



Análisis y Optimización energética de los Voladizos y Porches de una Vivienda Bioclimática

IIT-03-015I
Xavier García Casals
25 Abril 2003

Índice

1. Introducción	2
a. Alcance , Objetivos y Metodología	3
b. Peculiaridades del terreno y las normas subsidiarias	3
c. Requerimientos de voladizos y porches	4
d. Huecos a considerar	4
e. Nomenclatura	5
2. Estrategias de diseño convencionales	6
3. Caracterización energética de las protecciones solares con simulación anual	10
a. Criterio de optimización energética del voladizo	11
b. Ventana fachada sur: Salón	12
i. Configuración original	12
ii. Mayor área de apertura	15
c. Ventana fachada suroeste: Rincón Hilde	18
d. Ventana fachada suroeste: Habitación invitados	21
e. Ventana-puerta fachada sureste: Comedor	23
f. Ventana fachada sur piso superior: Habitación-2	27
g. Ventana fachada sur piso superior: Biblioteca	30
h. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-1	33
i. Ventana larga con balcón	33
ii. Ventana corta	37
i. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2	41
j. Ventana fachada sureste superior: Biblioteca	45
k. Ventana fachada sureste superior: Habitación-3	49
l. Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado	53
m. Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por espesor de muro	59
n. Ventana fachada suroeste inferior (Rincón Hilde) sombreada por espesor de muro	63
o. Ventana fachada suroeste inferior (habitación invitados) sombreada por espesor de muro	68
p. Ventana-puerta fachada sureste inferior (comedor) sombreada por espesor de muro	68
4. Conclusiones	72
5. Referencias	77

1. Introducción

A lo largo del año 2002 se adquirió un terreno y se inició el proyecto de tres viviendas unifamiliares en Torremocha del Jarama (Madrid) con criterios de sostenibilidad, abarcando los siguientes aspectos:

- Materiales: Bioconstrucción, energía almacenada.
- Consumo energético: Energía solar pasiva, energía solar térmica activa, biomasa, energía solar fotovoltaica.
- Gestión de aguas. Depuración aguas negras, reutilización aguas grises, aprovechamiento aguas de lluvia.

En la actualidad se está trabajando en el diseño de las tres viviendas centrado en el estudio de arquitectura bioclimática Kaiho8.

El objetivo final relativo a los aspectos energéticos de las viviendas, consiste en optimizar su comportamiento energético anual desde el punto de vista de confort y de requerimientos energéticos para su climatización (calefacción y refrigeración) en base a los resultados de simulaciones dinámicas de las mismas sometidas al clima de Torremocha. Para los sistemas energéticos, la optimización final y evaluación de actuaciones también pasa por su simulación dinámica anual, en ocasiones acoplados a la propia vivienda. Sin embargo, estas simulaciones dinámicas están asociadas a una fase posterior de proyecto de detalle, y no se pueden acometer en el actual estado de definición de las viviendas y sus sistemas.

Para la fase actual de proyecto básico y de ejecución resulta apropiado disponer de información detallada de las actuaciones energéticas de ciertos componentes con el fin de poder disponer de criterios objetivos para su diseño. El objeto del presente informe es caracterizar el comportamiento energético de las protecciones solares de los huecos en la vivienda de configuración octagonal.

Los datos climáticos del emplazamiento que vamos a emplear son los de la Referencia [1]. Todos los cálculos de radiación solar sobre distintas superficies receptoras se han realizado en base horaria (a lo largo de las 8760 horas/año) empleando el año meteorológico tipo del emplazamiento generado en Referencia [1], corregido con los efectos de horizonte local asociados al emplazamiento de los huecos en las distintas fachadas. Los cálculos en base horaria tienen mayor precisión que los más habituales en base mensual a la hora de proyectar adecuadamente las componentes directa y difusa sobre la superficie receptora o de incorporar los efectos de horizontes modificados.

En la Referencia [2] se desarrolló un análisis preliminar de las distintas tipologías de vivienda consideradas en este proyecto. En la actualidad, el diseño de las viviendas ya está más avanzado, requiriéndose información cuantitativa sobre aspectos más concretos. El estudio actual se va a centrar en la tipologías octagonal.

1.a. Alcance , Objetivos y Metodología

La tipología octagonal de vivienda presenta ventajas desde el punto de vista de las pérdidas / ganancias térmicas del ambiente exterior tal y como se cuantificó en la Referencia [2] desde el punto de vista del coeficiente K_G . Sin embargo, al presentar esta tipología fachadas en 8 orientaciones distintas, es preciso recurrir a un análisis detallado de las protecciones solares con el fin de proceder a un correcto dimensionado que permita aportes solares en la época de carga térmica de calefacción y proteja adecuadamente de dichos aportes solares en la época de carga térmica de refrigeración. Dado que el coeficiente K_G de la NBE CT-79 no incorpora los efectos de la irradiación solar, un mal dimensionado de las protecciones solares podría invertir las tendencias de consumo energético indicadas por el K_G para las distintas tipologías de vivienda.

Por otro lado, el estudio detallado de las protecciones solares es necesario para argumentar técnicamente modificaciones requeridas en las Normas Subsidiarias de Torremocha del Jarama que no consideran aspectos energéticos / bioclimáticos de las viviendas.

En este informe se procederá en principio a presentar los resultados de un análisis cualitativo clásico de sombreamientos sobre los huecos propuestos, que por un lado nos permitan ubicar correctamente los resultados de simulaciones más detalladas, y por otro lado nos proporcionen lo que a priori podría parecer un criterio de dimensionado adecuado para los dispositivos de protección solar en este emplazamiento que emplearemos como punto inicial de las simulaciones paramétricas. Posteriormente pasaremos a realizar simulaciones paramétricas anuales sobre cada uno de los huecos relevantes desde el punto de vista de la protección solar, en función de la longitud del voladizo / porche , procesando los resultados de forma conveniente y presentando un criterio cuantitativo que permita elegir el tamaño óptimo de la protección solar a implementar en cada hueco. En base a este criterio, se elegirá un tamaño de voladizo de diseño proporcionando sus actuaciones estacionales en términos de los factores de transmitancia (complementario de la atenuación) de las distintas componentes de la radiación solar incidente en el hueco y los aportes energéticos máximos ($(\tau\alpha) = 1$) de dicho hueco a la estancia a la que pertenece en las temporadas de carga calefactante y refrigerante.

Respecto a los huecos de la planta baja se analizarán tanto las posibilidades de protección solar con voladizo arrancando del forjado, voladizo arrancando del techo, y el uso de mayores espesores de pared para proporcionar protección solar integrada en el propio hueco.

1.b. Peculiaridades del terreno y de las Normas Subsidiarias

Las parcelas en las que se van a construir las viviendas están orientadas con 30° hacia el E desde la línea N-S. Esta situación genera ciertos interrogantes respecto a la orientación de las viviendas. La orientación N-S es la más apropiada desde un punto de vista energético, pero las casas, según su tipología, pueden quedar mal integradas en el terreno y sin proporcionar las vistas más adecuadas. En el caso de la tipología octagonal de vivienda se ha decidido una orientación Norte-Sur.

Por otro lado, las normas subsidiarias del ayuntamiento son poco favorables para los aprovechamientos solares tanto activos como pasivos. Por un lado, la limitación de vuelo de los aleros a 45 cm puede dificultar la implementación de protecciones solares efectivas, y por otro lado, la limitación de la pendiente del tejado entre el 30 % y el 47 % limita la orientación de los colectores solares (térmicos y fotovoltaicos).

La prohibición de implementar voladizos de estas NNSS puede obligar a clasificar como porches elementos cuya única finalidad es la protección solar de los huecos, con su considerable repercusión económica. Este aspecto puede actuar como limitante en el proceso de optimización de las protecciones solares conduciendo a voladizos de menor tamaño del que se desprende de los procesos de optimización energética.

1.c. Requerimientos de voladizos y porches

En la Referencia [2] ya se realizaron algunas evaluaciones de irradiación solar sobre distintas superficies de las viviendas consideradas, teniendo en cuenta las peculiaridades de orientación de la parcela y de las distintas tipologías.

En principio, las funciones que se pueden asignar a los porches / voladizos son las siguientes:

1. Elementos de protección solar para evitar ganancias solares excesivas en la temporada de carga refrigerante, pero permitiendo ganancias solares en la temporada de carga calefactora.
2. Protección frente a la lluvia para permitir andar alrededor de la vivienda.
3. Proporcionar una estancia exterior protegida de la intemperie (lluvia / sol)
4. Proporcionar superficie adicional para ubicar sistemas solares activos (fototérmicos / fotovoltaicos)
5. Proporcionar protección de la carpintería de madera frente a la lluvia.

El objeto de este informe es cuantificar y proporcionar criterios cuantitativos que permitan dimensionar los voladizos / porches según su función-1. Sin embargo, la elección final del tamaño del voladizo / porche deberá ponderar las diversas funciones de los mismos.

Respecto a la función-3 propia de un porche, en principio se quiere limitar a la fachada Sur-Este, por ser esta la de orientación adecuada tanto respecto a la parcela como respecto a la distribución interior de la vivienda.

Respecto a la función-4 para los colectores planos de aprovechamiento fototérmico, especialmente si la carga se concentra en la temporada invernal, estaría limitada a la fachada sur, mientras que para los paneles fotovoltaicos, las fachadas sur, sur-este y sur-oeste podrían ser apropiadas, incurriendo estas dos últimas en una pérdida de la radiación incidente de un 5 % en base anual (Referencia [1]).

1.d. Huecos a considerar

Los huecos a considerar en el marco de este informe son los más expuestos a la radiación solar, que a su vez son aquellos para los cuales las protecciones solares tipo voladizo / porche pueden ser más efectivas. Por tanto, se van a analizar los diversos huecos propuestos para las fachadas sur, sur-este y sur-oeste, tanto del piso inferior como del superior, en la primera propuesta de tipología octagonal de Kaiho8.

El espesor de las paredes en las que se ubican estos huecos es de unos 38,5 cm (Referencia[2]). Por tanto, de ubicarse el acristalamiento enrasado con la fachada interior la estructura del propio hueco ya proporciona protección solar tipo voladizo (parte superior) y tipo alero lateral (a ambos lados del hueco). Estos dos efectos del espesor de la pared se incorporarán en las simulaciones energéticas.

Por otro lado, y dado que las ventanas irán dotadas de contraventanas de madera, en caso de situarse éstas en el exterior, su diseño adecuado puede permitir emplearlas como aleros

laterales de protección solar en los meses de carga refrigerante, aspecto que puede ser relevante en las orientaciones SE y SO. Sin embargo, dada la indeterminación actual sobre estos componentes, su efecto no se incorporará en las simulaciones.

1.e. Nomenclatura

A modo de referencia agrupamos a continuación la nomenclatura principal empleada en este informe:

A_v (m²) : Área de un hueco (ventana o puerta)

A_u (m²) : Área útil de la estancia iluminada por un hueco.

α_s (°): Altura solar.

δ (°) : Declinación

e (m): Espesor efectivo del hueco al exterior del acristalamiento.

e_m (m) : Espesor del muro.

e_i (m): Prolongación del voladizo / porche a la izquierda del hueco

e_d (m): Prolongación del voladizo / porche a la derecha del hueco

g (m): Distancia vertical del hueco al voladizo o porche

γ (°): Acimut de la superficie receptora.

γ_s (°): Acimut solar

h (m): Altura del hueco

H_{gh} (MJ/m²): Irradiación global en horizontal con efectos horizonte

H_{dh} (MJ/m²): Irradiación difusa en horizontal con efectos horizonte

H_T (MJ/m²): Irradiación total sobre apertura ventana, con efectos horizonte, pero sin voladizo / porche ni coberturas laterales.

$H_{T,somb}$ (MJ/m²): Irradiación total sobre apertura ventana, con efectos horizonte, y con voladizo / porche y coberturas laterales.

H_{bT} (MJ/m²): Irradiación directa sobre apertura ventana, con efectos horizonte, pero sin voladizo / porche ni coberturas laterales.

$H_{bT,somb}$ (MJ/m²): Irradiación directa sobre apertura ventana, con efectos horizonte, y con voladizo / porche y coberturas laterales.

H_{dT}^* (MJ/m²): Irradiación difusa del cielo sobre apertura ventana, con efectos horizonte, pero sin voladizo / porche ni coberturas laterales.

$H_{dT,somb}^*$ (MJ/m²): Irradiación difusa del cielo sobre apertura ventana, con efectos horizonte, y con voladizo / porche y coberturas laterales.

H_{dT} (MJ/m²): Irradiación difusa total sobre apertura ventana, con efectos horizonte, pero sin voladizo / porche ni coberturas laterales.

$H_{dT,somb}$ (MJ/m²): Irradiación difusa total sobre apertura ventana, con efectos horizonte, y con voladizo / porche y coberturas laterales.

K_G (W/m²-K): Coeficiente de pérdida energética del edificio definido en la NBE CT-79.

p (m): Longitud del voladizo / porche medida desde la pared exterior.

w (m): Ancho del hueco

$(\tau\alpha)$: Factor de transmitancia-absortancia del hueco considerado.

θ_z (°): Ángulo cenital.

2. Estrategias de diseño convencionales

Convencionalmente, el dimensionado de voladizos / porches desde el punto de vista de la protección solar pasiva se realiza de forma cualitativa analizando las proyecciones de sombra al mediodía solar de huecos orientados al sur.

Aumentar el tamaño del voladizo tiene el efecto positivo de reducir el aporte solar por este hueco en la temporada de carga refrigerante, pero a su vez siempre trae asociado el efecto negativo de reducir el aporte de energía solar a través de este hueco en la temporada de carga refrigerante. Los dimensionados tradicionales de los voladizos no proporcionan criterios cuantitativos para elegir de forma adecuada el tamaño del voladizo como un compromiso entre sus dos impactos, sino que por el contrario se limitan a criterios cualitativos asociados a la componente directa de la radiación solar.

En la figura-1 mostramos los criterios tradicionales de dimensionado de voladizos en climas fríos, templados y cálidos. En los climas fríos se suele imponer que el rayo solar directo incida en la mitad del hueco en el mediodía solar del solsticio de verano, por lo que el hueco no se llega a sombrear totalmente de la radiación directa a lo largo de todo el año. En los climas templados se suele adoptar el criterio de que el rayo solar directo incida sobre el límite inferior del hueco al mediodía solar del solsticio de verano, por lo que sólo este día y hora se alcanza un sombreado completo de la radiación solar directa. En los climas cálidos, el criterio suele ser que el rayo solar directo incida sobre el límite inferior del hueco al mediodía solar de los equinoccios, por lo que el hueco se sombrea de la radiación solar directa durante el periodo entre equinoccios (medios días solares).

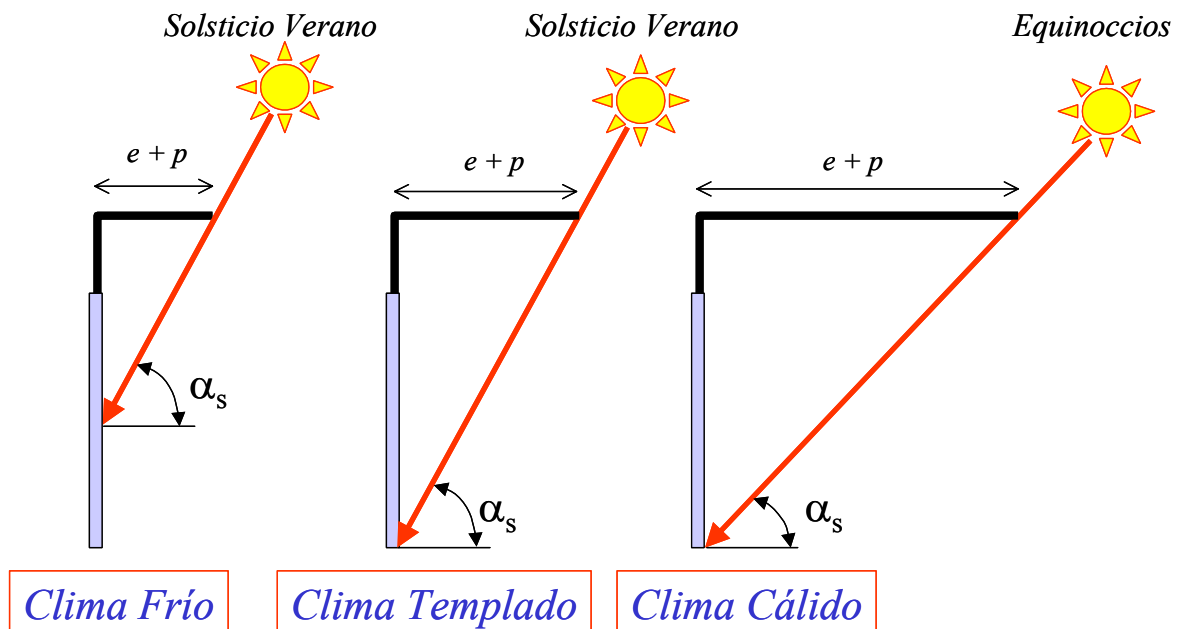


Figura-1: Criterios clásicos de dimensionados de voladizos.

Aplicando estos criterios a los huecos de la vivienda octagonal en nuestra latitud , obtenemos los siguientes resultados, en los cuales presentamos el valor del tamaño efectivo del voladizo (e+p) y el valor de 'p' en el caso de que e = 38,5 cm :

Ventana en fachada Inferior

- Clima frío:
 - e+p = 32,5 cm
 - p = - 6 cm
- Clima Templado:
 - e+p = 53 cm
 - p = 14,5 cm
- Clima cálido:
 - e+p = 146,5 cm
 - p = 108 cm

Puerta en fachada inferior

- Clima frío:
 - e+p = 53 cm
 - p = 14,5 cm
- Clima Templado:
 - e+p = 84,1 cm
 - p = 45,6 cm
- Clima cálido:
 - e+p = 232,7 cm
 - p = 194,2 cm

Ventana corta en fachada superior

- Clima frío:
 - e+p = 21,8 cm
 - p = -16,7 cm
- Clima Templado:
 - e+p = 36,5 cm
 - p = 2 cm
- Clima cálido:
 - e+p = 112 cm
 - p = 73,5 cm

Ventana larga en fachada superior

- Clima frío:
 - e+p = 31,1 cm
 - p = - 7,4 cm
- Clima Templado:
 - e+p = 59,2 cm
 - p = 20,7 cm
- Clima cálido:
 - e+p = 163,7 cm
 - p = 125,2 cm

A la vista de estos resultados, y teniendo en cuenta que nuestra ubicación podría considerarse como de clima templado, parece que para el piso superior, el alero permitido por las NNSS de 45 cm anda sobrado. Este alero podría permitir incluso colocar el acristalamiento en mitad del muro o enrasado con el exterior, o bien dejar una mayor holgura entre el límite superior del hueco y el tejado (muy ajustado en la propuesta actual). Respecto a las ventanas de la planta baja, colocando la ventana en el interior del muro, incluso se podría eliminar el voladizo / porche pensando en favorecer más la captación en invierno. Respecto a las puertas del piso inferior, colocando el acristalamiento en el interior, basta con un voladizo de 46 cm.

Sin embargo, estos dimensionados clásicos no proporcionan suficiente información para conocer las implicaciones energéticas del voladizo elegido, y no son aplicables a los huecos no orientados hacia el sur, que requerirán mayores voladizos para igualdad de protección.

Si aplicamos estos criterios al sombreado de los huecos de la planta baja con el voladizo del tejado, obtenemos los siguientes resultados:

Ventana en fachada inferior sombreada por alero tejado

- Clima frío:
 - $e+p = 121,5$ cm
 - $p = 83$ cm
- Clima Templado:
 - $e+p = 141,7$ cm
 - $p = 103,2$ cm
- Clima cálido:
 - $e+p = 392,5$ cm
 - $p = 354$ cm

Puerta en fachada inferior sombreada por alero tejado

- Clima frío:
 - $e+p = 141,7$ cm
 - $p = 103,2$ cm
- Clima Templado:
 - $e+p = 172,9$ cm
 - $p = 134,4$ cm
- Clima cálido:
 - $e+p = 478,2$ cm
 - $p = 439,7$ cm

Por tanto, vemos cómo según este criterio, en un clima templado valdría con un voladizo del tejado de 100 – 130 cm para cubrir los huecos del piso inferior si se emplazan los acristalamientos en el interior del muro. Sin embargo, en estas condiciones el sombreado de los huecos del piso superior sería excesivo, reduciéndose su captación solar en el periodo de carga calefactora.

En las orientaciones SE y SO serían necesarios voladizos mayores para la misma protección solar.

Estos voladizos probablemente son superiores a los que permitiría el ayuntamiento de Torremocha, y a pesar de las ventajas de proteger con voladizo en tejado (fachada más limpia, menor coste por no imputar a las protecciones solares el concepto de porche), tiene sus inconvenientes (ganancias solares reducidas en huecos piso superior, menor protección frente a

la lluvia de la carpintería del piso inferior, ausencia de porche efectivo como espacio habitable,...). Todos estos factores demandan una evaluación energética cuantitativa y detallada de este concepto antes de implementarlo.

A pesar de que Torremocha a priori se podría considerar como un clima templado, la realidad es que los veranos son también bastante duros, por lo que desde el punto de vista de protecciones solares podría ser más adecuado considerar que nos encontramos entre un clima templado y uno cálido por lo que concierne a la radiación directa. En efecto, los criterios convencionales de dimensionado que hemos analizado no incorporan el efecto de la radiación difusa, dominante en los meses más fríos y que no se verá tan afectada por una mayor longitud de la protección solar. Si estableciéramos un criterio de dimensionado a medio camino entre el del clima templado y el cálido, podríamos imponer un sombreado total de los huecos al mediodía solar entre el 6 de Mayo y el 5 de Agosto (a medio camino entre equinoccios y solsticio de verano), con una altura solar de $\alpha_s = 66^\circ$ para las condiciones de diseño. En estas condiciones, los voladizos necesarios para un hueco en la fachada sur serían los siguientes:

Ventana en fachada Inferior

- Dimensionado con $\alpha_s = 66^\circ$:
 - $e+p = 75,7$ cm
 - $p = 37,2$ cm

Puerta en fachada inferior

- Dimensionado con $\alpha_s = 66^\circ$:
 - $e+p = 111,3$ cm
 - $p = 72,8$ cm

Ventana corta en fachada superior

- Dimensionado con $\alpha_s = 66^\circ$:
 - $e+p = 57,9$ cm
 - $p = 19,4$ cm

Ventana larga en fachada superior

- Dimensionado con $\alpha_s = 66^\circ$:
 - $e+p = 84,6$ cm
 - $p = 46,1$ cm

Por tanto vemos cómo al dimensionar para unas condiciones medias entre el clima templado y el cálido con $\alpha_s = 66^\circ$ en condiciones de diseño siguiendo la aproximación clásica, en el piso superior sigue siendo suficiente con el alero permitido de 45 cm, y en el piso inferior sería necesario colocar un voladizo de unos 75 cm.

Sin embargo es necesario resaltar que los voladizos aquí analizados no permiten desarrollar la función de porche como espacio habitable por la escasa o nula protección solar que proporcionan sobre el suelo. Si se dimensionara el porche siguiendo el criterio de conseguir una cierta longitud de suelo sombreada en el solsticio de verano, los voladizos necesarios serían los presentados en la siguiente tabla:

Longitud de suelo sombreada (m)	p (m)
1,0	1,84
1,5	2,34
2,0	2,84
2,5	3,34
3,0	3,84
4,0	4,84

Por tanto, vemos cómo para disponer de un espacio habitable sería necesario un porche mínimo de unos 3 m, y esto si el porche estuviera orientado al sur. Este porche, a la vista de los resultados anteriores, parece que tendría el impacto negativo de proporcionar un sombreado excesivo a los huecos colocados en la fachada de su ubicación. Una vez más se hace necesaria una evaluación detallada y cuantificada para poder dimensionar este porche. Por otro lado, si el porche se hace con una pendiente de unos 25 ° con el fin de ubicar en él colectores solares, las máximas longitudes disponibles en el caso de querer colocar ventanas en el piso de arriba con la configuración propuesta son de 3,3 m en el caso de las ventanas cortas y de 2,2 m en el caso de las ventanas largas, lo cual puede imponer limitaciones adicionales a la posibilidad de implementar porches.

Las limitaciones principales de este dimensionado convencional son:

- Ausencia de criterio cuantitativo que permita optimizar en hueco en un clima determinado.
- Ausencia de información sobre el impacto de la componente difusa de la radiación solar.
- Ausencia de los efectos del horizonte local del hueco.
- Limitado a orientaciones sur de los huecos.

En las simulaciones detalladas cuyos resultados pasamos a presentar se eliminan todas estas limitaciones para proporcionar un criterio cuantitativo adecuado que permita el dimensionado preliminar de los voladizos. Sin embargo, el dimensionado fino de los voladizos va ligado al tamaño del hueco y comportamiento energético de la vivienda, por lo que sólo a través de la simulación dinámica anual de la vivienda se puede llegar a alcanzar.

3. Caracterización energética de las protecciones solares con simulación anual

Pasamos a continuación a presentar los resultados de simulaciones anuales que permitan cuantificar los efectos energéticos de las protecciones solares de los distintos huecos en orientaciones Sur, SE y SO de la vivienda octagonal.

Para ello vamos a asumir que los acristalamientos se colocan en el interior del muro, lo cual, con un espesor del marco de la ventana supuesto de unos 7 cm (acristalamiento a 3,5 cm del interior) y un muro de 38,5 cm de espesor nos proporciona unos voladizos y aleros laterales de partida ($p = 0$ cm) de 35 cm.

Por coherencia con el análisis anterior y debido a que en este estudio estamos interesados en reflejar la efectividad de los voladizos como protecciones solares, vamos a considerar un

voladizo de longitud efectiva $p + 0,35$ colocado a una distancia 'g' coincidente con la del voladizo físico real. Sin embargo es importante resaltar que por el hecho de estar la ventana en el interior del muro, la protección solar efectiva es mayor que la debida al voladizo considerado, pues además cuenta con una protección solar de $p = 0,35$ m con $g = 0$ m. Por tanto las ganancias energéticas por los huecos realmente son algo inferiores a las que presentaremos a continuación, siendo mayor la diferencia cuanto menor sea 'p', mayor sea 'g' y menor sea α_s . Sin embargo, desde el punto de vista de la caracterización cuantitativa de la protección solar esta diferencia no es relevante, teniendo sólo un pequeño impacto en la etapa de la simulación dinámica de la vivienda.

Los resultados a obtener son los siguientes:

- Transmisividad de las protecciones solares (su complementario son los factores de atenuación solar) de cada una de las componentes radiativas (directa y difusa) así como total, como función del tamaño del voladizo y de la estación del año para cada hueco y orientación considerados.
- Aporte energético solar máximo de cada hueco en función del tamaño del voladizo para los periodos de carga refrigerante y calefactora.
- Actuaciones solares detalladas en base mensual del voladizo propuesto.
- Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

A efectos de los resultados aquí presentados vamos a definir las 'estaciones' de la siguiente forma más cercana a las necesidades reales de climatización en la vivienda, donde las estaciones de otoño y primavera se ven reducidas respecto a las reales:

<u>Invierno:</u>	Diciembre – Enero – Febrero – Marzo
<u>Verano:</u>	Junio – Julio – Agosto – Septiembre
<u>Otoño:</u>	Octubre – Noviembre
<u>Primavera:</u>	Abril – Mayo

3.a. Criterio de optimización energética del voladizo

El aumentar el tamaño del voladizo, para un hueco determinado aparecerá un impacto positivo consistente en la reducción del aporte solar durante la temporada de carga refrigerante (verano), reduciendo dicha carga, pero surgirá un impacto negativo que es la correspondiente reducción del aporte solar en la temporada de carga calefactora (invierno), con el consiguiente aumento de dicha carga. Sin embargo, la derivada del aporte energético en cada uno de estos periodos con el tamaño del voladizo se va reduciendo al aumentar el tamaño del voladizo, pasando por un punto de inflexión, reflejando el hecho de que al ir aumentando el tamaño del voladizo llega un momento a partir del cual su efectividad como elemento de protección solar va siendo cada vez menor por dominar el aporte solar difuso. Lo mismo sucede respecto a la captación solar en periodo de invierno (aporte solar pasivo a la carga calefactora), de tal forma que al ir aumentando el tamaño del voladizo al principio su efecto sobre la reducción de la captación solar invernal es pequeña, después pasa a adquirir rápidamente una gran importancia (derivada grande) y finalmente la derivada se reduce una vez más para indicar el efecto dominante de la radiación difusa.

A falta de una simulación dinámica completa de la vivienda, un criterio adecuado para el dimensionado del voladizo es emplear una longitud tal del mismo que la derivada del aporte solar en verano ya sea pequeña sin que la derivada del aporte solar en invierno se haya hecho excesivamente grande.

3.b. Ventana fachada sur: Salón

Empezamos por analizar el comportamiento de las ventanas del salón en orientación sur. Dada la simetría de la ubicación de estas ventanas y de la orientación, presentaremos resultados sólo para la ventana colocada en el lado Oeste. Si bien la asimetría mañana / Tarde introducirá ciertas diferencias en las actuaciones cuantitativas del hueco y sus protecciones, desde un punto de vista cualitativo, los resultados presentados son válidos para ambos huecos.

En la configuración original de esta ventana su borde inferior se encontraba a 1 metro del suelo. A lo largo del desarrollo de este informe ha surgido la posibilidad de prolongar dichas ventanas hasta 0,5 metros del suelo, motivo por el que presentamos las actuaciones para ambas opciones.

3.b.i. Configuración original

Las características de este hueco y voladizo son las siguientes:

$$h \text{ (m)} = 1.3$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.4$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.95$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.67$$

En la Figura-2 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-3 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 0.5 \text{ m}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-4, mientras en la Figura-5 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

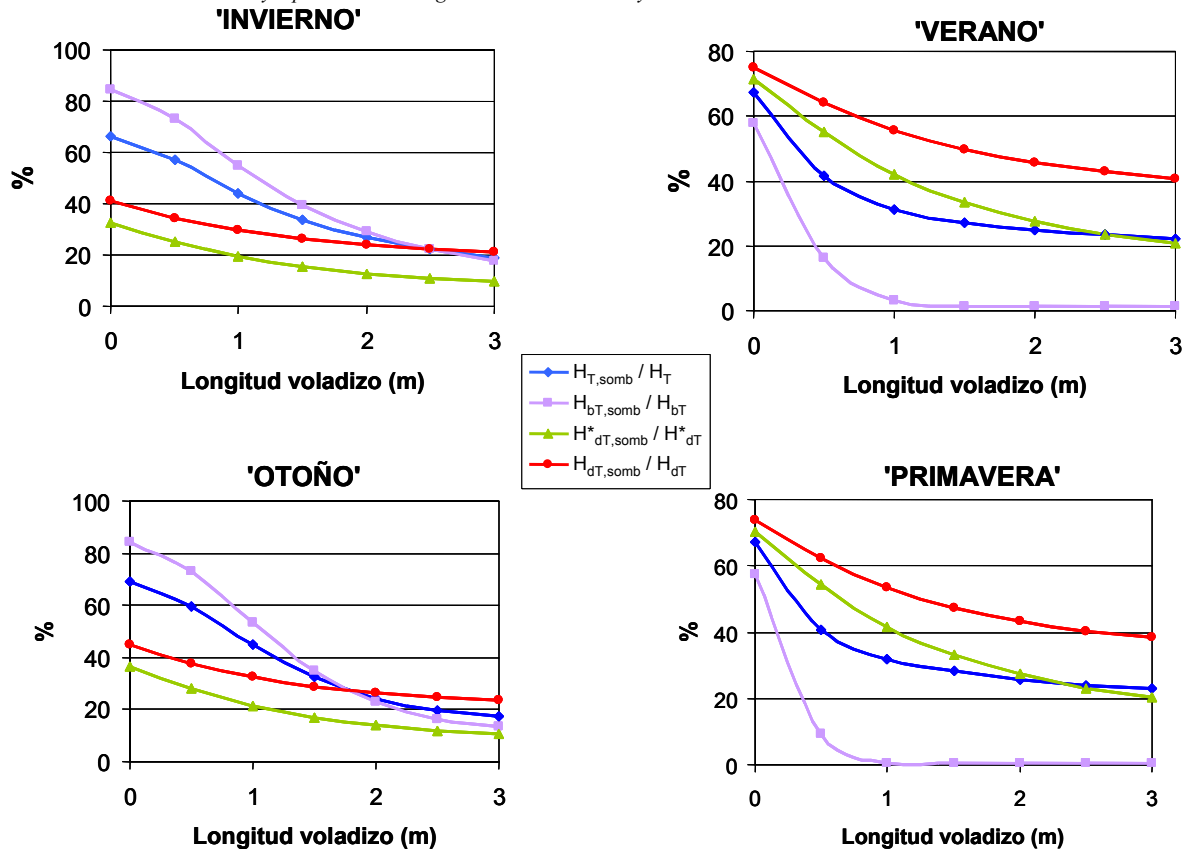


Figura-2: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana sur inferior en su configuración original hasta 1 m del suelo.

