

Capítulo 7.

Herramienta Informática para la Aplicación de la Zona Variable de Confort Térmico.

7.1. Introducción.

Ya en el capítulo anterior hemos visto cada uno de los parámetros y factores que serán las variantes del modelo matemático con el que se definirá la zona de confort térmico. Ahora en el presente capítulo se describirá como se manipulará o gestionará la herramienta informática de dicho modelo que ha sido introducido en una hoja de cálculo informática (Excel) que se adjunta a este documento en un disco compacto (CD) para facilitar a quien consulte este trabajo la aplicación y estudio del modelo que aquí se propone.

Se ha decidido usar el soporte informático para dar una mayor versatilidad en la aplicación del modelo, pues esto permite modificar cualquiera de las variables y ver inmediatamente los efectos y resultados de estas modificaciones, además de que se ha buscado una representación gráfica con el objeto de facilitar la interpretación de los resultados.

| | | | |
|---|---------------------------|--|--|
| FACTORES | Ambientales | Exteriores | Temperatura del Aire |
| | | | Temperatura Radiante |
| | | | Humedad Relativa |
| | | | Velocidad del Aire |
| | Personales | Fisiológicos y Contributivos | Sexo |
| | | | Edad |
| | | | Peso |
| | | | Tasa de Metabolismo Basal |
| | | | Muscular (Nivel de Actividad) |
| | | | Estado de Salud |
| | | | Intercambio de Calor por Ingestión de Bebidas y Alimentos |
| | | | Historial Térmico Inmediato |
| | | | Mediato |
| Tiempo de Permanencia | | | |
| Variabilidad Temporal y Espacial de los Estímulos Físicos Ambientales | | | |
| Socioculturales y Psicológicos | | Tipo de Vestimenta | |
| | | Expectativas de Confort | |
| | | Contacto Visual con el Exterior | |
| Ambientales | Interiores | Temperatura del Aire | |
| | | Temperatura Radiante | |
| | | Humedad Relativa | |
| | | Velocidad del Aire | |
| Arquitectónicos | Adaptabilidad del Espacio | Movilidad del ocupante dentro del espacio. | |
| | | Modificación de elementos y dispositivos de control ambiental. | |
| PARÁMETROS | Ambientales | Exteriores | Temperatura del Aire |
| | | | Temperatura Radiante |
| | | | Humedad Relativa |
| | | | Velocidad del Aire |
| | Arquitectónicos | Adaptabilidad del Espacio | Movilidad del ocupante dentro del espacio. |
| | | | Modificación de elementos y dispositivos de control ambiental. |

En la tabla anterior se muestran todos los parámetros y factores que se han incluido en este modelo, para los que es necesario introducir los valores del espacio que se esté estudiando y de los sujetos que ocuparán dicho espacio.

Ahora trataremos cómo se deben introducir los datos de cada una de las variables en el modelo informático. El documento de Excel consta de varias hojas, la hoja principal es en la que se introducen los datos y se presenta la gráfica de la zona de confort, como se muestra en la imagen 87.

