

## Anexo de Teoría de ELECTRE IV.

## FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DEL MÉTODO ELECTRE IV.

Los métodos Electre (Elimination et Choix Traduisant la Realité) se crearon desde el centro Lamsade (Laboratoire d'Analys et Modélisation des Systèmes pour l'Aide à la Decision) de la Universidad de París IX (Dauphine) a partir del año 1968, año en el que Bernard Roy y sus colaboradores desarrollaron el primer método Electre. Desde esta época se ha extendido la utilización de los métodos Electre por toda Europa, como lo demuestra la abundante literatura existente sobre estos métodos y sus aplicaciones (Rogers et al., 1999).

Los métodos Electre están basados en la definición de relaciones de superación<sup>1</sup> entre cada par de alternativas, afirmándose que una alternativa  $a_i$  supera a otra  $a_k$  si  $a_i$  "es tan buena al menos" como  $a_k$  en "una mayoría" de los criterios, y no hay ningún criterio en el que sea "notoriamente inferior". La tabla 1 muestra la evolución de los diferentes métodos Electre desarrollados por Roy y sus colaboradores.

*Tabla 1.- Métodos Electre.*

Versión	I	II	III	IV	IS	TRI
Autor	Roy	Roy y Bertier	Roy	Roy y Hugonnard	Roy y Skalka	Yu
Año	1968	1971 y 1973	1978	1982	1985	1992

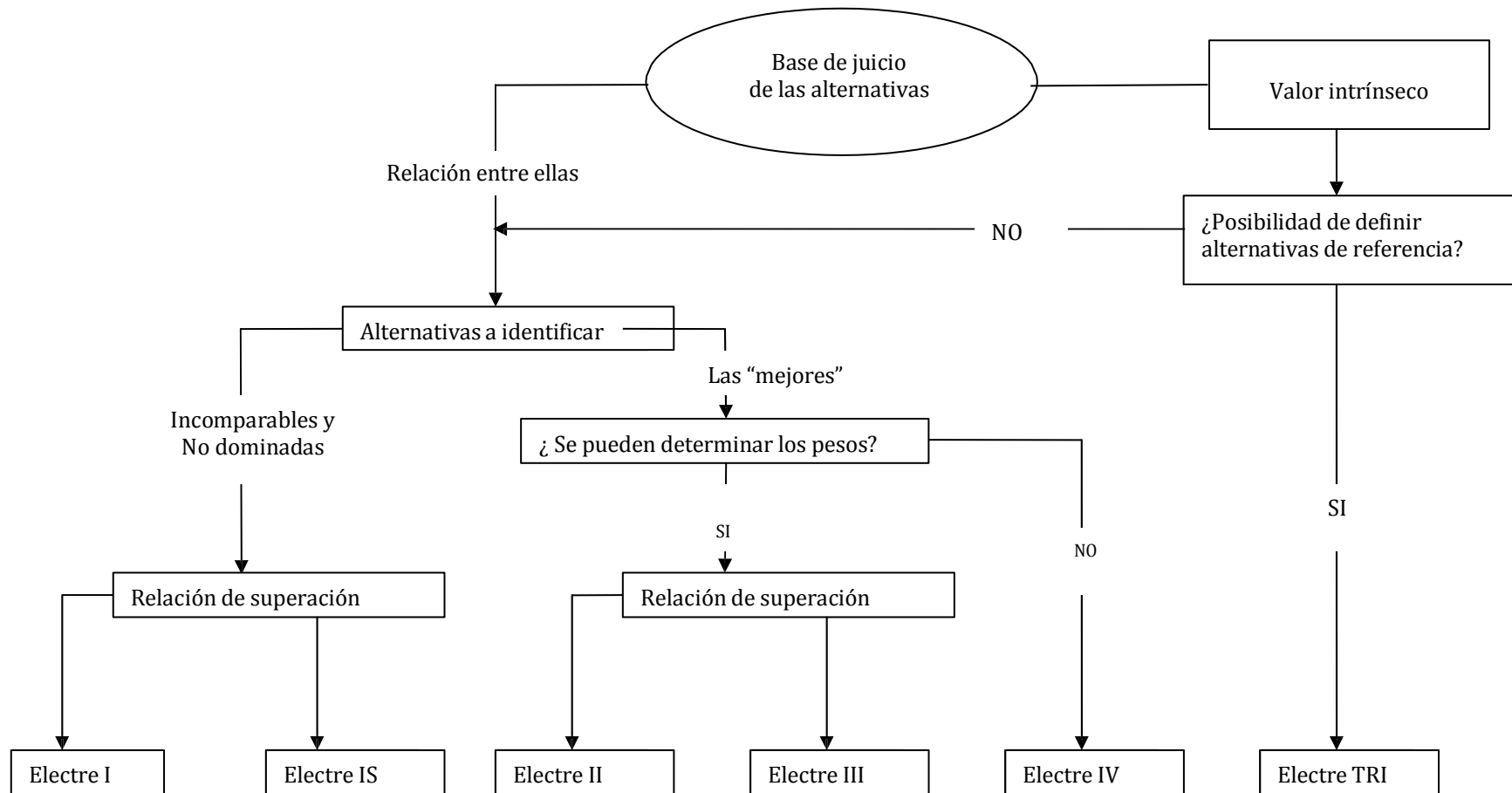
El problema que se debe resolver, junto con la disponibilidad de datos va a condicionar la elección de un método determinado de resolución Electre según se muestra en la figura 1.

