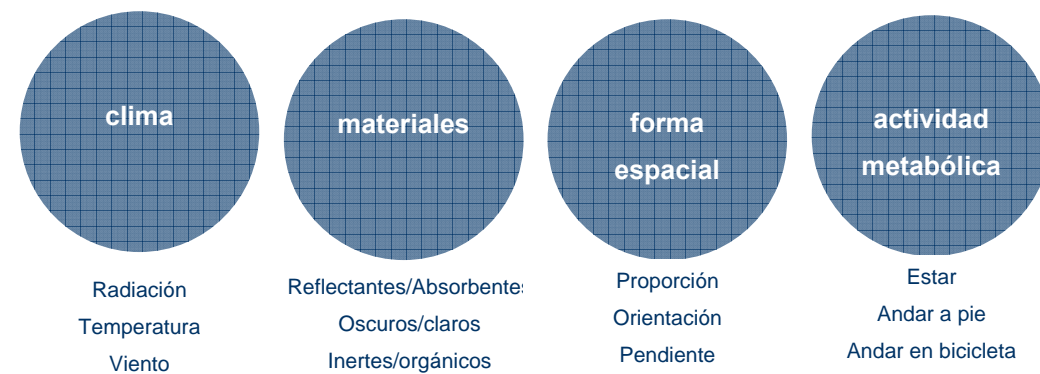


Anexo. Metodología análisis de confort térmico en espacios urbanos

La conformación de la ciudad tiene repercusiones térmicas tanto en el interior de las edificaciones como en el espacio público. El comportamiento térmico de nuestros emplazamientos está definido por el balance de energía. Este balance es resultado de la transferencia de calor por conducción y convección entre los elementos que componen el contexto urbano: pavimentos, fachadas, vegetación y cuerpos de agua principalmente. Las personas también intervienen en este balance y mantienen un continuo intercambio de calor con el ambiente. Es por ello que una persona podrá mantenerse en un sitio con unas determinadas condiciones de confort dependiendo del tipo de superficies que le rodeen y las condiciones espaciales en las que se encuentre.

La metodología empleada en el análisis de confort térmico en espacios urbanos tiene por objetivo reconocer principalmente el potencial de confort de un espacio a partir de las condiciones climáticas, las características formales y los materiales en especial por la presencia de vegetación. Esto se debe a que para planificar un espacio público térmicamente confortable, es necesario integrar el diseño de las secciones de calle con el tipo de materiales en pavimentos y el volumen verde necesario.



Modelo de confort

El modelo de confort que se emplea responde a un balance de energía que tiene en cuenta las ganancias y pérdidas de una persona. El método de cálculo se basa en el modelo de Fanger y a diferencia de los modelos de confort en espacios interiores, da un tratamiento especial a las condiciones exteriores. El balance de confort se calcula de la siguiente manera:

| Q= (M+Rabs-Remit -C-E) | |
|---|-------|
| Calor Metabólico liberado (actividad metabólica) | M |
| Calor sensible perdido o ganado por convección | C |
| Calor perdido por evaporación | E |
| Radiación solar absorbida | Rabs |
| Radiación terrestre emitida (onda larga) | Remit |

M. Calor Metabólico liberado (W/m²)

Calor producido por el cuerpo debido a la realización de un trabajo. Así, si el individuo realiza un trabajo más intenso será mayor el calor metabólico y serán mayores los esfuerzos del cuerpo por eliminar el calor en exceso acumulado. En este sentido las actividades para el espacio público las hemos clasificado en actividades ligera, de paseo o intensas. La expresión que determina la cantidad de calor generado en W/m² es la siguiente:

$$M = (1-f) \cdot Met$$

f= trabajo por respiración

$$f = (0.15 - (0.0173 \cdot Pa) - (0.0014 \cdot Ta))$$

Met = Actividad metabólica

C. Calor por Convección (W/m²)

Esta dado por la cantidad de energía perdida o ganada por efectos del viento. La ecuación de análisis toma en cuenta la diferencial de temperaturas corporal y la de ambiente y la resistencia de la vestimenta (rco) dada por la permeabilidad del viento incidente considerado a una altura de 1.5m sobre el suelo.

$$C = (1200 \cdot (Tc - Ta) / rco)$$

Tc= Temperatura corporal

Ta = temperatura ambiente

rco= resistencia vestimenta

E. Calor por Evaporación (W/m²)

El calor liberado por evaporación corresponde al calor latente producido por la transpiración del organismo. El cálculo toma en cuenta la diferencia de la humedad específica entre el aire ambiente y la temperatura superficial de la persona contrarrestado por la resistencia de vestimenta

$$E = (\dot{e} \cdot (qs - qa) / rco)$$

$$\ddot{e} = (5.24 * 105)$$

qs= Nivel de saturación de vapor de agua a la temperatura superficial de la piel

qa= Nivel de saturación de vapor de agua a la temperatura ambiente

Rabs. Radiación solar absorbida = $Q_{\text{incidente}} * (1 - \alpha)$ (W/m²)

La cantidad de radiación absorbida por una persona corresponde a la suma de la radiación incidente de onda corta (solar) que absorbe dependiendo del albedo de la misma. Se considera un factor de 0.37 al albedo de una persona vestida de color medio.