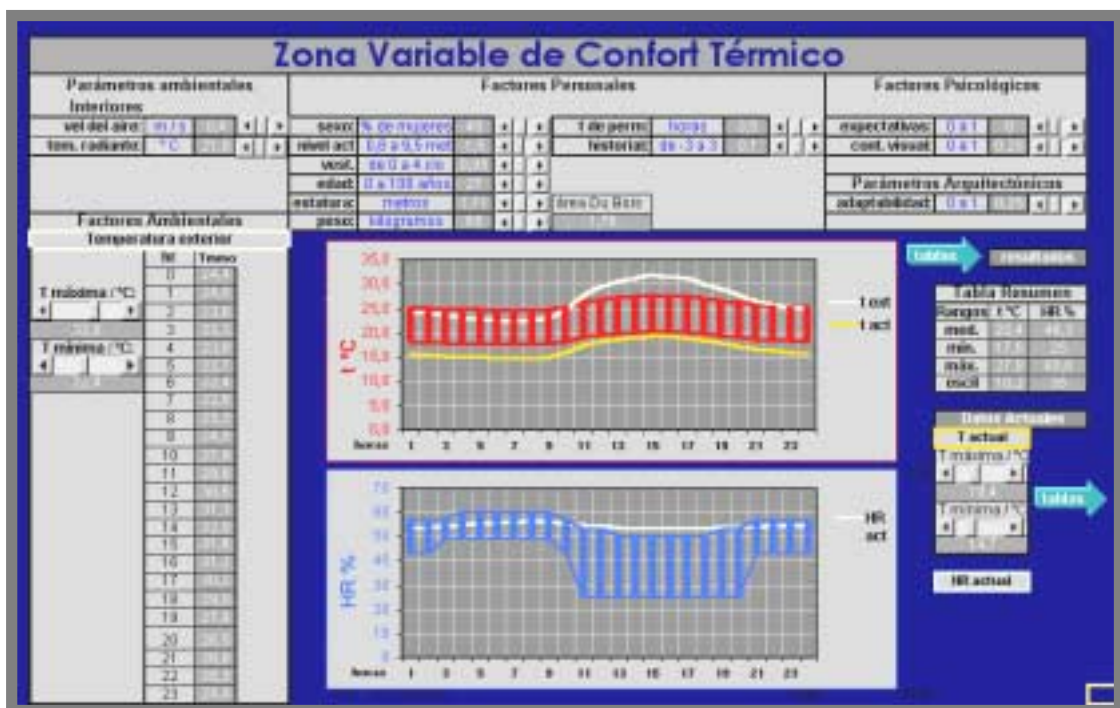


Figura 87.

Imagen de la Hoja Principal de la Aplicación Informática.

En esta imagen (Fig. 87) de la hoja principal se ve a la izquierda la sección de los parámetros ambientales en donde se introducen valores medidos de velocidad del aire interior, temperatura media radiante y temperatura horaria exterior del aire; en el centro, en la parte superior, está el área de los factores personales: sexo, nivel de actividad, vestimenta, edad, estatura, peso, tiempo de permanencia e historial térmico; a la derecha los factores psicológicos: expectativas de confort, contacto visual con el exterior y adaptabilidad; en el centro se encuentra la gráfica que representa la zona de confort térmico y a la derecha, en la parte inferior, se encuentra una tabla de resumen de las temperaturas de la zona de

confort y una tabla en la se introducen los valores para simular la curva de la temperatura interior actual, si se tienen.

Las otras hojas que componen el documento son: portada, instrucciones, tablas de temperaturas, tabla de valores de clo, tabla de valores de met y algunas otras en las que se realizan los cálculos que se presentan en la página principal. A continuación se hablará de como introducir cada uno de los valores de las variables en la hoja de cálculo de Excel.

7.2. Datos a Introducir en el Modelo Matemático.

En este punto se hablará de los datos que se deben introducir para cada una de las variables en el modelo matemático, con los que se definirá la zona de confort térmico correspondiente a la situación y usuarios del caso que se esté analizando.

En la tabla siguiente se muestra la escala, rango y unidades de los valores para cada una de estas variables que se introducirán en la aplicación informática, que a continuación serán expuestas cada una de ellas con detalle.

Tabla de Valores

| Variable | Valores |
|-------------------------|---------------------------|
| Sexo | % entre 0 y 100 |
| Nivel de Actividad | Met entre 0,8 y 9,5 |
| Vestimenta | Clo entre 0 y 4,5 |
| Edad | Años entre 0 y 100 |
| Estatura | Metros entre 1,0 y 2,50 |
| Peso | Kilogramos entre 40 y 150 |
| Tiempo de permanencia | Horas entre 0 y 8 |
| Historial térmico | Entre -3 y 3 |
| Expectativas de confort | Entre 0 y 1 |
| Contacto visual | Entre 0 y 1 |
| Adaptabilidad | Entre 0 y 1 |

7.2.1. Factores Ambientales.

7.2.1.1. Temperatura Exterior del Aire.

La temperatura exterior del aire puede introducirse de dos maneras: la primera es introduciendo los datos de la medición directa de la temperatura de cada hora con lo que tendremos una curva de temperatura más fiable y cercana a la real, la segunda opción es introduciendo solamente la temperatura mínima y la máxima diaria en el cuadro de temperatura exterior (Fig. 88) y en la hoja se calculará automáticamente la temperatura horaria y aparecerá la curva correspondiente de color marfil en la gráfica de la página principal (Fig. 89), estas temperaturas se calcularán mediante la siguiente expresión:

$$T_h = T_{\min} + fh * (T_{\max} - T_{\min})$$

En donde:

