

Capítulo 3 WINDELSOL 1.0 COMO HERRAMIENTA DE TRABAJO

Debido al gran número de variables interrelacionadas que intervienen en el proceso de optimización de un SRC, el uso de herramientas informáticas resulta fundamental para obtener una solución óptima, además de facilitar el análisis de la misma.

Una de estas herramientas informáticas es WinDelsol 1.0, desarrollado conjuntamente por: AICIA, CIEMAT y SOLUCAR, el cuál mantiene el mismo esquema y código de trabajo que DELSOL3, código desarrollado por Sandia National Labs (USA).

A continuación se pasan a detallar las características fundamentales de estas herramientas. Se comenzará describiendo de forma general el código DELSOL3, por ser en el cuál se apoya para su funcionamiento WinDelsol 1.0, a continuación se indicarán las características adicionales que presenta éste último respecto a DELSOL3, indicando sus estrategias de trabajo y la forma de crear la carta de entrada de variables para problemas de optimización

3.1 Consideraciones Generales acerca de DELSOL3

El código DELSOL3 utiliza entre otros [5]:

- Un modelo detallado de comportamiento óptico basado en un método analítico de Hermite de convolución/expansión polinómica de momentos para predicción de la imagen de los heliostatos sobre el receptor.
- Un modelo simplificado para el comportamiento no óptico.

- Un algoritmo para la determinación de la disposición geométrica de los heliostatos sobre el campo de la planta desarrollado por la Universidad de Houston.
- Un algoritmo de búsqueda del diseño óptimo en base a costes económicos de la energía producida.

El código puede abordar dos tipos de problemas:

- 1) Cálculo del diseño óptimo.
- 2) Cálculo del comportamiento de un campo de heliostatos definido.

En el primer tipo de aplicación el usuario debe especificar el tipo de heliostato y receptor a emplear, la localización geográfica de la planta, y el rango de variación para todas las variables a optimizar. DELSOL3 busca la combinación de las variables a optimizar (teniendo en cuenta las restricciones que puedan existir, tanto restricciones de terreno como de flujo máximo en el receptor) que hacen que el coste de producción de la energía sea mínimo (ver Figura 3.1). El coste de producción de la unidad de energía eléctrica que trata de minimizar el código para un problema de optimización se denomina con las siglas “LEC” (Levelized Energy Cost), y viene dado por la expresión:

$$LEC = \frac{(CC \times FCR) + O \& M}{AkWh}, \text{ donde:}$$

CC: Capital a invertir al inicio del proyecto.

FCR: Tasa a pagar anualmente referente a costes fijos.

O&M: Coste de operación y mantenimiento anual.

AkWh: Energía eléctrica producida anualmente.

Para una planta híbrida el LEC se calcularía incluyendo: en el capital a invertir, el coste del equipo de apoyo, en los costes de O&M su coste de mantenimiento y además habría que sumar en el numerador de la expresión anterior el consumo de combustible anual.

En el segundo tipo de aplicación de DELSOL3, el usuario especifica el diseño completo de un sistema (incluyendo las coordenadas de posición de cada heliostato en el campo) y el código calcula su comportamiento óptico y energético, bien para un instante determinado, o bien en base anual (ver Figura 3.2). El sistema especificado en este tipo de aplicación puede ser el sistema óptimo calculado por el código previamente. Aunque de cualquier forma las coordenadas de posición de los heliostatos en el campo tienen que ser especificadas por el usuario, pues DELSOL3 tan sólo devuelve en el problema de optimización las densidades de heliostatos por sectores del campo, no las coordenadas exactas de cada uno.