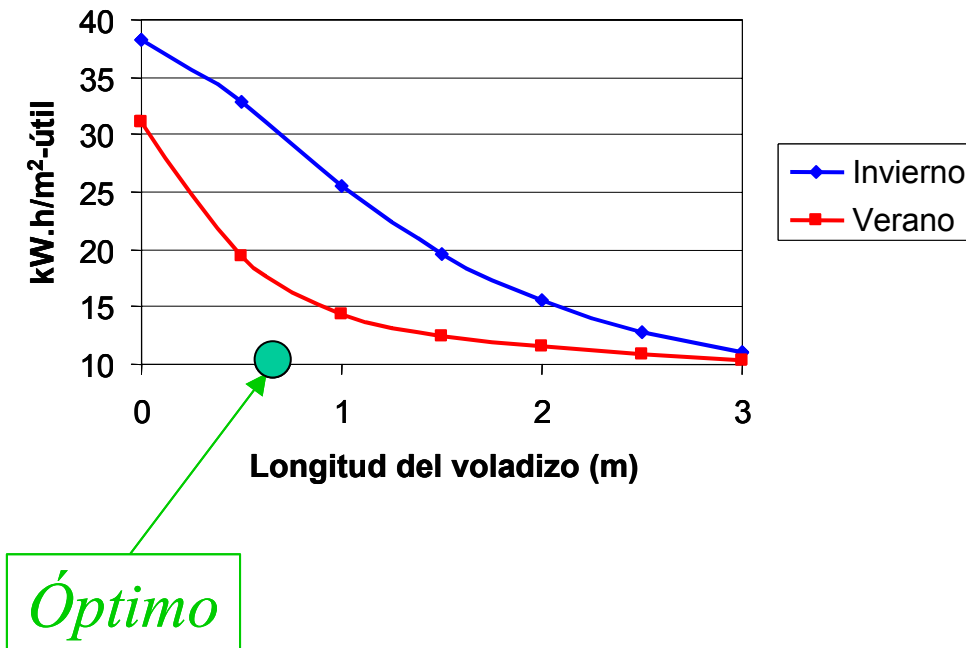


Figura-3: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana sur inferior en su configuración original hasta 1 m del suelo.

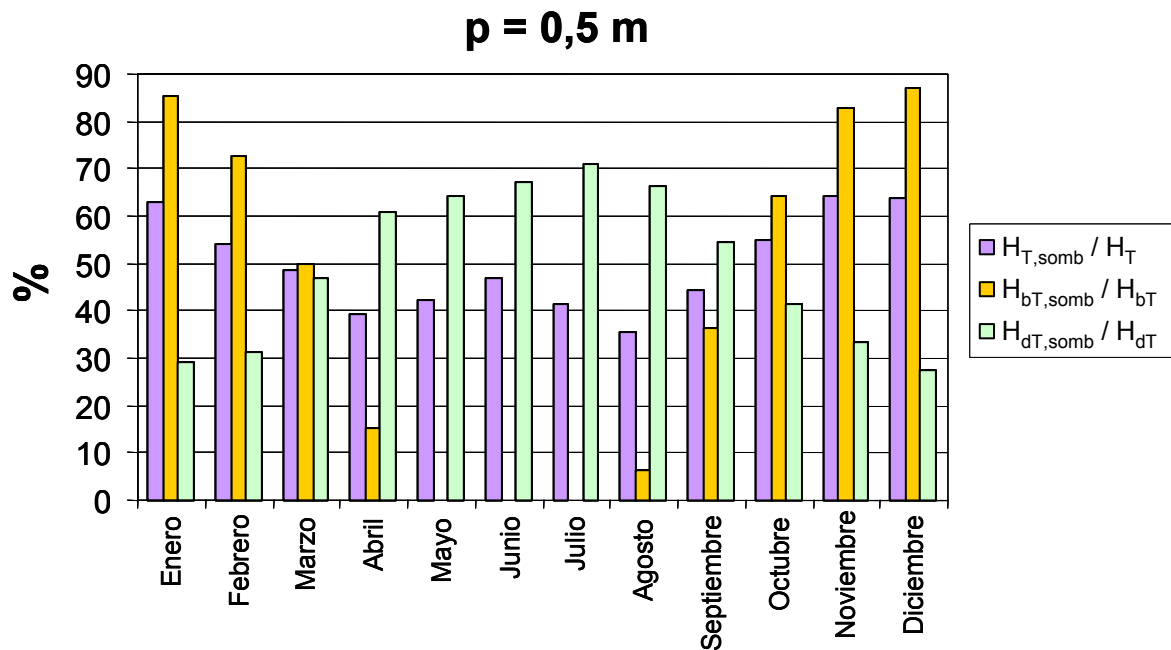


Figura-4: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana sur inferior en su configuración original hasta 1 m del suelo).

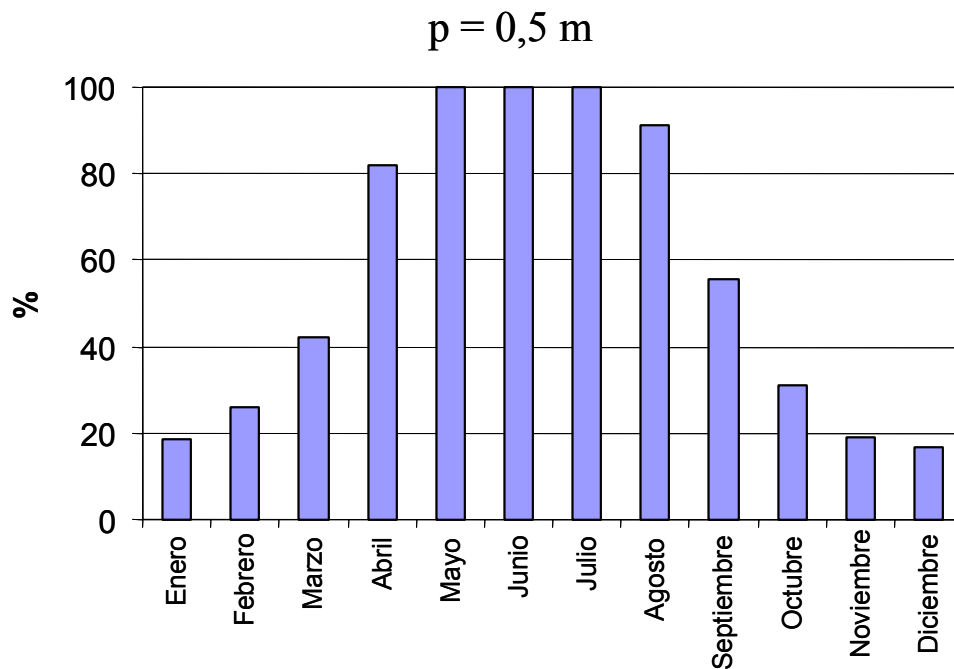


Figura-5: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana sur inferior en su configuración original hasta 1 m del suelo).

3.b.i.i. Mayor apertura

En el caso de llevar las ventanas del salón hasta 50 cm del suelo, los resultados son los siguientes.

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.8$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.4$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 2.7$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.67$$

En la Figura-6 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-7 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 1 \text{ m}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-8, mientras en la Figura-9 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

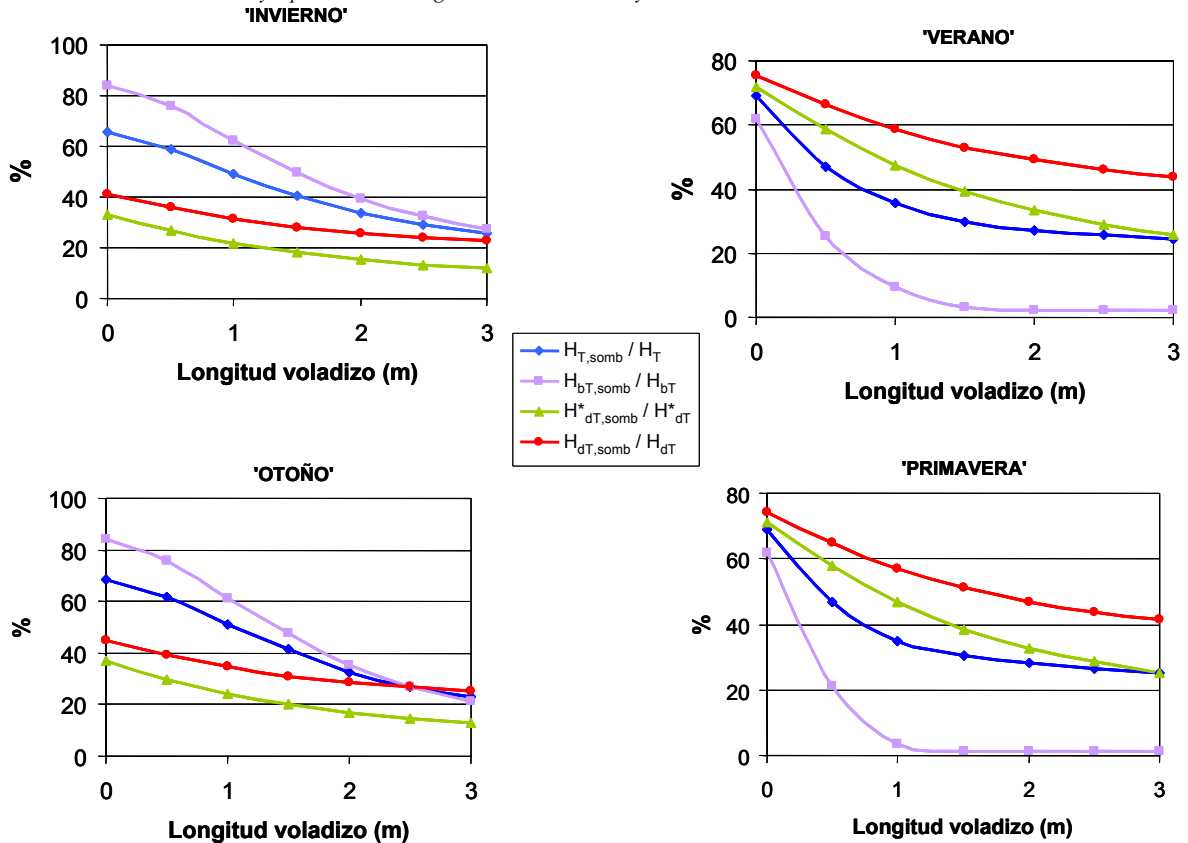


Figura-6: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana sur inferior en su configuración modificada hasta 0,5 m del suelo.

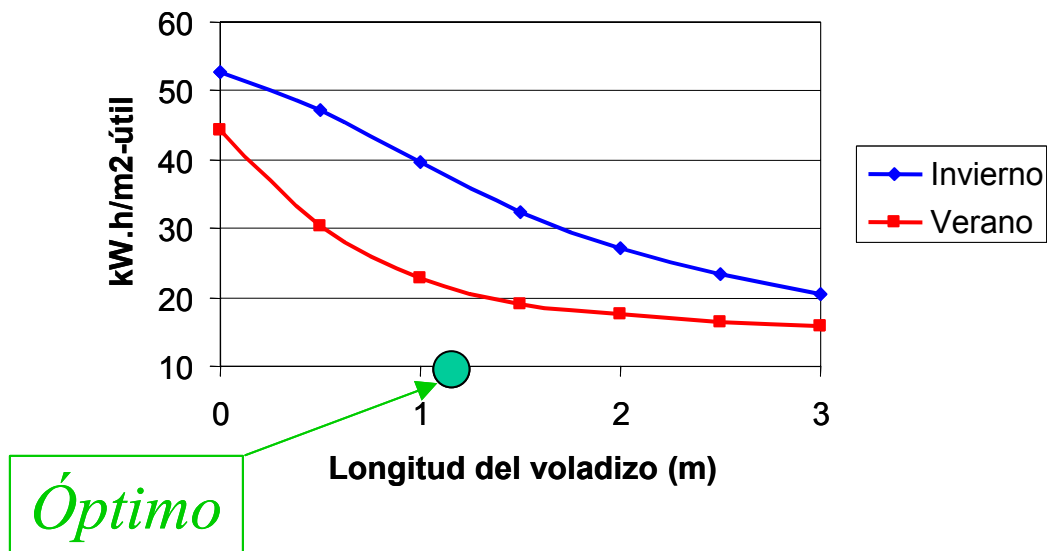


Figura-7: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana sur inferior en su configuración modificada hasta 0,5 m del suelo.

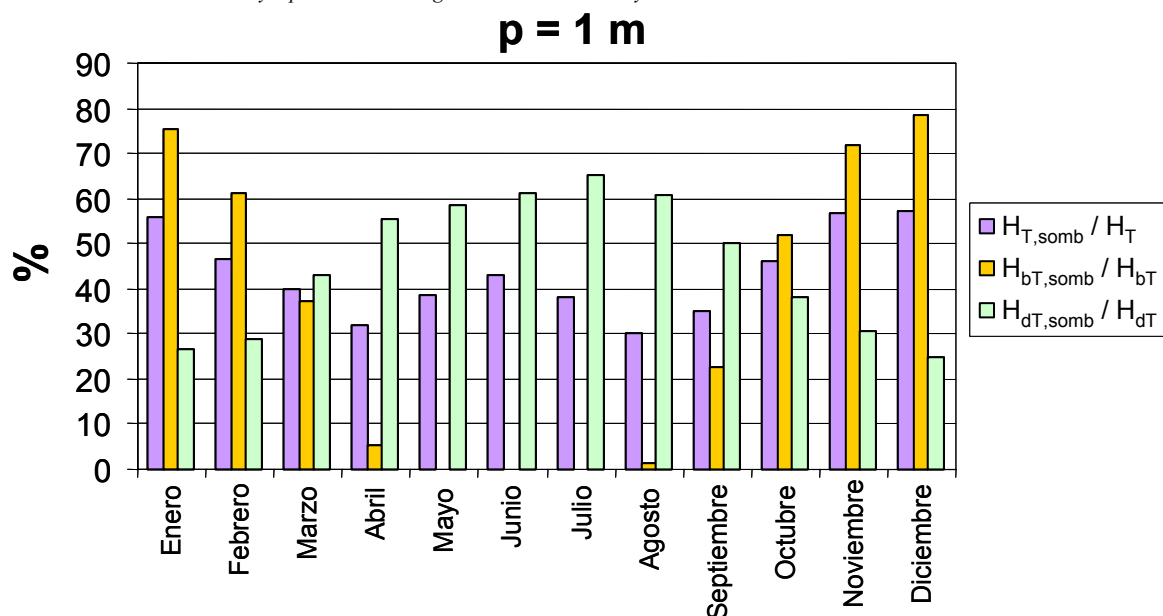


Figura-8: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana sur inferior en su configuración modificada hasta 0,5 m del suelo).

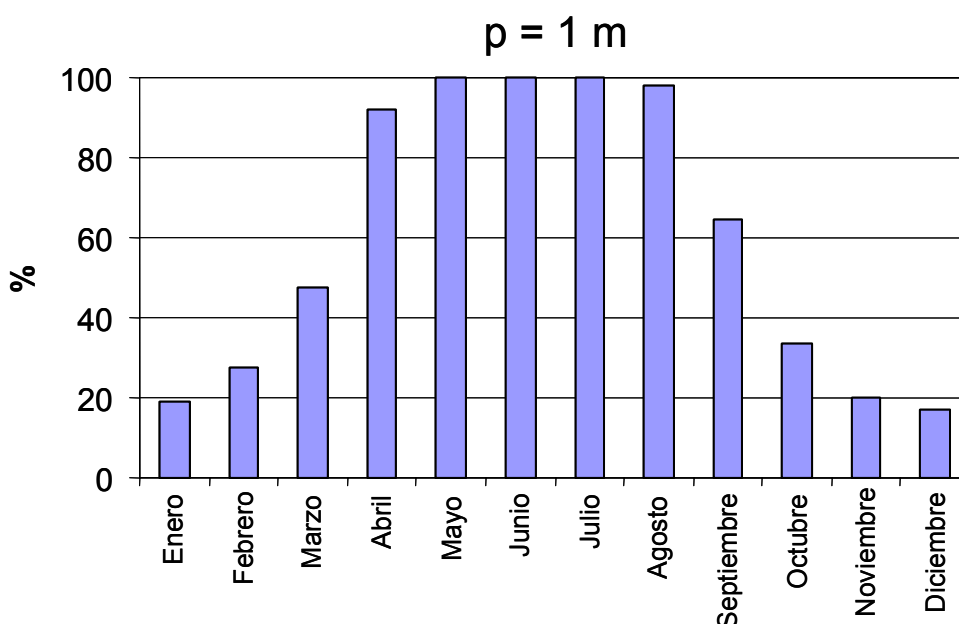


Figura-9: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana sur inferior en su configuración modificada hasta 0,5 m del suelo).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 120$ cm. Es de resaltar que en esta zona del tamaño del voladizo, el aporte energético en invierno es superior al del caso anterior (ventana más corta) con el voladizo elegido para ese caso, pero en verano también es mayor. Un voladizo de 100 cm sería adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (apropiado para colectores fototérmicos y módulos fotovoltaicos) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 150 cm según tamaño de los captadores.

3.c. Ventana fachada suroeste: Rincón Hilde

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.3$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.4$$

$$e_l \text{ (m)} = 3.5$$

$$e_r \text{ (m)} = 0.8$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.95$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 6.46$$

En la Figura-10 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-11 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 1 \text{ m}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-12, mientras en la Figura-13 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

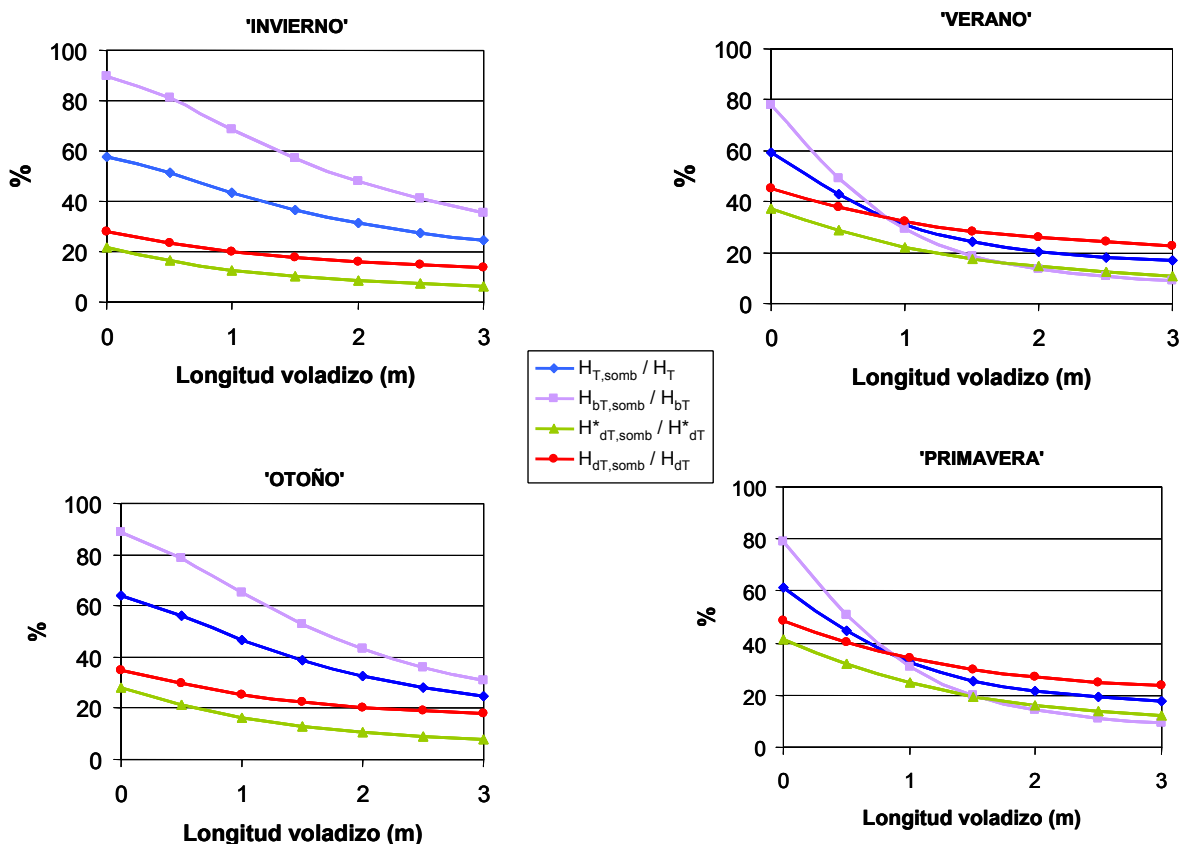


Figura-10: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana SO lado S inferior: Rincón Hilde.

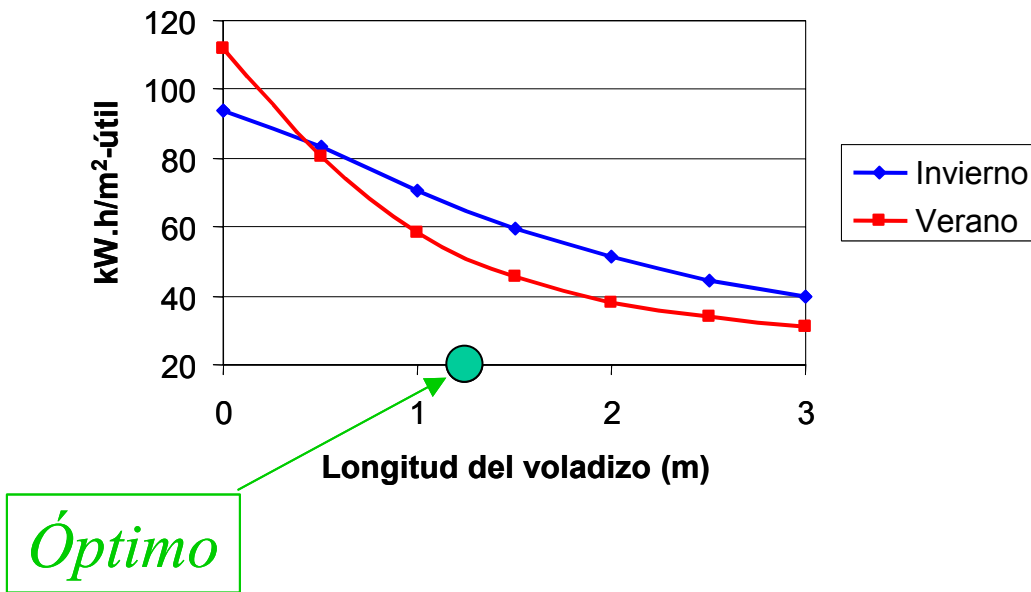


Figura-11: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana SO lado S inferior: Rincón Hilde.

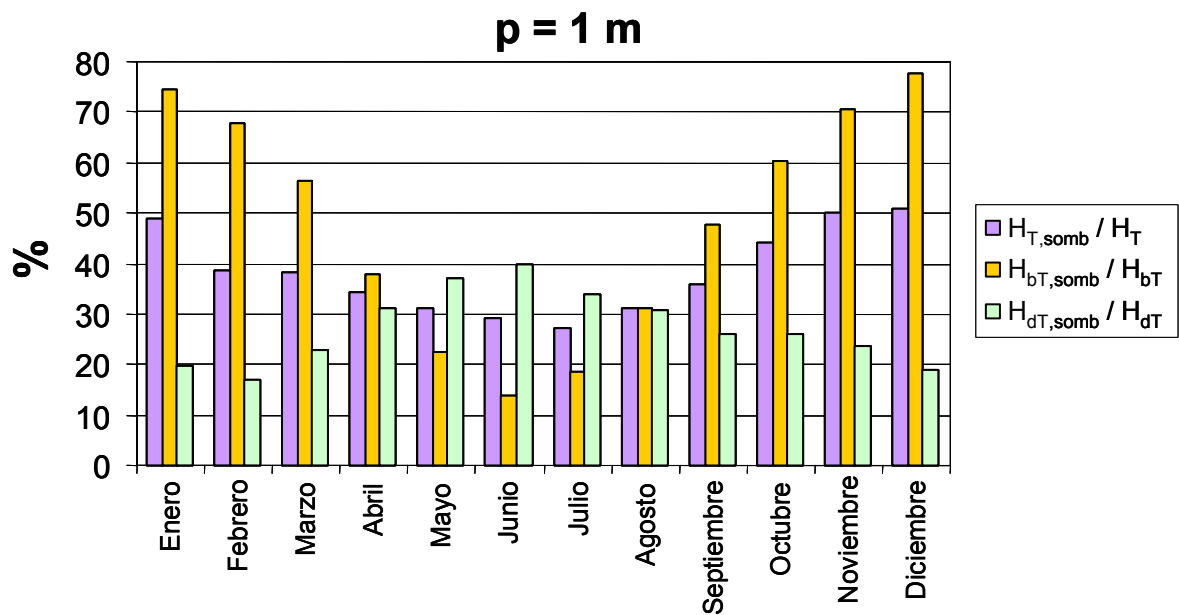


Figura-12: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana SO lado S inferior: Rincón Hilde).

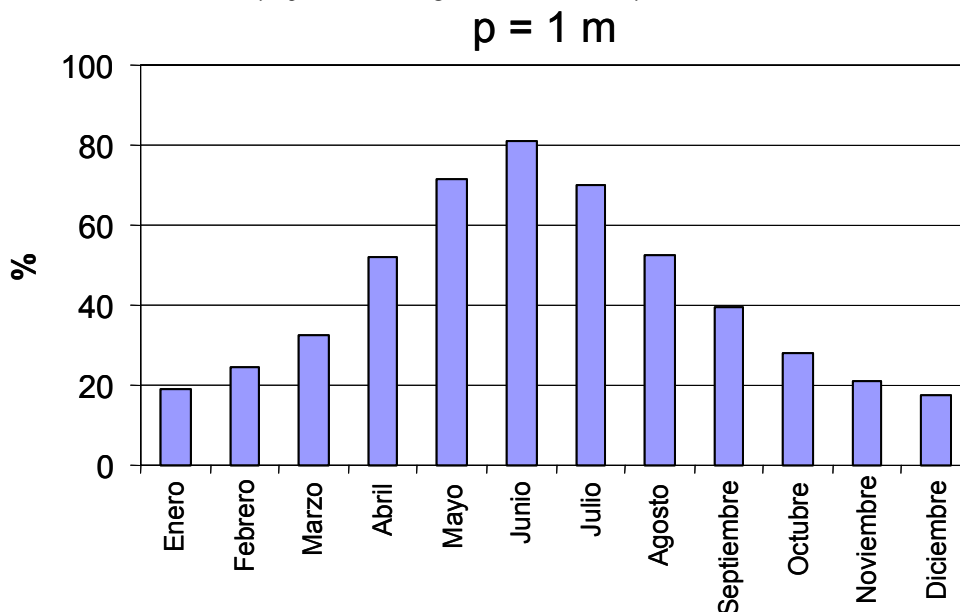


Figura-13: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana SO lado S inferior: Rincón Hilde).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 125 \text{ cm}$. Un voladizo de 100 cm también sería adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (apropiado sólo para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos está localizada principalmente en invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 200 cm según tamaño de los captadores.

El elevado aporte energético por unidad de superficie útil indicado en la Figura-11 es debido a la pequeña superficie útil de esta estancia ($6,46 \text{ m}^2$), que realmente está térmicamente comunicada con el salón.

Lo que sí que se aprecia en esta orientación es una reducción de la ganancia solar en invierno y un incremento de la ganancia solar en verano. En efecto, sobre las fachadas SE y SO, la radiación incidente sin protecciones solares, respecto a la de la fachada sur, tal y como se mostró en Referencia [2] es un 130 % en Junio-Julio y un 75 % en Enero-Diciembre. De hecho, en la Figura-11 vemos cómo ahora, en ausencia de voladizo, el aporte energético en verano es superior al de invierno, lo cual no sucedía en los huecos orientados al sur.

Para el voladizo seleccionado de 100 cm (límite inferior que permite tener continuidad con fachada sur), en la Figura-13 podemos ver cómo el porcentaje de radiación directa que entra en esta apertura es considerablemente superior al de la apertura en fachada sur, no llegándose ahora a anular el aporte solar directo durante ningún mes del año, mientras que en la orientación sur con 100 cm de voladizo se anulaba prácticamente del todo el aporte directo en los meses de mayo, junio, julio y agosto.

3.d. Ventana fachada suroeste: Habitación invitados

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.3$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.4$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.95$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 16.37$$

En la Figura-14 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-15 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 1 \text{ m}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-16, mientras en la Figura-17 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

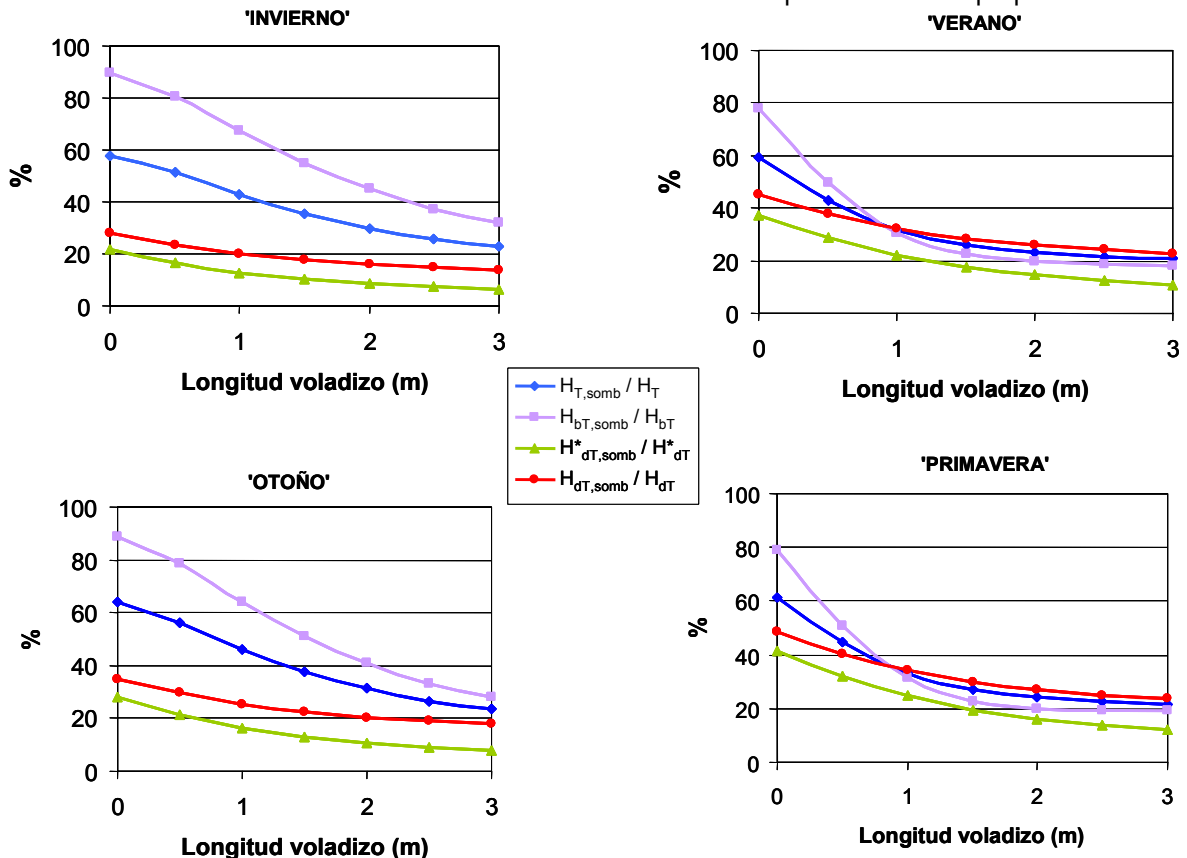


Figura-14: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana SO lado W inferior: Habitación invitados.

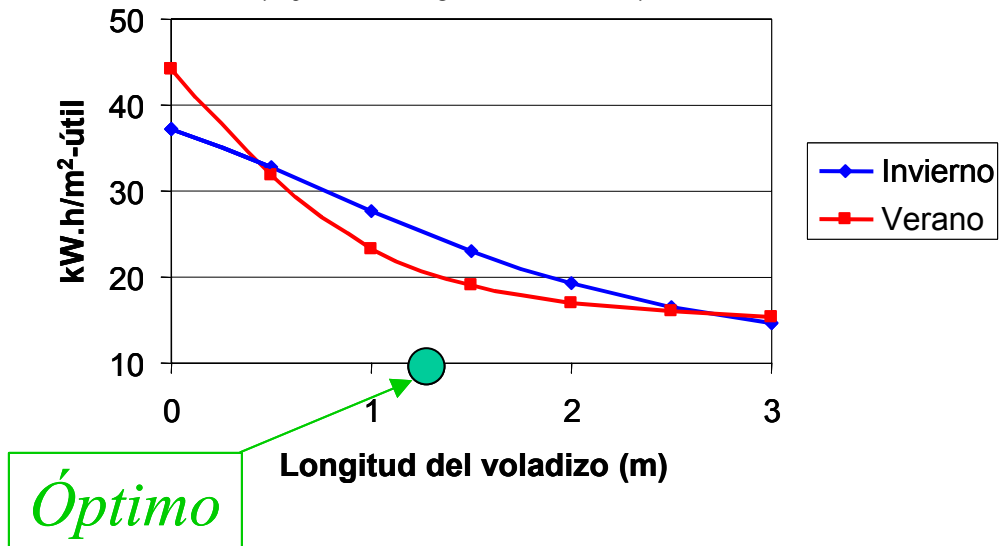


Figura-15: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana SO lado W inferior: Habitación invitados.

