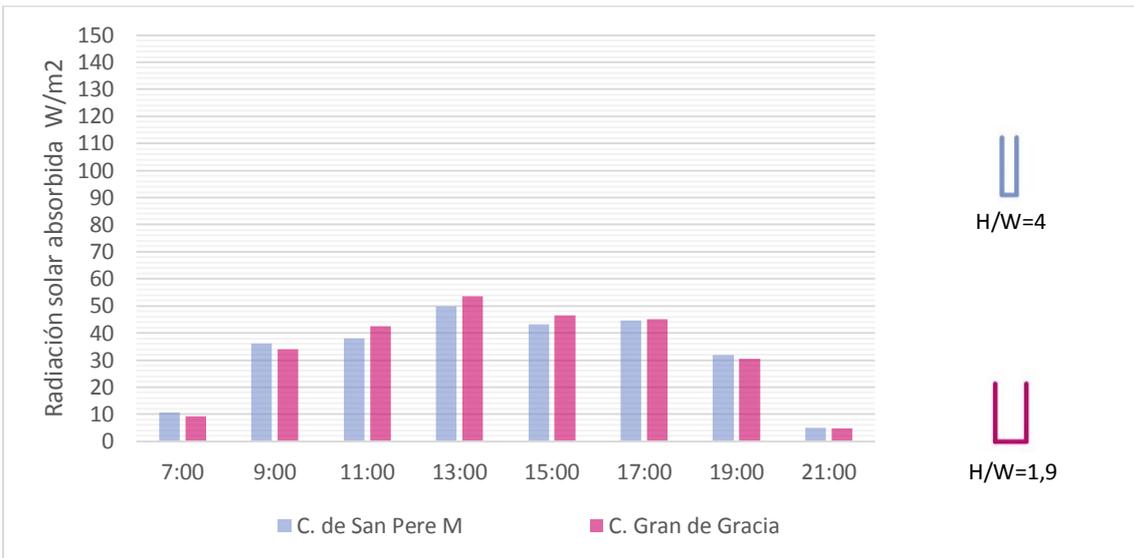


Gráfico N° 133: Radiación solar total absorbida – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Radiación térmica absorbida por el cuerpo humano:

Las diferentes componentes de **radiación emitida por el cielo, emitida por los edificios y emitida por el piso** tienen el mismo comportamiento que se presenta en los casos anteriores.

Es así que se puede concluir que se mantiene la tendencia de tener una mayor radiación térmica emitida en la calle con mayor relación de aspecto, que si bien cuenta con menores temperaturas superficiales, las diferencias de estos valores no son tan importantes, sino el BFV que es mayor en la calle con mayor H/W es lo determinante en la componente de radiación térmica emitida por los edificios.

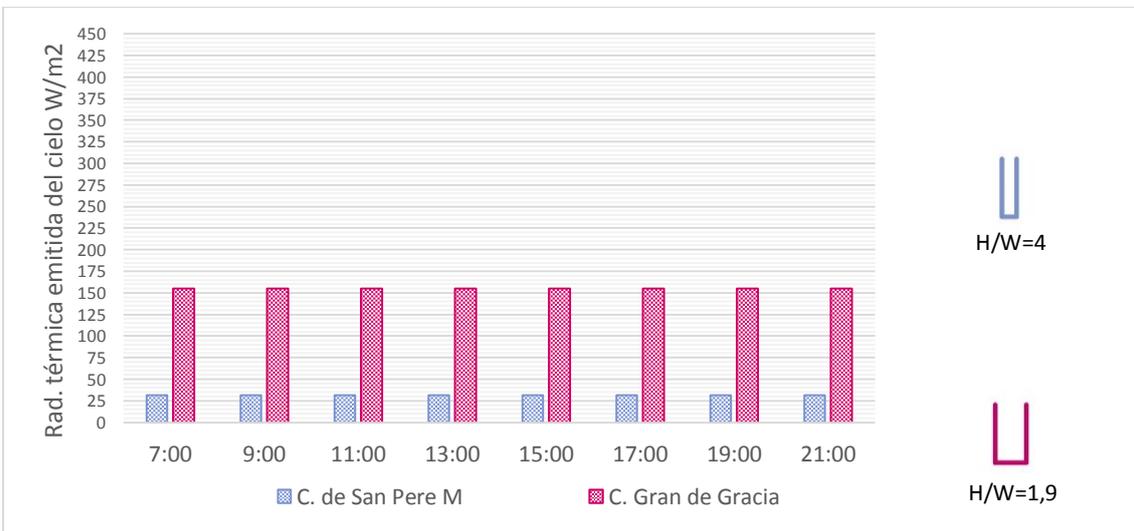


Gráfico N° 134: Radiación térmica emitida del cielo – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