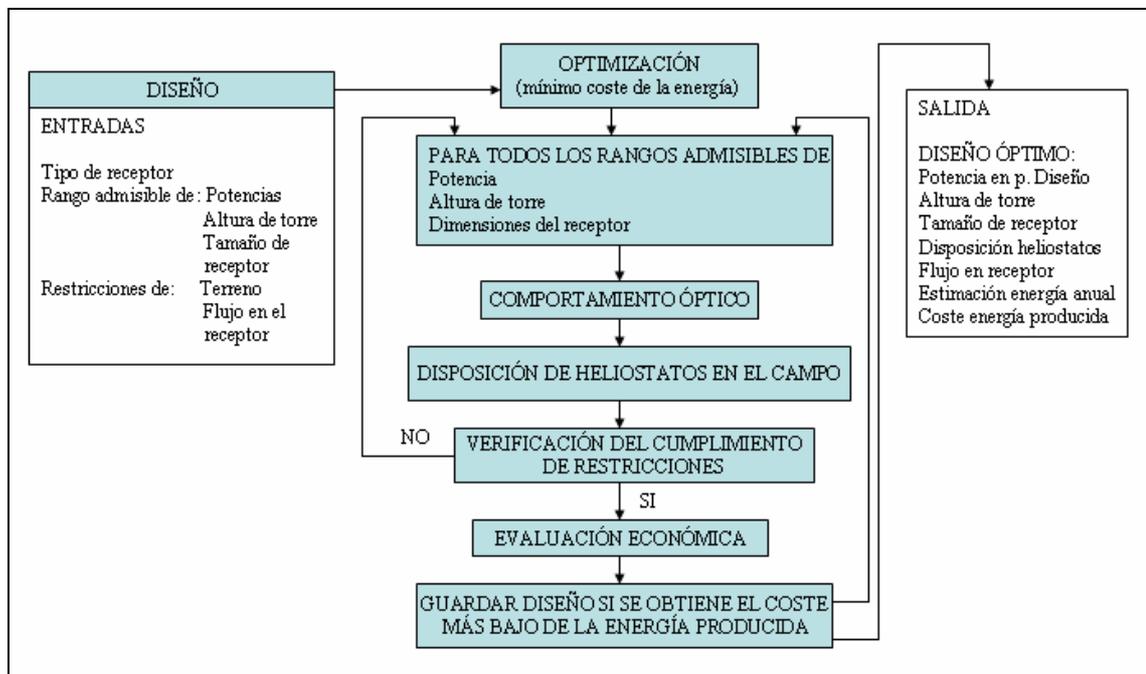


Figura 3.1- Esquema de trabajo del código DELSOL3 para un problema de optimización

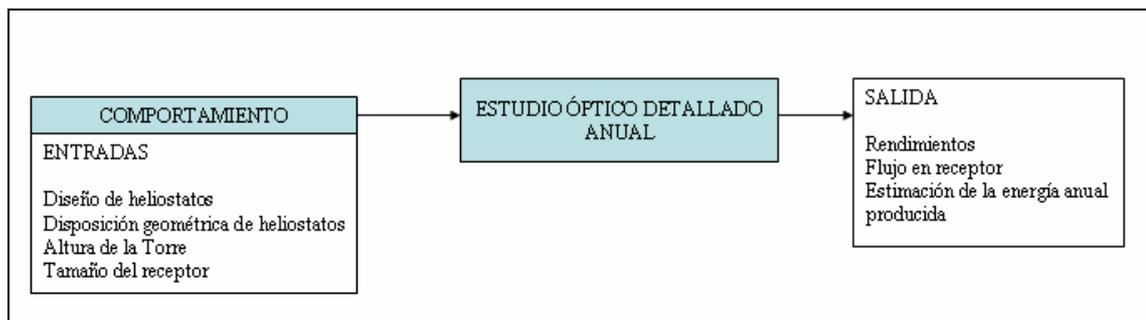


Figura 3.2- Esquema de trabajo del código DELSOL3 para un problema de comportamiento

3.2 Consideraciones Generales acerca de WinDelsol 1.0

WinDelsol mantiene la misma estrategia de trabajo que DELSOL3, es decir, resuelve el problema de cálculo del diseño óptimo y realiza el cálculo del comportamiento de un campo definido por coordenadas de posición de los heliostatos.

Sin embargo WinDelsol presenta características adicionales respecto a DELSOL3, las cuales se resumen a continuación:

- 1) Uso de Windows, el cuál supone un entorno de trabajo más familiar para el usuario respecto al entorno MS-DOS con el que trabaja el código DELSOL.