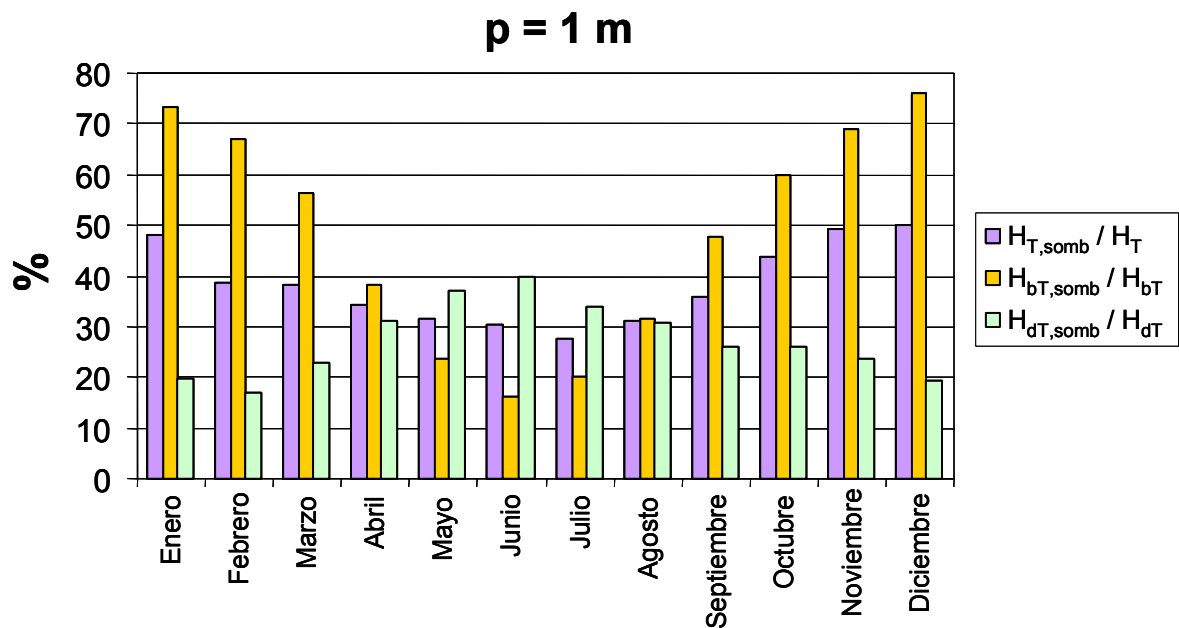


Figura-16: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana SO lado W inferior: Habitación invitados).

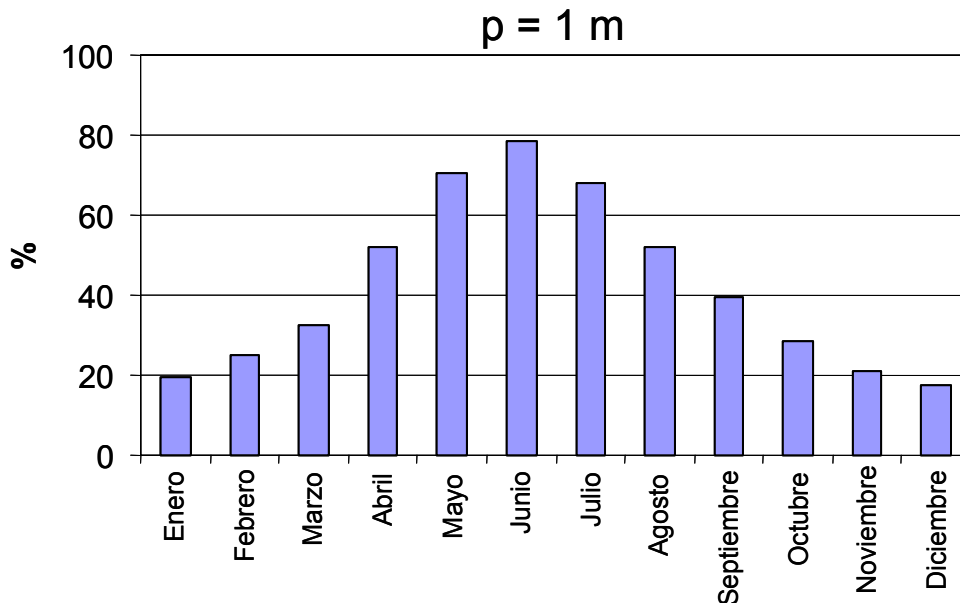


Figura-17: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana SO lado W inferior: Habitación invitados).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 125 \text{ cm}$. Un voladizo de 100 cm también sería adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (apropiado sólo para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos está localizada principalmente en invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 200 cm según tamaño de los captadores.

La tendencia de las actuaciones de este voladizo es parecida a las del caso anterior, pero ahora la atenuación de la radiación es mayor, sobretodo al ir aumentando el tamaño del voladizo, por tener la región sur más cubierta (la ventana está más alejada del sur).

El menor aporte energético (Figura-15) que en el caso anterior es fundamentalmente debido a la mayor superficie útil.

Es de notar cómo ahora, para voladizos muy pequeños o muy grandes el aporte energético en 'verano' (efecto negativo) sobrepasa al aporte energético en 'invierno' (efecto positivo).

3.e. Ventana-puerta fachada sureste: Comedor

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 2$$

$$w \text{ (m)} = 3.11$$

$$g \text{ (m)} = 0.5$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.99$$

$$e_r \text{ (m)} = 1.7$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 6.22$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.67$$

En la Figura-18 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-19 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, y teniendo en cuenta que en esta fachada es donde se quiere emplazar un porche que dé servicio de estancia exterior, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 2 \text{ m}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-20, mientras en la Figura-21 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

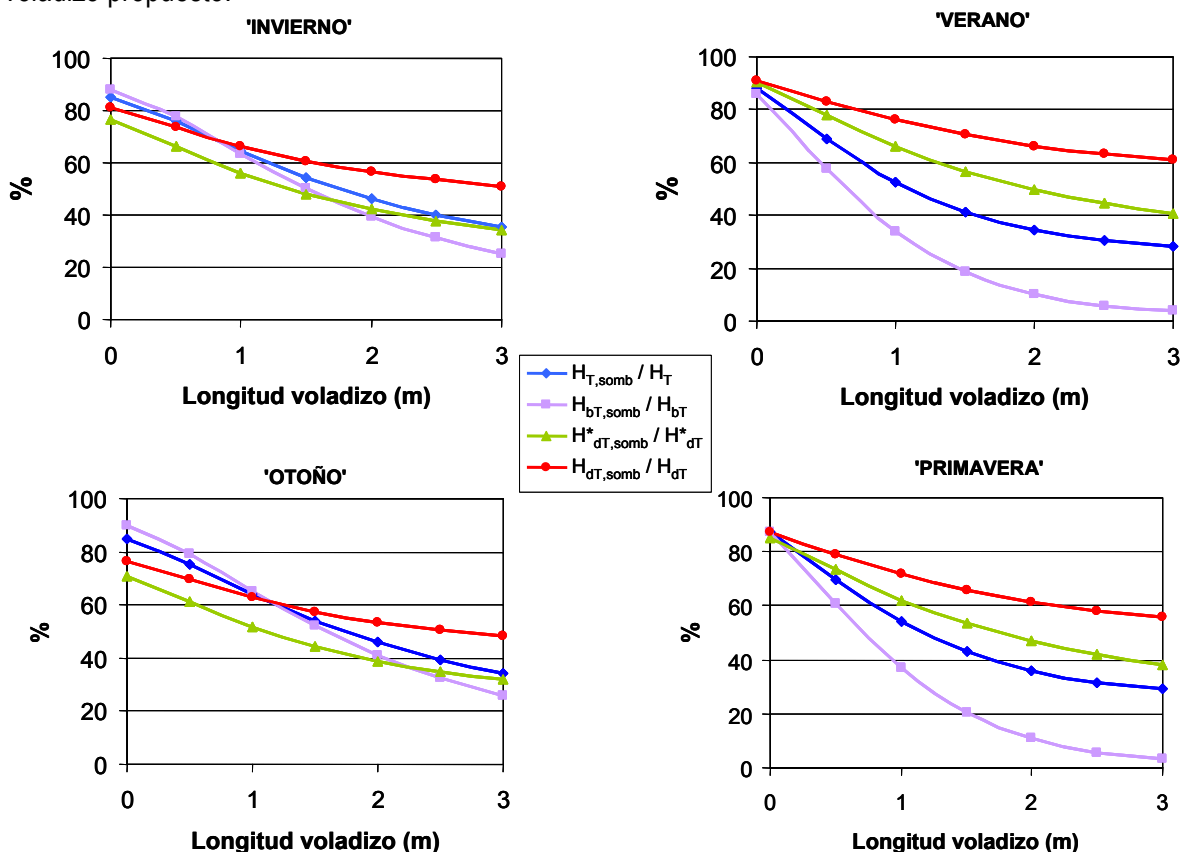


Figura-18: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana SE inferior: Comedor.

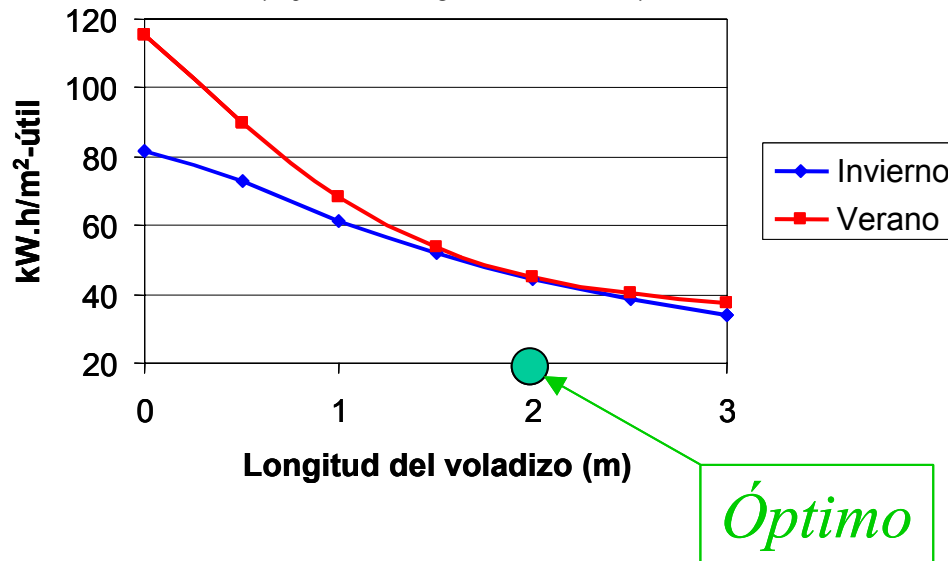


Figura-19: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana SE inferior: Comedor.

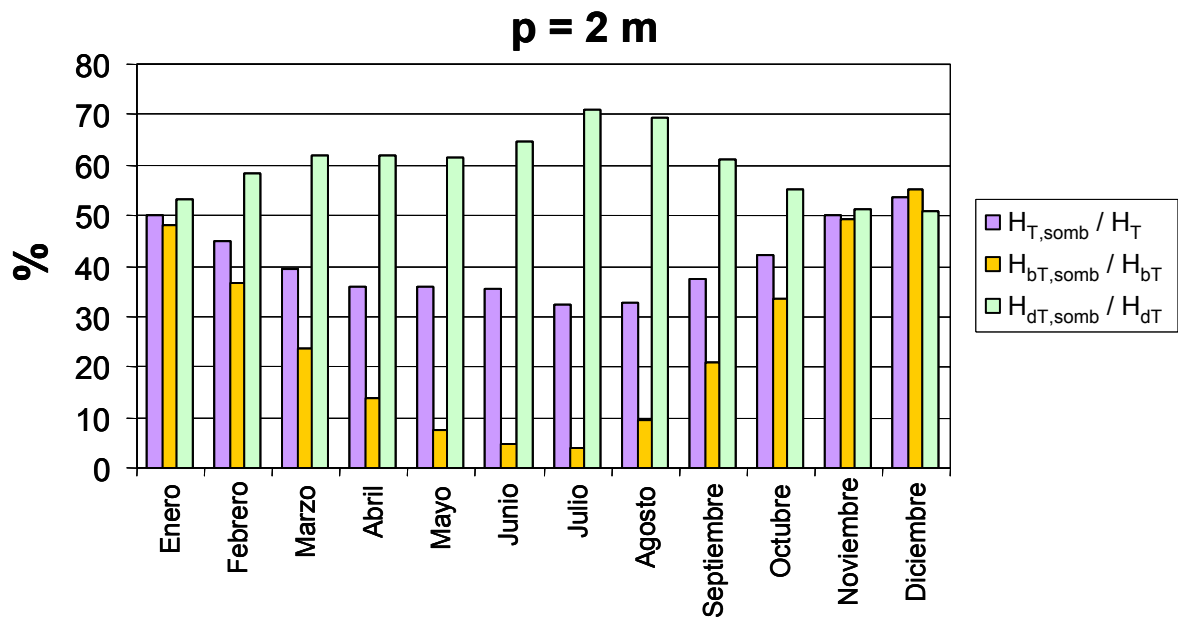


Figura-20: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana SE inferior: Comedor).

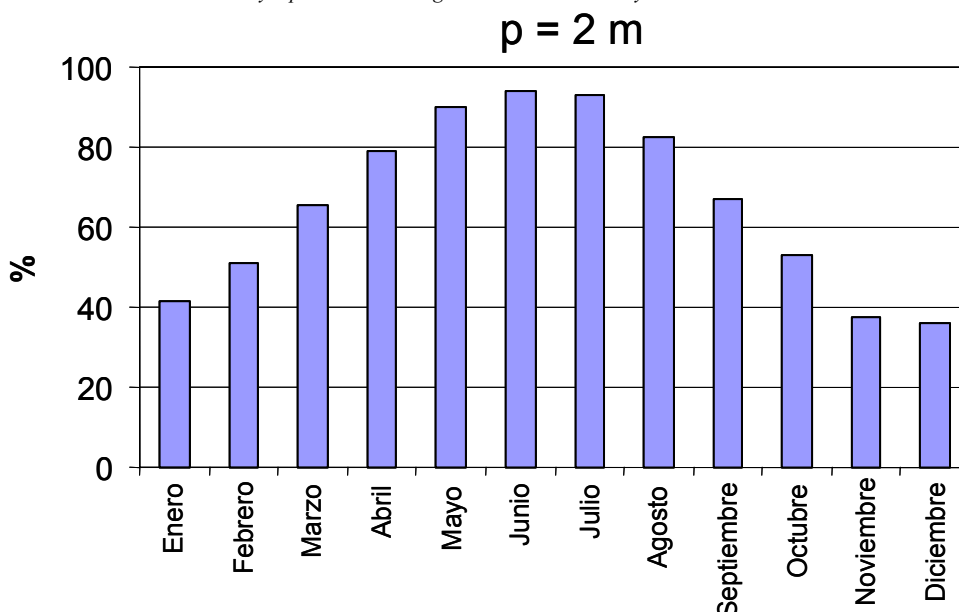


Figura-21: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana SE inferior: Comedor).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 200 \text{ cm}$. Desde el punto de vista de acomodar un porche útil como estancia exterior se podrían emplear longitudes de porche de $p = 200 - 300 \text{ cm}$, si bien para éste último ya se reducen sensiblemente las ganancias solares en 'invierno'. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (apropiado sólo para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos está localizada principalmente en invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango $200 - 300 \text{ cm}$ según tamaño de los captadores y superficie a instalar.

El hecho de que esta fachada sea la que tiene una apertura de mayor tamaño hace que desde un punto de vista energético también sea esta la fachada más adecuada para instalar el porche. A ello se une la orientación de la parcela y distribución interna de la vivienda que también confluyen que esta fachada sea la mejor ubicada para instalar el porche. Por tanto, vemos cómo el colocar el porche en esta fachada se justifica no sólo por razones funcionales (comedor exterior cerca de cocina) y de orientación (buenas vistas), sino también por razones energéticas: Con mayor voladizo, a través de los huecos de esta fachada hay un aporte energético solar superior al de la orientación SO, por la mayor superficie de ventanas y por ser estas más altas. Como podemos ver en la Figura-19, la longitud óptima seleccionada (200 cm) lo es principalmente desde el punto de vista de las ganancias solares en 'verano'. En efecto, mayores longitudes de porche tienen ya poco efecto sobre la reducción de la captación solar en este periodo, mientras que menores longitudes de porche dejan pasar bastante más radiación solar en 'verano'. Sin embargo, desde el punto de vista de la captación energética en 'invierno', atendiendo a la derivada de la captación respecto al tamaño del porche, longitudes de $100 - 150 \text{ cm}$ parecerían más adecuadas.

Como porche (estancia útil) 200 cm parecen escasos. En efecto, si la orientación de la fachada fuera sur, esto llevaría a disponer de menos de 150 cm de suelo sombreado a mediodía del solsticio de verano, claramente insuficientes para disponer de una zona de comedor exterior sombreada. Sin embargo, la orientación SE del porche hace que a mediodía solar el voladizo efectivo sea mayor que el tamaño del porche. Por tanto, parece más conveniente completar las necesidades de sombreado adicionales con elementos estacionales tipo toldos y/o

vegetación caduca (condicionada a la disposición de colectores solares), que de cualquier forma habría que disponer para poder usar el porche como zona de comedor exterior a primeras horas de la mañana (desayuno) con el sol bajo en el horizonte.

Es de resaltar que el ventanal en esta fachada está más próximo al sur que al este, mientras que el voladizo sería más efectivo si el ventanal estuviera más desplazado hacia el este.

Respecto al caso anterior (huecos en fachada SO), las atenuaciones de la radiación solar son muy inferiores debido a la radiación incidente por la parte inferior del hueco.

Como podemos ver (Figura-19) el aporte energético por este hueco es muy superior a los anteriores, y además es el más desfavorable, pues el aporte en 'verano' es siempre mayor o igual que el aporte en 'invierno'. Para $p = 200$ cm se igualan los aportes energéticos en 'verano' e 'invierno'. Seguir prolongando el porche penalizaría más al 'invierno' de lo que beneficiaría al 'verano', por lo que parece apropiado proporcionar la protección adicional necesaria para verano mediante elementos estacionales. Esto es lo que nos conduce a elegir $p = 200$ cm, con lo cual el aporte energético en 'invierno' es todavía del orden del doble del que conseguíamos con el hueco de la fachada SO. Por tanto, el porche seleccionado no va a perjudicar a la luminosidad de esta estancia (comedor), con un aporte radiativo directo importante en invierno y muy pequeño en verano (Figura-21).

3. f. Ventana fachada sur piso superior: Habitación-2

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 0.8$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 1$$

$$e_r \text{ (m)} = 4$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 0.96$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 14.24$$

En la Figura-22 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-23 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 45$ cm, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-24, mientras en la Figura-25 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

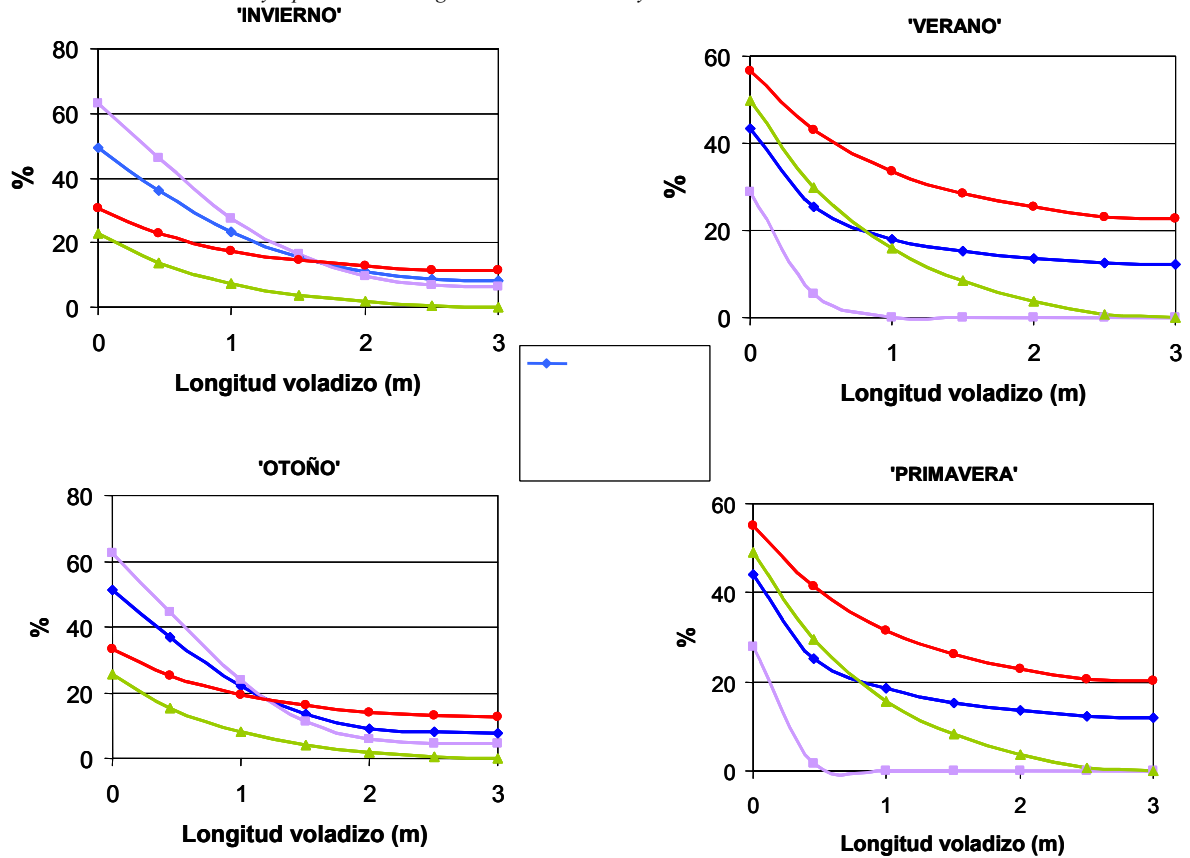


Figura-22: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana S superior: Habitación-2.

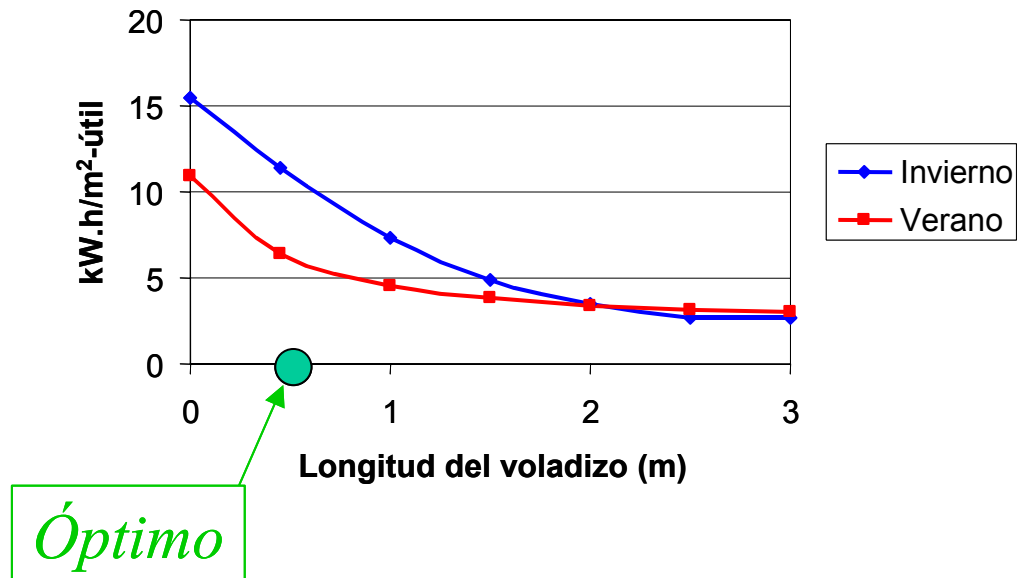


Figura-23: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana S superior: Habitación-2.

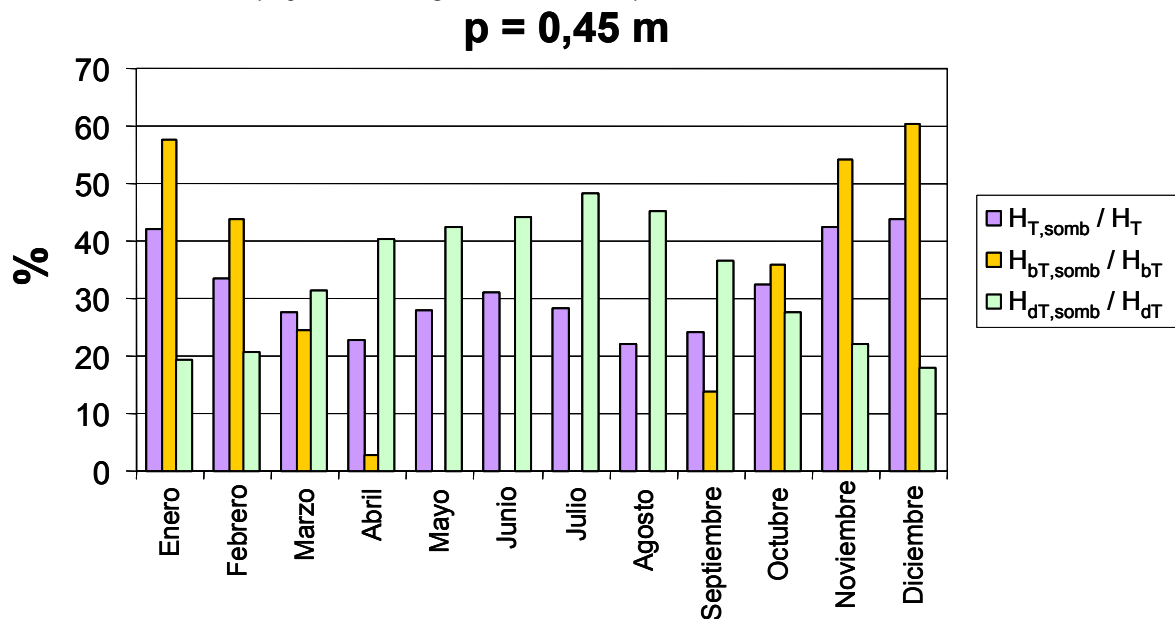


Figura-24: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana S superior: Habitación-2).

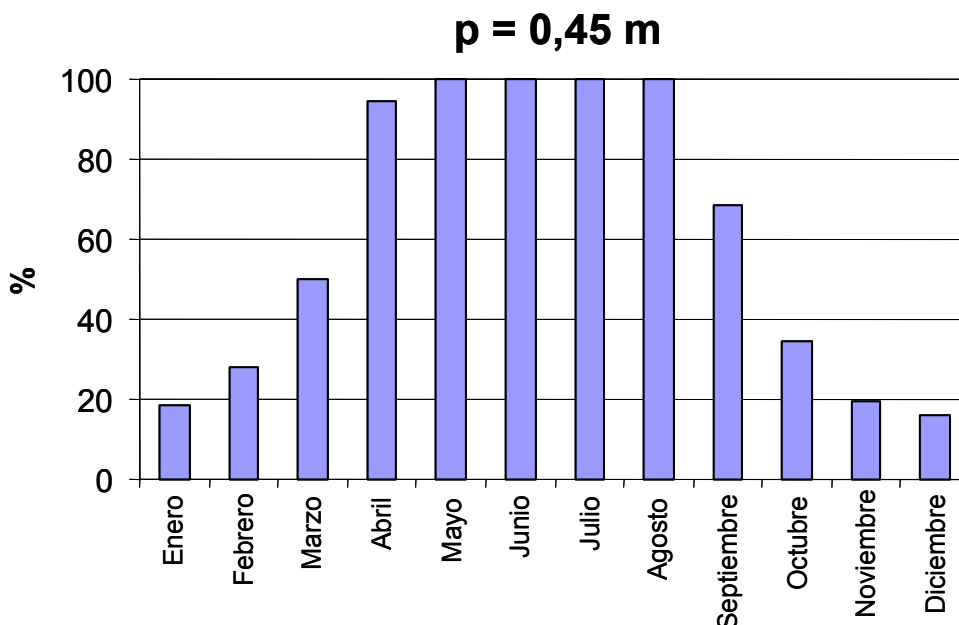


Figura-25: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana S superior: Habitación-2).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 50$ cm. Dada la escasa diferencia con el alero permitido por normativa, se puede emplear un voladizo de 45 cm con prácticamente las mismas actuaciones energéticas, y eliminando totalmente la radiación directa en verano como se ve en la Figura-25.

Es de resaltar (Figura-23) cómo en este caso la zona de pendientes decrecientes en la ganancia solar de invierno queda a la izquierda del gráfico (voladizos negativos).

Los aportes energéticos asociados a este hueco (Figura-23) son pequeños como consecuencia del pequeño tamaño de la ventana.

3. g. Ventana fachada sur piso superior: Biblioteca

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 3.5$$

$$e_r \text{ (m)} = 0.8$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.43$$

En la Figura-26 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-27 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. En base a estos resultados, elegimos un voladizo para esta apertura de $p = 45 \text{ cm}$, cuyas actuaciones mensuales presentamos en la Figura-28, mientras en la Figura-29 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto.

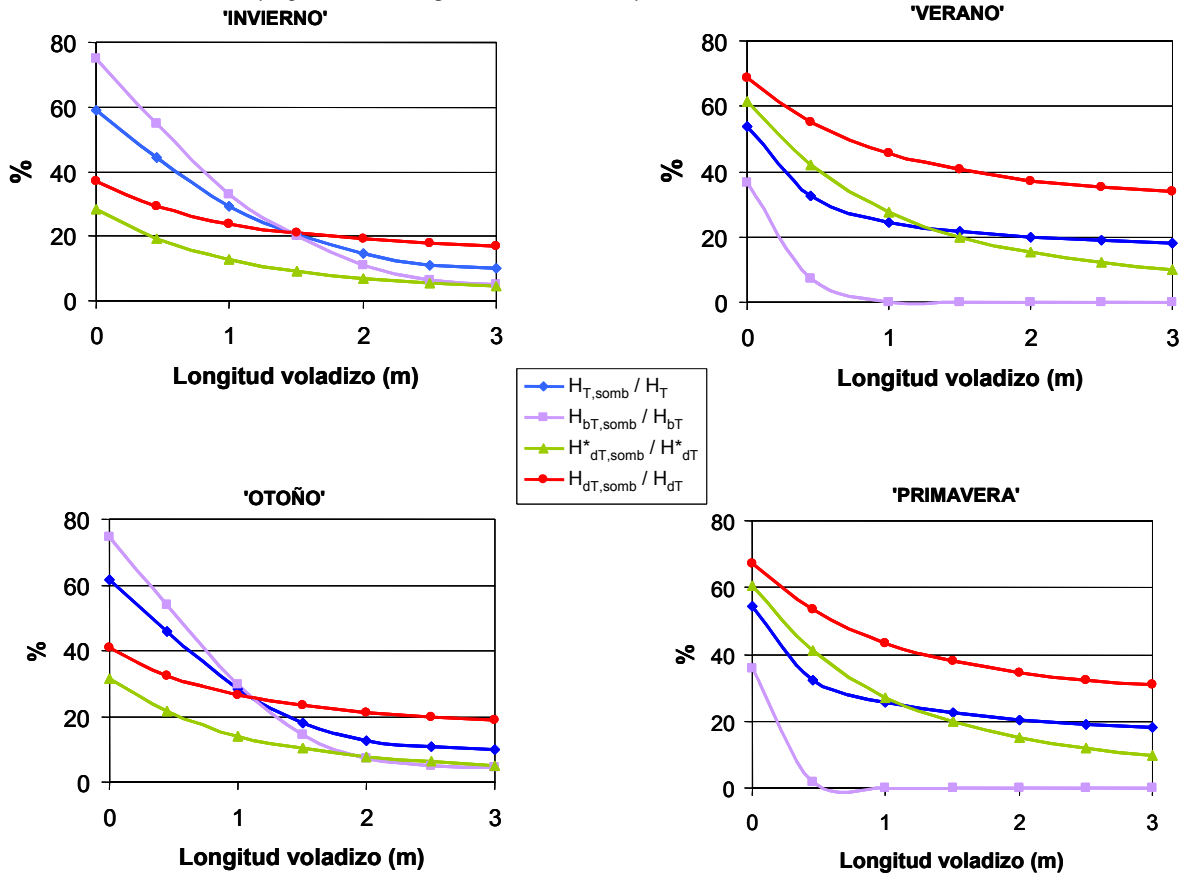


Figura-26: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana S superior: Biblioteca.