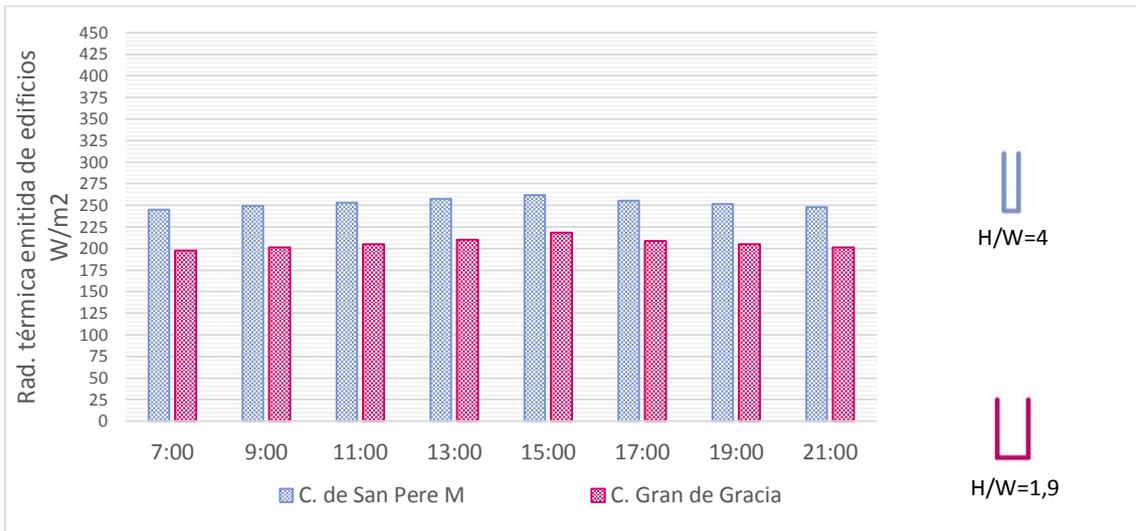


Gráfico N° 135: Radiación térmica emitida de los edificios – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

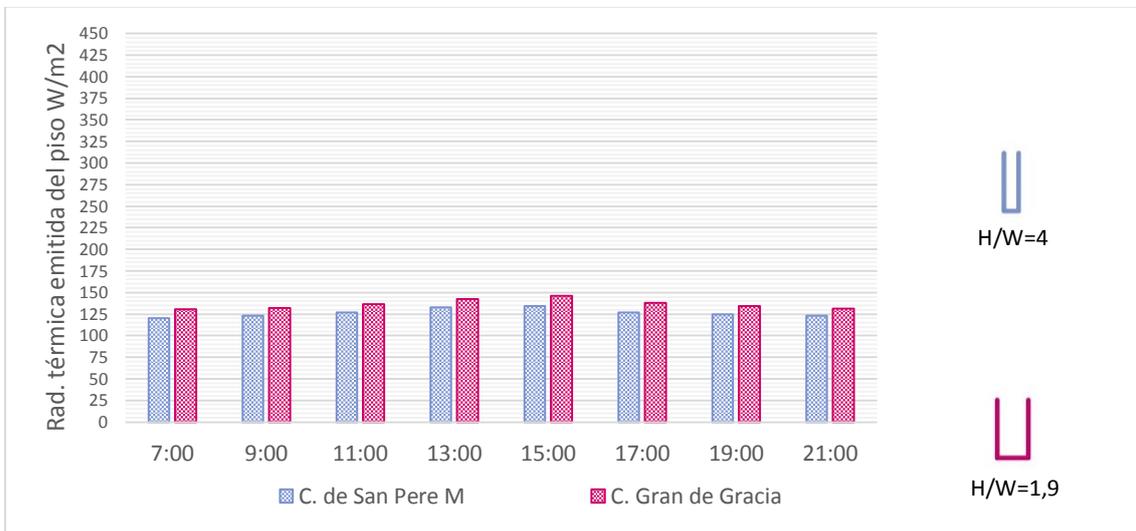


Gráfico N° 136: Radiación térmica emitida del piso – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