T_h = temperatura horaria

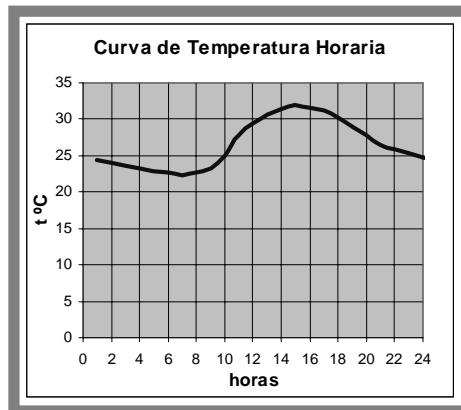
T_{\min} = temperatura mínima

T_{\max} = temperatura máxima

fh = factor horario empírico

Factor horario:

| hora | fh |
|-------|------|
| 0:00 | 0,21 |
| 1:00 | 0,17 |
| 2:00 | 0,13 |
| 3:00 | 0,09 |
| 4:00 | 0,06 |
| 5:00 | 0,03 |
| 6:00 | 0 |
| 7:00 | 0,04 |
| 8:00 | 0,09 |
| 9:00 | 0,26 |
| 10:00 | 0,57 |
| 11:00 | 0,75 |
| 12:00 | 0,85 |
| 13:00 | 0,93 |
| 14:00 | 1 |
| 15:00 | 0,96 |
| 16:00 | 0,92 |
| 17:00 | 0,81 |
| 18:00 | 0,69 |
| 19:00 | 0,56 |
| 20:00 | 0,43 |
| 21:00 | 0,37 |
| 22:00 | 0,3 |
| 23:00 | 0,25 |
| 0:00 | 0,21 |



| Factores Ambientales | | |
|----------------------|----|------|
| Temperatura exterior | | |
| | hr | Tmmo |
| | 0 | 24,4 |
| T máxima / °C: | 1 | 24,0 |
| ◀ 32,0 ▶ | 2 | 23,6 |
| | 3 | 23,3 |
| T mínima / °C: | 4 | 23,0 |
| ◀ 22,4 ▶ | 5 | 22,7 |
| | 6 | 22,4 |
| | 7 | 22,8 |
| | 8 | 23,3 |
| | 9 | 24,9 |
| | 10 | 27,9 |
| | 11 | 29,6 |
| | 12 | 30,6 |
| | 13 | 31,3 |
| | 14 | 32,0 |
| | 15 | 31,6 |
| | 16 | 31,2 |
| | 17 | 30,2 |
| | 18 | 29,0 |
| | 19 | 27,8 |
| | 20 | 26,5 |
| | 21 | 26,0 |
| | 22 | 25,3 |
| | 23 | 24,8 |

Figura 88. Imagen del Área para Introducir la Temperatura Exterior.

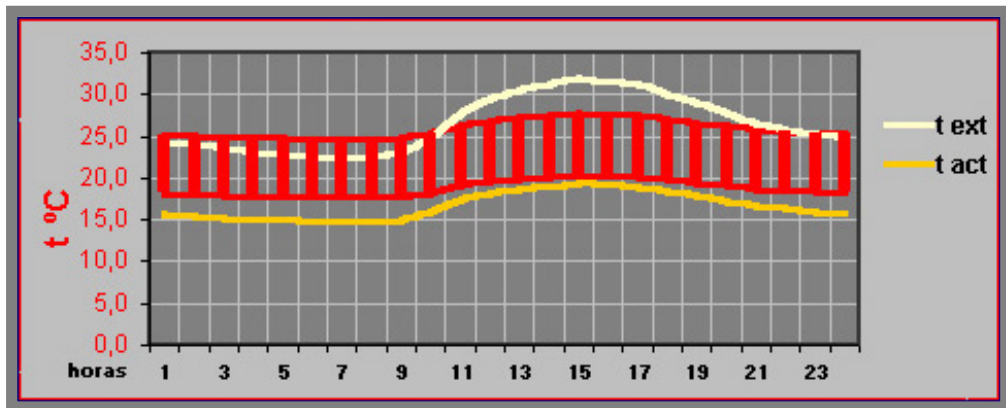


Figura. 89. Gráfica de la Temperatura de la Zona de Confort, Temperatura Actual (t act) y Temperatura Exterior (t ext).