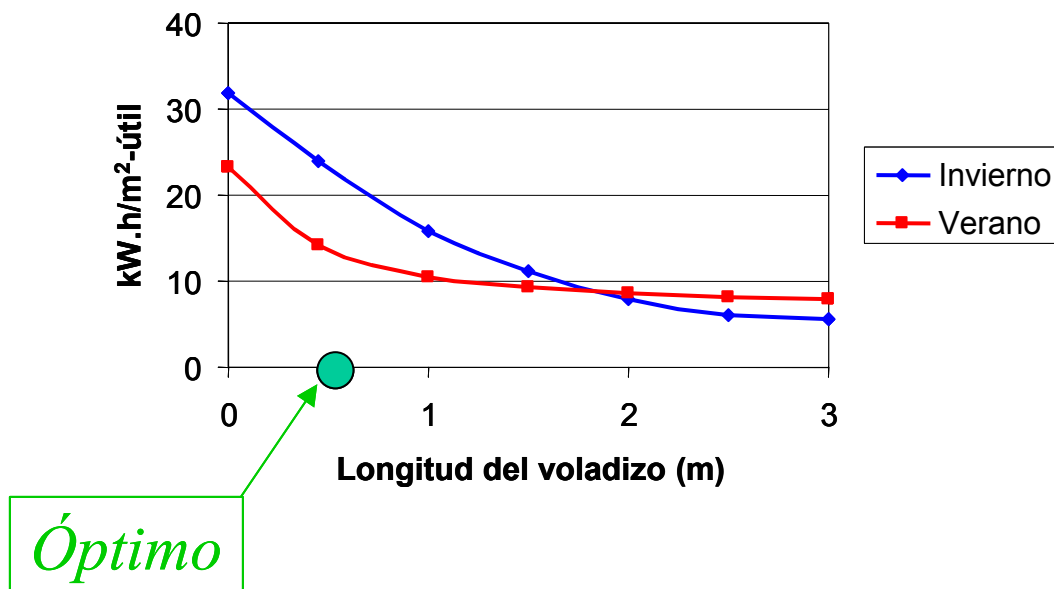


Figura-27: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana S superior: Biblioteca.

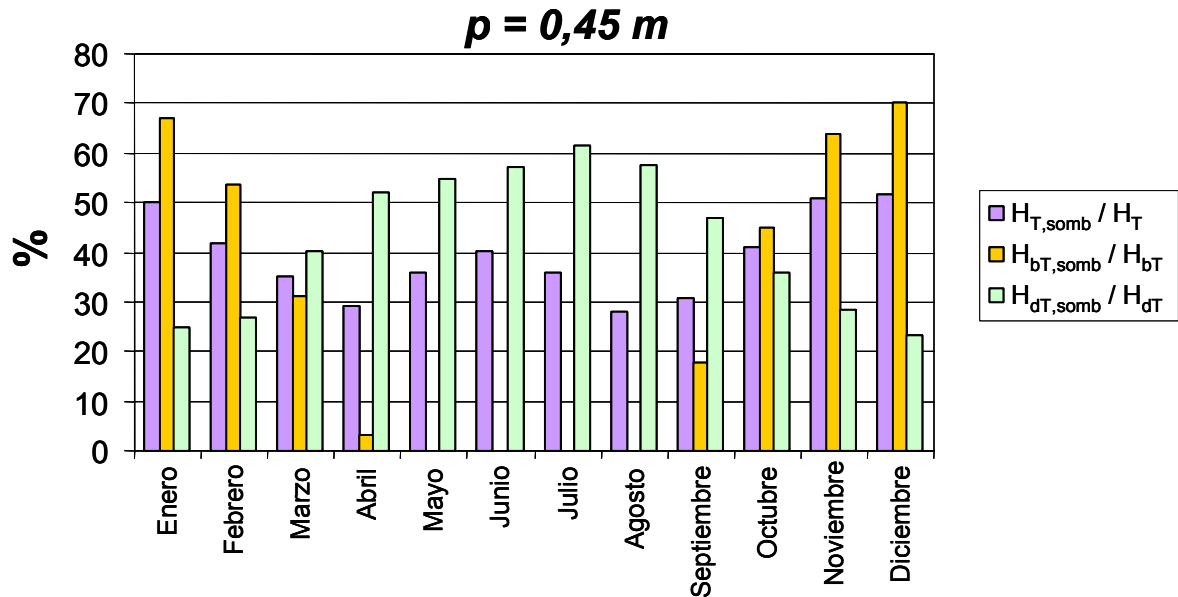


Figura-28: Actuaciones mensuales del voladizo elegido para esta apertura (Ventana S superior: Biblioteca).

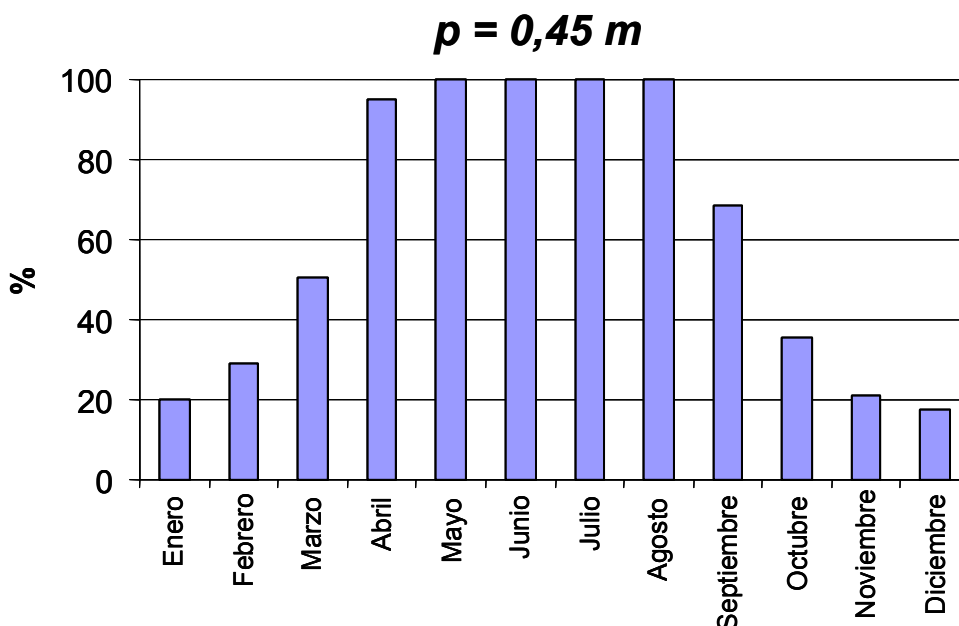


Figura-29: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo propuesto (Ventana S superior: Biblioteca).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 50 \text{ cm}$. Dada la escasa diferencia con el alero permitido por normativa, se puede emplear un voladizo de 45 cm con prácticamente las mismas actuaciones energéticas, y eliminando totalmente la radiación directa en verano como se ve en la Figura-29.

Es de resaltar (Figura-27) cómo en este caso la zona de pendientes decrecientes en la ganancia solar de invierno queda a la izquierda del gráfico (voladizos negativos).

Las tendencias observadas en esta ventana son muy parecidas a las de la otra ventana de la fachada sur superior analizada en el punto anterior (habitación-2) de menor tamaño, como era de

esperar. Hemos añadido las actuaciones de la ventana sur de la biblioteca para junto a las actuaciones de la ventana este de la biblioteca poder evaluar el aporte energético total a esta estancia.

Los mayores aportes energéticos obtenidos ahora (Figura-27) respecto al caso anterior son debidos fundamentalmente a la mayor área de apertura. Sin embargo podemos observar (Figura-28) cómo ahora obtenemos una menor atenuación de la radiación directa asociada a la menor prolongación lateral del voladizo (ventana más ancha).

3. h. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-1

En el proyecto básico disponible hasta la fecha, en el ala sureste se dispone una ventana larga con balcón. Dada la redistribución interior de estancias en el piso superior la ventana larga con balcón pasaría a estar en el ala suroeste, donde en el proyecto básico figuraba una ventana más corta. En este punto presentaremos las actuaciones tanto de una ventana larga con balcón como de una ventana corta situada en la fachada suroeste (habitación-1).

3.h. i. Ventana larga con balcón

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.8$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 2.7$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 16.37$$

En la Figura-30 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-31 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 45 cm permitido por la normativa cómo de un voladizo de 100 cm más próximo al óptimo. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 45$ cm se encuentran en la Figura-32, mientras que en la Figura-33 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 100 cm. En la Figura-34 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm, mientras que en la Figura-35 aparece esta información para el voladizo de 100 cm.

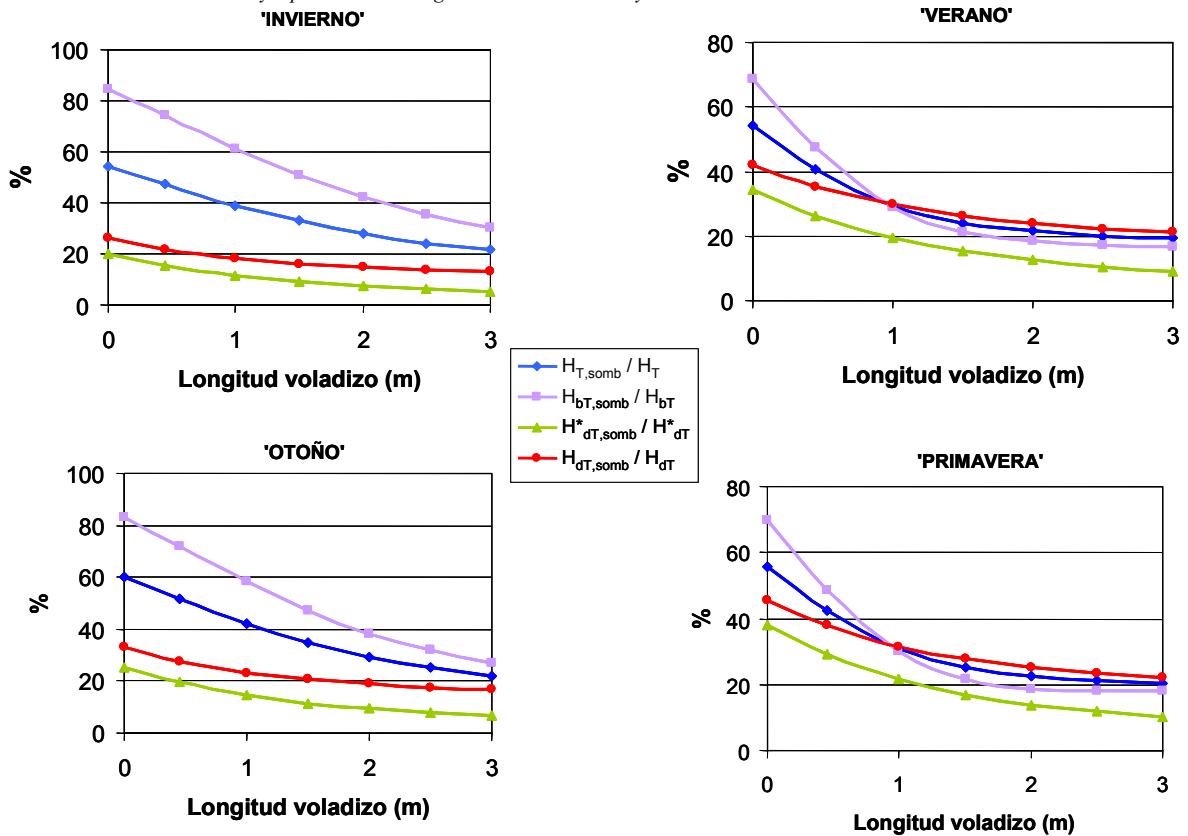


Figura-30: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1.

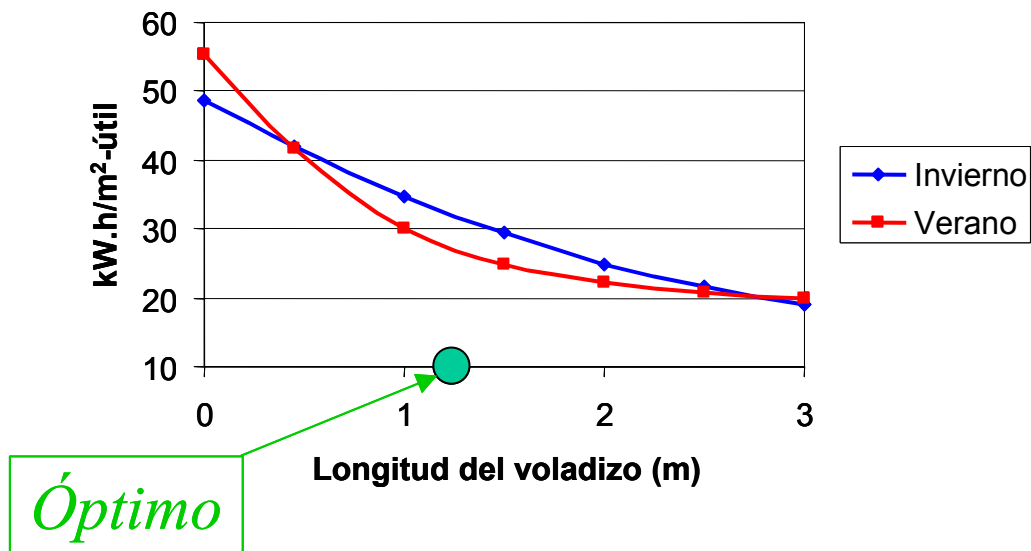


Figura-31: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1.

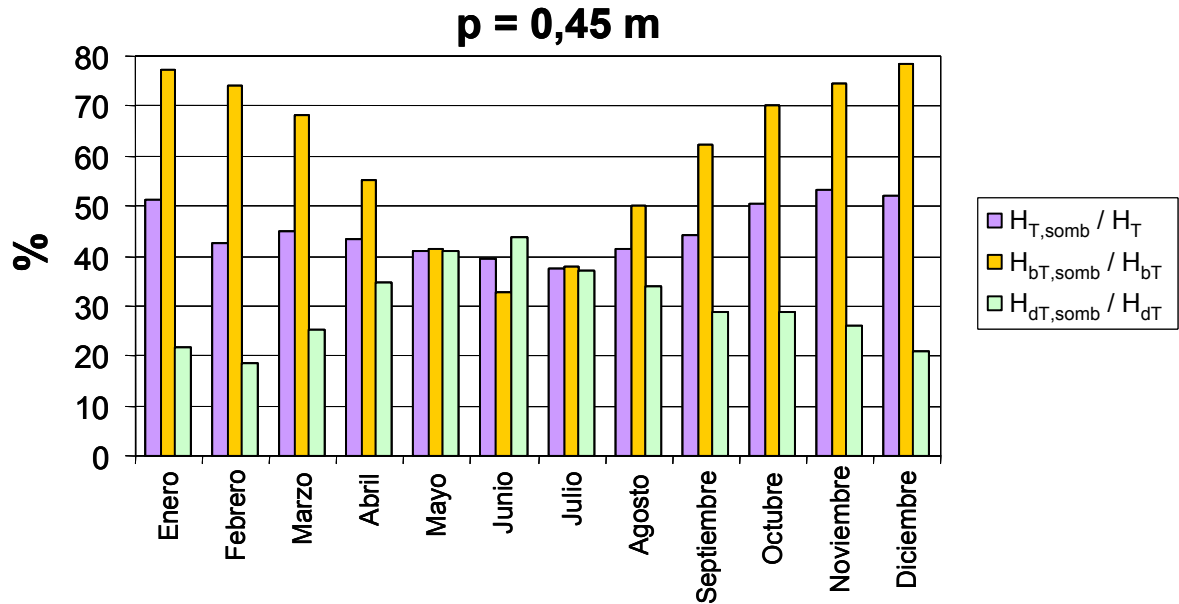


Figura-32: Actuaciones mensuales del voladizo de 45 cm para esta apertura (Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1).

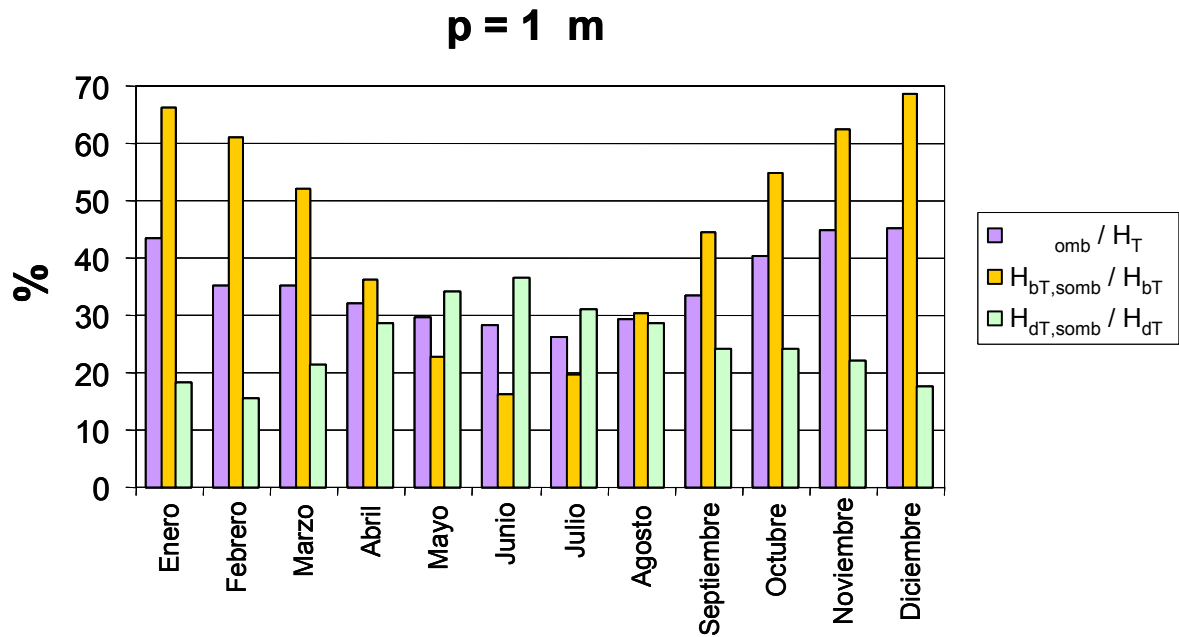


Figura-33: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1).

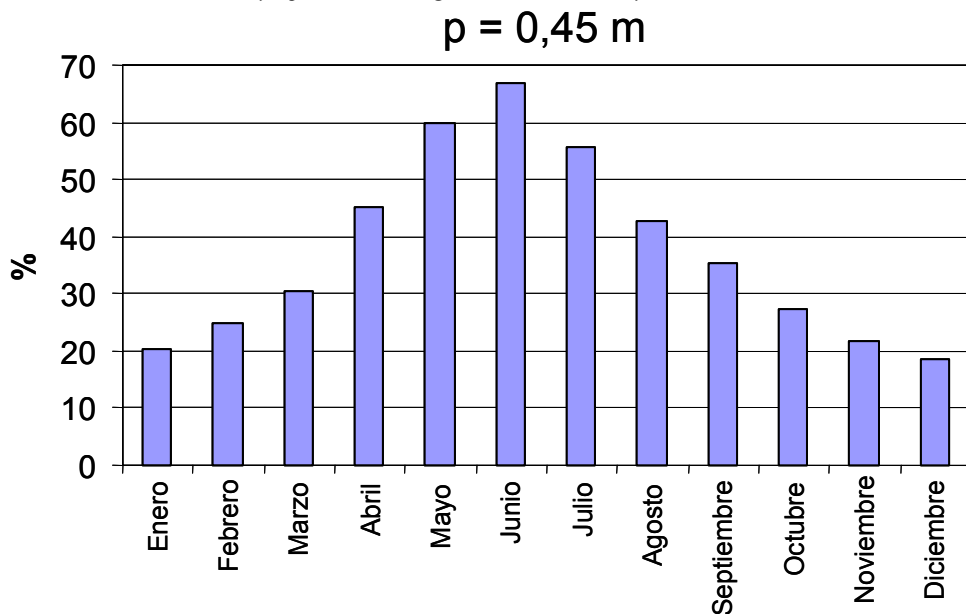


Figura-34: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm (Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1).

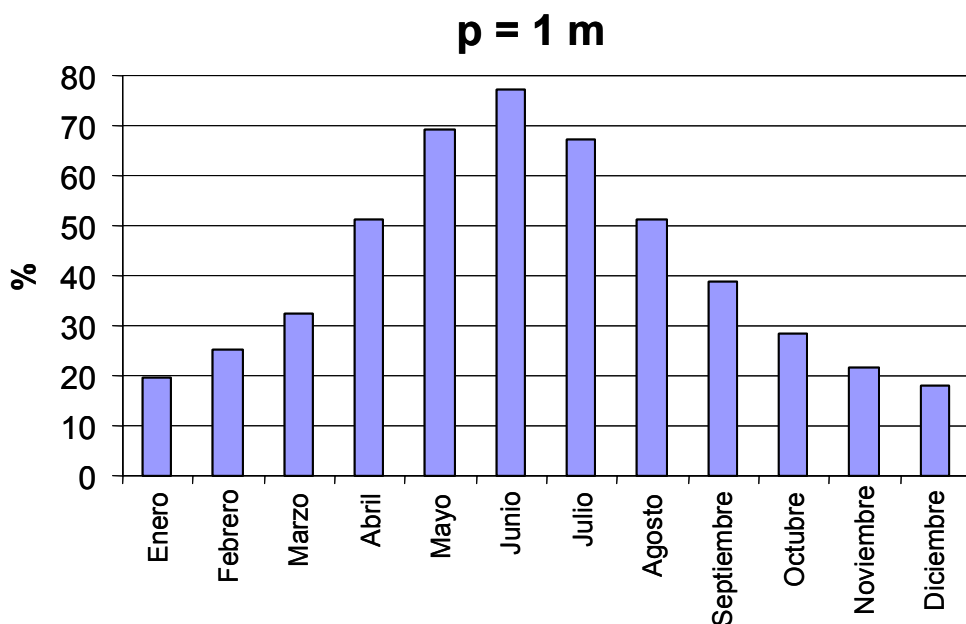


Figura-35: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana larga con balcón fachada suroeste superior: Habitación-1).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 120$ cm. Las diferencias de actuaciones con el alero permitido por normativa (45 cm) son considerables.

De querer implementar una ventana larga con balcón en la fachada suroeste, éste es el emplazamiento más adecuado, por tener una mayor protección efectiva por parte del alero.

Es de resaltar cómo para el alero permitido por la normativa (45 cm) las ganancias de verano e invierno se igualan, siendo en estas condiciones la ganancia solar de verano considerablemente superior a la obtenida con el alero óptimo (120 cm). Con alero de 45 cm la cantidad de radiación directa que entra por el hueco en los meses de verano es elevada. Por tanto, debemos concluir que con la limitación del alero en 45 cm no parece apropiado colocar un ventanal tan largo sin otras protecciones solares estacionales.

3.h. ii. Ventana corta

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 16.37$$

En la Figura-36 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-37 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 45 cm permitido por la normativa como de un voladizo de 100 cm. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 45$ cm se encuentran en la Figura-38, mientras que en la Figura-39 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 100 cm. En la Figura-40 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm, mientras que en la Figura-41 aparece esta información para el voladizo de 100 cm.

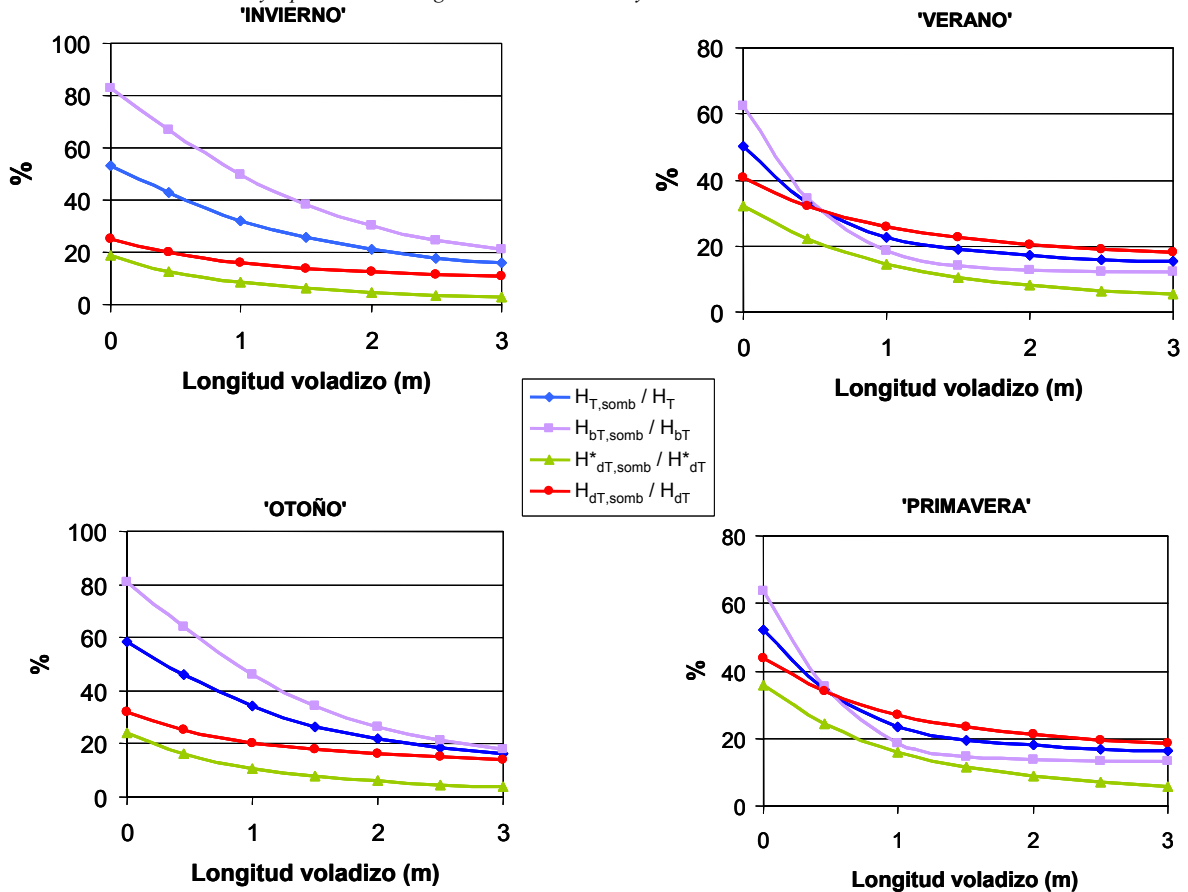


Figura-36: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1.

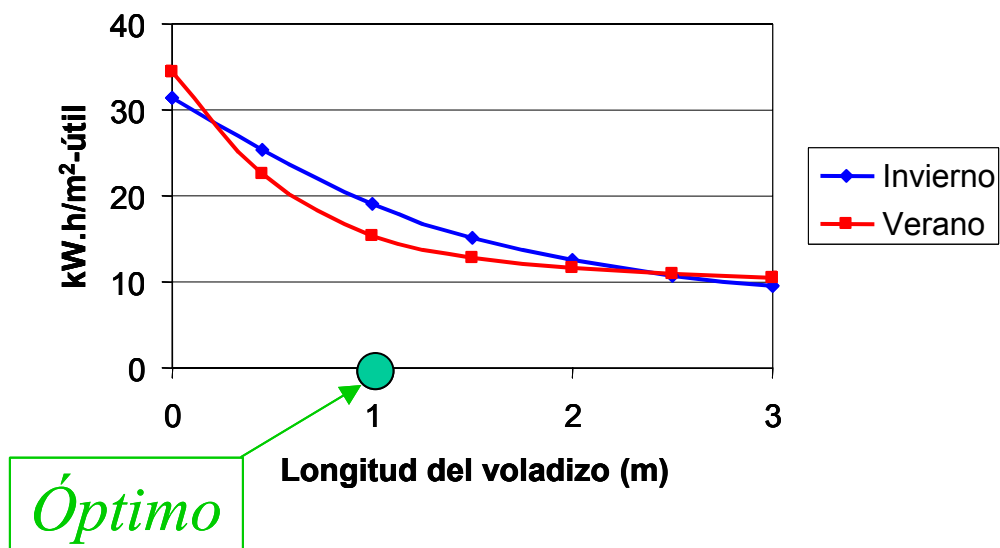


Figura-37: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1.

$p = 0,45 \text{ m}$

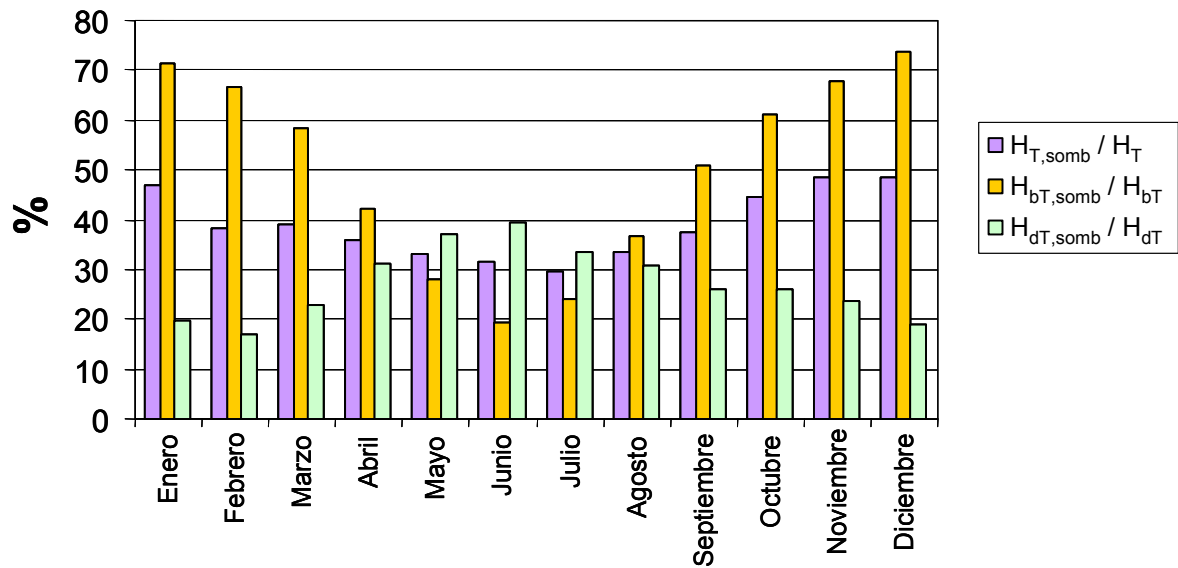


Figura-38: Actuaciones mensuales del voladizo de 45 cm para esta apertura (Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1).

$p = 1 \text{ m}$

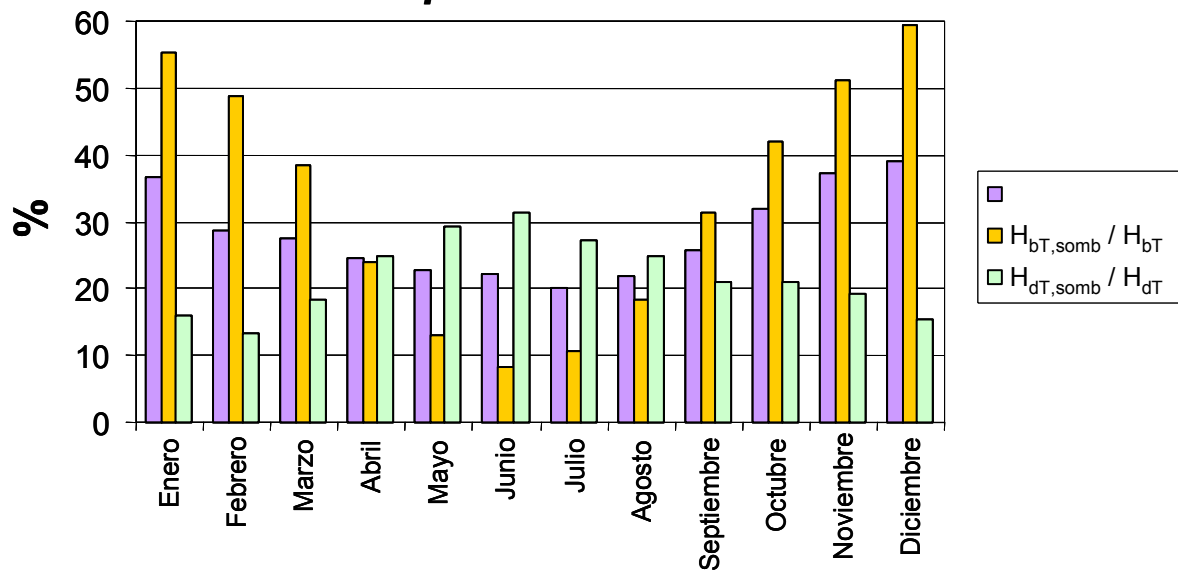


Figura-39: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1).