Previamente es preciso establecer conceptos básicos que posteriormente van a ser utilizados. Todos los métodos incluidos en el paradigma de la decisión multicriterio comparten los mismos conceptos básicos y la diferencia fundamental entre ellos se presenta en la fase de agregación y en el análisis posterior.

---

<sup>1</sup> "Surclassement" en francés, "Outranking" en inglés.

Figura 1.- Selección del Método Electre



Fuente: Maestre, Pictet y Simons (1994).

## **Definiciones previas.**

### **Actores y Decisores.**

Roy (1985) define a un actor como un individuo o grupo de individuos que, bien sea, a un primer nivel (quien toma la decisión) de las intenciones de este individuo o grupo de individuos o a un segundo nivel (facilitador) por la manera en que hace intervenir las de otros individuos, tiene una influencia directa o indirecta sobre la decisión. Como un actor más dentro del proceso de toma de decisiones aparece la figura del decisor, figura central del proceso y destino último de la ayuda a la decisión.

Otro actor clave en el desarrollo del proceso es, según Jacquet-Lagrèze (1981), el hombre de estudio o analista que asume la ayuda a la decisión utilizando modelos más o menos formalizados.

En este estudio vamos a valorar las comarcas como fuente de ventajas competitivas.

### **Definición de las acciones.**

El analista, en un primer momento, va a definir el conjunto de acciones potenciales que el decisor puede prever. Este conjunto es designado por  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , donde  $a_i$  son las acciones potenciales, entendidas como aquellas acciones reales o ficticias que provisionalmente es juzgada realista por al menos un actor. Las acciones hay que entenderlas de forma amplia y podrán ser soluciones, alternativas, candidatos o decisiones.

### **La modelización de las preferencias.**

Una etapa fundamental en la ayuda a la decisión es aquélla en la cual se tienen en cuenta las preferencias del decisor en relación con las acciones. Se va a admitir que estas preferencias pueden ser modelizadas mediante las siguientes cuatro situaciones caracterizadas a través de relaciones binarias (en el sentido de que relacionan dos alternativas del conjunto de acciones):