7.2.2. Parámetros Ambientales.

7.2.2.1. Velocidad del Aire.

La velocidad del aire se refiere al aire interior y se introduce en metros por segundo, usando el control como en la mayoría de los parámetros (Fig. 90). El rango de valores que puede introducirse es entre 0 y 15 m/s, aunque dentro de un edificio la velocidad del aire máxima es aproximadamente de 3 m/s.

| Parámetros Ambientales Interiores | | | |
|-----------------------------------|-----|------|---|
| vel del aire: | m/s | 0,4 | <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> |
| tem. radiante: | °C | 21,8 | <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> |

Figura 90. Campo para Introducir Parámetros Ambientales.

7.2.2.2. Temperatura Radiante.

El valor de la temperatura radiante depende de la distancia y del ángulo entre el sujeto y la superficie radiante, por lo que para cada punto dentro de un espacio ésta es diferente aun cuando la temperatura de las superficies o fuentes radiantes de calor no cambien. Para efectos prácticos también se puede tomar el valor promedio de las temperaturas radiantes de las superficies del espacio analizado. Este valor se introduce en °C en un rango de -30°C y 100°C (Fig. 90).

7.2.3. Factores Personales.

La sección del centro corresponde a los factores personales, sexo, nivel de actividad en met, vestimenta en clo, edad en años, estatura en metros, peso en kilogramos, tiempo de permanencia en horas en decimales (1 hora = 1, media hora 0,5, etc.), historial térmico.

| Factores Personales | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|------|---|---|-------------------------|-----------|-----|---|---|
| sexo: | % de mujeres | 45 | ◀ | ▶ | t de perm: horas | 3,5 | ◀ | ▶ | |
| nivel act | 0,8 a 9,5 met | 1,5 | ◀ | ▶ | historial: | de -3 a 3 | 0,1 | ◀ | ▶ |
| vest. | de 0 a 4 clo | 0,95 | ◀ | ▶ | | | | | |
| edad: | 0 a 100 años | 27 | ◀ | ▶ | | | | | |
| estatura: | metros | 1,71 | ◀ | ▶ | área Du Bois | | | | |
| peso: | kilogramos | 65 | ◀ | ▶ | 1,76 | | | | |

Figura 91. Campos para Introducir los Factores Personales.

7.2.3.1. Sexo.

Sexo, el valor que se introduce para esta variante es el porcentaje de sujetos de sexo femenino, lo que hará que la zona de confort se deslice un máximo de medio grado centígrado. Si se introduce el valor 0, la zona de confort no se moverá, si el valor es 100 la zona se deslizará 0,5 °C hacia arriba asumiendo que el total de los ocupantes es de sexo femenino.

| | | | | |
|--------------|--------------|----|---|---|
| sexo: | % de mujeres | 45 | ◀ | ▶ |
|--------------|--------------|----|---|---|

Figura 92. Campo para Introducir el Valor para el Genero de los Ocupantes.

7.2.3.2. Nivel de Actividad.

Nivel de actividad, este punto se introducirá en unidades met, para saber qué tasa de metabolismo (met) corresponde a la actividad de los ocupantes, puede consultarse una lista haciendo clic sobre las palabras "nivel act" y con esto se va a una hoja en donde se encuentra una lista de actividades y su valor correspondiente en unidades met y en W/m².

| | | | | |
|------------------|---------------|-----|---|---|
| nivel act | 0,8 a 9,5 met | 0,8 | ◀ | ▶ |
|------------------|---------------|-----|---|---|

Figura 93. Campo para Introducir el Valor del Nivel de Actividad

7.2.3.3. Vestimenta.

Vestimenta, la capacidad de aislamiento de la vestimenta se introduce en unidades clo, este factor se puede consultar en la lista que aparece haciendo clic sobre la palabra "vest". Para obtener el clo total de la vestimenta en la lista se señalan las prendas que porte el sujeto y en la parte superior derecha aparecerá el clo total que se debe introducir (Apéndice 4). Los valores van de cero para una persona desnuda hasta un valor máximo de 4.

Figura 94. Campo para Introducir el Valor del Aislamiento de la Vestimenta.