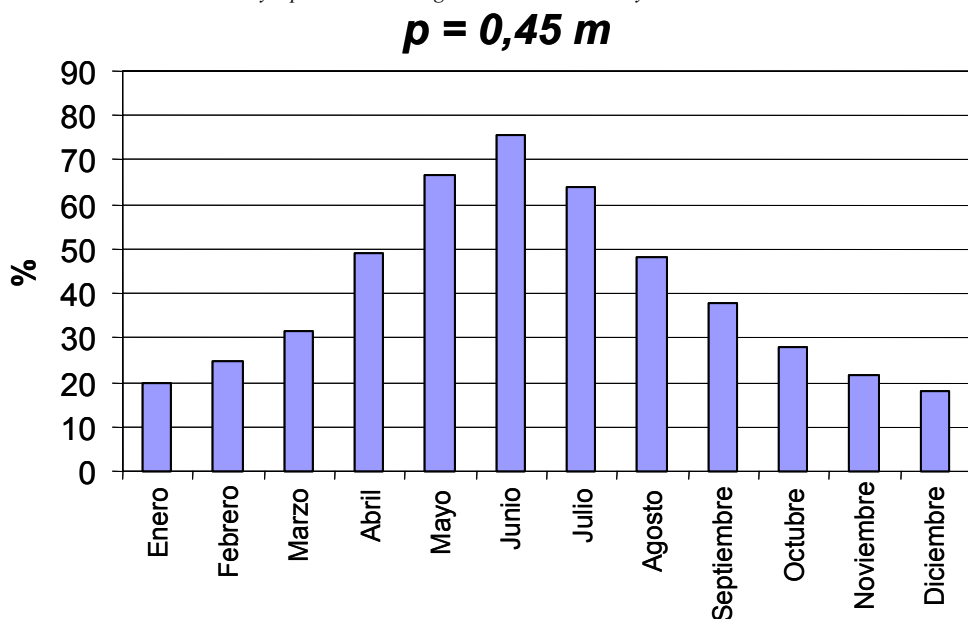


Figura-40: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm (Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1).

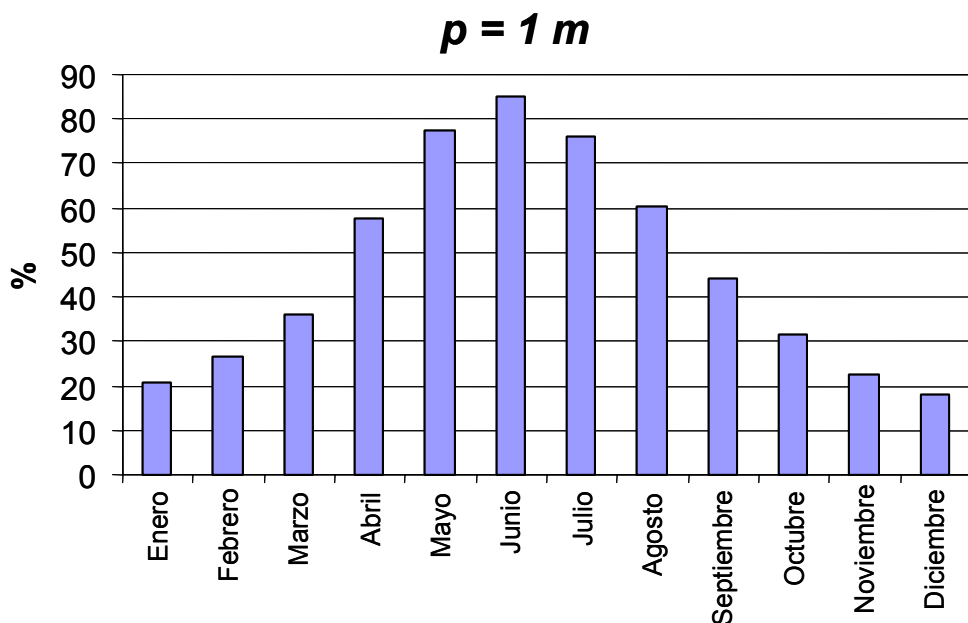


Figura-41: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana corta fachada suroeste superior: Habitación-1).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 100 \text{ cm}$. Las diferencias de actuaciones con el alero permitido por normativa (45 cm) siguen siendo considerables, pero son menores que en el caso anterior, no siendo ahora tan desfavorable la implementación del alero de 45 cm. Las ganancias en verano e invierno (Figura-37) son considerablemente inferiores a las del ventanal largo en esta misma ubicación (caso anterior), lo cual es ventajoso en verano pero perjudicial en invierno. La simulación dinámica de la vivienda es la que permitirá ver cual de los dos factores es el que pesa más en la balanza energética de la climatización de esta estancia.

Pero a la vista de las bajas ganancias invernales obtenidas en este caso, probablemente sea más favorable el alero de 45 cm para proporcionar una contribución significativa a la carga calefactora.

De cualquier forma presentamos las actuaciones mensuales para ambos casos (45 – 100 cm). Es de resaltar que con ninguno de estos voladizos se consigue eliminar la contribución radiativa directa en los meses de verano, si bien son significativamente inferiores a las del ventanal largo.

3. i. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 3.5$$

$$e_r \text{ (m)} = 0.8$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 14.24$$

En la Figura-42 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-43 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 45 cm permitido por la normativa como de un voladizo de 100 cm. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 45$ cm se encuentran en la Figura-44, mientras que en la Figura-45 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 100 cm. En la Figura-46 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm, mientras que en la Figura-47 aparece esta información para el voladizo de 100 cm.

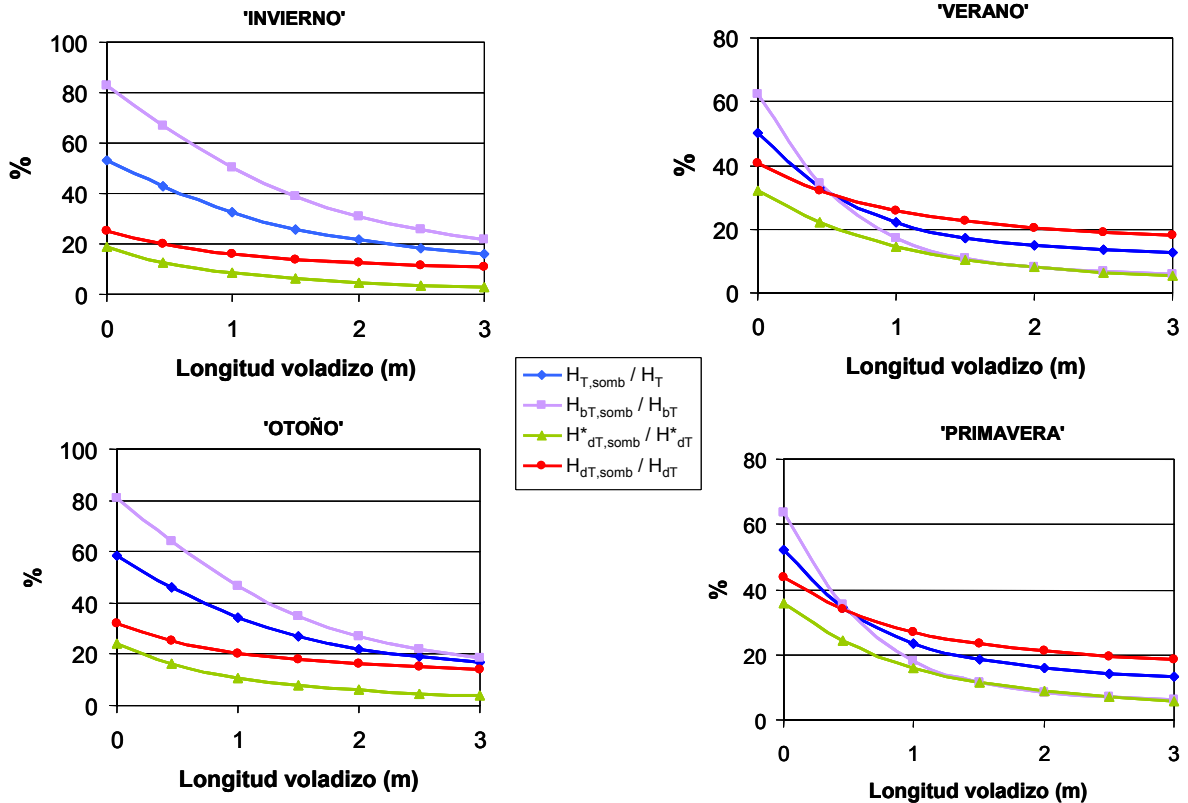


Figura-42: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2.

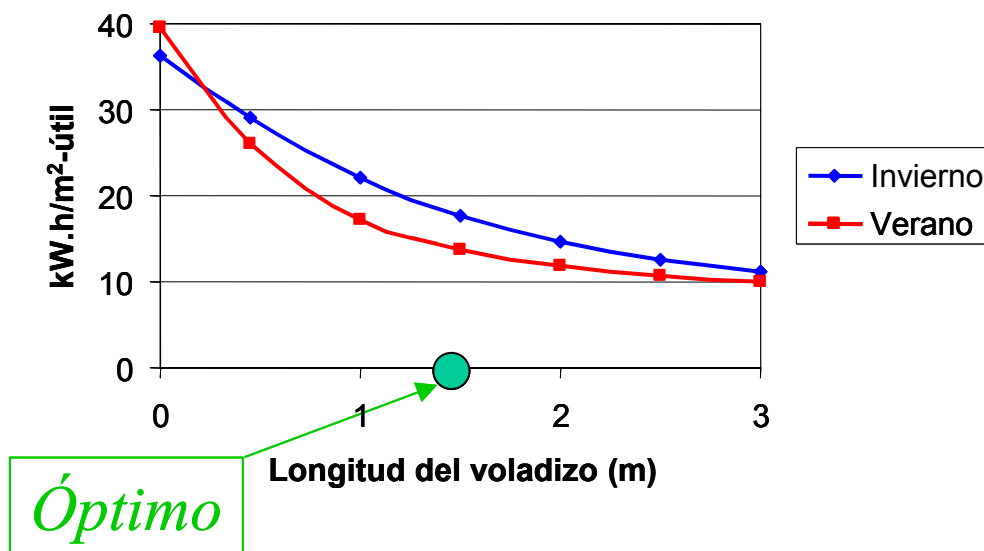


Figura-43: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2.

$p = 0,45 \text{ m}$

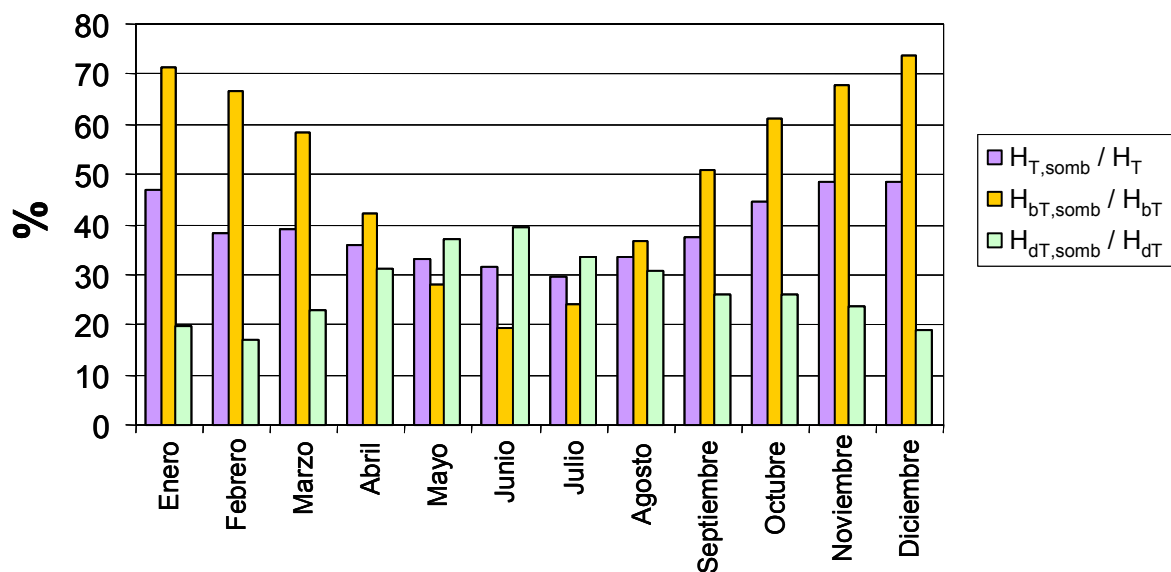


Figura-44: Actuaciones mensuales del voladizo de 45 cm para esta apertura (Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2).

$p = 1 \text{ m}$

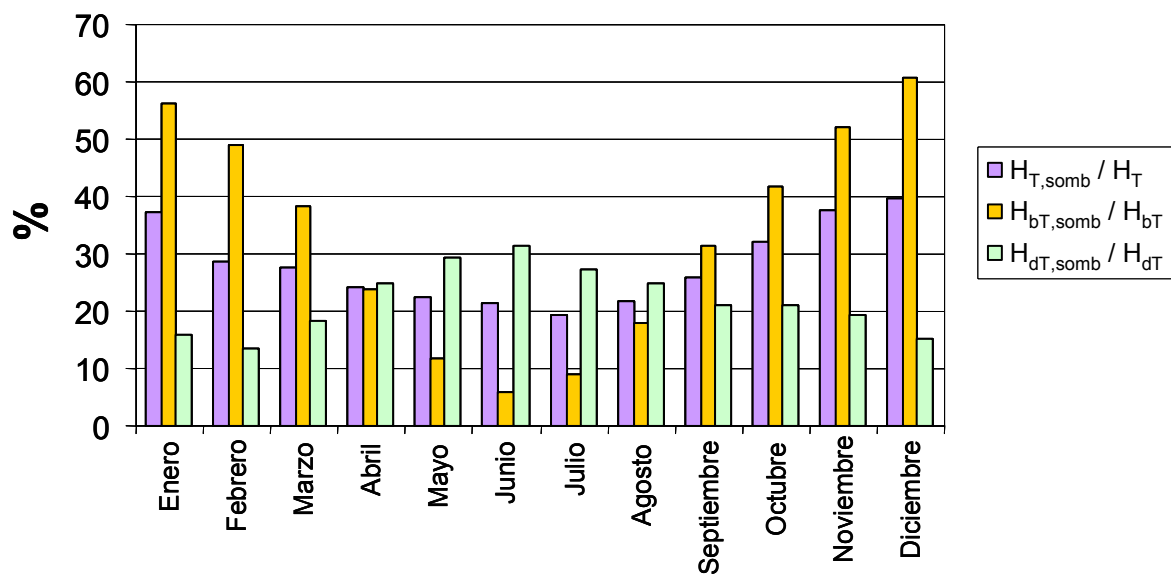


Figura-45: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2).

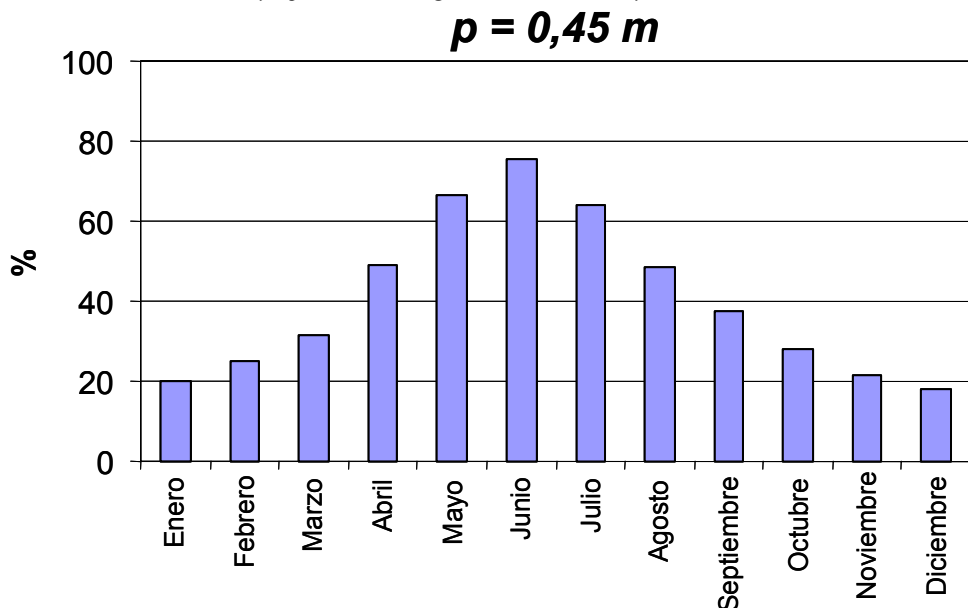


Figura-46: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm (Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2).

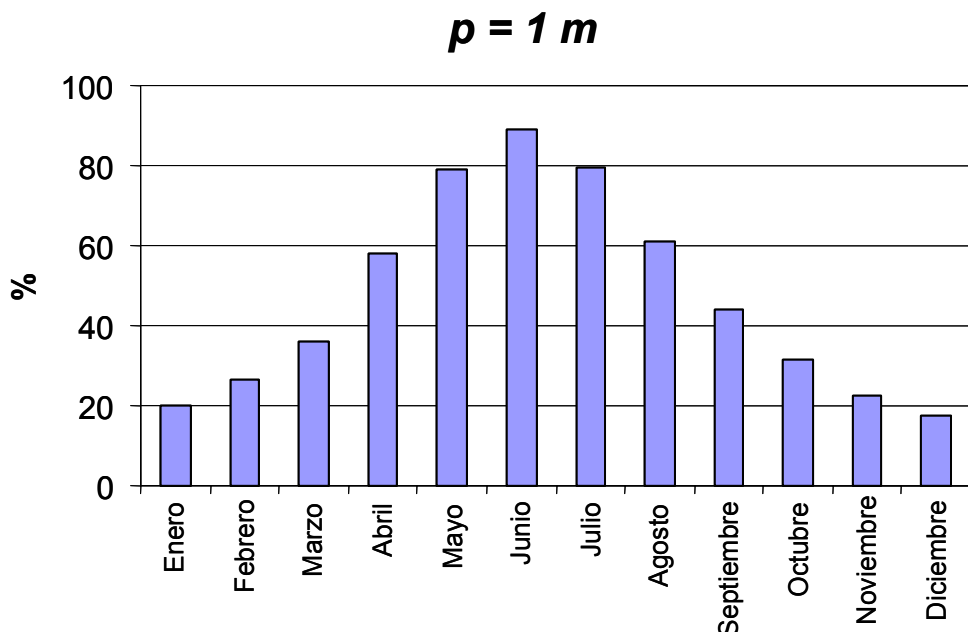


Figura-47: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana fachada suroeste superior: Habitación-2).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 125\text{-}150 \text{ cm}$, mayor que en la ventana SO de la habitación-1 que al estar ubicada más hacia el oeste queda más protegida por el voladizo. Las diferencias de actuaciones con el alero permitido por normativa (45 cm) son importantes. De cualquier forma presentamos las actuaciones mensuales para ambos casos (45 – 100 cm) por ser los voladizos adoptados en la otra ventana de esta orientación. Al pasar del voladizo de 100 cm al de 45 cm, el incremento en la ganancia energética de verano es más importante que el de la ganancia de invierno, si bien éste último sigue siendo superior al de verano.

Es de resaltar que con ninguno de estos voladizos se consigue eliminar la contribución radiativa directa en los meses de verano.

Teniendo en cuenta las 2 ventanas de la habitación-2, las ganancias energéticas máximas (asumiendo $(\tau\alpha) = 1$) para los aleros de 45 cm y 100 cm serían las mostradas en la siguiente tabla:

Longitud voladizo (cm)	Temporada	Ventana SO kW.h/m ²	Ventana S kW.h/m ²	Total kW.h/m ²
45	Invierno	29,1	11,4	40,5
	Verano	26,0	6,4	32,4
100	Invierno	22,2	7,3	29,5
	Verano	17,3	4,5	21,8

Como podemos ver, es esta estancia, tanto en verano como en invierno domina el aporte energético por la ventana SO (de mayor área).

3. j. Ventana fachada sureste superior: Biblioteca

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 0.8$$

$$e_r \text{ (m)} = 3.5$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.43$$

En la Figura-48 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-49 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 45 cm permitido por la normativa como de un voladizo de 100 cm. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 45$ cm se encuentran en la Figura-50, mientras que en la Figura-51 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 100 cm. En la Figura-52 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm, mientras que en la Figura-53 aparece esta información para el voladizo de 100 cm.

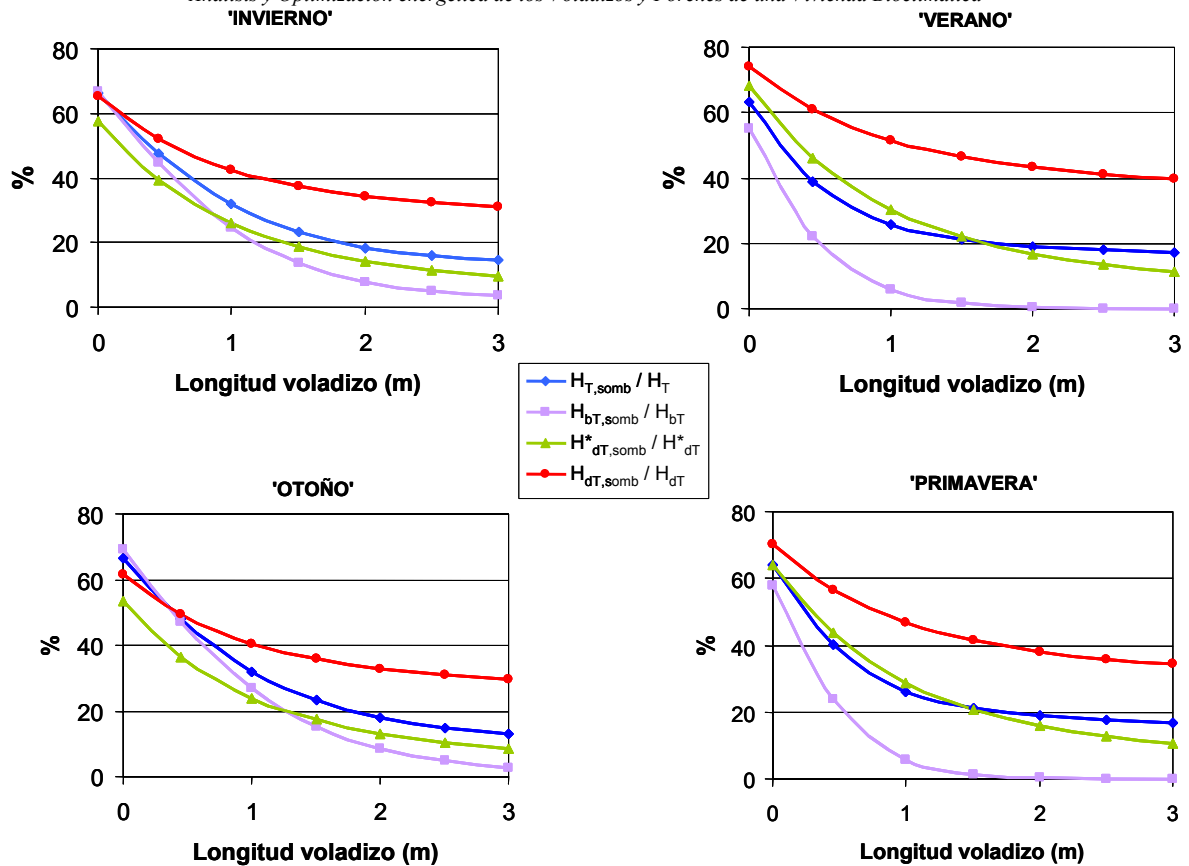


Figura-48: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada sureste superior: Biblioteca.

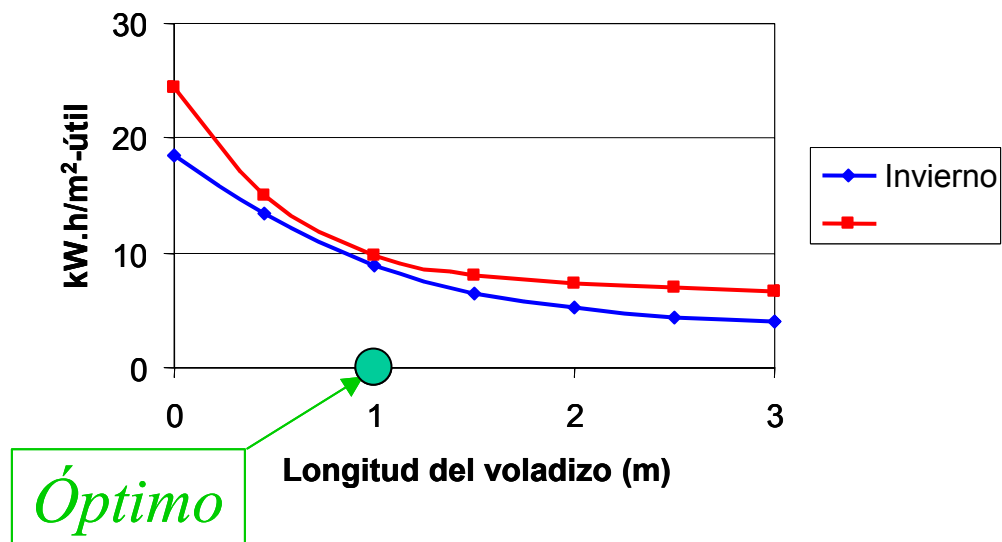


Figura-49: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana fachada sureste superior: Biblioteca.

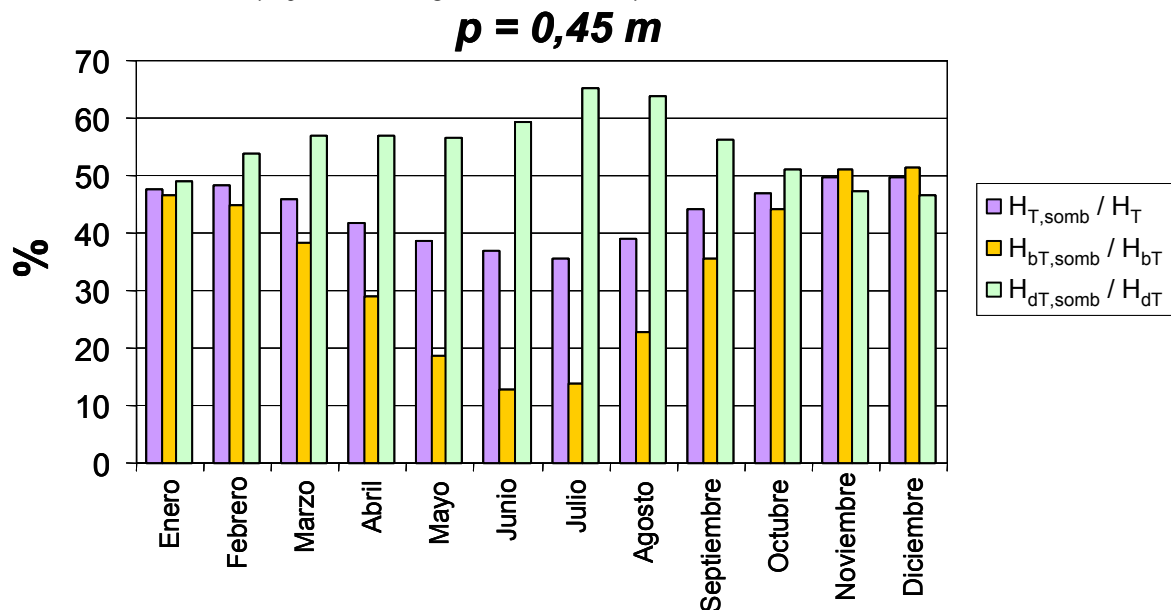


Figura-50: Actuaciones mensuales del voladizo de 45 cm para esta apertura (Ventana fachada sureste superior: Biblioteca).

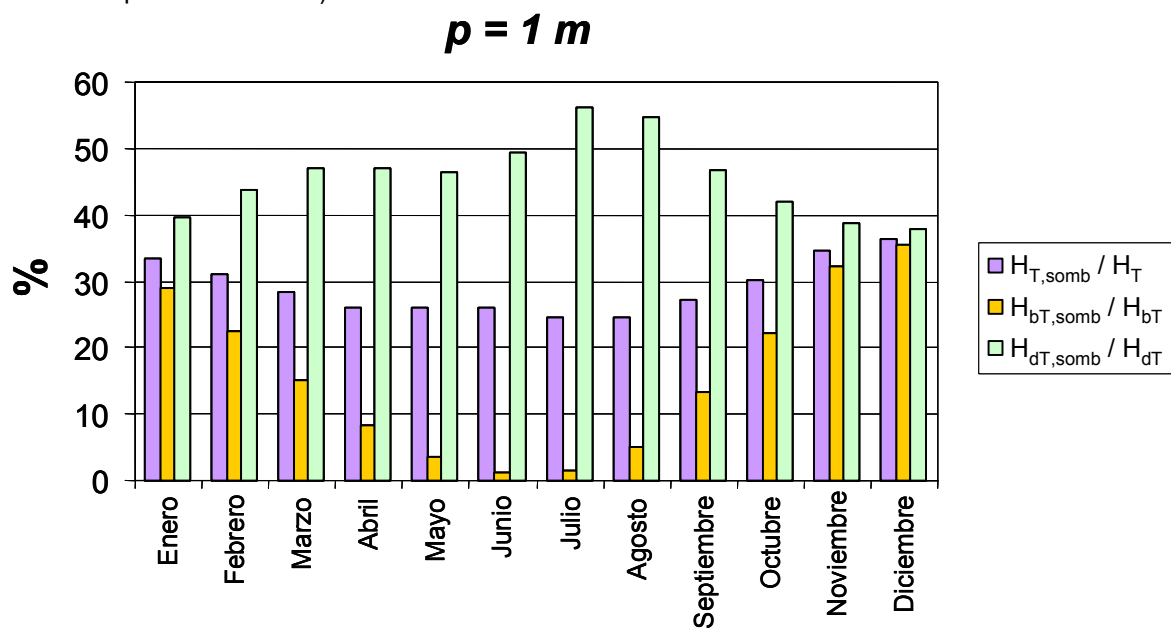


Figura-51: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana fachada sureste superior: Biblioteca).

$p = 0,45 \text{ m}$

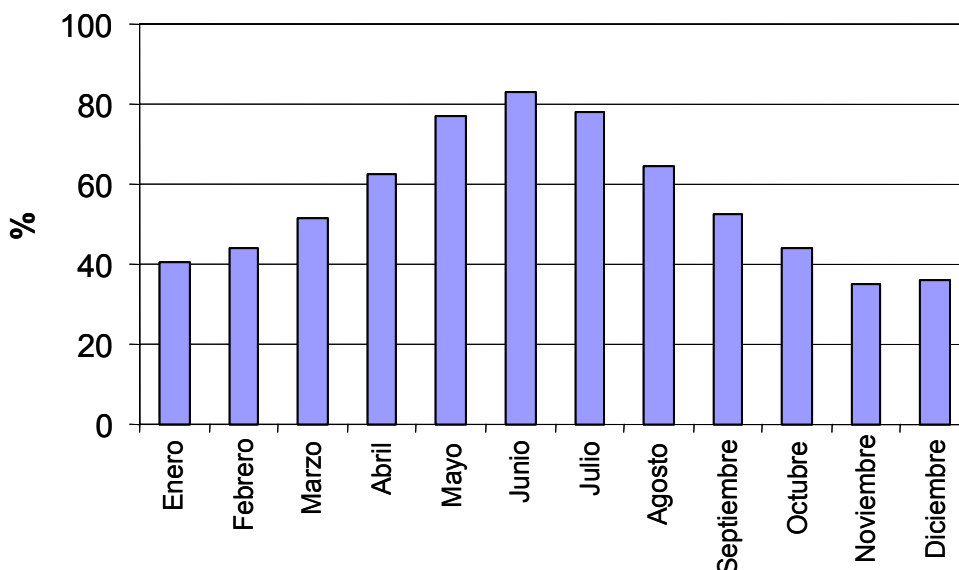


Figura-52: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm (Ventana fachada sureste superior: Biblioteca).