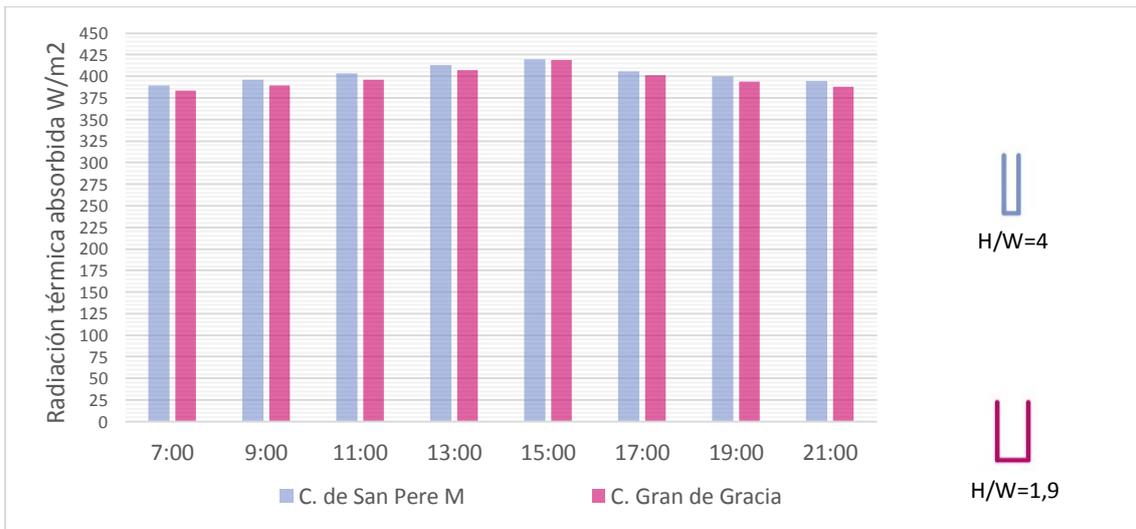


Gráfico N° 137: Radiación térmica total absorbida por el cuerpo humano – Gracia, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente:

Al igual que en los casos anteriores el flujo convectivo es mayor en la calle con menor relación de aspecto, pues cuenta con temperaturas del aire más bajas y velocidad del viento más alta que la calle con mayor relación de aspecto. Sin embargo es importante notar que en este caso es una diferencia mínima entre los dos cañones (a excepción de las 7:00), pues las diferencias entre las variables climáticas registradas en estos dos cañones son menos representativas que en los demás cañones analizados, ya que como se mencionó antes su relación de aspecto es la que tiene el menor contraste de todos los casos estudiados. De esta manera el flujo convectivo se mantiene más o menos equilibrado y constante a lo largo del día y noche.

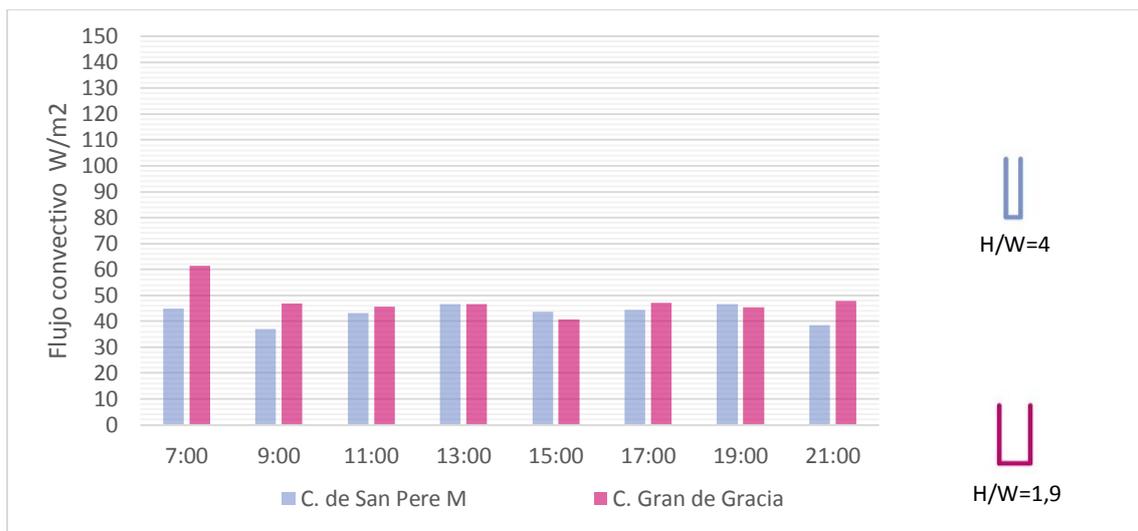


Gráfico N° 138: Flujo convectivo cuerpo humano-ambiente – Gracia, Orientación NO-SE
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