7.2.3.4. Edad.

Para este parámetro solo se ha considerado una diferenciación que será para los individuos mayores de 40 años, asumiendo que éstos tienen una preferencia de temperatura mayor en 1°C. Este valor se introduce en años y el rango de valores que aparece es de entre 10 y 100 años.

Figura 95. Campo para Introducir la Edad de los Ocupantes.

7.2.3.5. Constitución Corporal, Peso y Estatura.

Con los datos de estatura y peso del usuario medio, del espacio que se analice, se calculará el área de piel de éste (área de Du Bois) que se utiliza para corregir la influencia del nivel de actividad (met). Los valores de met (tasa de metabolismo) están calculados para usuarios jóvenes y adultos por lo que los parámetros de peso y estatura están restringidos dentro de rangos que corresponden a éstas edades; Para la estatura el rango es entre 1,0 metros y 2,50 metros y el peso entre 40 y 150 kilos.

Figura 96. Campo para Introducir los Datos sobre la Constitución corporal del Ocupante, Peso y Estatura.

7.2.3.6. Tiempo de Permanencia.

Tiempo de permanencia, éste tendrá un rango entre 0 y 8 horas, para permanencias mayores de 8 horas el valor será 8 ya que se esta asumiendo ocho horas como periodo de adaptación. Por correspondencia de unidades este valor se debe introducir en decimales, el control para este parámetro hace avances de 0,25 es decir de $\frac{1}{4}$ de hora.

 A screenshot of a software input field. The label 't de perm:' is on the left. The unit 'horas' is in a dropdown menu. The value '0,5' is entered in the text box. To the right are three buttons: a left arrow, a vertical bar, and a right arrow.

Figura 97. Campo para Introducir el Valor del Tiempo de Permanencia.

7.2.3.7. Historial Térmico.

Historial térmico, depende de la temperatura del ambiente en el que se ha estado anteriormente, si se viene de un ambiente muy frío que podría ser del exterior en el invierno el valor será -3 y por el contrario si se viene de un ambiente caluroso el valor será 3 , dentro de este rango se pueden introducir valores cada $0,5$. Para consultar la correspondencia de este valor con la escala PMV se señala con el cursor la palabra "historial" y se oprime el botón izquierdo del ratón para ir a la hoja en la que aparece una tabla con dichos valores (Apéndice 4).

 A screenshot of a software input field. The label 'historial:' is on the left. The range 'de -3 a 3' is in a dropdown menu. The value '0,1' is entered in the text box. To the right are three buttons: a left arrow, a vertical bar, and a right arrow.

Figura 98. Campo para Introducir el Valor del Historial Térmico.

7.2.3.8. Expectativas de Confort.

Expectativas de confort, este factor se introduce en un rango de 0 a 1, el valor de 0 se daría a lugares de los que previamente esperamos unas condiciones poco confortables y 1 para lugares de los que esperamos que tengan condiciones muy altas de confort térmico. Si no se quiere que se considere este parámetro se introduce el valor $0,5$.

 A screenshot of a software input field. The label 'expectativas:' is on the left. The range '0 a 1' is in a dropdown menu. The value '0' is entered in the text box. To the right are three buttons: a left arrow, a vertical bar, and a right arrow.

Figura 99. Campo para Introducir el Valor de las Expectativas de Confort.

7.2.3.9. Contacto Visual.

Los valores para el factor de contacto visual con el exterior están entre 0 y 1, 0 para sitios en los que no se tiene ningún contacto visual con el exterior del edificio y 1 para locales en los que el contacto visual es muy alto. Al igual que en el parámetro anterior, el valor 0,5 puede usarse para que este parámetro no influya en la zona de confort.



Figura 100. Campo para Introducir el Valor de Contacto Visual con el Exterior.

7.3. Parámetros Arquitectónicos.

7.3.1. Adaptabilidad del Espacio.

Este parámetro se refiere a la oportunidad de adaptación que un espacio arquitectónico ofrece al ocupante, el rango de los valores para este parámetro es entre 0 y 1, el valor para los espacios que ofrezcan nulas posibilidades de adaptación al ocupante y el valor 1 para los espacios con altas posibilidades de adaptación. El control de este parámetro hace avances de 0,25.