$p = 1 \text{ m}$

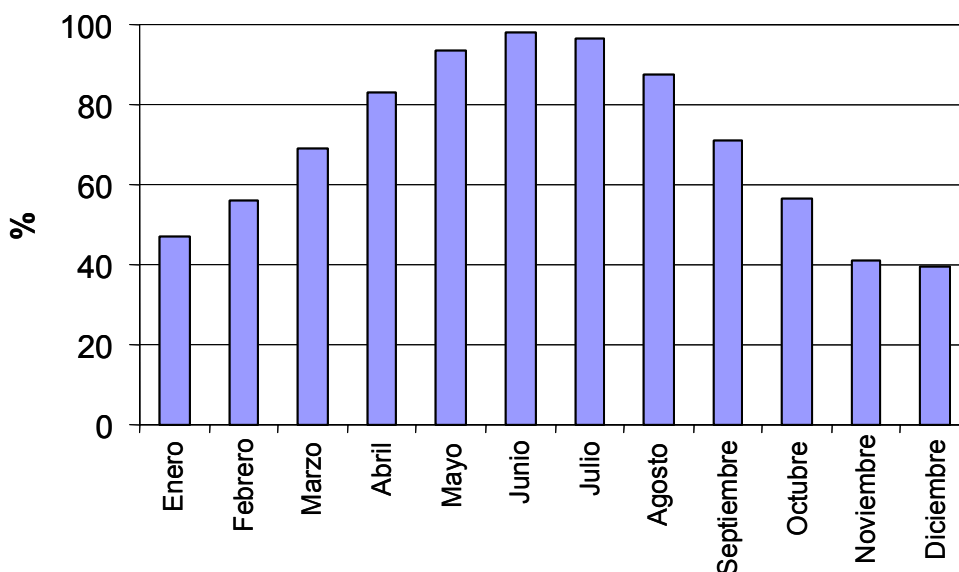


Figura-53: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana fachada sureste superior: Biblioteca).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 100 \text{ cm}$. Las diferencias de actuaciones con el alero permitido por normativa (45 cm) no son muy importantes.

De cualquier forma presentamos las actuaciones mensuales para ambos casos (45 – 100 cm) por ser los voladizos adoptados en la otra fachada simétrica (SO). Al pasar del voladizo de 100 cm al de 45 cm, el incremento en la ganancia energética de verano es ligeramente más importante que el de la ganancia de invierno.

Es de resaltar cómo por esta ventana se obtienen ganancias energéticas menores que en la ventana SO de la habitación-2 con ubicación simétrica. Esto es en parte debido a la mayor superficie útil de la biblioteca respecto a la habitación-2. Pero sin embargo, ahora el aporte de verano es siempre mayor que el de invierno, mientras en la ventana SO de la habitación-2 sólo sucedía esto para longitudes muy pequeñas del voladizo. Esta asimetría este / oeste está asociada a la existencia de una mayor nubosidad por la mañana respecto a la existente por la tarde en el emplazamiento climático considerado. Este hecho concuerda con la distribución horaria de la radiación solar mostrada en la Referencia [1], donde se observa cómo a lo largo de todo el año el máximo de irradiación solar está desplazado hacia primeras horas de la tarde. El menor valor óptimo del voladizo respecto a la ventana SO de habitación-2 es también debido a estos motivos. También podemos observar cómo respecto al hueco simétrico de la fachada SO (habitación-2) ahora la atenuación de la radiación directa es mayor, siendo para el voladizo de 100 cm prácticamente anulada su contribución en Junio y Julio.

Teniendo en cuenta las 2 ventanas de la biblioteca, las ganancias energéticas máximas (asumiendo $(\tau\alpha) = 1$) para los aleros de 45 cm y 100 cm serían las mostradas en la siguiente tabla:

Longitud voladizo (cm)	Temporada	Ventana SE kW.h/m ²	Ventana S kW.h/m ²	Total kW.h/m ²
45	Invierno	13,4	24,0	37,4
	Verano	15,0	14,2	29,2
100	Invierno	8,9	15,8	24,7
	Verano	9,8	10,6	20,4

Vemos cómo ahora las contribuciones de las dos ventanas están mucho más igualadas que en la habitación-2. Esto es en parte debido a la mayor área de la ventana sur, y en parte a la asimetría mañana / tarde anteriormente comentada. Los aportes energéticos por unidad de área útil son ahora también inferiores a los obtenidos en la habitación-2.

3. k. Ventana fachada sureste superior: Habitación-3

Este hueco lo asumimos como ventana sin balcón, aunque debido a la asimetría mañana / tarde descrita en el punto anterior, la ventana con balcón sería energéticamente menos desfavorable en esta fachada SE que en la SO.

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 3.5$$

$$e_r \text{ (m)} = 0.8$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.16$$

En la Figura-54 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-55 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 45 cm permitido por la normativa como de un voladizo de 100 cm. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 45$ cm se encuentran en la Figura-56, mientras que en la Figura-57 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 100 cm. En la Figura-58 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm, mientras que en la Figura-59 aparece esta información para el voladizo de 100 cm.

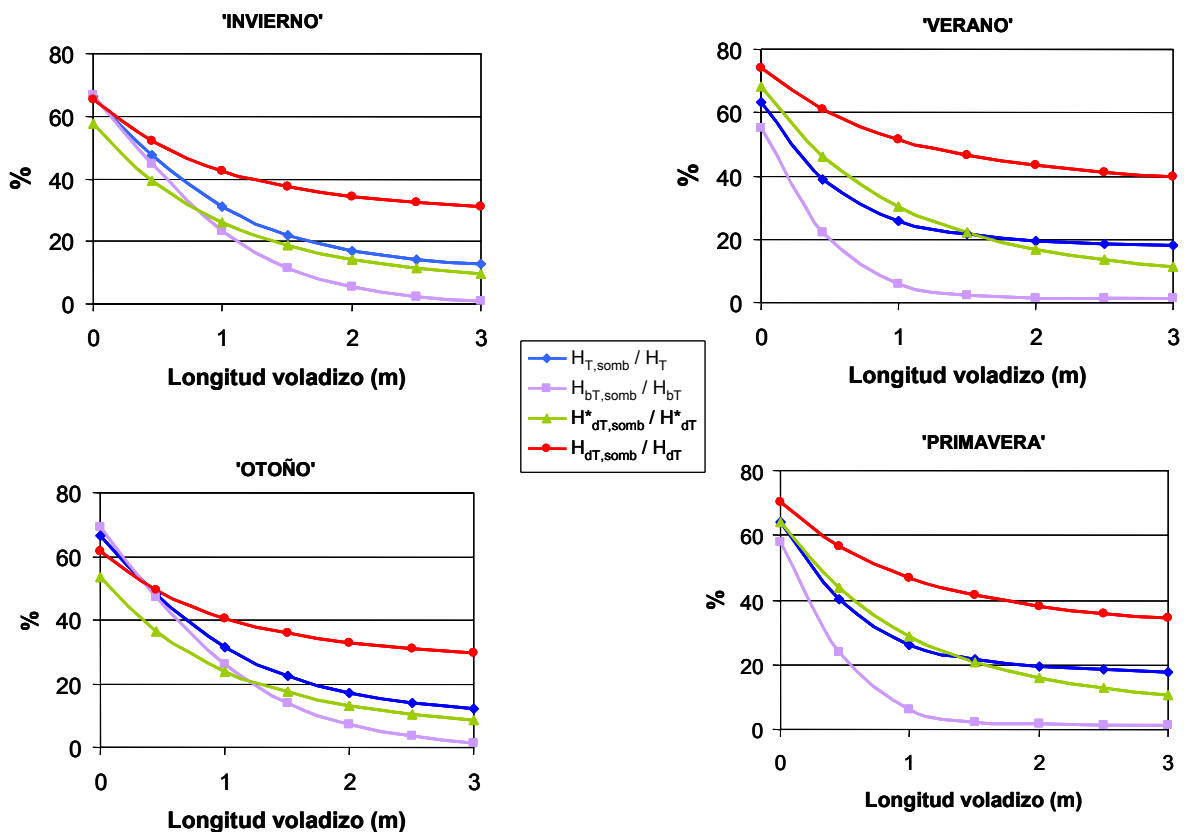


Figura-54: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada sureste superior: Habitación-3.

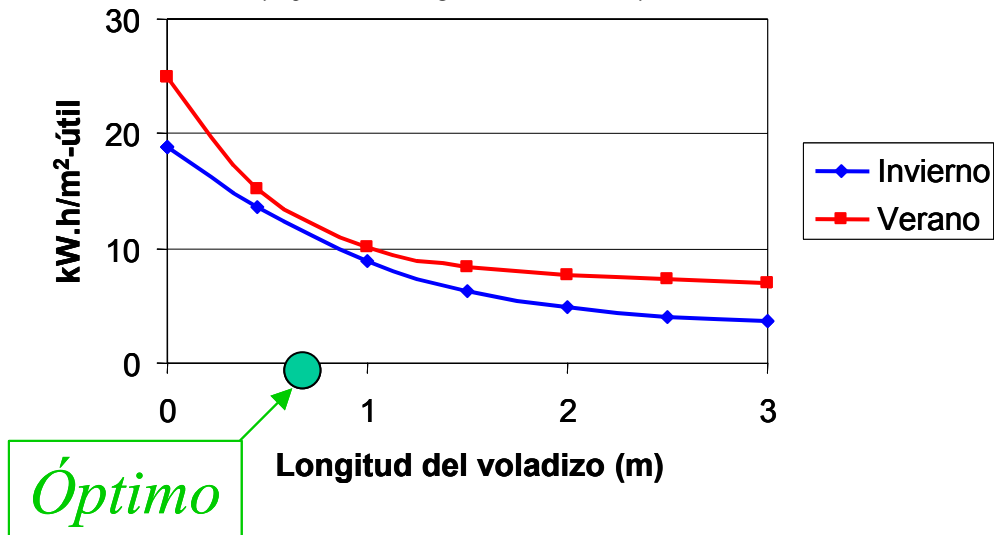


Figura-55: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana fachada sureste superior: Habitación-3.

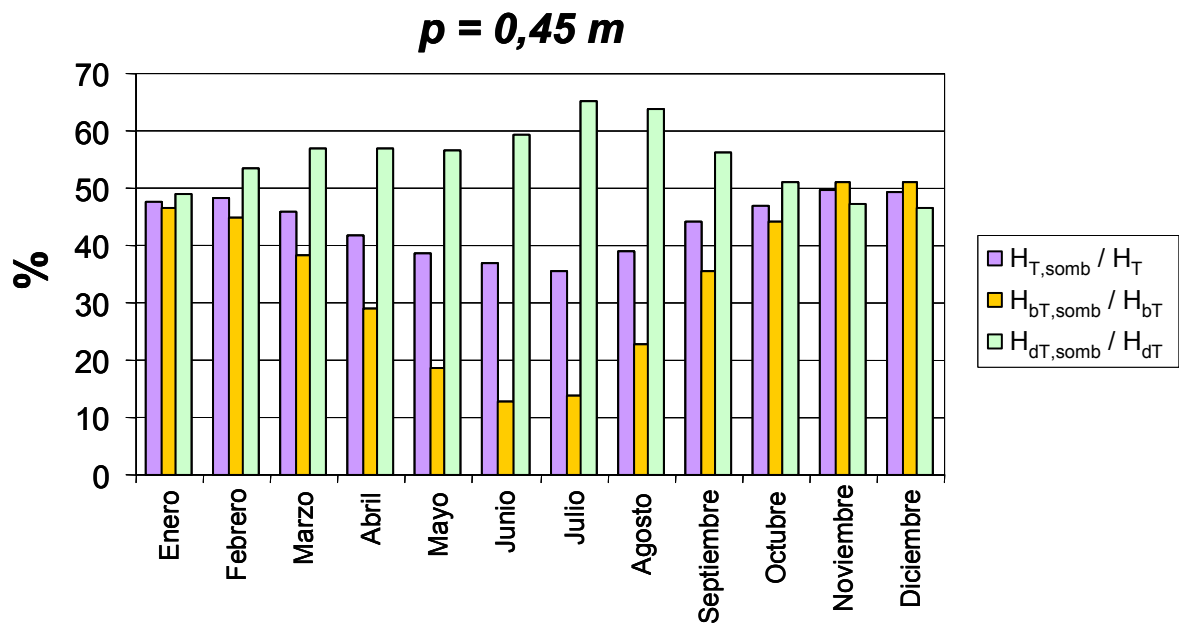


Figura-56: Actuaciones mensuales del voladizo de 45 cm para esta apertura (Ventana fachada sureste superior: Habitación-3).

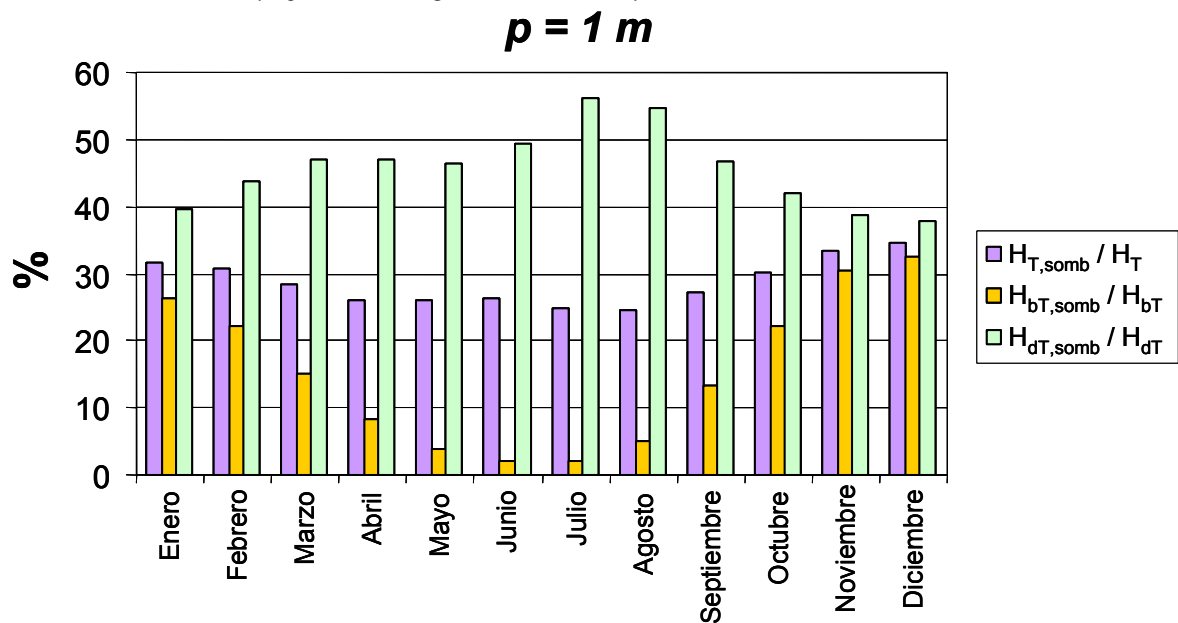


Figura-57: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana fachada sureste superior: Habitación-3).

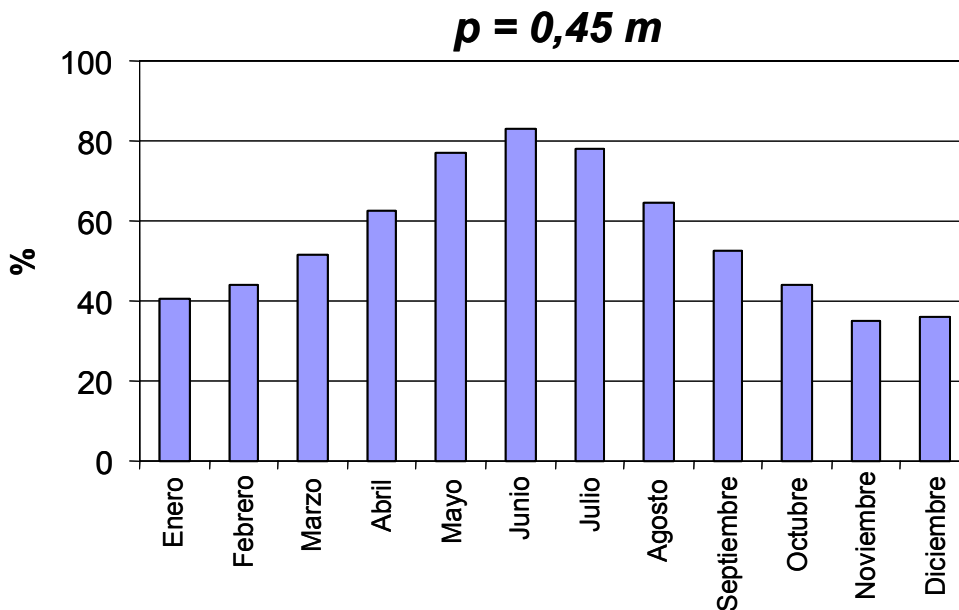


Figura-58: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 45 cm (Ventana fachada sureste superior: Habitación-3).

$$p = 1 \text{ m}$$

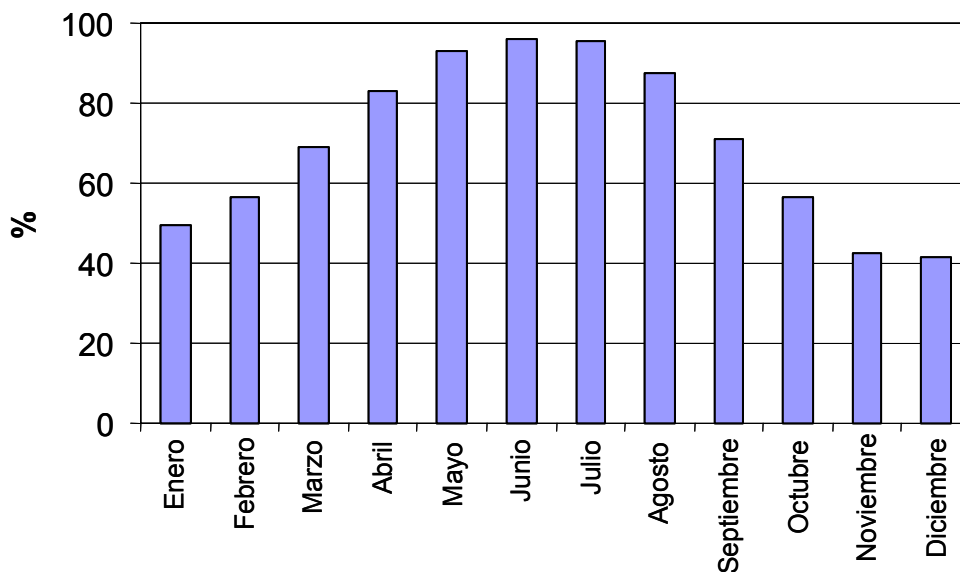


Figura-59: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana fachada sureste superior: Habitación-3).

Como podemos ver en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} = 75 - 100 \text{ cm}$. Las diferencias de actuaciones con el alero permitido por normativa (45 cm) no son muy importantes.

De cualquier forma presentamos las actuaciones mensuales para ambos casos (45 – 100 cm) por ser los voladizos adoptados en la otra fachada simétrica (SO). Al pasar del voladizo de 100 cm al de 45 cm, el incremento en la ganancia energética de verano es del mismo orden que el de la ganancia de invierno.

Es de observar cómo debido a la asimetría radiativa mañana / tarde , y sobre todo para pequeños tamaños de voladizo, las diferencias entre la ventana más cercana al sur y la más cercana al este de la fachada SE son muy inferiores a las que nos aparecían en la fachada SO. En efecto, la mayor nubosidad matutina hace que por las mañanas la fracción difusa (para la cual el voladizo es menos efectivo) sea considerablemente superior a la de las tardes.

Los aportes energéticos son en esta ventana ligeramente superiores a los de la biblioteca debido a la menor superficie útil de la estancia.

3.1.Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.2$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0.1$$

$$e_l \text{ (m)} = 3.5$$

$$e_r \text{ (m)} = 0.8$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1.8$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15.16$$

En la Figura-60 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-61 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Dado que el voladizo óptimo es considerablemente superior al permitido por la normativa, representaremos las actuaciones mensuales tanto del voladizo de 300 cm cómo de un voladizo de 100 cm. Las actuaciones mensuales del voladizo con $p = 100$ cm se encuentran en la Figura-62, mientras que en la Figura-63 presentamos las actuaciones mensuales del voladizo con 300 cm. En la Figura-64 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm, mientras que en la Figura-65 aparece esta información para el voladizo de 300 cm.

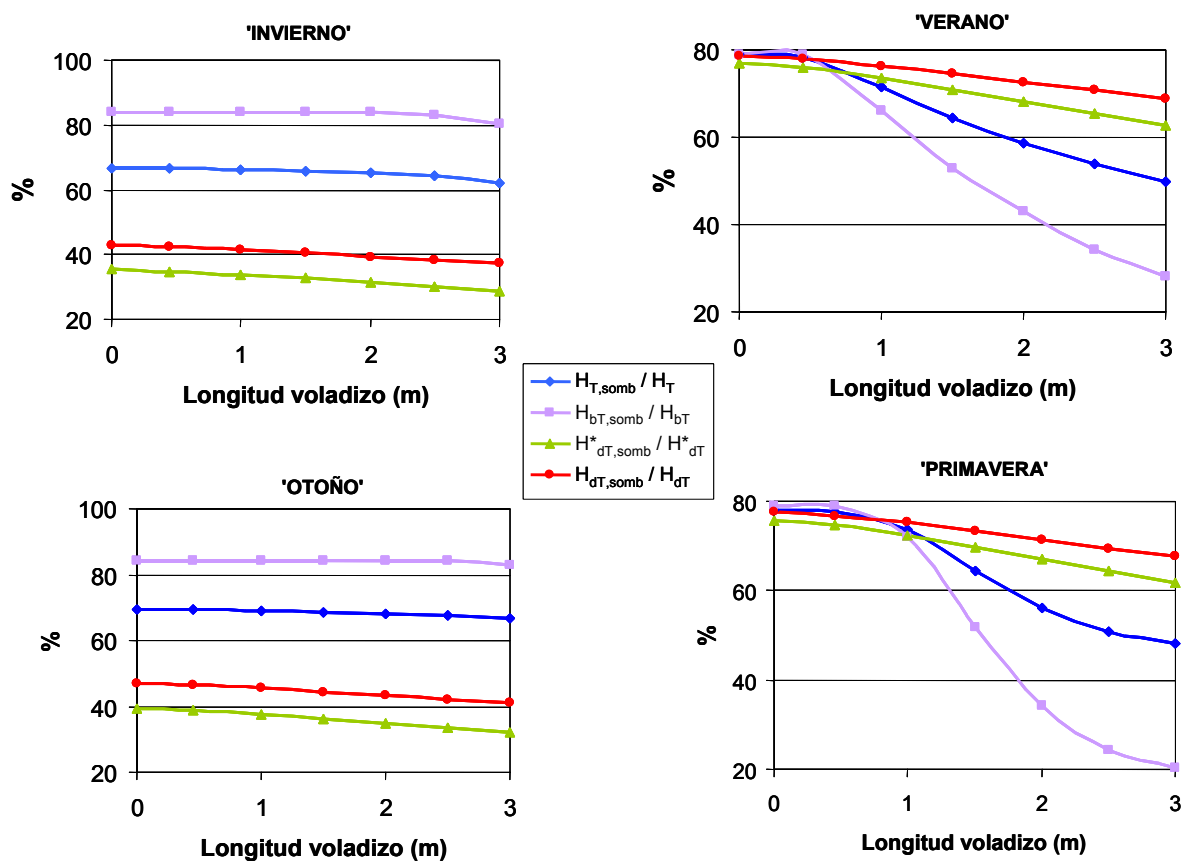


Figura-60: Efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado.

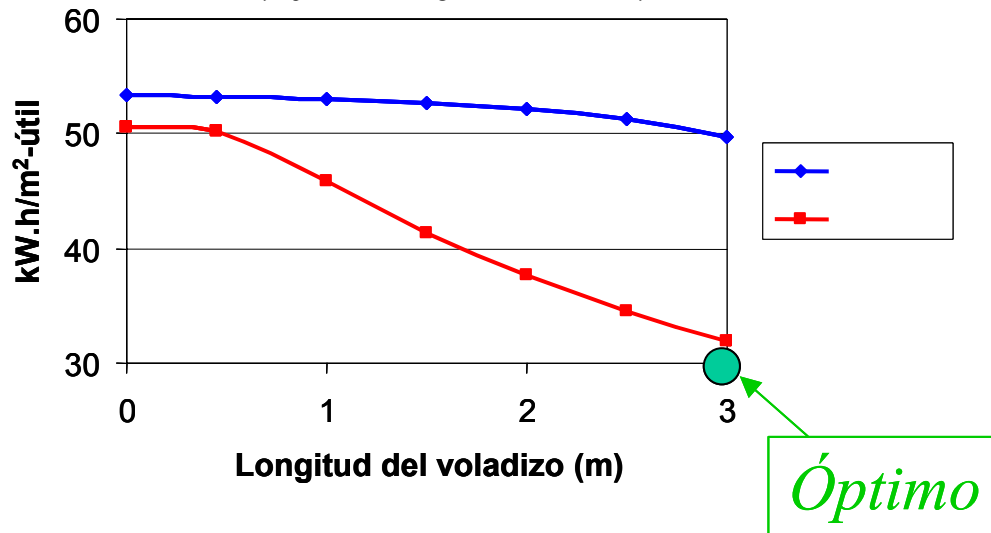


Figura-61: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia. Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado.

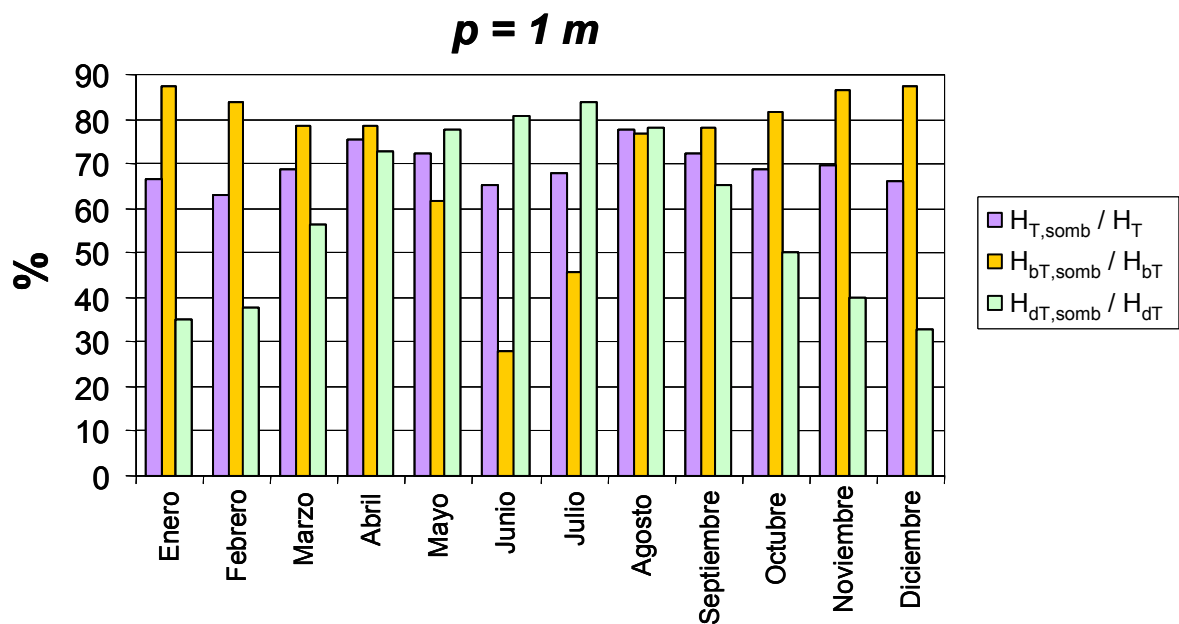


Figura-62: Actuaciones mensuales del voladizo de 100 cm para esta apertura (Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado).

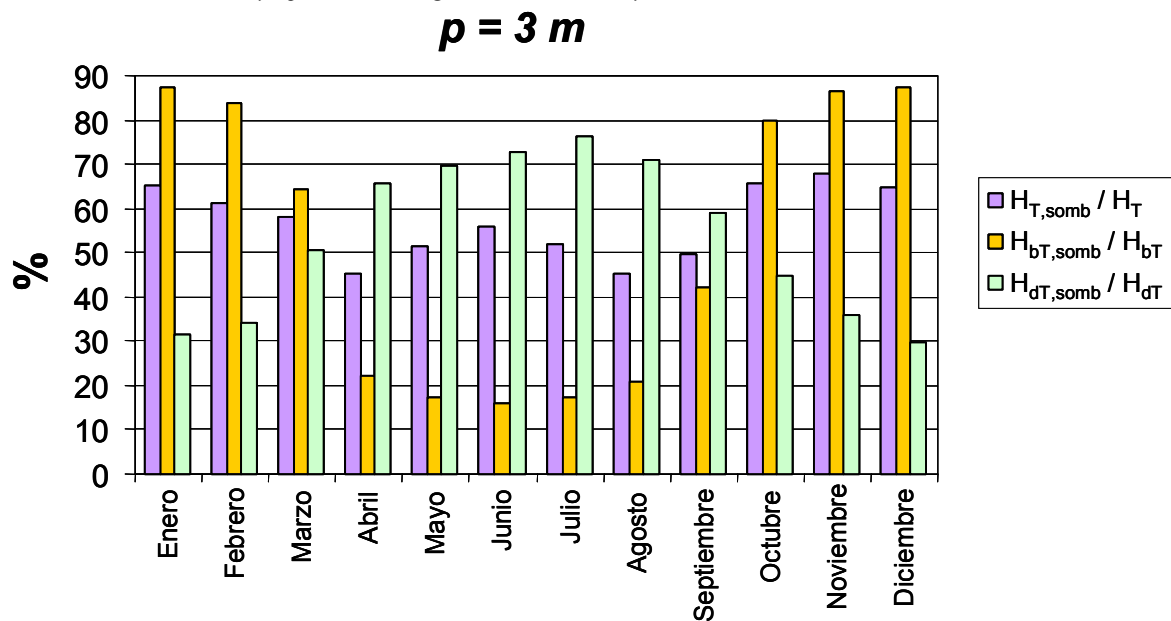


Figura-63: Actuaciones mensuales del voladizo de 300 cm para esta apertura (Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado).

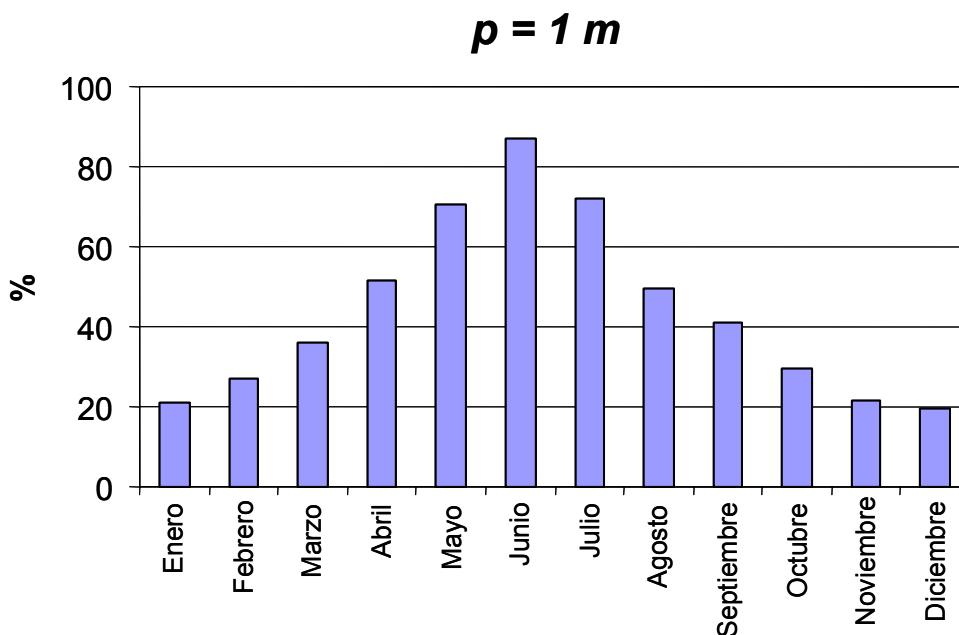


Figura-64: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 100 cm (Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado).

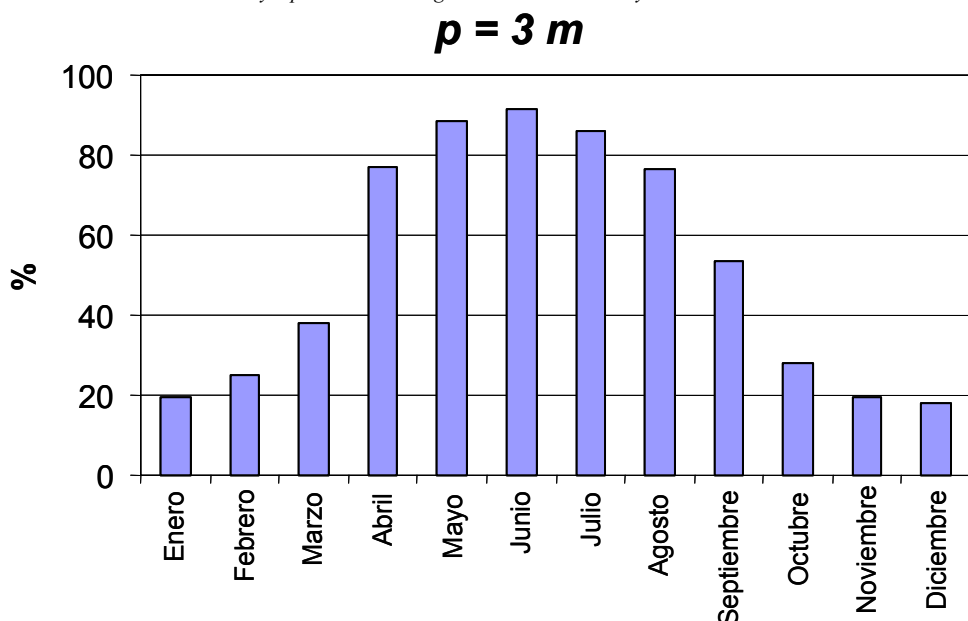


Figura-65: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el voladizo de 300 cm (Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por alero tejado).