Remit. Radiación terrestre absorbida y emitida = $(\delta * \epsilon * T_c^4)$ (W/m²)

Corresponde a la cantidad de radiación de onda larga que recibe de la emisión de las superficies alrededor, radiación difusa y terrestre sumado a la emitida por la persona como un cuerpo negro, cuya absorptividad es de 1. Los valores de absorción de radiación de onda corta y larga son extraídos del programa de simulación de radiación RadTherm.

Interpretación y Valoración del Balance

La suma de cada una de las variables que conforman el balance de energía de una persona en el espacio exterior esta valorado de la siguiente manera, se considera un estado de confort cuando el balance oscila entre los 50 y -50 W/m². Esto quiere decir que el cuerpo mantiene un equilibrio entre las ganancias y pérdidas de energía por el entorno inmediato. En el momento que se rebasan los 50W/m² hasta 150W/m² el cuerpo comienza a generar más calor que el que puede disipar, con lo cual se tendrá la sensación de mayor frescor, el máximo discomfort aparece cuando el balance rebasa los 150W/m², lo cual significará que el organismo no alcanza a perder ya sea por convección o por sudoración, la energía acumulada ya sea por la actividad metabólica que se realiza y la cantidad de radiación que recibe.

Para los casos en los que las pérdidas son mayores a las ganancias, estaremos ante la situación de demanda de calor, con lo cual entre los -50W/m² y los -150 W/m² se requerirá aumentar la actividad metabólica o bien una mayor entrada de radiación solar. En el caso de sobrepasar los -150W/m², el cuerpo humano manifiesta un alto discomfort por la sensación de intenso frío.

| Parámetros Resultados | |
|-----------------------|----------------------------|
| Balance de Confort | |
| Mucho calor | >150W/m ² |
| Preferible mas fresco | 50 – 150W/m ² |
| Confort | -50 – 50 W/m ² |
| Preferible mas cálido | -50 a -150W/m ² |
| Mucho frío | <150W/m ² |

Hay que considerar que la valoración de confort dependerá del origen de la persona, no es lo mismo la interpretación de un nórdico a la de una persona de clima tropical, en este caso consideramos para esta latitud una valoración para personas de clima templado marcando la diferencia entre los meses de verano y de invierno.

Potencial de horas de confort

Uno de los condicionantes del grado de habitabilidad del espacio público es el nivel de confort térmico en el transcurso del día. El potencial de horas de confort indica el numero de horas en las que el balance de energía de una persona se encuentra entre -50 W/m² y 50 W/m² entre las 8hrs y las 22hrs - considerado como el transcurso del día con mayor ocupación del espacio público¹.

Para obtener el balance de confort por cada hora del día, se ha utilizado un programa de simulación de transferencia de calor a través de elementos finitos. Dicho programa calcula de forma dinámica el intercambio de energía entre los diferentes materiales que conforman un espacio, por lo tanto de éste obtenemos la cantidad de radiación absorbida (onda larga y onda corta) por una persona teniendo en cuenta la vestimenta y las características de los materiales, la obstrucción de la radiación solar directa y la emisión de calor durante la noche de los mismos materiales.

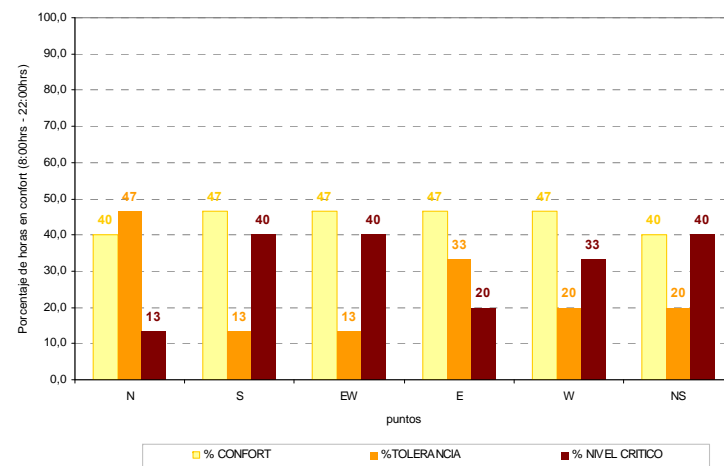
Los modelos de simulación se caracterizan según las proporciones de sección de calle (h/d), el tipo de cañón (abierto y/o cerrado) y la orientación del mismo. Las variables que se han utilizado para diferenciar los escenarios de análisis son la presencia de vegetación a partir del volumen verde por tramo y el material superficial de las calzadas.