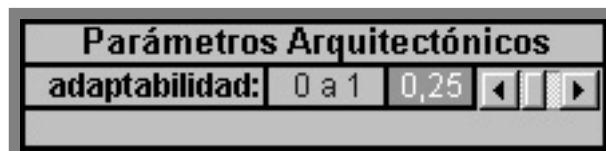


Figura 101. Campo para Introducir el Valor de la Adaptabilidad del Espacio.

7.4. Datos Actuales.

Cuando se analice un espacio existente del que se tengan los datos de temperatura interior del aire y humedad relativa, éstos pueden ser introducidos en el modelo para ser comparados con los resultados de la zona de confort. A estos datos se les denominará en este trabajo Datos Actuales.

7.4.1. Temperatura y Humedad Relativa.

Los datos horarios de humedad relativa y de temperatura se introducen desde la hoja "Datos Actuales" (Figura 102), y si sólo se tienen los datos de temperatura máxima y mínima diaria pueden introducirse desde la página principal (Fig. 103) y con esto se calculará una simulación de la curva diaria. En la gráfica de la pantalla principal aparecerán las curvas respectivas. La curva de la temperatura del aire actual aparecerá también en la gráfica de la página principal en amarillo oro y la de humedad relativa actual en azul claro (Fig. 104).

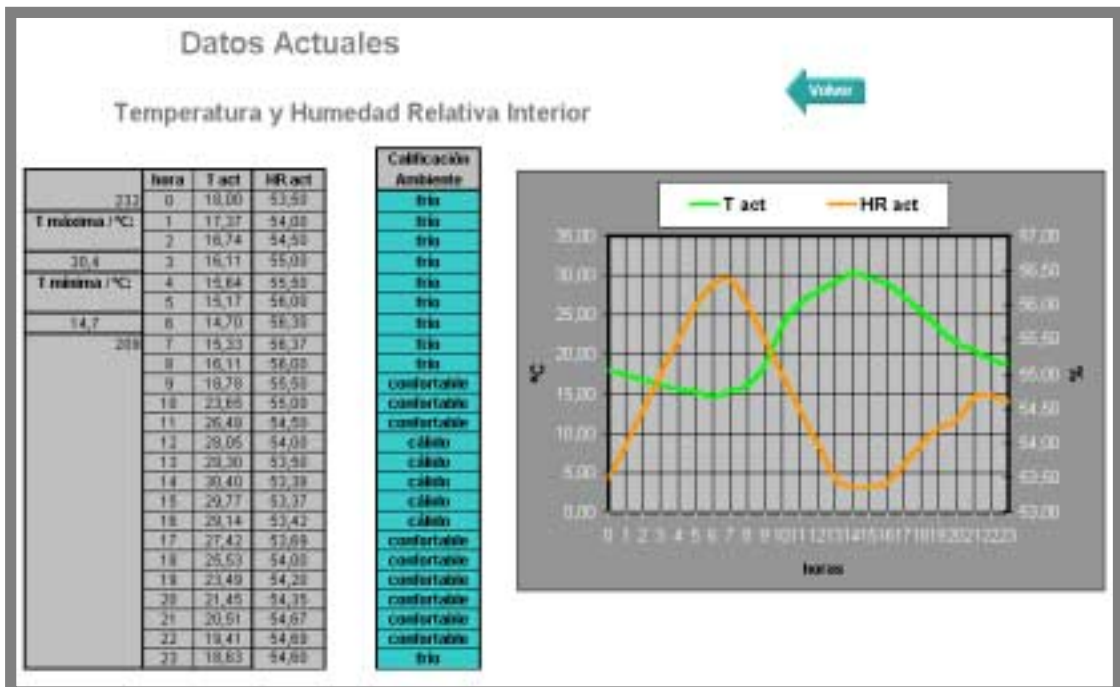


Figura 102. Hoja para Introducir los Datos Actuales Horarios de la Temperatura del Aire y la Humedad Relativa.

The image shows a software window titled "Datos Actuales" (Current Data). It contains several input fields:

- "T actual" (Current Temperature) is highlighted with a yellow box.
- "T máxima / °C" (Maximum Temperature) has a value of 19,4.
- "T mínima / °C" (Minimum Temperature) has a value of 14,7.
- "HR actual" (Relative Humidity) is highlighted with a cyan box.

 A green arrow labeled "tablas" (tables) points to the right from the temperature input fields.