BALANCE ENERGÉTICO CUERPO HUMANO – AMBIENTE (SUEJTO AL SOL):

Realizando un cálculo del balance energético pero considerando el sujeto expuesto a la radiación solar directa en comparación con el análisis que se realizó anteriormente con el sujeto a la sombra. Se ha considerado importante hacer este análisis en el barrio el Raval, en donde se tiene un mayor contraste en la relación de aspecto de las calles. Como se observa las calles con orientación NE-SO, un sujeto en el cañón con mayor relación de aspecto recibe radiación directa únicamente las 15:00, mientras que en el cañón con menor relación de aspecto esto se produce de 13:00 a 17:00. De esta manera se puede constatar que a las 13:00 cuando en ambos cañones un sujeto estaría expuesto a la radiación solar directa sigue siendo superior el balance energético en el cañón con menor relación de aspecto, sin embargo la diferencia no es muy significativa y en los dos casos se supera notablemente la zona de confort. A las 13:00 y 17:00 evidentemente es mucho más elevado el balance energético en la calle con menor relación de aspecto, e igualmente se encuentra a las 13:00 muy cercano al límite de la zona de confort y a las 15:00 se encuentra bastante elevado del límite de la zona de confort.

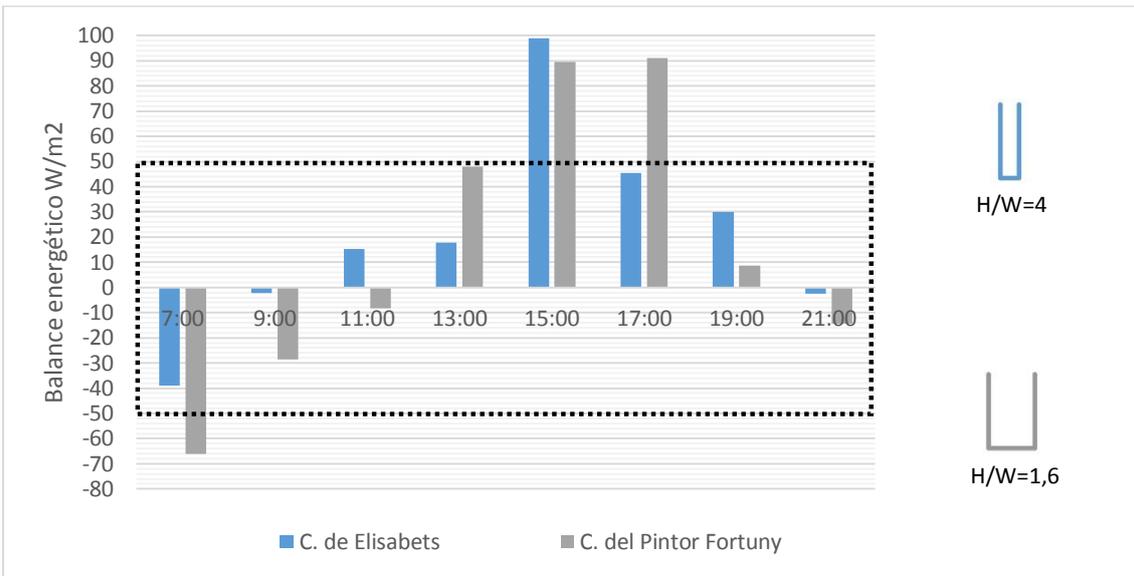


Gráfico N° 139: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto al sol) – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