En las siguientes gráficas se muestran los resultados obtenidos en verano para las secciones de calle con orientación Este- Oeste y Norte-Sur. Se trata de un cañón cerrado con una proporción h/d menor de 0,25 por lo que significa que tiene una alta ganancia de radiación solar durante el día, especialmente la orientación EW. Los resultados muestran el incremento del porcentaje de horas de confort al aumentar el volumen verde de la sección. Se puede apreciar que tanto en aceras como el centro de la calle mejoran las condiciones gracias a la proyección de sombras y el cambio de pavimento en la calzada.

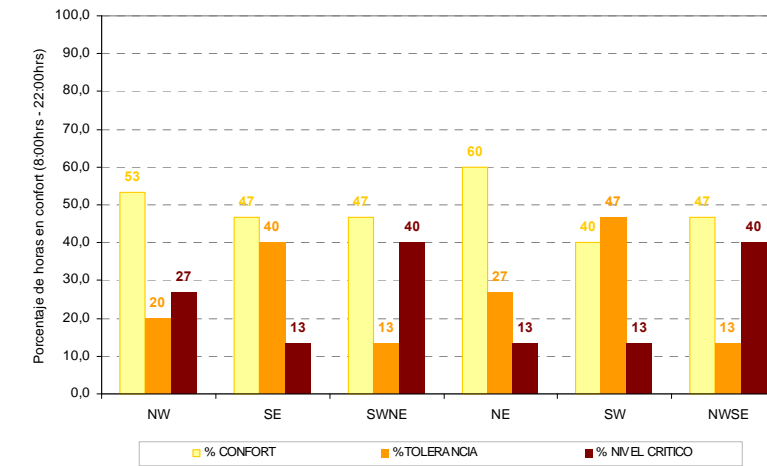
Mas adelante se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones en el conjunto de tipologías de sección de calle. Las tablas indican el potencial de confort en % de horas útiles al día, para las condiciones de verano y de invierno en la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

¹ "Potencial de habitabilidad térmica en espacios urbanos" Cynthia Echave, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña. 2007.

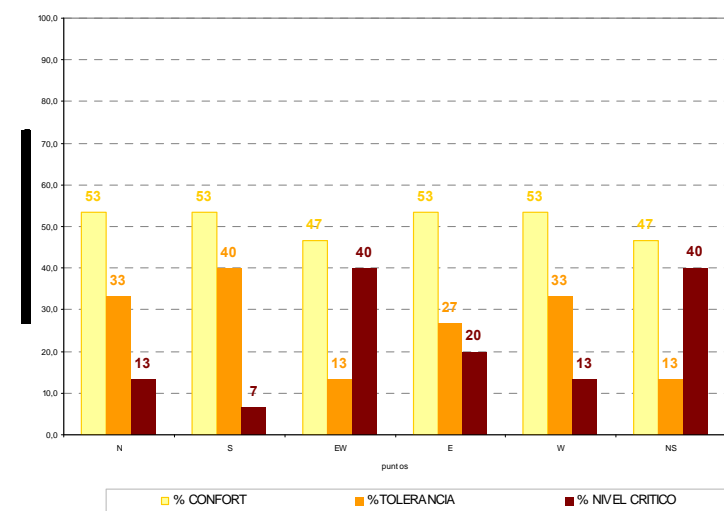
Tramos de calle Este - Oeste y Norte-Sur con h/d < 0,25
Sin volumen verde



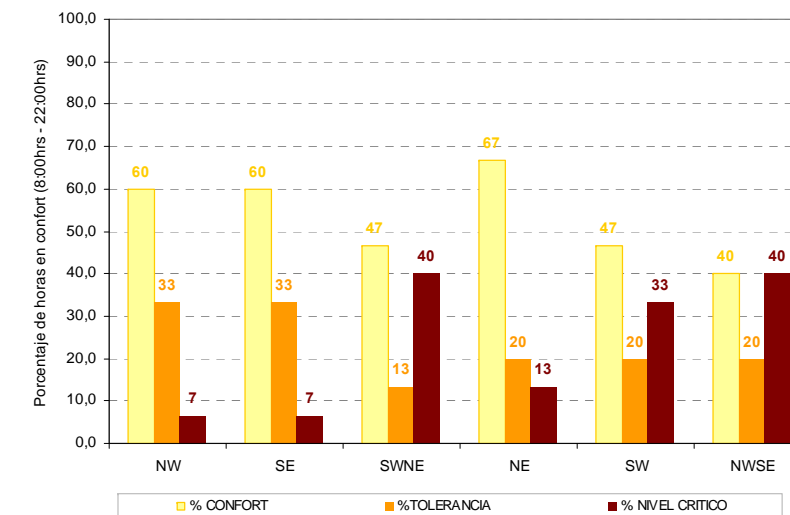
Tramos de calle Suroeste - Noreste y Noroeste - Sureste con h/d < 0,25
Sin volumen verde