Como podemos observar en estas figuras, las ganancias energéticas a través de este hueco son muy superiores a las obtenidas anteriormente (las protecciones solares son muy poco efectivas). Incluso al emplear valores elevados de la longitud del voladizo, sólo conseguimos cierta efectividad del mismo en el 'verano', pero casi sigue sin tener efecto alguno en invierno como podemos observar en la Figura-61, lo cual es bueno desde el punto de vista de la cobertura de las cargas refrigerante y calefactora.

Sin embargo, en este caso obtenemos $p_{\text{óptimo}} \geq 200 \text{ cm}$, muy superior a lo permitido por las NNSS de Torremocha. De hecho, con el criterio que hemos seguido hasta ahora para definir el voladizo óptimo (justo pasado el codo de la derecha de la curva de ganancia energética en verano), necesitaríamos $p_{\text{óptimo}} \geq 300 \text{ cm}$. El voladizo con $p = 200 \text{ cm}$ está ahora cercano al punto de inflexión de la curva de ganancia de verano, pero todavía queda un potencial considerable de reducción de estas ganancias al seguir aumentando la longitud del voladizo.

Al comparar con el caso anteriormente estudiado para esta ventana de tener el voladizo en el forjado, vemos cómo ahora las fracciones difusas son considerablemente inferiores (incluso con $p = 300 \text{ cm}$), y los aportes energéticos estacionales muy superiores (especialmente en verano). A modo de comparación, en la siguiente tabla mostramos las actuaciones estacionales de este hueco con protección solar en forjado o tejado.

Protección	p cm	Invierno kW.h/m ²	Verano kW.h/m ²
Tejado	100	53,0	45,9
	300	49,8	32,0
Forjado	100	39,5	22,8
	50	47,3	30,2

Como ya hemos comentado anteriormente, los resultados presentados en este informe sólo están destinados a cuantificar la efectividad de las protecciones solares colocadas en tejado o forjado. Con este fin, la radiación incidente sobre la apertura se modifica mediante la disposición

de un voladizo colocado 'g' metros por encima del borde superior de la ventana y con una longitud efectiva de $p + 0,35$ m, para tener en cuenta el espesor de la pared. Pero sin embargo, la protección solar del hueco es todavía superior por contar con un voladizo adicional debido a la pared de longitud $p = 0,35$ m y colocado a $g = 0$ m. En el caso analizado en este pnto, con valores de $g = 2,94$ m, el aporte energético real a la ventana con valores pequeños de 'p' en el voladizo es considerablemente inferior al mostrado en los resultados. Para ilustrar esta diferencia, en la siguiente tabla mostramos los aportes energéticos en esta ventana para el caso sin voladizo ($p = 0$ m), al considerar o no la localización real del espesor de la pared.

Localización alero pared	Tejado	Forjado	Borde superior ventana
g (m)	2,94	0,5	0
Invierno (kW.h/m ²)	53,4	52,7	46,5
Verano (kW.h/m ²)	50,6	44,4	37,1

Como podemos ver, el efecto en verano es muy importante, incluso si consideramos el voladizo debido al espesor de la pared colocado en el forjado. En la Figura-66 mostramos las transmisividades solares (complementario de las atenuaciones), y en la Figura-67 los porcentajes mensuales de difusa para estas dos situaciones correspondientes con $p = 0$ m.

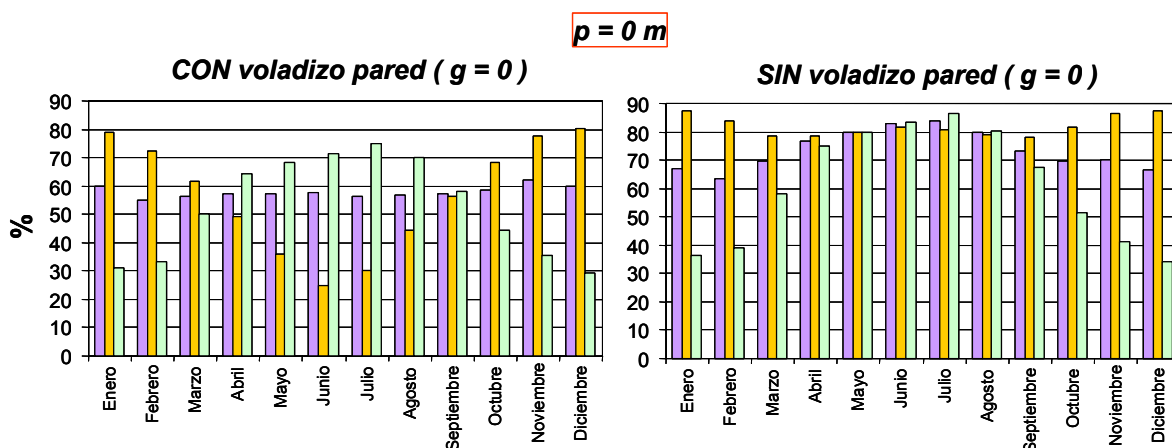


Figura-66: Comparación de las actuaciones (transmisividades) con $p = 0$ m al considerar voladizo efectivo debido al espesor de la pared en el borde superior de la ventana ($g = 0$ m) o en el tejado ($g=2,94$ m). Ventana fachada sur inferior (Salón)

p = 0 m

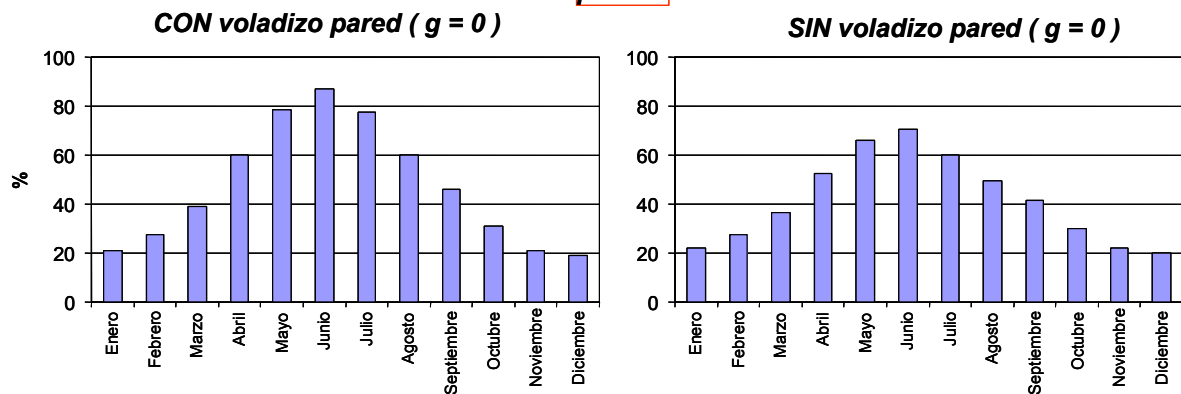


Figura-67: Comparación de las actuaciones (fracciones difusas) con $p = 0$ m al considerar voladizo efectivo debido al espesor de la pared en el borde superior de la ventana ($g = 0$ m) o en el tejado ($g = 2,94$ m). Ventana fachada sur inferior (Salón).

La gran diferencia observada abre la posibilidad de plantearse la protección solar de los huecos de la planta baja empleando mayores espesores de pared en las fachadas S, SE y SO. En efecto, en el proyecto original estas fachadas ya tienen una mayor espesor pensado en actuar como almacenamiento de energía (inercia térmica). A la vista del coste incremental de construcción (y de licencias) requerido para colocar voladizos en el forjado (contabilizados como porches por las NNSS de Torremocha), puede resultar más económico aumentar el espesor de los muros de estas tres fachadas más allá de lo inicialmente propuesto. Con esto mejoran las características inerciales de la vivienda al mismo tiempo que se consigue una mejor protección solar. Por tanto, en los puntos siguientes pasamos a evaluar las actuaciones de las protecciones solares proporcionadas por muros de distinto espesor. En todos los casos vamos a asumir que la hoja de la ventana se encuentra a 3,5 cm de la superficie interior del muro.

3.m.Ventana fachada sur inferior (Salón) sombreada por espesor de muro

En este punto vamos a pasar a representar los resultados en función de la longitud efectiva de voladizo, que para el caso de el sombreado por espesor de la pared corresponde a la distancia de la lámina de vidrio a la superficie exterior del muro. Por tanto para obtener el espesor del muro se le deberán sumar 3,5 cm a la longitud de voladizo representada en los gráficos.

Para normalizar en cierta medida los resultados, hemos realizado los cálculos para muros con espesor de ladrillo de 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 cm, considerando un espesor adicional asociado a recubrimientos interiores y exteriores de 2,5 cm. Pero si la construcción se desarrolla con adobe o bloques de tierra comprimida, o si finalmente se opta por añadir aislamiento a estos muros, cualquier otro espesor sería posible, pudiendo interpolar los resultados de los gráficos proporcionados. En principio limitamos los cálculos a un espesor máximo de muro de 86,5 cm, por parecer difícil que resulte apropiado implementar un mayor espesor en estas viviendas.

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.8$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0$$

$$e_i \text{ (m)} = 0$$

$$e_r (m) = 0$$

$$A_v (m^2) = 2.7$$

$$A_u (m^2) = 15.67$$

En la Figura-68 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-69 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Las actuaciones mensuales del muro con $e_m = 50,5$ cm ($p = 47$ cm) se encuentran en la Figura-70. En la Figura-71 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el muro con $e_m = 50,5$ cm ($p = 47$ cm).

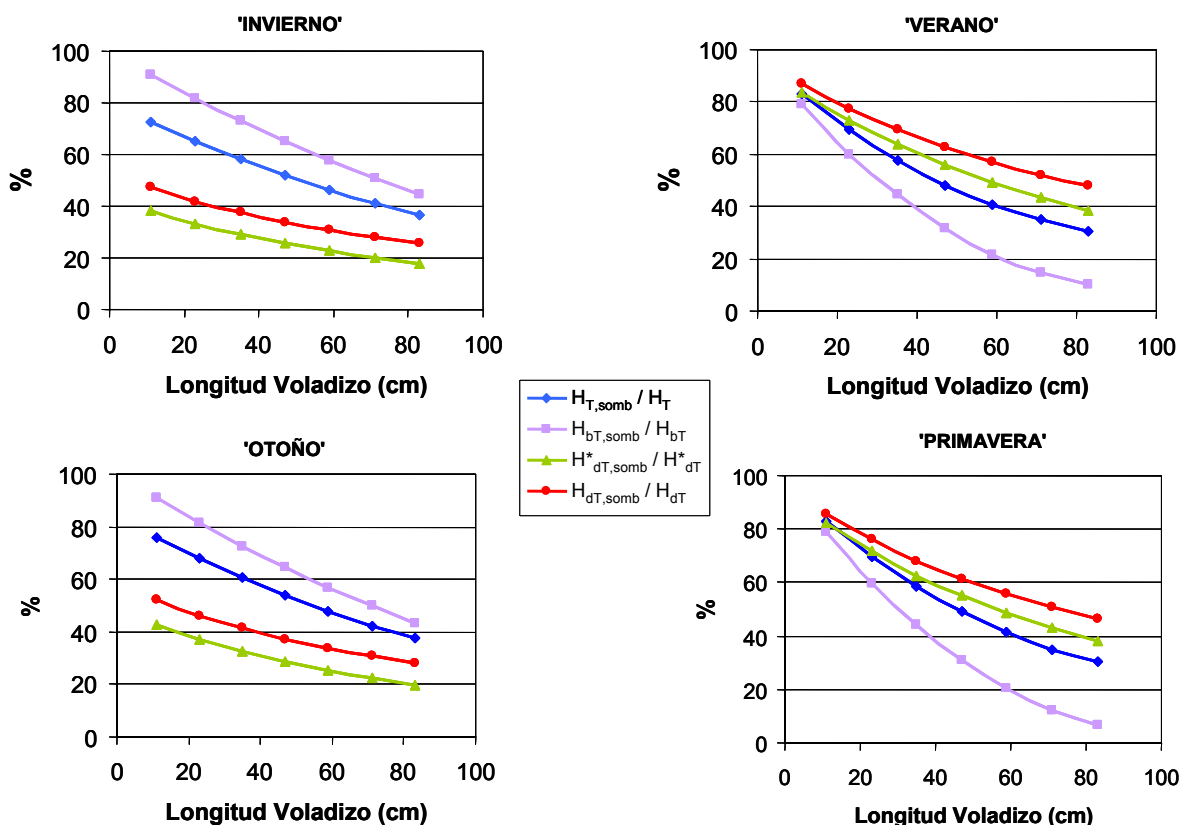


Figura-68: Efecto de la longitud del voladizo asociado al espesor del muro sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada sur inferior (Salón) sin voladizo.

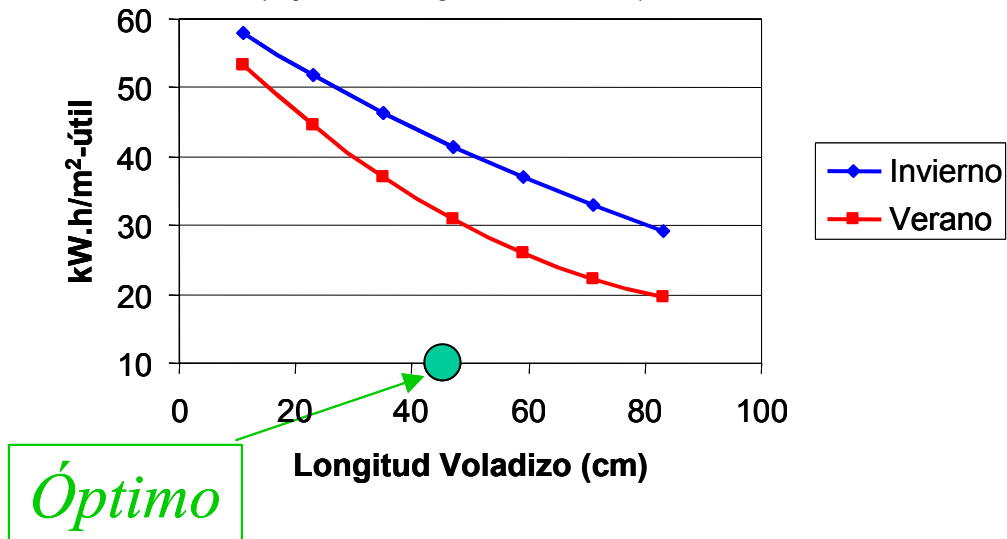


Figura-69: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia en función del voladizo asociado al espesor del muro. Ventana fachada sur inferior (Salón) sin voladizo.

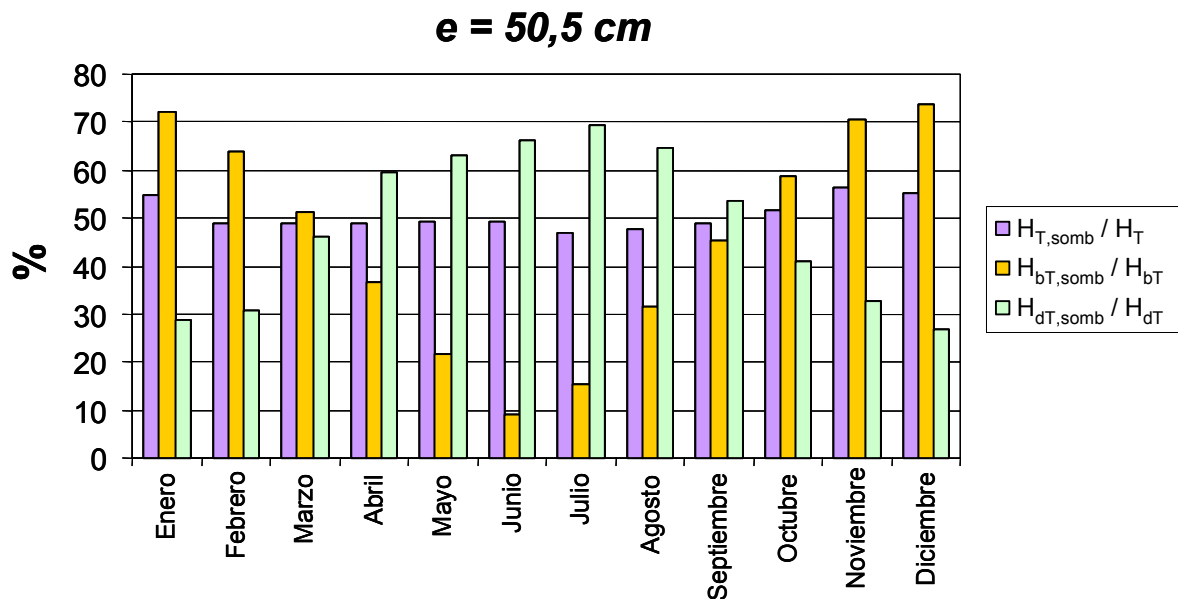


Figura-70: Actuaciones mensuales del muro de 50,5 cm de espesor para esta apertura (Ventana fachada sur inferior (Salón) sin voladizo).

$e = 50,5 \text{ cm}$

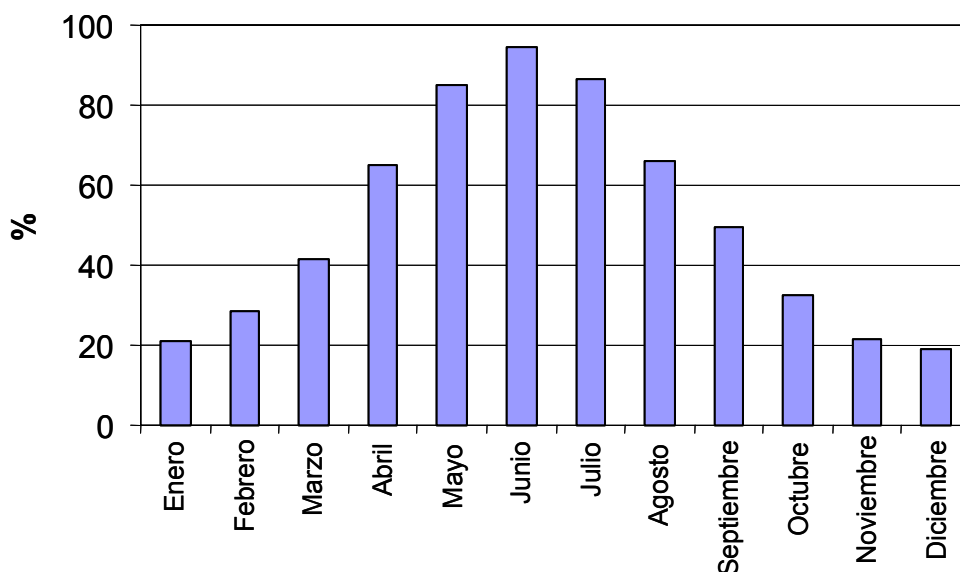


Figura-71: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el espesor de 50,5 cm (Ventana fachada sur inferior (Salón) sin voladizo).

Desde el punto de vista de la elección del espesor óptimo del muro, atendiendo sólo a los efectos de sombreado considerados en este informe, nos veríamos obligados a desplazarnos un poco a la izquierda del codo en la curva de ganancias energéticas en verano para no penalizar en exceso las ganancias directas en invierno, por lo que elegiríamos una longitud efectiva de voladizo óptima de 47 cm, correspondientes a un muro de 50,5 cm de espesor.

Como podemos ver en estos resultados, el espesor del muro es muy efectivo para atenuar la radiación.

En efecto, al comparar con el caso anterior en que el hueco en un muro de 38,5 cm era sombreado por un voladizo ubicado en el tejado, el mismo aporte energético en verano que conseguíamos con un voladizo de 300 cm en el muro de 38,5 cm se consigue ahora con un muro de unos 43 cm de espesor. Sin embargo, con el espesor del muro crecen también los aleros laterales del hueco, más efectivos que el voladizo para atenuar los rayos con baja altura solar (por lo que cabe esperar una mayor efectividad en invierno y/o en orientaciones desviadas del sur), por lo que los aportes energéticos en invierno al sombrear con el espesor de muro también son inferiores (un 11,6 %) a los obtenidos sombreando con el voladizo en tejado, permitiendo una menor contribución a la carga calefactora de la estancia.

Al comparar la protección solar por espesor de muro con la del voladizo en forjado para este mismo hueco vemos cómo para obtener la misma protección solar en verano que con un voladizo de 100 cm en la pared de 38,5 cm de espesor (138,5 cm de voladizo efectivo), basta ahora con implementar un muro de 74,5 cm de espesor, es decir, doblar el espesor de muro. Sin embargo, para este muro, el aporte energético en invierno al hueco considerado se reduce de 39,5 kW.h/m² a 32,9 kW.h/m², es decir, un 16,7 %.

En la siguiente tabla mostramos los resultados de aporte energético a este hueco con las tres soluciones de sombreado consideradas.

Sombreamiento	long. voladizo / espesor muro cm	Invierno kW.h/m ²	Verano kW.h/m ²
Voladizo Tejado	300	49,8	32,0
	200	52,2	37,7
	100	53,0	45,9
Voladizo Forjado	150	32,5	19,1
	100	39,5	22,8
	50	47,3	30,2
Espesor Muro	74,5	32,9	22,3
	50,5	41,5	31,0
	38,5	46,5	37,1

Para todas las opciones consideradas el aporte energético en invierno es superior al de verano.

Tomando como referencia la solución que hasta ahora parecía la más apropiada, consistente en un voladizo de 100 cm en forjado, al sombrear con un muro de 74,5 cm de espesor se reduce en un 16,7 % la ganancia energética en invierno mientras sólo se consigue reducir en un 2,2 % la ganancia energética en verano. Mientras que al emplear un muro de 50,5 cm de espesor, aumenta un 5,1 % la ganancia energética en invierno a costa de un incremento de un 36,0 % de la ganancia energética en verano. Por tanto, vemos cómo con un muro de 74,5 cm de espesor la penalización en invierno es muy superior a la mejora en verano, mientras que con un muro de 50,5 cm de espesor la mejora en invierno es muy inferior a la penalización en verano. Anticipando un régimen de invierno más crítico desde el punto de vista de consumo energético que el de verano, y teniendo en cuenta que siempre es posible implementar protecciones solares estacionales para el régimen de verano, de entre los espesores de muro considerados, probablemente el más adecuado sería el de 50,5 cm. Sin embargo, a falta de protecciones estacionales adicionales para el verano, vemos cómo la solución del voladizo de 100 cm en forjado es más apropiada que el sombreamiento con el espesor del muro.

Aumentar el espesor de muro conlleva otros beneficios energéticos como el incremento de capacidad de almacenamiento térmico y la consiguiente regulación de temperaturas. Pero la modificación del aporte solar a través del hueco puede contrarrestar estos beneficios energéticos adicionales. En este sentido, sería necesario recurrir a la simulación dinámica de la vivienda para poder tomar una decisión cuantitativa sobre la mejor estrategia de sombreamiento de hueco (voladizo en porche o incremento del espesor del muro).

3.n.Ventana fachada suroeste inferior (Rincón Hilde) sombreada por espesor de muro

En este punto vamos a pasar a representar los resultados en función de la longitud efectiva de voladizo, que para el caso de el sombreamiento por espesor de la pared corresponde a la distancia de la lámina de vidrio a la superficie exterior del muro. Por tanto para obtener el espesor del muro se le deberán sumar 3,5 cm a la longitud de voladizo representada en los gráficos.

Para normalizar en cierta medida los resultados, hemos realizado los cálculos para muros con espesor de ladrillo de 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 cm, considerando un espesor adicional

asociado a recubrimientos interiores y exteriores de 2,5 cm. Pero si la construcción se desarrolla con adobe o bloques de tierra comprimida, o si finalmente se opta por añadir aislamiento a estos muros, cualquier otro espesor sería posible, pudiendo interpolar los resultados de los gráficos proporcionados. En principio limitamos los cálculos a un espesor máximo de muro de 86,5 cm, por parecer difícil que resulte apropiado implementar un mayor espesor en estas viviendas.

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 1.3$$

$$w \text{ (m)} = 1.5$$

$$g \text{ (m)} = 0$$

$$e_l \text{ (m)} = 0$$

$$e_r \text{ (m)} = 0$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 1,95$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 6,46$$

En la Figura-72 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-73 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido. Las actuaciones mensuales del muro con $e_m = 50,5 \text{ cm}$ ($p = 47 \text{ cm}$) se encuentran en la Figura-74. En la Figura-75 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el muro con $e_m = 50,5 \text{ cm}$ ($p = 47 \text{ cm}$).

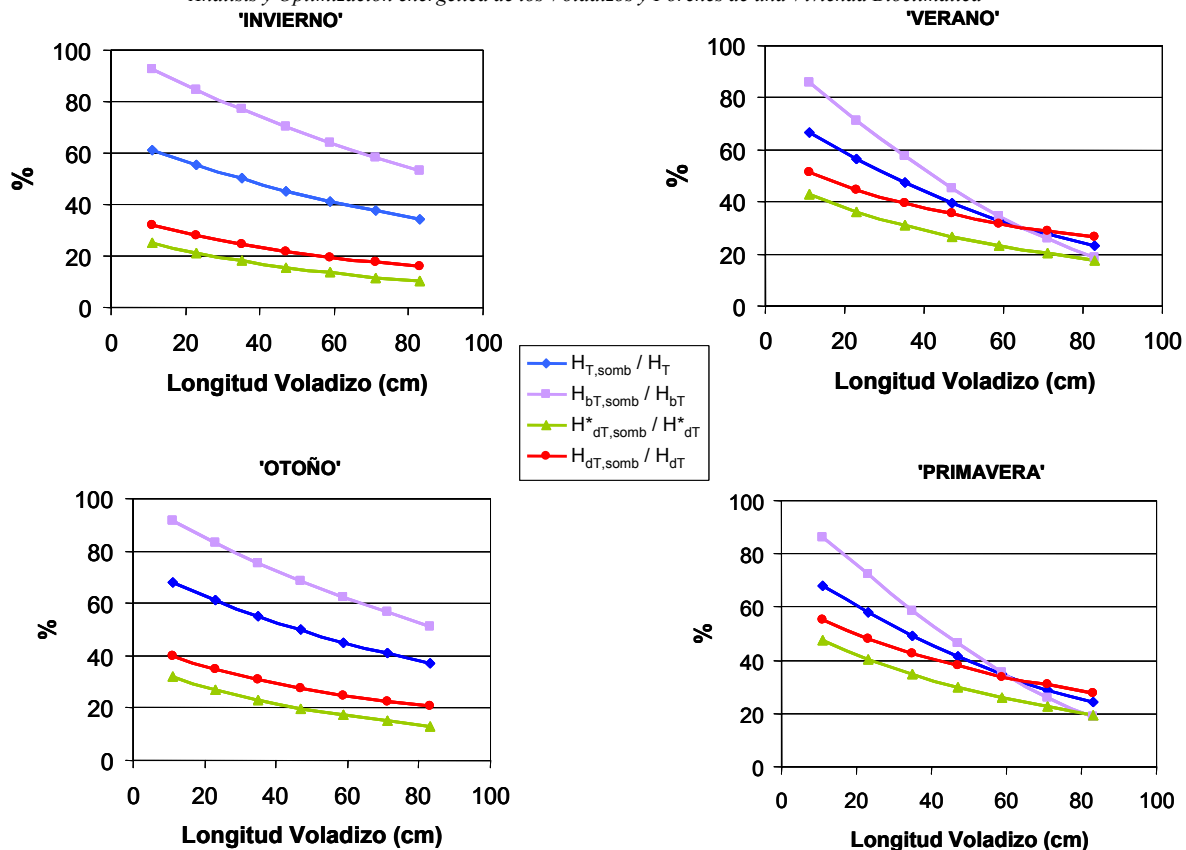


Figura-72: Efecto de la longitud del voladizo asociado al espesor del muro sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana fachada SO inferior (Rincón Hilde) sin voladizo.

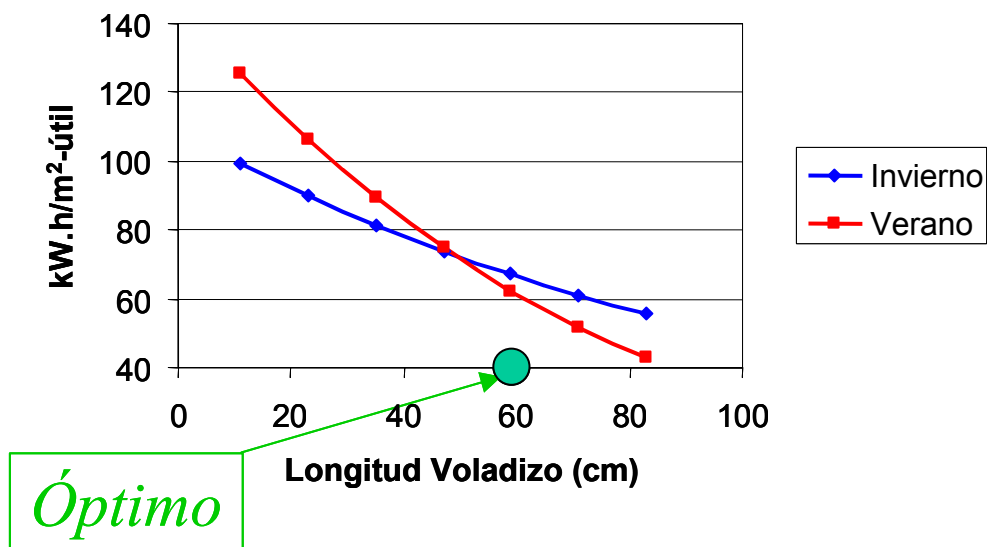


Figura-73: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia en función del voladizo asociado al espesor del muro. Ventana fachada SO inferior (Rincón Hilde) sin voladizo.

$e = 50,5 \text{ cm}$

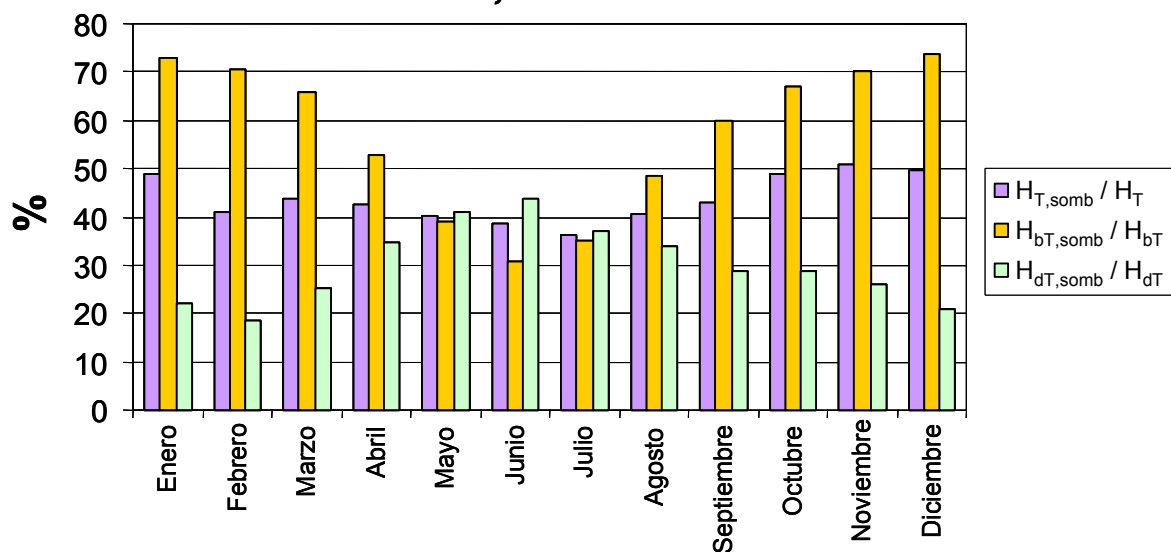


Figura-74: Actuaciones mensuales del muro de 50,5 cm de espesor para esta apertura (Ventana fachada SO inferior (Rincón Hilde) sin voladizo).