- a) Indiferencia: la acción  $a_i$  es indiferente a la acción  $a_k$  y se denota por  $a_i I a_k$ . Esta relación es simétrica<sup>2</sup> y reflexiva<sup>3</sup>. Esta situación de indiferencia corresponde a aquellas situaciones en las que de forma clara y objetiva existe una equivalencia entre las acciones.
- b) Preferencia estricta: la acción  $a_i$  es estrictamente preferida a la acción  $a_k$  y se denota por  $a_i P a_k$ . Esta relación es asimétrica<sup>4</sup> e irreflexiva<sup>5</sup>. Esta situación corresponde a aquellos casos en los que de forma clara y objetiva existe una preferencia significativa de una de las dos acciones.
- c) Preferencia débil: la acción  $a_i$  es débilmente preferida a la acción  $a_k$  y se denota por  $a_i Q a_k$ . Esta relación es asimétrica e irreflexiva. Esta situación de preferencia débil corresponde a aquellas situaciones en las que de forma clara y objetiva se invalida una preferencia estricta a favor de una de las acciones, pero esas razones son insuficientes para deducir una preferencia estricta a favor de la otra o una indiferencia entre las dos acciones.
- d) Incomparabilidad: las acciones  $a_i$  y  $a_k$  son incomparables y se denota por  $a_i R a_k$ . Esta relación es simétrica e irreflexiva. Esta situación de incomparabilidad se da en aquellas situaciones en las que de forma clara y objetiva no se da ninguna de las tres anteriores.

Estas situaciones fundamentales incompatibles deben servir para construir un modelo satisfactorio que modele las preferencias del decisor haciendo corresponder a cada par de acciones potenciales una sola o una agrupación de dos o tres de estas situaciones fundamentales.

La figura 2 muestra algunas de las diferentes agrupaciones de las relaciones anteriores que se pueden producir:

---

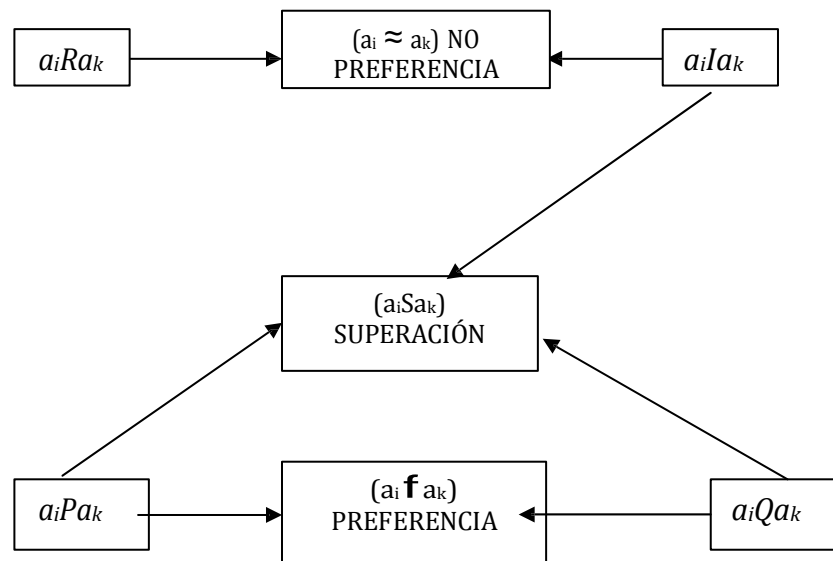
<sup>2</sup> Una Relación Binaria  $R$  sobre un conjunto  $A$  es simétrica cuando se cumple que si un elemento está relacionado con otro mediante  $R$ , entonces ese otro también está relacionado con el primero.

<sup>3</sup> Una relación binaria  $R$  sobre un conjunto  $A$  es reflexiva si todo elemento de  $A$  está relacionado consigo mismo mediante  $R$ .

<sup>4</sup> Una Relación binaria sobre un conjunto  $A$  es asimétrica cuando es lo opuesto a una simétrica, o sea, cuando se da que si un elemento está relacionado con otro mediante  $R$ , entonces ese otro no está relacionado con el primero.

a) Una situación de no preferencia corresponde a la ausencia de razones claras y positivas que justifiquen una preferencia estricta o una preferencia débil a favor de una cualquiera de las dos acciones, y agrupa las situaciones de indiferencia y de incomparabilidad.

*Figura 2.- Relaciones que modelizan las preferencias del decisor y agrupaciones entre ellas.*



b) Una situación de preferencia, en sentido amplio, corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifican una preferencia estricta o débil a favor de una de las dos acciones, y agrupa las situaciones de preferencia estricta y de preferencia débil.

c) Una situación de superación corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifiquen una preferencia o una presunción de preferencia a favor de una de las dos alternativas, pero sin que se establezca ninguna separación o distancia significativa entre las situaciones de preferencia estricta, preferencia débil y de indiferencia. Existe proximidad entre las preferencias del decisor, pero esa proximidad no es lo suficientemente grande como para poder hablar de preferencia estricta, ni lo suficientemente pequeña como para hablar de

<sup>5</sup> Una relación binaria  $R$  sobre un conjunto  $A$  es irreflexiva cuando es lo opuesto a reflexiva, o sea,

preferencia débil o de indiferencia. Se sitúa entre preferencia estricta y preferencia débil.