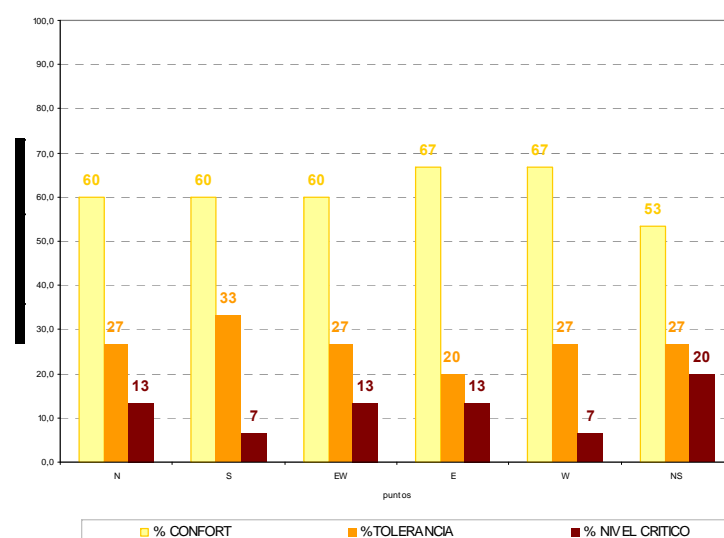
Tramos de calle Este - Oeste y Norte-Sur con h/d < 0,25
Volumen verde entre 5% y 20%



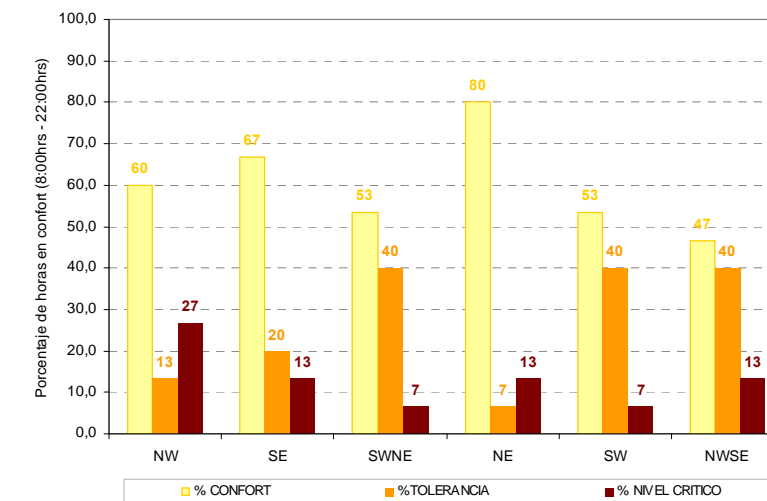
Tramos de calle Suroeste - Noreste y Noroeste - Sureste con h/d < 0,25
Volumen verde entre 5% y 20%



Tramos de calle Este - Oeste y Norte-Sur con h/d < 0,25
Volumen verde mayor de 30%