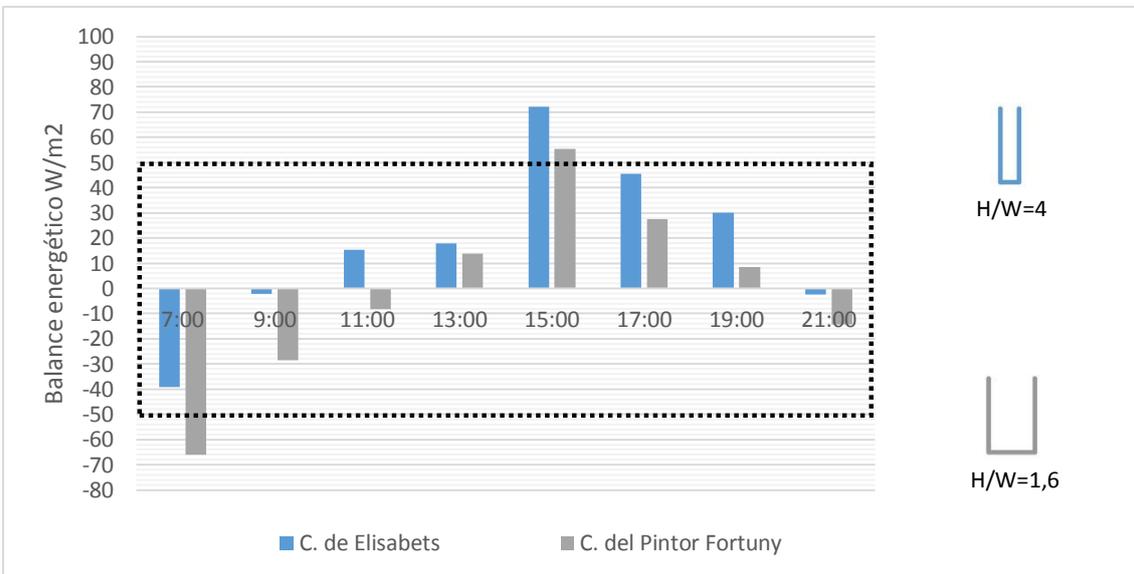


Gráfico N° 140: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Raval, Orientación NE-SO
Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

Considerando las calles con orientación NO-SE se tiene que un sujeto en la calle con mayor relación de aspecto recibiría Radiación directa únicamente a las 13:00, mientras que en la calle con menor relación de aspecto se encuentra expuesto a ello todo el tiempo. De esta manera se puede ver que a las 13:00 cuando en ambos cañones se encontraría expuesto a la radiación directa, el balance energético es mínimamente superior en la calle con mayor H/W, sin embargo los valores son casi iguales y se encuentran muy por encima del límite de la zona de confort.

Sin embargo de 9:00 a 19:00 se puede observar que el cambio es bastante significativo, pues la calle con menor relación de aspecto la mayor parte del tiempo se encuentra fuera de la zona de confort.

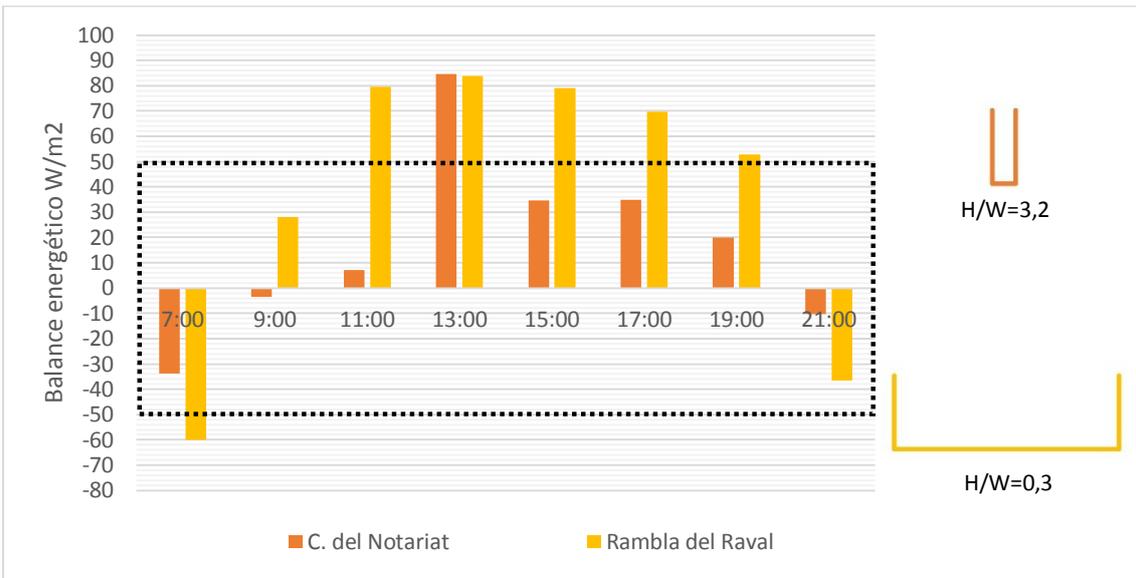


Gráfico N° 141: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto al sol) – Raval, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