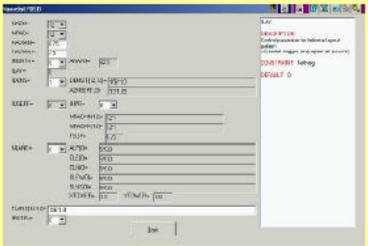
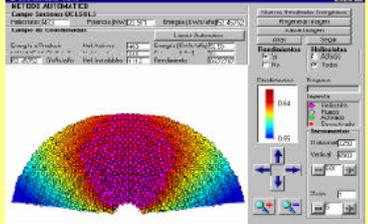
	Delsol	WinDelsol
Input	<pre> &BASIC Iprob=4 Inpe=1 / &FIELD / &HSTAT / &REC / &NLFLUX Ifix=1 Nstix=13 FAZMIN=0.0 FAZMAX=360.0 Nyfix=13 </pre>	
Output	<pre> DELSOL3 A COMPUTER CODE FOR CALCULATING THE OPTICAL CONSTANT LOSSES - MIRROR= .910 REC REFL= .965 TOTAL= .878 1 HELIOSTAT RECTANGULAR HELIOSTAT - WIDTH = 9.91 M, HEIGHT = 9.92M OVERALL AREA/HSTAT= 98.406 M2, REFLECTIVE AREA/HSTAT = 95.454 RATIO (REFLECTIVE/TOTAL)= .970 THE SHADOWING AND BLOCKING ARE ASSUMED NOT TO OVERLAP </pre>	

Figura 3.3- Entorno Delsol/WinDelsol

- 2) Inclusión de una herramienta para editar el fichero de entrada (o fichero Input) al programa, que tiene en cuenta las restricciones de DELSOL3 sobre las variables del problema. Esto hace que sea difícil generar un fichero de entrada con valores contradictorios para las variables.

3) Extracción propia de resultados de las más de 50 páginas que DELSOL3 proporciona en el fichero de salida (o fichero Output), y presentación de una pantalla con los resultados más importantes. Los resultados menos relevantes (y que no aparecen por tanto en la pantalla antes mencionada), pueden ser también analizados en el entorno de WinDelsol a través de la opción de acceso al fichero Output.

4) Interpretación gráfica de resultados, especialmente aquellos que son difíciles de analizar de una forma rápida en el fichero Output de DELSOL3, tales como la geometría del receptor y su mapa de flujo. Además WinDelsol permite realizar una rápida interpretación a través de gráficos, de los resultados relacionados con la configuración del campo de heliostatos, la distribución del factor coseno en el campo, sombras y bloqueos, desbordamiento, atenuación atmosférica, etc.

5) Cálculo de las coordenadas de posición de los heliostatos en el campo.

6) Generación automática del fichero de entrada para probar el comportamiento del campo óptimo calculado, incluyendo el agrupamiento por filas de la distribución geométrica de heliostatos en el campo definidos por coordenadas. Este fichero de entrada puede ser generado tanto para un problema de comportamiento en un instante determinado (el punto de diseño), como en base anual, a través de la matriz de comportamiento anual. Aunque es posible en DELSOL3 hacer el problema de comportamiento de un campo definido en un instante de tiempo diferente al del punto de diseño, esta opción no se recoge en WinDelsol por las dos razones siguientes:

- Este cálculo está incluido en la matriz de comportamiento anual y puede ser deducido de ella.
- La tarea fundamental de WinDelsol es generar la distribución geométrica óptima de heliostatos en el campo, el cálculo de la altura óptima de torre y calcular la geometría del receptor propuesto. El cálculo del comportamiento de un sistema optimizado incluyendo las coordenadas de los heliostatos en el campo, puede considerarse como una verificación de que la solución propuesta por WinDelsol es correcta.

3.2.1 Modos de Trabajo de WinDelsol 1.0

A continuación se describe el procedimiento de trabajo de WinDelsol para los diferentes tipos de cálculo que realiza:

1) Cálculo del diseño óptimo:

El código DELSOL3 es ejecutado desde un fichero “Input.txt”, el cuál debe ser escrito de forma compatible con el código anterior, teniendo en cuenta las numerosas restricciones entre las variables, y además debe tener un formato compatible con WinDelsol. Como WinDelsol necesita tomar los datos del fichero de texto “Output.txt” procedente de la ejecución de DELSOL3, el modelo para el fichero de texto “Input.txt” se debe mantener con un formato fijo para que el fichero “Output.txt” sea analizable.