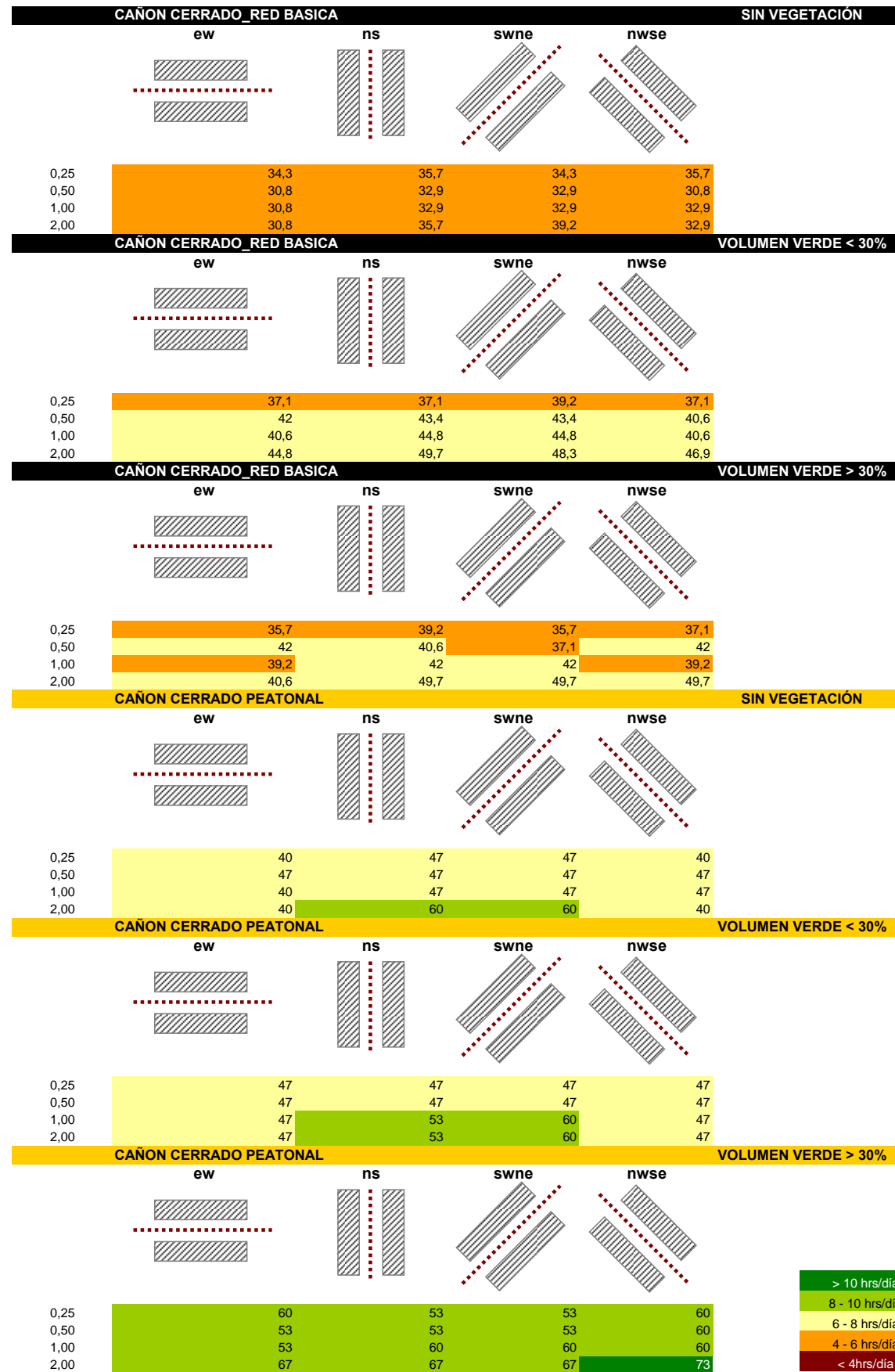
Tramos de calle Suroeste - Noreste y Noroeste - Sureste con h/d < 0,25
Volumen verde mayor 30%



N
acera Fachada Norte
S
acera Fachada Sur
E
acera Fachada Este
W
acera Fachada Oeste
SW
acera Fachada Sudoeste
SE
acera Fachada Sudeste
NW
acera Fachada Noroeste
NE
acera Fachada Noreste

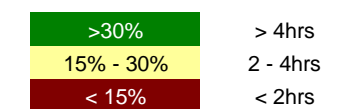
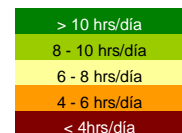
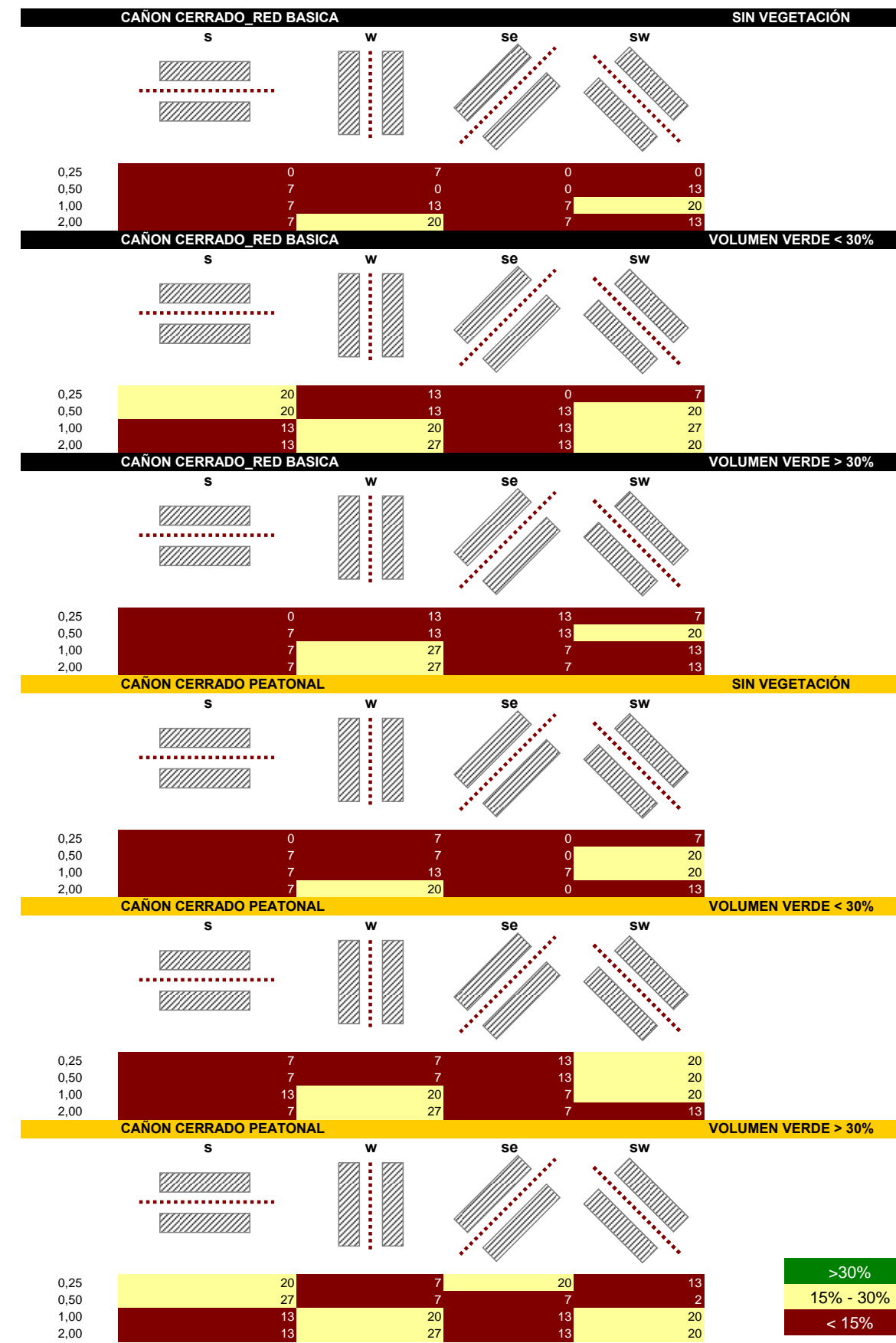
POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN VERANO VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)



POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN INVIERNO VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS UTILES ENTRE 8HRS - 22HRS)



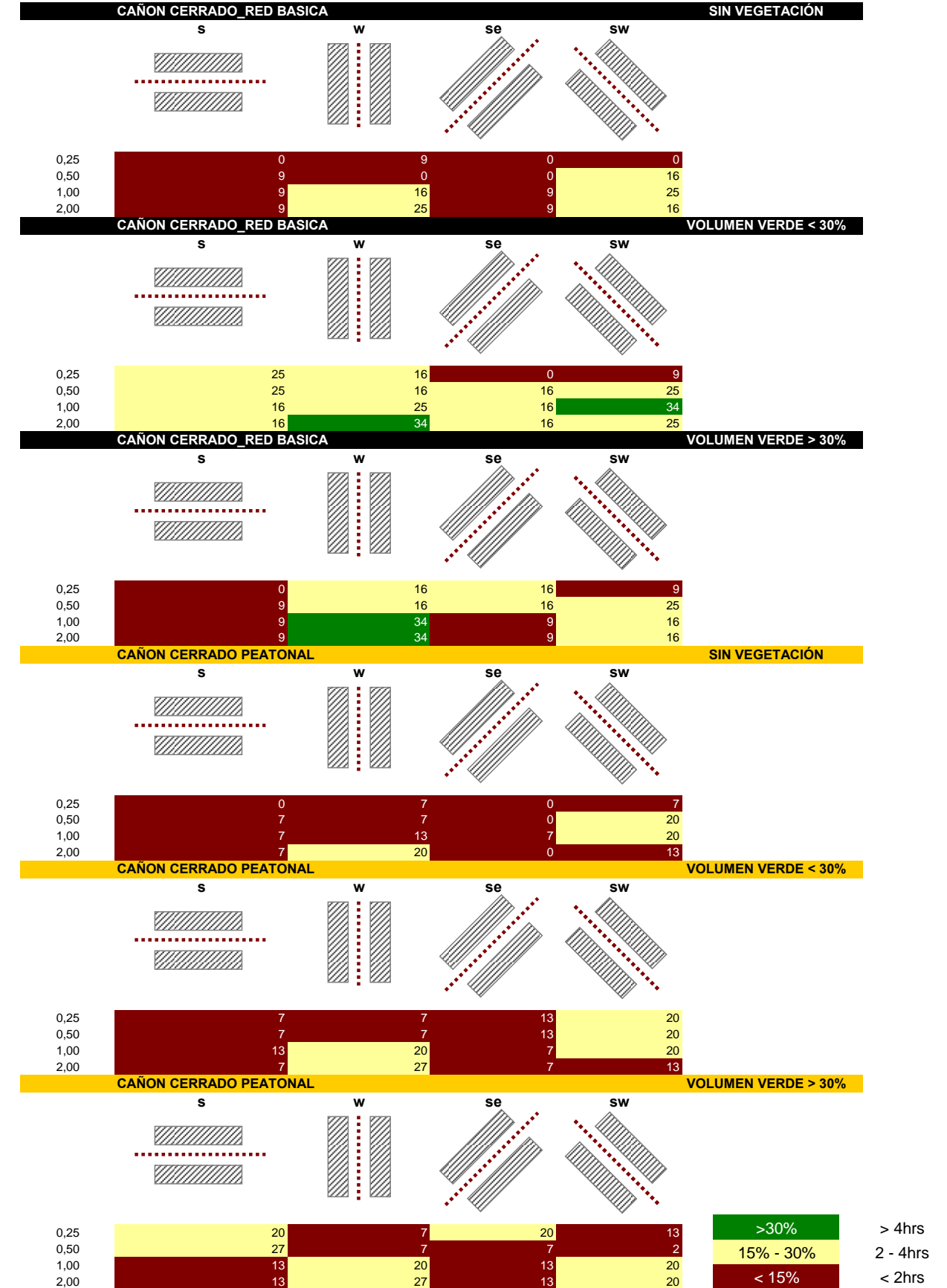
POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN VERANO (EN ACERAS) VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)