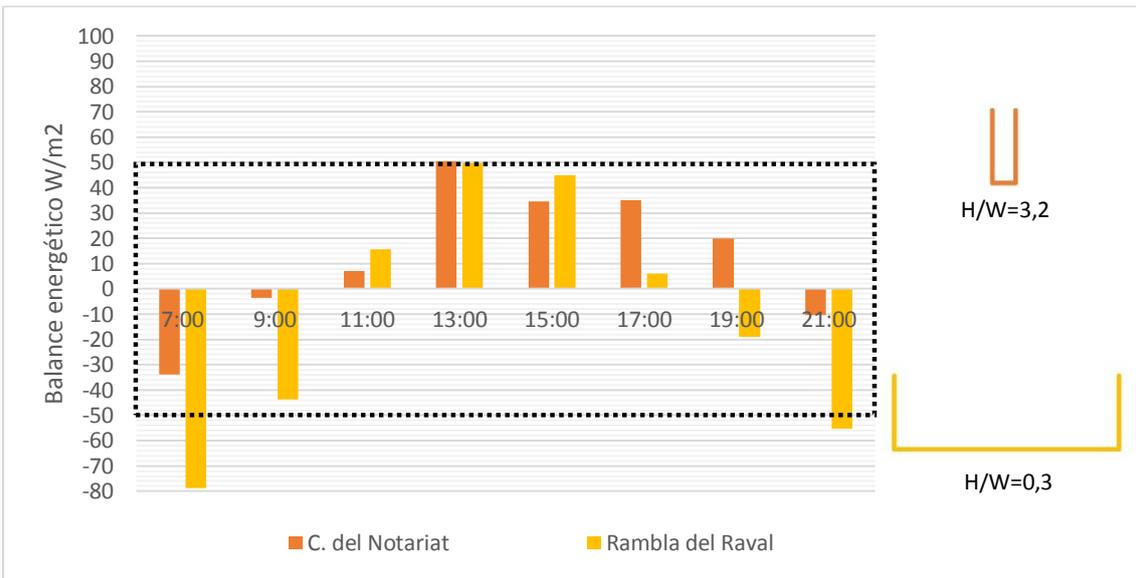


Gráfico N° 142: Balance energético cuerpo humano-ambiente (sujeto a la sombra) – Raval, Orientación NO-SE
 Fuente: Elaboración propia - Cálculo mediante software COMFA+

CONCLUSIONES
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCLUSIONES:

A través del análisis de las mediciones in situ de las variables climáticas, se ha podido corroborar el efecto de las variables morfológicas, es decir se ha podido evidenciar que estas dos variables están relacionadas en la conformación de condiciones microclimáticas diversas que afectan la habitabilidad de los espacios exteriores.

Con respecto al segundo capítulo se puede concluir que en relación a la temperatura del aire en el barrio del Raval existe una correlación bastante notable entre esta variable climática y la relación de aspecto de los cañones urbanos, pues se presenta la tendencia de que durante las mañanas, los cañones con menor H/W y mayor SVF, tienen valores más elevados de temperatura que los registrados en los cañones con mayor H/W. Es decir se observa la importancia de estas dos variables pues las ganancias por radiación son mucho mayores y en consecuencia la temperatura del aire más elevada. En tanto que en horas de la tarde y noche se hace más evidente que el SVF tiene mayor relevancia, pues se mantiene la tendencia de contar con valores de temperatura más elevados y que descienden a un menor ritmo en las calles con mayor relación de aspecto. Es decir se puede evidenciar que debido a un menor SVF, se afecta el enfriamiento de los estos cañones urbanos.

Sin embargo en el barrio de Gracia es menos evidente la correlación entre la temperatura del aire y relación de aspecto, si bien se puede concluir que el SVF adquiere una importancia en horas de la noche (a partir de las 23:00), pues se presenta la misma tendencia que en el barrio el Raval.