Apoyándose bien en relaciones fundamentales  $(R, I, P, Q)$  o bien en agrupadas (no preferencia, preferencia y superación), se construye un modelo que sea capaz de satisfacer las preferencias de un actor. Este modelo es lo que se denomina un “sistema de preferencias”.

### Criterios de evaluación

Siguiendo a Maystre et al. (1994), un criterio es la expresión cualitativa o cuantitativa de puntos de vista, objetivos, aptitudes o dificultades relativas al contexto real, permitiendo juzgar personas, objetos o eventos. Para que una expresión tal pueda devenir en un criterio, debe de ser útil para el problema considerado y fiable.

No basta con definir un conjunto de criterios, es necesario construir un conjunto de criterios que puedan ser comprendidos y aceptados por todos los intervinientes en el proceso de decisión. Esto se expresa mediante el concepto de “familia coherente de criterios”. Se le designa por la letra F y debe cumplir tres características:

e) Exhaustividad<sup>6</sup>.

f) Coherencia<sup>7</sup>.

g) No redundancia<sup>8</sup>.

### Evaluación de las acciones.

En la siguiente etapa, cada acción debe ser evaluada según cada uno de los criterios de la familia coherente. Este juicio, denominado evaluación, es

---

cuando se da que ningún elemento de A está relacionado consigo mismo mediante R.

<sup>6</sup> Con esta exigencia se hace referencia al caso en el que si la valoración de un par de alternativas respecto a un criterio perteneciente a esa familia es la misma, la afirmación de que ambas alternativas son indiferentes debe ser aceptada sin ambigüedad.

<sup>7</sup> Se exige coherencia en el sentido de que si para dos alternativas a y b su valoración respecto de todos los criterios excepto para uno es la misma, y en ese que es distinto la valoración de a es mejor que la de b, se puede afirmar sin ambigüedad que a es mejor que b.

<sup>8</sup> Con esta característica evitamos la duplicidad de los criterios.

simbolizado por  $g_j(a_i)$ . El conjunto de evaluaciones puede ser representado por una tabla de doble entrada, denominada matriz de evaluaciones, en la que cada línea representa una acción y cada columna un criterio.

#### Procedimiento de agregación.

La primera fase consiste en construir una relación de superación global sobre las acciones partiendo de las relaciones de superación parciales bajo cada uno de los criterios. La relación de superación es una relación binaria, definida sobre el conjunto A de acciones, que implica lo siguiente: una acción  $a_i$  supera a una acción  $a_k$  si es posible afirmar, con argumentos convincentes, que para el decisor,  $a_i$  es al menos tan buena como  $a_k$ .

En los métodos Electre, la relación de superación se plantea como una hipótesis que el estudio debe confirmar o desmentir. Para construir la relación de superación, estos métodos se sirven de:

- La hipótesis de superación, construida a partir de las nociones de concordancia y discordancia. Es la hipótesis planteada para todo par de acciones (la acción  $a_i$  supera a la acción  $a_k$ ), que se pretende verificar.
- Una noción de concordancia y otra de no discordancia. Suponiendo la hipótesis de superación, se dice entonces del criterio  $j$  que concuerda con dicha hipótesis si la acción  $a_i$  es al menos tan buena como la acción  $a_k$  en lo que respecta a dicho criterio  $j$ . Esto se traduce por  $g_j(a_i) \geq g_j(a_k)$ . La noción de no discordancia permite rehusar la hipótesis de superación, obtenida después de la aplicación de la concordancia, cuando existe una oposición muy fuerte al menos sobre un criterio.