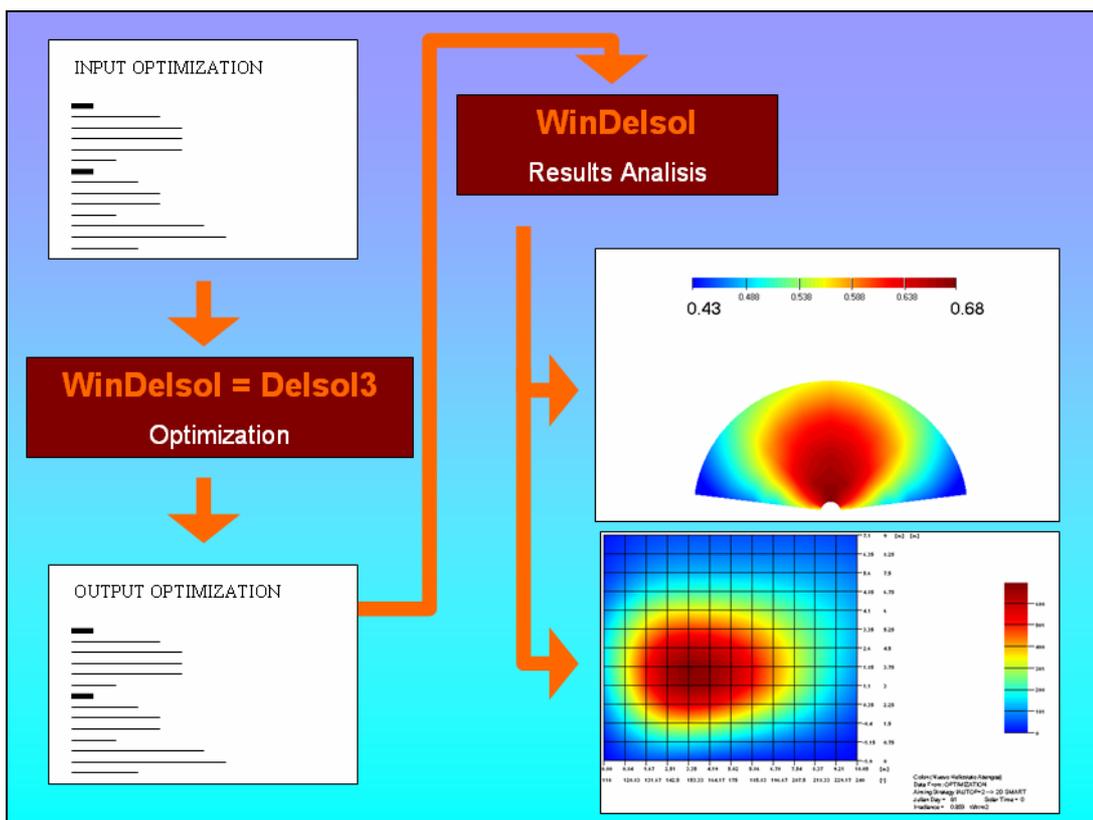


Figura 3.4- Procedimiento de trabajo de WinDelsol para el cálculo del diseño óptimo

2) Etapa de disposición de heliostatos en el campo:

Esta es una etapa exclusiva de WinDelsol en la que a partir del fichero “Output.txt”, obtenido tras ejecutar DELSOL3 para el cálculo de un diseño óptimo, representa las posibles posiciones de los heliostatos sobre el terreno disponible y el mapa de distribución de eficiencia óptica anual sobre el mismo. Posteriormente, tras especificar la energía anual a producir por la planta, WinDelsol seleccionará el número de heliostatos necesarios para producir dicha energía, escogiendo en la medida de lo posible los que estén situados en las zonas de mejor eficiencia óptica.