Figura 103. Campo para Introducir los Datos Actuales de la Temperatura Mínima y Máxima del Aire.

En esta hoja también se ve una columna (Fig. 102) en la que se indica en cada hora si la temperatura interior actual del aire esta dentro de la zona de confort. Cuando la temperatura esté dentro de la zona de confort aparece la palabra "confortable", cuando esté fuera del límite inferior aparece la palabra "frío" y cuando supere el límite superior de la zona de confort aparecerá la palabra cálido.

7.5. Resultados.

Ya hemos hablado de los datos a introducir en el modelo matemático de la zona de confort, ahora hablaremos de los resultados que se obtienen de éste. Los resultados pueden verse en forma numérica y gráfica, en la hoja principal se muestran una gráfica con la curva de la temperatura exterior, la temperatura y la humedad relativa de la zona de confort, esta curva y las zonas de confort varían según se introducen y se modifican los valores para los parámetros ambientales y los factores personales.

7.5.1. Gráfica Zona de Confort.

La zona de confort aparece en dos gráficas: en la primera aparece la zona de la temperatura de confort que está definida por dos curvas que especifican el límite inferior y superior de la zona, ambas en color rojo, la temperatura exterior ($T_{m,m}$, temperatura mensual media horaria exterior) en una curva amarilla clara, y la curva de la temperatura actual interior en amarillo oro, la escala se indica a la izquierda en °C.

Y en la segunda gráfica aparece la zona de confort de la humedad relativa en azul y la humedad relativa actual en color azul claro, cuya escala se indica a la derecha en % , (Fig. 104).

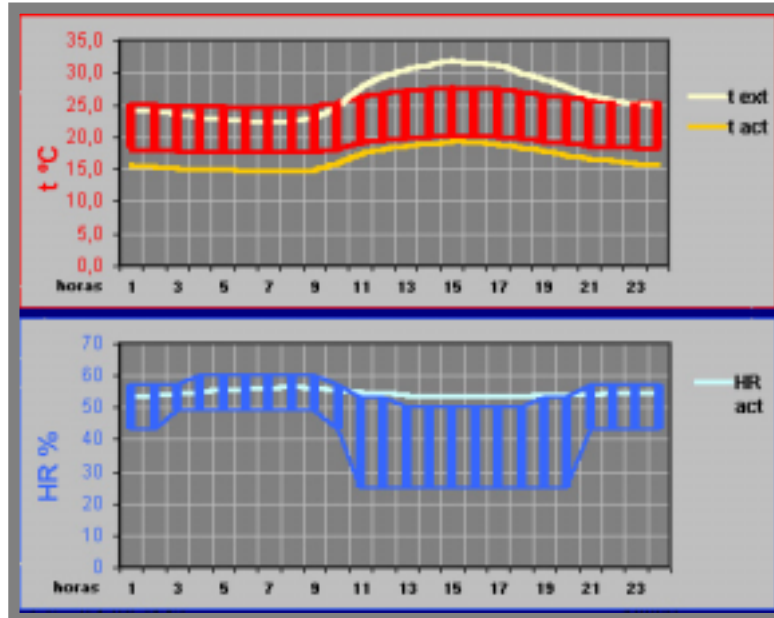


Figura 104. Gráficas de la Temperatura del aire y Humedad Relativa de la Zona de Confort, Temperatura Exterior del Aire y Humedad Relativa y Temperatura Actuales.

Lo que podemos leer en esta gráfica es lo siguiente, el área en rojo delimita la zona de confort térmico y el área en azul delimita la zona de confort de la humedad relativa (Fig. 104), es decir, que las temperaturas y humedad relativa que estén dentro de esta zona se considerarían confortables para las condiciones de cada caso con las que se calcule la “zona variable de confort térmico”.

En la hoja “principal” también se presenta una tabla de resumen, en esta tabla se indica los valores mínimos, medios y máximos para la temperatura y la humedad relativa de la zona de confort, además de la oscilación máxima en el día tanto para la temperatura como para la humedad relativa (Fig. 105).

tablas → resultados

| Tabla Resumen | | |
|---------------|------|------|
| Rangos | t °C | HR % |
| med | 29,5 | 35,0 |
| min | 24,1 | 25 |
| max | 35,3 | 45,0 |
| oscil | 11,2 | 20 |

Figura 105. Tabla de Resumen de Datos Medios, Mínimos y Máximos de la Temperatura y humedad Relativa de la Zona de confort.