La idea básica de los métodos Electre es que cuando una acción  $a_i$  es al menos tan buena como otra  $a_k$  según la mayoría de los criterios y, además, no existe ningún criterio según el cual  $a_i$  es mucho peor que  $a_k$ , entonces  $a_i$  supera a  $a_k$ .

Para que la noción de concordancia sea operativa es preciso asignar a cada criterio un coeficiente de importancia o peso  $w_i$  que representa su importancia relativa. La fijación de estos pesos se puede hacer fijándolos de manera unilateral

por un decisor o mediante la posibilidad de que cada actor del proceso de decisión fije sus posturas propias.

#### Procedimiento de exploración.

Se deberá aplicar un procedimiento de exploración para interpretar los resultados dependiendo del tipo de problema a solucionar. Roy (1985) estableció cuatro tipos de problemas distintos, en función de cuál es el objetivo de la toma de decisión. La tabla 2 muestra los 4 tipos de problemas con sus objetivos y el tipo de modelo Electre que se aplica en cada caso.

*Tabla 2.- Clasificación de los problemas de decisión en función de los objetivos perseguidos*

<b>Tipo de problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método Electre a aplicar</b>
$\alpha$	Elección de un subgrupo conteniendo las mejores acciones o, en su defecto, satisfactorias	Una elección o procedimiento de selección	Electre I y IS
$\beta$	Selección por afectación a categorías	Una clasificación	Electre Tri
$\gamma$	Establecer la decisión mediante una ordenación reagrupando las acciones en clases de equivalencia	Ordenación	Electre II, III y IV
$\delta$	Establecer la decisión mediante una descripción de las acciones y sus consecuencias	Descripción	No hay un método específico, es un proceso cognitivo.

#### Análisis de sensibilidad y de robustez.

La última etapa de esta metodología examina, mediante un análisis de sensibilidad, la estabilidad de los resultados obtenidos mediante la variación de los diferentes parámetros utilizados. Este análisis de sensibilidad sirve de base al análisis de robustez. Si, haciendo variar los parámetros en torno a su valor inicial, los resultados no son modificados de manera importante, la recomendación se dirá robusta. Los parámetros susceptibles de análisis pueden ser todos, desde las

amplitudes de las escalas utilizadas en los criterios, los pesos de los criterios, hasta las evaluaciones de las acciones.

Las razones de la utilización de la metodología Electre, y que la distingue de otros tipos (Buchanan et al. 1999) son:

- La incorporación del concepto difuso en las tomas de decisiones con la utilización de los umbrales de preferencia e indiferencia. De esta forma se elimina el concepto de preferencia estricta y se introduce el concepto de preferencia débil.
- La no-compensación. Esto significa, en particular, que una puntuación muy baja en un determinado criterio no es compensada por una puntuación muy alta en otro criterio.
- Tiene en cuenta la incomparabilidad entre dos alternativas.
- Capacidad de tratar con el ordinal y la información más o menos descriptiva sobre la alternativa planificada para ser evaluada.
- La incertidumbre acerca de los valores de las variables de los criterios puede ser tomada en cuenta usando relaciones débiles, determinada por los umbrales de preferencia y de indiferencia.

#### Particularidades del método Electre IV.

La aparición del método Electre IV (Roy y Hugonrlard, 1982), que también trata la problemática  $\gamma$ , marca un tiempo muerto en la evolución hacia una sofisticación cada vez más refinada. De hecho, encontramos aquí una simplicidad que contrasta con los métodos precedentes. Aunque en parte inspirado por Electre II y Electre III, este método tiene aspectos bastante originales. En primer lugar, no hay pesos que atribuir a los criterios. Este cambio fundamental está acompañado de otra gran novedad: el abandono de la hipótesis inicial de superación, que hace inútiles las nociones de concordancia y de discordancia.

El método Electre IV utiliza, como Electre III, pseudo-criterios, es decir, criterios asociados a un umbral de indiferencia ( $q_j$ ), un umbral de preferencia estricta ( $p_j$ ) y un umbral de veto ( $v_j$ ). A partir de la matriz de evaluaciones, las acciones son comparadas dos a dos. Esta comparación sitúa, para cada criterio, una de las acciones en relación a la otra según un ejemplo determinado. Se registra el número de veces que cada ejemplo particular aparece para el conjunto de criterios. Reglas simples, utilizando números, permiten establecer relaciones de superación entre las acciones.