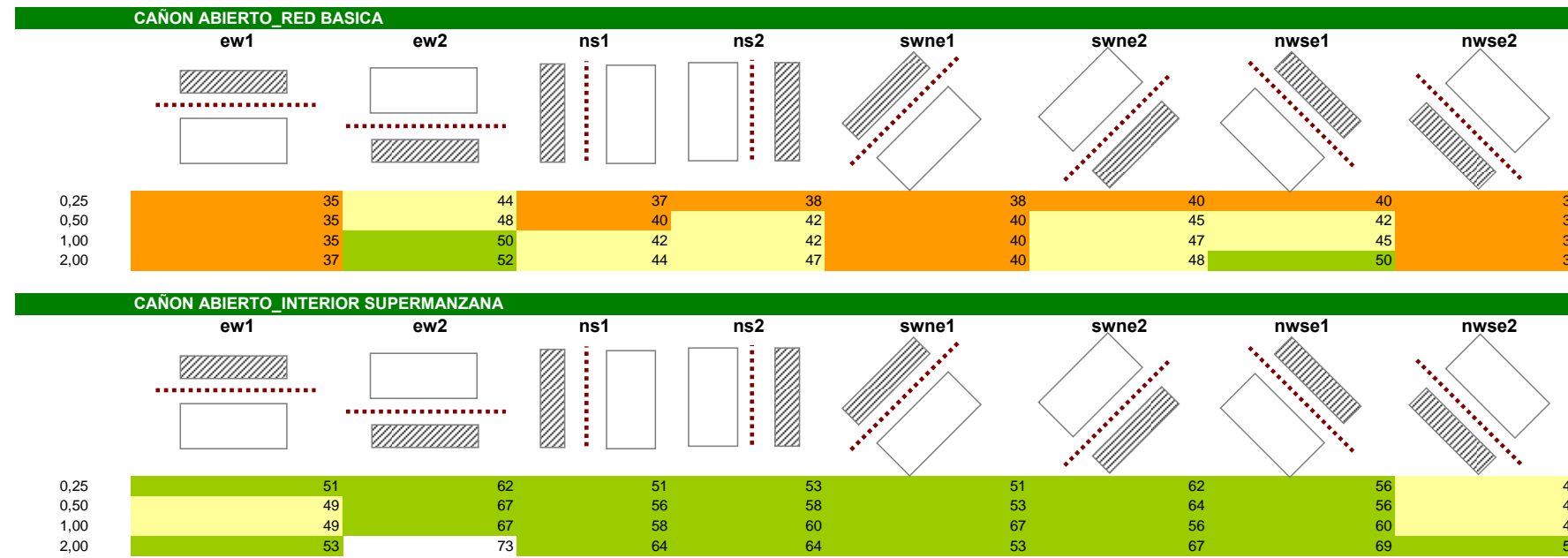
POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN INVIERNO (EN ACERAS) VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)