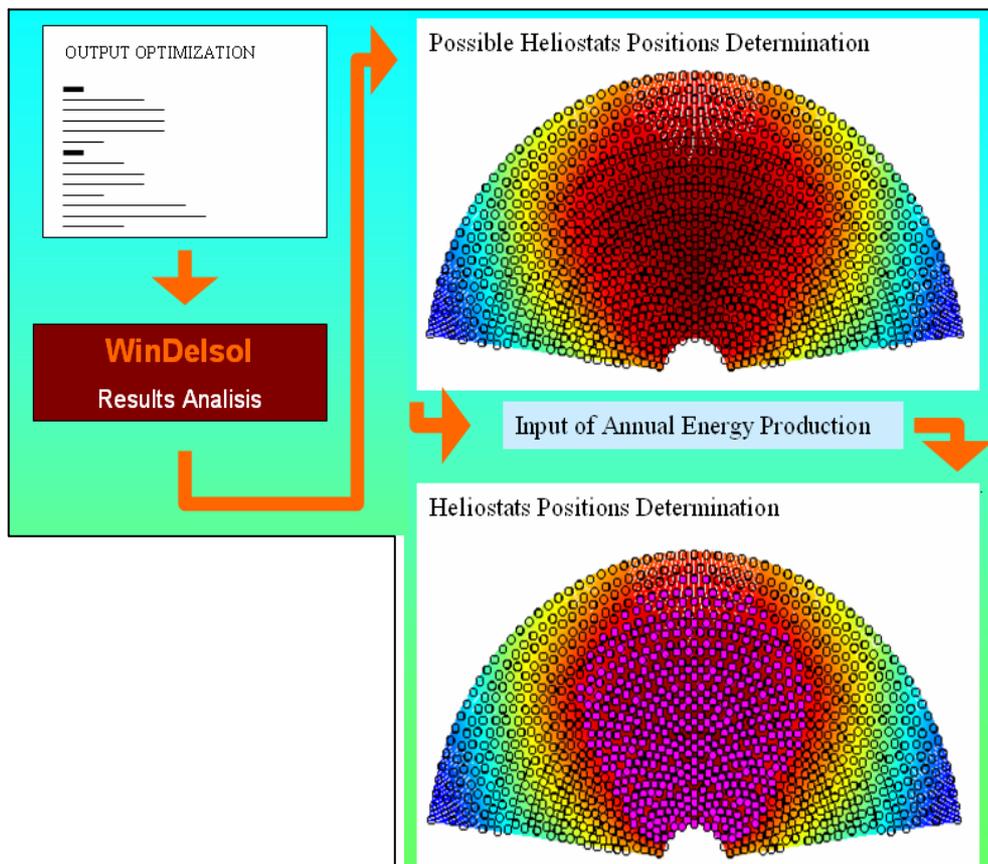


Figura 3.5- Procedimiento de trabajo de WinDelsol para el cálculo de la disposición geométrica de los heliostatos en el campo

3) Cálculo del comportamiento del campo:

Tal como muestra la Figura 3.6, la información incluida en el fichero original (Input.txt) junto con el campo de heliostatos calculado en la etapa anterior, generan los ficheros de entrada a WinDelsol para el cálculo del comportamiento del campo. Se pueden generar dos tipos de ficheros, dependiendo de si se desea obtener el comportamiento del campo propuesto en un instante determinado (en el punto de diseño), o el comportamiento en base anual mediante el cálculo de una matriz de eficiencias.

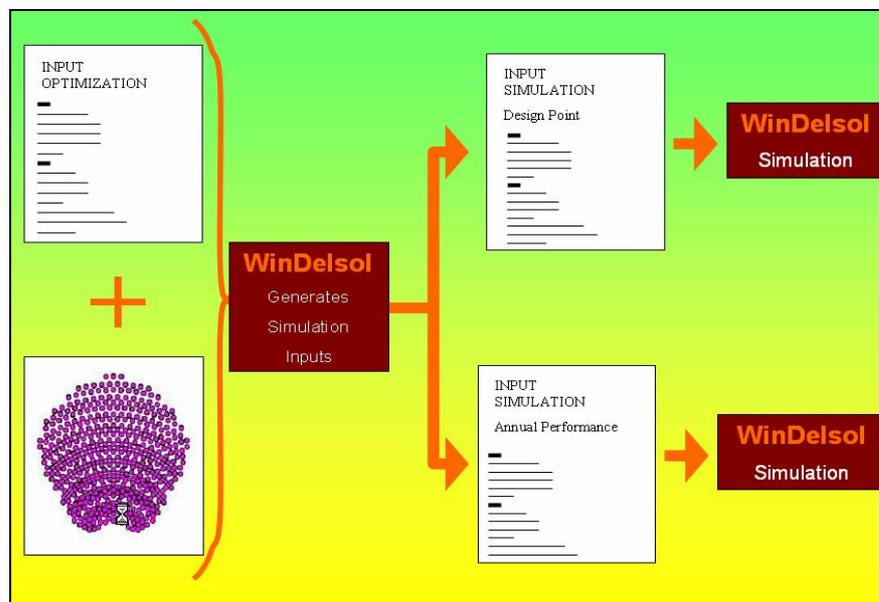


Figura 3.6- Procedimiento de trabajo de WinDelsol para el cálculo del comportamiento de un campo de heliostatos definido por coordenadas