En relación a la temperatura de las superficies se obtienen conclusiones similares, es decir en el barrio el Raval es más notoria la relación entre esta variable y la relación de aspecto de los cañones urbanos, sobre todo en las calles con orientación NO-SE en donde la geometría del cañón con mayor relación de aspecto genera un sobrecalentamiento de las superficies por la reflexión de la radiación al interior del cañón urbano e igualmente en horas de la tarde y noche se puede evidenciar la importancia nuevamente del SVF, pues el enfriamiento de las superficies es más lento en las calle con mayor relación de aspecto. En cuanto al barrio de Gracia se puede concluir que el comportamiento es similar, si bien es menos evidente pues las temperaturas superficiales generalmente se conservan bastante similares, no obstante se observa nuevamente la tendencia de un enfriamiento nocturno más lento en las calles con mayor relación de aspecto.

Finalmente con respecto al viento se puede concluir que en los dos barrios existe una marcada correlación entre la relación de aspecto y la velocidad del viento, ya que en todos los casos se mantiene la misma tendencia. Es decir se registran menores velocidades en las calles con mayor relación de aspecto y además en la noche se observa una marcada reducción en los valores registrados.

En definitiva se puede concluir que la relación de aspecto H/W y el SVF conducen a diferentes condiciones microclimáticas en los dos barrios, pero que sin embargo la orientación no es una variable determinante, ya que se mantienen las mismas tendencias independientemente de la orientación. No obstante es importante mencionar que esto se debería en gran parte a que no se han analizado los dos casos extremos de orientaciones, pues se considera que se podría encontrar mayor relevancia de esta variable si se compararan cañones urbanos con orientación Norte-Sur y Este-Oeste.

Con respecto al tercer capítulo mediante la utilización del software COMFA + se ha podido obtener una aproximación empírica sobre los efectos de los diferentes microclimas en el confort térmico de los usuarios. Así mismo se ha considerado de mucha utilidad pues se ha podido realizar un estudio de la influencia de las diferentes variables morfológicas en el balance energético del cuerpo humano y el ambiente.

De esta manera según los resultados del balance energético total, realizando una comparación entre un sujeto al sol y a la sombra se puede deducir que en el primer caso si bien en algunas horas se sobrepasa el límite de la zona de confort, no se llegan a situaciones muy desfavorables.

Es importante mencionar que en todas las horas analizadas (sujeto a la sombra), la calle con mayor relación de aspecto cuenta con un balance energético mayor, es decir siempre se encuentra en una condición más cálida que en la calle con menor H/W, teniendo diferencias significativas a excepción de las 13:00. Se puede observar que a partir de las 15:00 se alcanzan valores más altos, debido a que en la tarde y noche los valores de temperatura son elevados y van descendiendo muy lentamente, además se combina con una reducción de la velocidad del viento.

En este caso del sujeto a la sombra se observa que en el balance energético total, las ganancias por radiación térmica son las que tienen una mayor relevancia, si bien la temperatura del aire y velocidad del viento adquiere importancia sobre todo en las horas de la noche. Con relación a las variables morfológicas se puede deducir que en el caso de un sujeto a la sombra, la relación de aspecto H/W y el SVF tiene mucha importancia, ya que afectan el valor de ganancias por radiación térmica, cuando las ganancias por radiación solar no son muy relevantes. Es así que se tiene un balance energético superior en las calles con mayor relación de aspecto, a pesar de contar con mayor temperatura del aire y mayor temperatura superficial (si bien las diferencias en esta última variable no son mayores), debido a que estas dos variables morfológicas. Esto se puede deducir que ocurre debido a la influencia del BFV, que es una variable morfológica que depende directamente de la relación de aspecto del cañón urbano, ya que por ejemplo analizando el caso más extremo que se presenta en el barrio el Raval, se puede ver que en la calle con menor relación de aspecto (Rambla del Raval), se cuenta con un BFV bastante bajo debido a que la calle tiene un ancho considerable, de tal manera que las ganancias por radiación térmica no tienen tanta influencia en el balance energético del cuerpo humano, mientras que en la calle con mayor relación de aspecto (Notariat) al tener un mayor BFV, las ganancias térmicas por radiación son más relevantes.