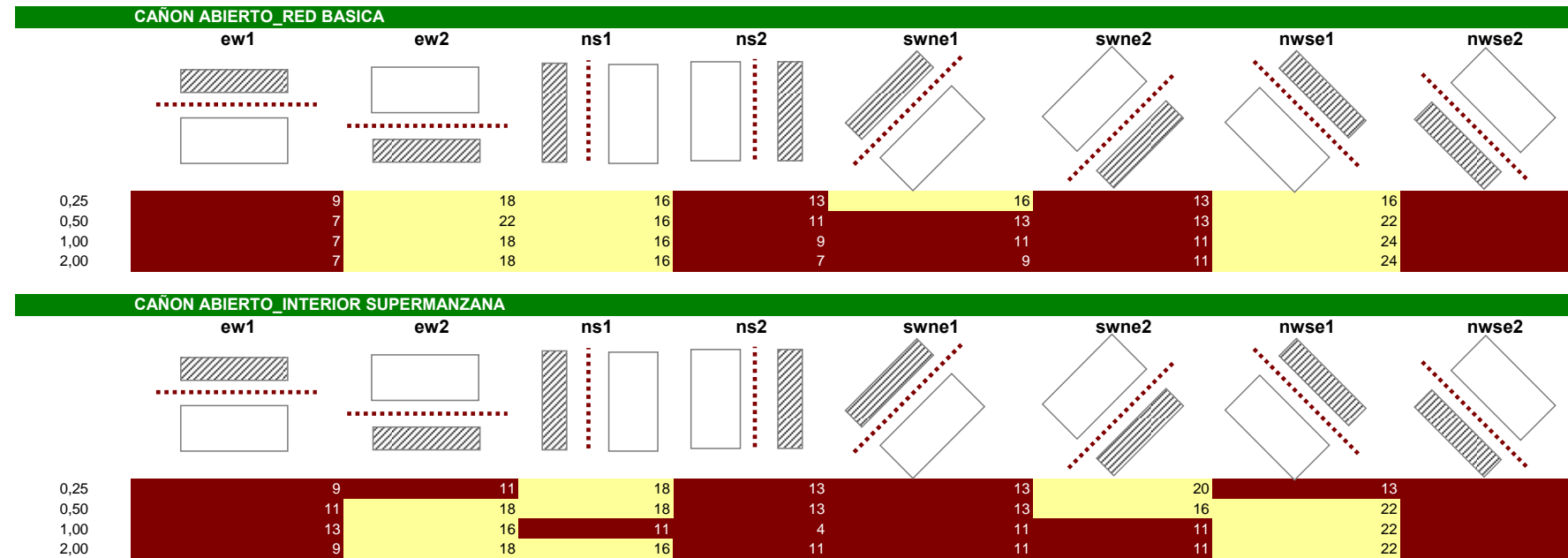
POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN VERANO VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)



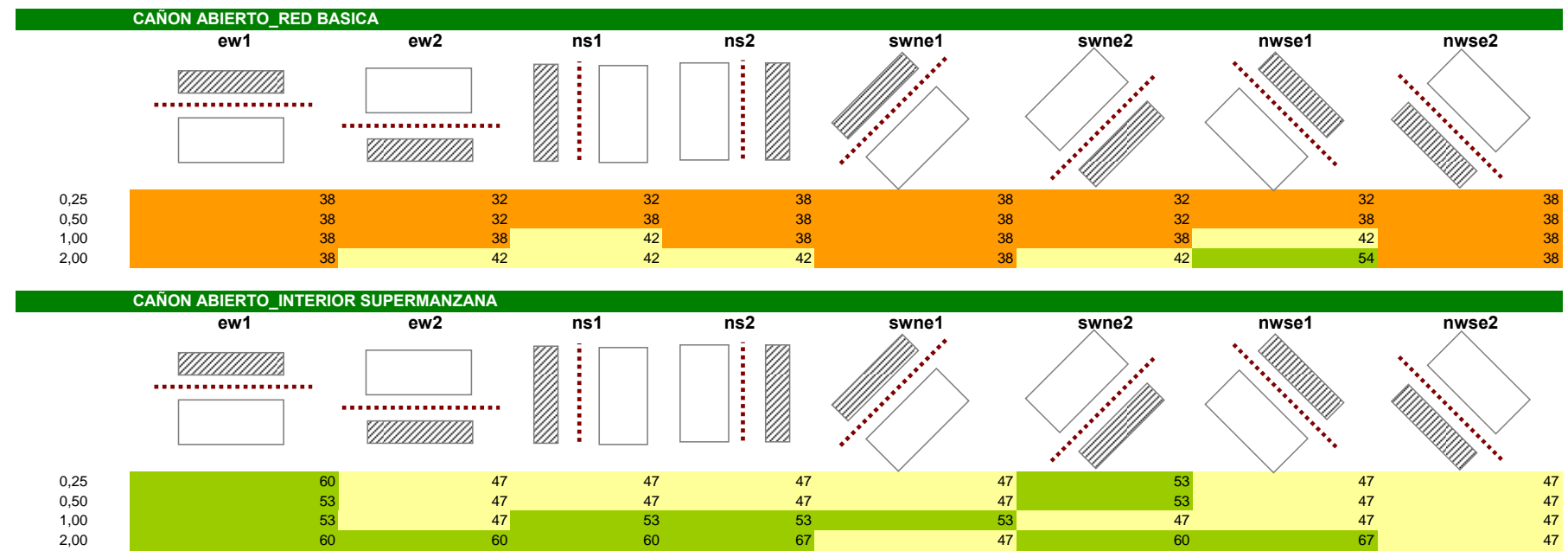
POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN INVIERNO VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS UTILES ENTRE 8HRS - 22HRS)



POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN VERANO (EN ACERAS) VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)



POTENCIAL DE HORAS DE CONFORT EN INVIERNO (EN ACERAS) VITORIA-GASTEIZ

(% HORAS ENTRE 8HRS - 22HRS)