7.5.2. Resultados Numéricos, Temperatura, Humedad Relativa y Temperatura de Sensación.

En la hoja "tabla temp-hr", a la que se accede haciendo clic en la flecha "tablas" colocada a la derecha de la hoja principal junto a la palabra "resultados" (Fig. 105), pueden verse los resultados numéricos que corresponden al cálculo de las curvas que delimitan las zonas de temperatura y humedad relativa de la zona de confort y la tabla y gráfica de la temperatura de sensación en los límites de la zona de confort térmico (Fig. 106).

La "temperatura de sensación" es la temperatura compuesta, resultante de la combinación de los parámetros ambientales y los factores personales. Es decir, la temperatura de sensación que percibirá el ocupante en los límites de la zona de confort.

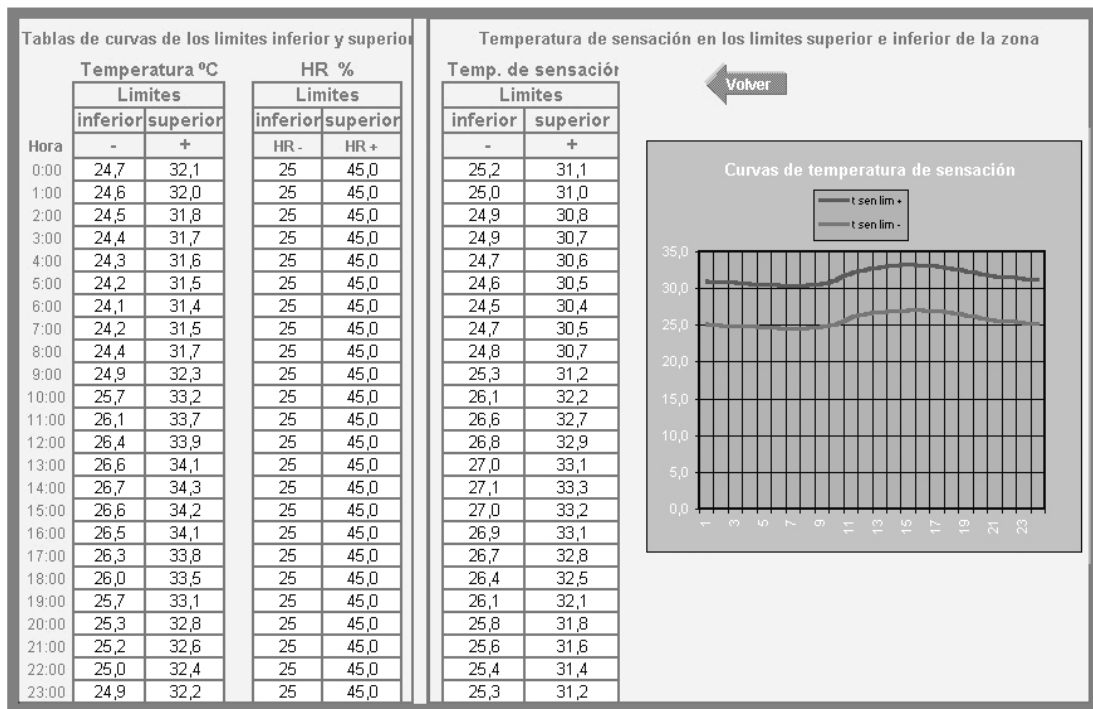


Figura 106. Hoja de Resultados Numéricos de la Temperatura y humedad Relativa de la Zona de Confort Térmico y Resultados y Gráfica de la Temperatura de Sensación.

7.6. Comentario Final.

Vale mencionar que para que el comportamiento del modelo sea más preciso los datos introducidos deben de ser lo más exactos posible, por ejemplo en el caso de la temperatura exterior, lo más conveniente es introducir datos medidos directamente en el ambiente exterior próximo al edificio analizado.

En este capítulo hemos visto cuales son los datos que deben de ser introducidos en el modelo matemático de la zona variable de confort térmico y de que forma deben ser incluidos en éste y también cuáles son las salidas o resultados que éste proporciona. En el capítulo siguiente se dará un ejemplo de aplicación del modelo propuesto.