$e = 50,5 \text{ cm}$

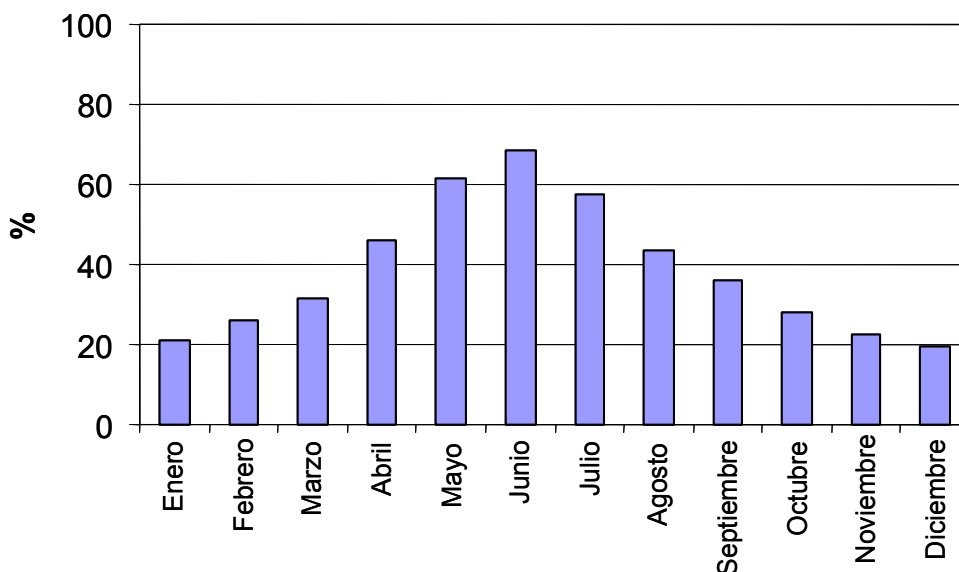


Figura-75: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el espesor de 50,5 cm (Ventana fachada SO inferior (Rincón Hilde) sin voladizo).

Vemos cómo la situación es ahora menos favorable que en la orientación sur (al igual que nos pasaba con el voladizo). En efecto, sólo para $e_m > 51 \text{ cm}$ conseguimos aportes energéticos en invierno superiores a los de verano, mientras en la orientación sur eran superiores para todos los espesores de muro.

Desde el punto de vista de sombreadamiento en verano, para este muro deberíamos elegir $e_m \geq 86,5$ cm, que parece excesivo. El espesor de muro elegido para la orientación sur (50,5 cm) es tal que ahora aproximadamente proporciona igual ganancia de invierno que en verano.

Desde el punto de vista de la elección del espesor óptimo del muro, atendiendo sólo a los efectos de sombreadamiento considerados en este informe, nos veríamos obligados a desplazarnos un poco a la izquierda del codo en la curva de ganancias energéticas en verano para no penalizar en exceso las ganancias directas en invierno, por lo que en principio elegiríamos una longitud efectiva de voladizo óptima de 59 cm, correspondientes a un muro de 62,5 cm de espesor.

En la siguiente tabla mostramos los resultados de aporte energético a este hueco con las dos soluciones de sombreadamiento consideradas.

Sombreamiento	long. voladizo / espesor muro cm	Invierno kW.h/m ²	Verano kW.h/m ²
Voladizo Forjado	150	59,7	45,3
	100	70,6	58,2
	50	83,4	80,6
Espesor Muro	86,5	55,7	43,2
	62,5	67,1	62,0
	50,5	73,9	74,6
	38,5	81,5	89,5

Para conseguir una ganancia energética de verano del orden de la que obtenemos con 100 cm de voladizo sobre forjado en muro de 38,5 cm (voladizo efectivo de 138,5 cm) hace falta un muro de 62,5 cm de espesor. Tomando como referencia el voladizo en el forjado de 100 cm, al emplear un muro de 50,5 cm de espesor obtenemos un incremento de las ganancias en invierno del 4,7 % y un incremento de las ganancias en verano del 28,2 %. Si implementamos un muro de 62,5 cm de espesor obtenemos una reducción de un 5,0 % en las ganancias de invierno y un incremento del 6,5 % en las ganancias de verano. A la vista de estos resultados deberíamos elegir para esta orientación un muro de 62,5 cm de espesor para evitar el gran incremento en el aporte energético de verano. Sin embargo, anticipando un régimen de invierno más crítico que el de verano, junto a la posibilidad de protecciones solares estacionales para verano, y el hecho de haber adoptado un muro de 50,5 cm en la orientación sur, el muro de 50,5 cm de espesor parece ser la elección más adecuada. En la figura-75 podemos ver cómo este muro nos proporciona en la orientación SO una fracción difusa considerablemente inferior que en la orientación sur.

De cualquier forma vemos cómo el voladizo en forjado tiene un mejor comportamiento que el espesor del muro como elemento de sombreadamiento, pero la diferencia no es tan grande como en la orientación sur gracias a la mayor efectividad de los aleros laterales frente a los rayos de baja altura solar.

3.o.Ventana fachada suroeste inferior (habitación invitados) sombreada por espesor de muro

Para esta ventana protegida por espesor del muro se obtienen exactamente los mismos resultados que para el punto anterior. Sólo cambian los valores numéricos de las ganancias energéticas de forma proporcional a la relación de áreas útiles de las estancias correspondientes a las dos ventanas.

En cuanto a la comparación con la solución por voladizo de forjado, dado que el voladizo protegía mejor a este hueco más cercano al oeste, la comparación todavía es más favorable para el voladizo.

3.p.Ventana-puerta fachada sureste inferior (comedor) sombreada por espesor de muro

Por último vamos a presentar el comportamiento de la ventana-puerta del comedor al sombrearla con espesor de muro para tenerla de referencia por si en un futuro se decide eliminar el porche planificado para esta fachada. Es de resaltar que al pretender en esta orientación emplazar un porche de 200 cm ya no sería necesario buscar una protección solar por incremento del espesor del muro. Además, por el hecho de ser este hueco más ancho, el comportamiento del espesor del muro como elemento de protección solar será menos efectivo.

Características del hueco y voladizo:

$$h \text{ (m)} = 2,0$$

$$w \text{ (m)} = 3,11$$

$$g \text{ (m)} = 0$$

$$e_l \text{ (m)} = 0$$

$$e_r \text{ (m)} = 0$$

$$A_v \text{ (m}^2\text{)} = 6,22$$

$$A_u \text{ (m}^2\text{)} = 15,67$$

En la Figura-76 presentamos el efecto de la longitud del voladizo sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Mientras que en la Figura-77 mostramos el aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia, esto es, asumiendo $(\tau\alpha) = 1$. En esta última figura mostramos con un punto verde cual sería el dimensionado óptimo del voladizo para este hueco según el criterio anteriormente introducido, que en este caso sería mayor que los valores calculados. Las actuaciones mensuales del muro con $e_m = 50,5 \text{ cm}$ ($p = 47 \text{ cm}$) se encuentran en la Figura-78. En la Figura-79 mostramos la fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el muro con $e_m = 50,5 \text{ cm}$ ($p = 47 \text{ cm}$).

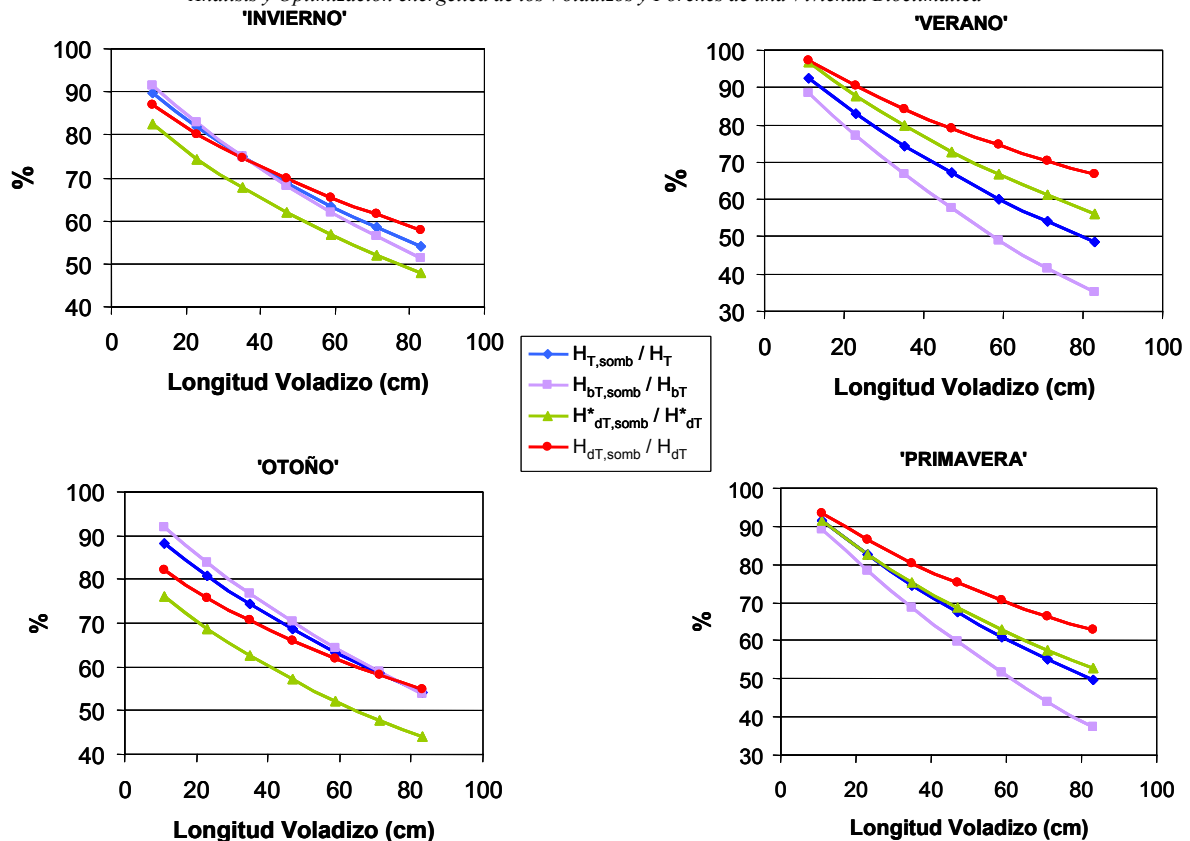


Figura-76: Efecto de la longitud del voladizo asociado al espesor del muro sobre los factores de atenuación de las distintas componentes de la radiación solar (total, directa, difusa total y difusa del cielo) a lo largo de las distintas 'estaciones'. Ventana-puerta fachada SE inferior (comedor) sin voladizo.

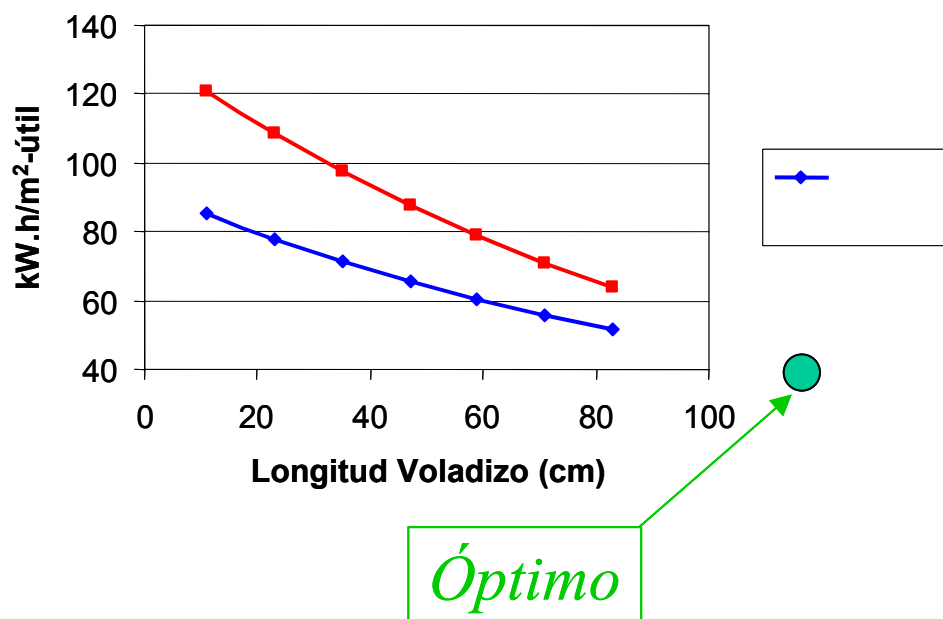


Figura-77: Aporte energético máximo por la apertura del hueco referido a la superficie útil de la estancia en función del voladizo asociado al espesor del muro. Ventana-puerta fachada SE inferior (comedor) sin voladizo.

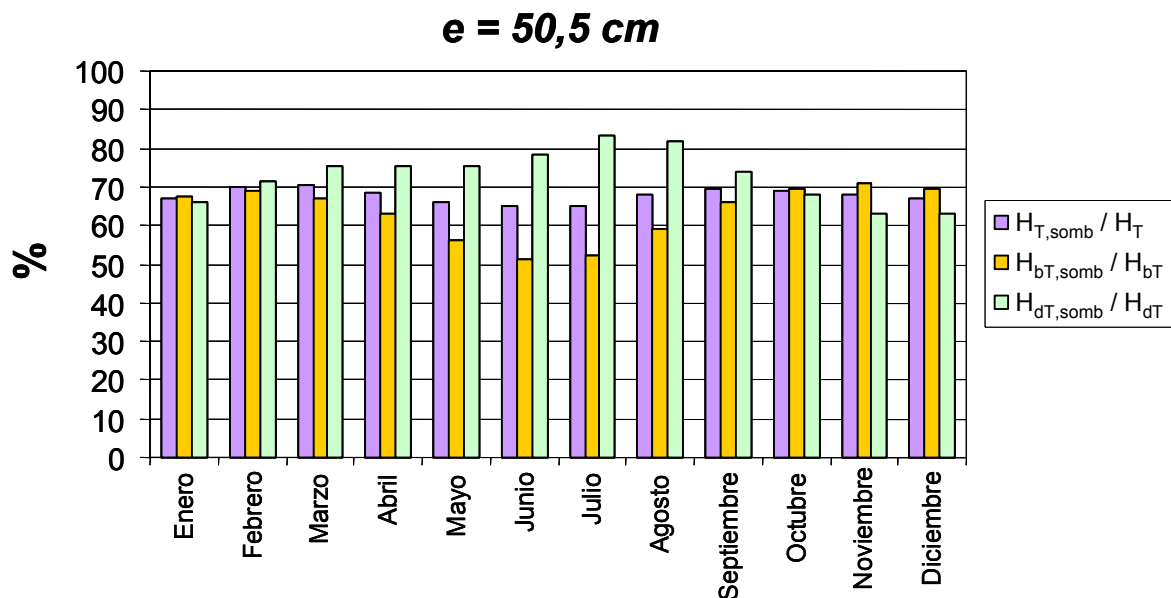


Figura-78: Actuaciones mensuales del muro de 50,5 cm de espesor para esta apertura (Ventana-puerta fachada SE inferior (comedor) sin voladizo).

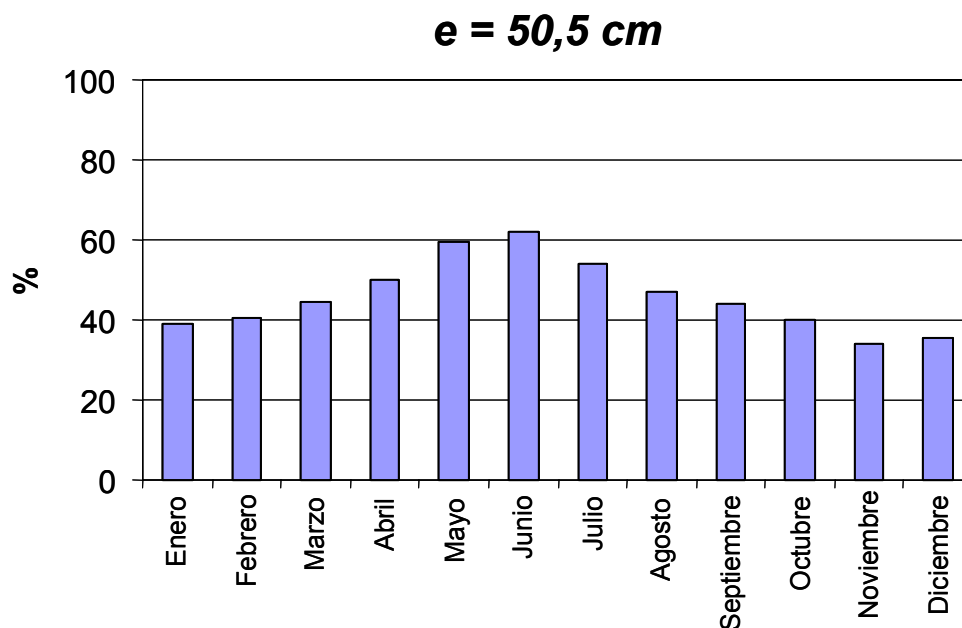


Figura-79: Fracción difusa de la radiación solar mensual incidente en el hueco para el espesor de 50,5 cm (Ventana-puerta fachada SE inferior (comedor) sin voladizo).

Como vemos, las transmisividades son considerablemente superiores a los casos anteriores para todos los espesores de muro considerados. En concreto, para el muro de 50,5 cm de espesor las transmisividades mensuales son considerablemente superiores a las de los otros casos. Respecto a los huecos en la fachada SO, las fracciones difusas en verano son inferiores, aunque en invierno son mayores por la simetría mañana / tarde anteriormente comentada.

Al comparar con el sombreamiento por voladizo en forjado vemos cómo ahora, al emplear el espesor del muro para sombrear, la ganancia energética de verano siempre es considerablemente superior a la de invierno para los espesores de muro considerados, mientras que en el caso del voladizo, a partir de 150 cm se hacen del mismo orden.

Concluimos por tanto que para sombrear esta apertura con espesor de muro sería necesario emplear $e_m > 86,5$ cm, lo cual hace prácticamente inviable este método de protección solar para esta superficie.

En la siguiente tabla mostramos las ganancias energéticas de las dos opciones de protección solar consideradas para este hueco:

Sombreamiento	long. voladizo / espesor muro cm	Invierno kW.h/m ²	Verano kW.h/m ²
Voladizo Forjado	300	34,0	37,4
	200	44,3	45,2
	100	61,5	68,5
Espesor Muro	86,5	51,5	63,8
	62,5	60,5	78,8
	50,5	65,7	87,7
	38,5	71,5	97,5

Comparando cualitativamente (pues las superficies útiles de las estancias son distintas) con los resultados obtenidos con los huecos en la fachada SO sombreada por espesor de pared, las ganancias en verano siempre son superiores en la fachada SE, pero las ganancias en invierno son del orden o inferiores para la fachada SE. Esta es otra consecuencia de la asimetría climática mañana / tarde del emplazamiento considerado.

Tomando como referencia el porche de 200 cm, en el caso de implementar un muro de 50,5 cm de espesor los incrementos en las ganancias energéticas son del 48,3 % en invierno y del 94,0 % en verano. Si implementamos un muro de 86,5 cm de espesor los incrementos en las ganancias energéticas son del 16,3 % en invierno y del 41,2 % en verano.

En caso de que finalmente no se incluya el porche de 200 cm en esta fachada, habría que recurrir a un muro de elevado espesor junto con algún elemento de sombreamiento estacional para atenuar el gran incremento veraniego a la carga refrigerante. El beneficio de esta opción sería un incremento significativo del aporte energético en invierno.

4. Conclusiones

- Con un criterio de dimensionado clásico asociado a un clima templado, en los huecos orientados al sur el alero de 45 cm parece incluso excesivo para los huecos del piso superior si estos se ubican en el interior del muro. Respecto a los huecos del piso inferior, el voladizo para las ventanas (15 cm) ubicadas en el interior del muro incluso se podría eliminar, mientras que para las puertas acristaladas bastaría un voladizo de unos 46 cm colocado como prolongación del forjado. Sin embargo, estos dimensionados clásicos no proporcionan suficiente información para conocer las implicaciones energéticas del voladizo elegido, y no son aplicables a los huecos no orientados hacia el sur, que requerirán mayores voladizos para igualdad de protección.
- Con un criterio de dimensionado clásico asociado a un clima templado, valdría con un voladizo del tejado de 100 – 130 cm para cubrir los huecos del piso inferior si se emplazan los acristalamientos en el interior del muro. Sin embargo, esto proporcionaría un sombreado excesivo a los huecos del piso superior, reduciendo su captación solar en una cantidad que se requiere cuantificar.
- Al dimensionar para unas condiciones medias entre el clima templado y el cálido con $\alpha_s = 66^\circ$ en condiciones de diseño siguiendo la aproximación clásica, en el piso superior sigue siendo suficiente con el alero permitido de 45 cm, y en el piso inferior sería necesario colocar un voladizo de unos 75 cm. Sin embargo, estos dimensionados clásicos no proporcionan suficiente información para conocer las implicaciones energéticas del voladizo elegido, y no son aplicables a los huecos no orientados hacia el sur, que requerirán mayores voladizos para igualdad de protección.
- Para disponer de un espacio habitable exterior sería necesario un porche mínimo de unos 3 m, y esto si el porche estuviera orientado al sur.
- En base a la simulación anual, el voladizo necesario arrancando a la altura del forjado para las ventanas sur del salón en su configuración original (a 1 m del suelo) sería del orden de 65 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 30 kW.h/m² en 'invierno' y 17 kW.h/m² en 'verano'.
- En base a la simulación anual, el voladizo necesario arrancando a la altura del forjado para las ventanas sur del salón en su configuración modificada (a 0,5 m del suelo) sería del orden de 120 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 37 kW.h/m² en 'invierno' y 21 kW.h/m² en 'verano'. Un voladizo de 100 cm sería adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (apropiado tanto para fotovoltaicos como para fototérmicos) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 150 cm según tamaño de los captadores.
- En base a la simulación anual, el voladizo necesario arrancando a la altura del forjado para la ventana SO lado S inferior (Rincón Hilde) sería del orden de 125 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 67 kW.h/m² en 'invierno' y 50 kW.h/m² en 'verano'. Un voladizo de 100 cm podría ser adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. Sin embargo, para el voladizo de 100 cm en esta orientación, no se consigue anular durante ningún mes del año el aporte solar

directo al hueco, a diferencia de lo que ocurría en la orientación sur. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (sólo apropiado para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos es principalmente de invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 200 cm según tamaño de los captadores.

- En base a la simulación anual, el voladizo necesario arrancando a la altura del forjado para la ventana SO lado W inferior (Habitación Invitados) sería del orden de 125 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 26 kW.h/m² en 'invierno' y 20 kW.h/m² en 'verano'. Un voladizo de 100 cm podría ser adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno y reducir la superficie imputable a porche si el ayuntamiento no permite la clasificación de este elemento como voladizo. Sin embargo, para el voladizo de 100 cm en esta orientación, no se consigue anular durante ningún mes del año el aporte solar directo al hueco, a diferencia de lo que ocurría en la orientación sur. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (sólo apropiado para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos es principalmente de invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 100 – 200 cm según tamaño de los captadores.
- En base a la simulación anual, el voladizo necesario arrancando a la altura del forjado para la ventana SE (comedor) sería del orden de 200 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 46 kW.h/m² en 'invierno' y 46 kW.h/m² en 'verano'. Un voladizo de 100 cm podría ser adecuado para este hueco buscando primar las ganancias solares en invierno (61 kW.h/m²) pero con ello se incurre en unas grandes ganancias solares en 'verano' (70 kW.h/m²). Desde el punto de vista de la aplicación como porche, se pueden implementar con razonables actuaciones energéticas longitudes de 200 – 300 cm. Sin embargo, para el voladizo de 200 cm en esta orientación, no se consigue anular durante ningún mes del año el aporte solar directo al hueco, a diferencia de lo que ocurría en la orientación sur. El hecho de que esta fachada sea la que tiene una apertura de mayor tamaño hace que desde un punto de vista energético también sea esta la fachada más adecuada para instalar el porche. A ello se une la orientación de la parcela y distribución interna de la vivienda que también confluyen que esta fachada sea la mejor ubicada para instalar el porche. En el caso de requerir disponer captadores solares activos en este voladizo (sólo apropiado para módulos fotovoltaicos si la carga de los fototérmicos es principalmente de invierno) se puede jugar con el tamaño del voladizo en el rango 200 – 300 cm según tamaño de los captadores.
- En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana S superior (habitación-2) sería del orden de 45 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 11,4 kW.h/m² en 'invierno' y 6,4 kW.h/m² en 'verano'.
- En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana S superior (biblioteca) sería del orden de 45 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 24 kW.h/m² en 'invierno' y 14,2 kW.h/m² en 'verano'.
- En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana SO superior (habitación-1) en su configuración larga con balcón sería del orden de 120 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 33 kW.h/m² en 'invierno' y 27 kW.h/m² en 'verano'. De implementar para este ventanal el alero máximo permitido por la normativa (45 cm), los

- aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 42 kW.h/m² en 'invierno' y 42 kW.h/m² en 'verano'.
- En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana SO superior (habitación-1) en su configuración corta sin balcón sería del orden de 100 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia de 19,1 kW.h/m² en 'invierno' y 15,4 kW.h/m² en 'verano'. De implementar para este ventanal el alero máximo permitido por la normativa (45 cm), los aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 25,3 kW.h/m² en 'invierno' y 22,6 kW.h/m² en 'verano'.
 - En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana SO superior (habitación-2) sería del orden de 150 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia de 17,7 kW.h/m² en 'invierno' y 13,6 kW.h/m² en 'verano'. De implementar para este ventanal el alero máximo permitido por la normativa (45 cm), los aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 29,1 kW.h/m² en 'invierno' y 26 kW.h/m² en 'verano'. Si implementamos para este ventanal un alero de 100 cm los aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 22,2 kW.h/m² en 'invierno' y 17,3 kW.h/m² en 'verano'.
 - En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana SE superior (biblioteca) sería del orden de 100 cm. Con ello se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia de 8,9 kW.h/m² en 'invierno' y 9,8 kW.h/m² en 'verano'. De implementar para este ventanal el alero máximo permitido por la normativa (45 cm), los aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 13,4 kW.h/m² en 'invierno' y 15,0 kW.h/m² en 'verano'.
 - La asimetría radiativa del emplazamiento climático considerado (mayor nubosidad en la mañana que por la tarde) conduce a que los aportes energéticos en la fachada SE sean significativamente inferiores a los de la fachada SO, especialmente las componentes de radiación directa. Por este motivo a igualdad de proteccionjes solares en ambas fachadas, se pueden disponer huecos de mayor tamaño en la fachada SE que en la SO. Igualmente, respecto a la ubicación del porche en la fachada SE, a pesar de lo limitado del tamaño propuesto (200 cm), la menor contribución de la radiación directa antes del medio día solar permite que las actuaciones de este porche sean considerablemente superiores a las que se obtendrían con el mismo porche en la fachada SO.
 - En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para la ventana SE superior (habitación-3) sería del orden de 75-100 cm. Para el voladizo de 100 cm se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia de 8,9 kW.h/m² en 'invierno' y 10,1 kW.h/m² en 'verano'. De implementar para este ventanal el alero máximo permitido por la normativa (45 cm), los aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia serían de 13,6 kW.h/m² en 'invierno' y 15,2 kW.h/m² en 'verano'.
 - En base a la simulación anual, el voladizo del tejado necesario para sombrear la ventana sur del salón es superior a 300 cm. Si bien los aportes solares en estas condiciones para la temporada de invierno son superiores a los obtenidos colocando el voladizo en el forjado, los aportes solares en verano con el voladizo de 300 cm en tejado son del orden pero superiores a los correspondientes al colocar un voladizo de 50 cm en el forjado. Para el voladizo de 300 cm en el tejado se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($((\tau\alpha) = 1)$ referidos a la superficie útil de la estancia de 49,8 kW.h/m² en

‘invierno’ y 32,0 kW.h/m² en ‘verano’. Para el voladizo de 100 cm en el tejado se alcanzan aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia de 53,0 kW.h/m² en ‘invierno’ y 45,9 kW.h/m² en ‘verano’.

- A la vista de los resultados anteriores, y dada la imposibilidad por las NNSS de implementar voladizos de 300 cm o superiores en el tejado, podemos concluir que los voladizos del tejado son muy poco efectivos para proteger los huecos de la planta baja.
- El uso del voladizo ficticio creado por el espesor de la pared surge como una alternativa interesante a la colocación de voladizos en forjado para proteger los huecos de la planta baja. En efecto, en el proyecto original estas fachadas ya tienen una mayor espesor pensado en actuar como almacenamiento de energía (inercia térmica). A la vista del coste incremental de construcción (y de licencias) requerido para colocar voladizos en el forjado (contabilizados como porches por las NNSS de Torremocha), puede resultar más económico aumentar el espesor de los muros de estas tres fachadas más allá de lo inicialmente propuesto. Con esto mejoran las características inerciales de la vivienda al mismo tiempo que se consigue una mejor protección solar.
- Tomando como referencia la solución de sombreamiento de la ventana del comedor con un voladizo de 100 cm en forjado, con un muro de 74,5 cm de espesor la penalización en invierno es muy superior a la mejora en verano, mientras que con un muro de 50,5 cm de espesor la mejora en invierno es muy inferior a la penalización en verano. Anticipando un régimen de invierno más crítico desde el punto de vista de consumo energético que el de verano, y teniendo en cuenta que siempre es posible implementar protecciones solares estacionales para el régimen de verano, de entre los espesores de muro considerados, probablemente el más adecuado sería el de 50,5 cm. Los aportes energéticos estacionales máximos ($(\tau\alpha) = 1$) referidos a la superficie útil de la estancia para el muro de 50,5 cm de espesor son de 41,5 kW.h/m² en ‘invierno’ y 31,0 kW.h/m² en ‘verano’.
- Sin embargo, a falta de protecciones estacionales adicionales para el verano, para la ventana del comedor vemos cómo la solución del voladizo de 100 cm en forjado es más apropiada que el sombreamiento con el espesor del muro.
- En el Rincón Hilde (orientación SO), el voladizo en forjado también tiene un mejor comportamiento que el espesor del muro como elemento de sombreamiento, pero la diferencia no es tan grande como en la orientación sur gracias a la mayor efectividad de los aleros laterales frente a los rayos de baja altura solar. En cuanto a la otra ventana de orientación SO (habitación de invitados), el comportamiento del hueco sombreado por espesor de muro es análogo al de el emplazado en Rincón Hilde, pero como el alero en forjado protege mejor al hueco de la habitación de invitados, la comparación con la protección por espesor de muro todavía es más favorable al alero en forjado.
- En el Rincón Hilde (orientación SO), para conseguir una ganancia energética de verano del orden de la que obtenemos con 100 cm de voladizo sobre forjado en muro de 38,5 cm (voladizo efectivo de 138,5 cm) hace falta un muro de 62,5 cm de espesor. Tomando como referencia el voladizo en el forjado de 100 cm, al emplear un muro de 50,5 cm de espesor obtenemos un incremento de las ganancias en invierno del 4,7 % y un incremento de las ganancias en verano del 28,2 %. Si implementamos un muro de 62,5 cm de espesor obtenemos una reducción de un 5,0 % en las ganancias de invierno y un incremento del 6,5 % en las ganancias de verano.
- En la ventana-puerta del salón (orientación SE), debido al mayor tamaño del hueco, la protección solar por espesor de pared no es adecuada. Tomando como referencia el porche de 200 cm, en el caso de implementar un muro de 50,5 cm de espesor los incrementos en las ganancias energéticas son del 48,3 % en invierno y del 94,0 % en

verano. Si implementamos un muro de 86,5 cm de espesor los incrementos en las ganancias energéticas son del 16,3 % en invierno y del 41,2 % en verano.

- Como recomendaciones finales, en base a todo lo anterior podríamos establecer las siguientes guías de diseño:
 - En el caso de que el ayuntamiento de Torremocha permita los voladizos del forjado, la solución óptima desde el punto de vista energético asumiendo un muro de 38,5 cm de espesor consistiría en colocar el voladizo de 45 cm en tejado para el sombreado de los huecos superiores (cumpliendo con NNSS) y un voladizo del forjado de 100 cm en las fachadas SO y S, que por motivos estéticos y funcionales (permitir desplazarse con lluvia sin mojarse) sería conveniente extender a todo el perímetro de la vivienda (excepto garaje anexo). Adicionalmente, la fachada SE se dotaría de un porche de 200 cm, y la entrada a la vivienda también se destacaría con un porche de aproximadamente el mismo tamaño. Probablemente el comportamiento energético mejoraría si a las fachadas SO, S y SE les añadiese un muro de 50,5 cm de espesor, pero la cuantificación de esta hipotética mejora sólo se puede obtener vía simulación dinámica de la vivienda.
 - De no permitirse la implementación de los voladizos de 100 cm en el forjado en las fachadas SO y S, o de considerarse que no compensa económicamente el tener que contabilizarlos como porches, la solución propuesta pasaría por prolongar el alero del tejado a unos 80 - 100 cm en todo el perímetro de la vivienda para proporcionar protección (menor que en el caso anterior) ante la lluvia, y aumentar el espesor de los muros SO y S hasta 50,5 cm. El muro SE, en el caso de seguir contando con el porche de 200 cm podría seguir con el espesor de 38,5 cm, y en caso contrario debería aumentarse también el espesor de esta fachada, aunque para este hueco la protección solar por espesor de muro no resulta adecuada.

5. Referencias

1. García-Casals X., 'El Clima en Torremocha de Jarama: Recopilación de Datos Climáticos para los Análisis Energéticos y de Confort en Tres Viviendas Bioclimáticas de Torremocha de Jarama (Madrid)', Noviembre 2002
2. García-Casals X., 'Consideraciones Energéticas y Bioclimáticas sobre las Viviendas Sostenibles de Torremocha', Informe interno del IIT (IIT-03-003I), Febrero 2003