En esta misma condición de un sujeto a la sombra, pero en horas de la tarde y noche se puede evidenciar también la importancia del SVF, ya que se puede ver que en las calles en donde este es menor, se obtiene un balance energético más alto, de tal manera que se nota la importancia de contar con un enfriamiento más lento debido a un menor SVF. Sin embargo al realizar el estudio con el sujeto al sol, se puede concluir que las condiciones de stress térmico más desfavorables se presentan en las calles con mayor relación de aspecto, pues se sobrepasa considerablemente la zona de confort. Es decir se puede evidenciar que la relación de aspecto H/W es determinante, pues las ganancias por radiación directa en las calles con menor relación de aspecto son bastante altas y en consecuencia tienen una marcada influencia en el balance energético del cuerpo humano, que en este caso es más relevante que las ganancias por radiación térmica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] HIGUERAS, Ester. *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili. 2006. ISBN: 978-84-252-2071-5.
- [2] BARUCH, Givoni. *Climate considerations in building and urban design*. Unites States of America: John Wiley and sons, INC. 1998. ISBN: 0-471-29177-3.
- [3] TORNERO, José. PEREZ, Alejandro. GOMEZ, Francisco. *Ciudad y confort ambiental; estado de la cuestión y aportaciones recientes*. Valencia: Cuadernos de geografía. 2006 [ref. 28 de Mayo de 2014]. Disponible en Web: <http://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80_147_182.pdf>
- [4] RODRIGUEZ, José Abel. "Morfología y microclima urbano. La forma espacial, su influencia en el bienestar climático en plazas de clima cálido húmedo." Directores: Helena Coch, Antonio Isalgue. Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Departamento de construcciones arquitectónicas. Barcelona. 2013.
- [5] CHATZIDIMITRIOU, Angeliki. LIVERIS, Panos. BRUSE, Michael, TOPLI, Lena. "Urban Redevelopment and Microclimate Improvement: A Design Project in Thessaloniki, Greece". *29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, PLEA*. 2013.
- [6] OKE, T.R. *Boundary layer climates*. York: Methuen and Co LTD.1978.
- [7] DESSÍ, Valentina. *Progettare il comfort urbano*. Napoli: Grupo editorial Esselibri-Simone.2007. ISBN: 978-88-513-0473-7.
- [8] MAYER, H. HÖPPE, P. "Thermal comfort of man in different urban environments". *Theor. Appl. Climatol*. 1987. No. 38, p. 43-49.
- [9] NIKOLOPOULOU, Marialena. BAKER, Nick. STEEMERS, Koen. "Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter". *Solar Energy Vol. 70*. 2001, No. 3, p. 227-235.
- [10] SERRA FLORENSA, Rafael. COCH ROURA, *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Ediciones UPC. 1995. ISBN: 978-84-8301-497-4.
- [11] TUMINI, Irina. "Tesis Doctoral: El microclima urbano. Estudio de casos en Madrid." Directora: Ester Higuera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Departamento de urbanismo y ordenación del territorio. Madrid. 2012.
- [12] TAHA, Haider. "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat." *Energy and building*. 1997. No. 25, p.99-103.
- [13] CARRASCO, Claudio. "Tesis Doctoral: Morfología y microclima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaiso." Directores: Joan Lluís

Zamora, Antoni Isalgue. Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Departamento de construcciones arquitectónicas. Barcelona. 2008.

[14] TAHA, Haider. SAILOR, D. RITSCHARD, R “Causes and effects of heats islands: sensitivity to surface parameters and anthropogenic heat.” *Lawrence Berkeley Lab*. 1992.

[15] KANNAMMA, MEENATCHI. “Influence of street geometry on urban microclimate – a comparison of traditional and modern streets of Srirangam”. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 2014. Vol 3. No. 1, p.27-39.

[16] ALI-TOUDERT, Fazia. MAYER, Helmut. “Effects of street design on outdoor thermal comfort” *Energy and building*, p.46-55.

[17] CHICAS, Juan Carlos. “Tesis: Morfología urbana y clima urbano: estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico.” Directora: Cristián Henríquez Ruíz. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos. Santiago de Chile. 2012.

[18] OCHOA DE LA TORRE, José Manuel. “Tesis Doctoral: La vegetación como instrumento para el control microclimático.” Directores: Rafael Serra Florensa. Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Barcelona. 1999.

[19] FARIÑA, José. “El bioclima urbano”. En: *La ciudad y el medio natural*. Madrid: Akal, S.A. 1998.p. 169-178.

[20] ANGELOTTI, Adriana. DESSÍ, Valentina. “The evaluation of thermal comfort conditions in simplified urban spaces: the COMFA+ model”. *Proceedings of Palenc*. Grecia. 2007. No. 1, p.65-69.