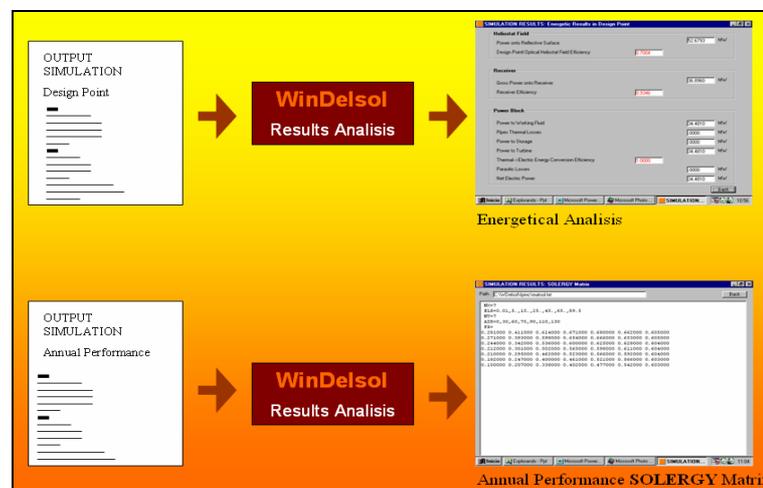


Figura 3.7- Análisis de resultados del problema de comportamiento

En la Figura 3.7 se hace una representación del tratamiento de los resultados obtenidos una vez realizada la simulación del campo definido por coordenadas, en el punto de diseño o en base anual. En ambos casos se genera un fichero “Output.txt” cuya información es analizada por WinDelsol, mostrando a continuación el análisis energético en el punto de diseño o la matriz de comportamiento anual (llamada SOLERGY pues es el nombre del código que analiza posteriormente los valores de dicha matriz).

3.2.2 Carta de Entrada para Optimizaciones con WinDelsol 1.0

La carta o fichero de entrada (fichero Input.txt) para un problema de optimización se puede realizar con el editor de entradas (Edit Input) de WinDelsol (como ya se comentó, ésta es una de las novedades que presenta WinDelsol respecto a Delsol), creando de esta manera un fichero que será ejecutado por DELSOL3. Esta carta de entrada está compuesta por una sucesión de listas de variables encabezadas por su nombre. En total existen nueve tipos distintos de listas, englobando cada una de ellas un conjunto de variables relativas a un aspecto de la optimización. En la Tabla 3.1 se muestran los nueve tipos de listas y las especificaciones asociadas a cada una.

Con el editor de entradas de WinDelsol se va accediendo a cada lista de variables y seleccionando el valor para cada una de ellas. Para cada variable WinDelsol ofrece información acerca de su significado, las restricciones en sus valores (de acuerdo con Delsol) y su valor por defecto (establecido igualmente por Delsol).

Lista de variables	Especificaciones
BASIC	Localización de la planta
	Punto de diseño
	Irradiancia en el punto de diseño
	Forma del sol
	Condiciones de turbiedad atmosférica
FIELD	Restricciones de terreno
	Campo Norte/circular
HSTAT	Forma del heliostato
	Dimensiones del heliostato
	Disposición de facetas en el heliostato
	Reflectividad del heliostato
	Distancia focal de las facetas del heliostato
REC	Altura y diámetro de la torre
	Geometría del receptor
	Dimensiones del receptor
	Absortividad del receptor
	Orientación del receptor
NLFLX	Definición de retícula sobre la que evaluar flujo en el receptor
	Flujo límite en el receptor
NLEFF	Rendimientos de los sistemas convencionales
	Factor de carga
OPT	Rangos de variación de las diferentes variables a optimizar
NLCOST	Estimación del coste de los heliostatos
	Estimación del coste de la torre
	Estimación del coste del receptor
	Estimación del coste de los elementos convencionales
	Estimación de costes de operación y mantenimiento
NLECON	Inflación
	Período de amortización
	Intereses

Tabla 3.1- Listas de variables usadas por Delsol/WinDelsol y especificaciones asociadas