El establecimiento de estas reglas se hace de tal manera que ninguno de los criterios sea demasiado “preponderante” o demasiado “despreciable”. Esta noción, fácil de entender pero un poco difusa en la publicación original, ha sido después precisada bajo la denominación de “hipótesis de disparidad limitada”: ningún criterio tiene por él mismo una importancia superior o igual a la de una coalición que agrupe al menos la mitad de los criterios.

El método admite varias versiones de los tipos de relaciones de superación:

- a) Cuatro niveles en la credibilidad de la superación (cuatro tipos de relaciones de superación).
- b) Dos niveles de credibilidad de la superación (superación fuerte y débil).
- c) Niveles intermedios.

A cada tipo de relación de superación le corresponde un grado de credibilidad, atribuido de una manera más o menos voluntarista. Esto conduce a la construcción de una matriz de grados de credibilidad que contiene una cantidad discreta de posibles valores.

Así, a partir de ese momento, Electre IV sigue el mismo camino que Electre III, con una destilación ascendente y una destilación descendente y, por último, la ordenación final, que es también un preorden parcial.

## **Metodología Electre IV.**

### **Desarrollo del método**

Para que la comparación de las dos acciones  $a_i$  y  $a_k$ , al nivel de cada criterio, pueda ser agregada al nivel de la totalidad de los criterios para la construcción de la relación de superación, se introducen las notaciones siguientes:

1.  $m_p(a_i, a_k)$ : número de criterios para los que  $a_i$  es estrictamente preferido a  $a_k$ .
2.  $m_q(a_i, a_k)$ : número de criterios para los que  $a_i$  es débilmente preferido a  $a_k$ .
3.  $m_{in}(a_i, a_k)$ : número de criterios para los que  $a_i$  y  $a_k$  son considerados como indiferentes, a pesar de que  $a_i$  tenga una mejor evaluación que  $a_k$  o que  $a_k$  tenga mejor valoración que  $a_i$ . Esta situación está justificada por la introducción en la modelización de las preferencias de los conceptos de difuso y de borroso. El decisor tiene dudas respecto a su preferencia y, ante diferencias pequeñas en la valoración de las alternativas, esta modelización prefiere considerarlas como indiferentes.
4.  $m_0(a_i, a_k) = m_0(a_k, a_i)$ : número de criterios para los que  $a_i$  y  $a_k$  tienen la misma evaluación.

Es claro que la siguiente relación debe verificarse siendo  $m$  el número total de los criterios:

$$m = m_p(a_i, a_k) + m_q(a_i, a_k) + m_0(a_i, a_k) + m_{in}(a_k, a_i) + m_q(a_k, a_i) + m_p(a_k, a_i)$$

### Construcción de la relación de superación.

#### Definición de las relaciones de superación encajadas.

A partir de la enumeración de las preferencias por criterio, Electre IV distingue cuatro niveles de credibilidad de la relación de superación;

- Cuasi-dominancia  $S_q$ :  $a_i$  supera a  $a_k$  con cuasi-dominancia, si y solamente si:

- (i) No existe ningún criterio que conduce a preferir (estrictamente o débilmente)  $a_k$  a  $a_i$ .
- (ii) Además, el número de criterios para los que  $a_k$  es considerado como indiferente a  $a_i$ , aún teniendo una mejor evaluación, no debe superar el número de criterios para los cuales  $a_i$  presenta una mejor evaluación que  $a_k$ , más uno.

$$a_i S_q a_k \Leftrightarrow \begin{cases} | \{ m_p(a_k, a_i) + m_q(a_k, a_i) = 0 \} & \text{y} \\ | \{ m_{in}(a_k; a_i) \leq 1 + m_{in}(a_i, a_k) + m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \} \end{cases}$$

- Dominancia canónica  $S_c$ :  $a_i$  supera a  $a_k$  con dominancia canónica, si y solo si:

- (i) No existe ningún criterio que conduzca a preferir estrictamente  $a_k$  a  $a_i$ .
- (ii) Además, el número de criterios que conducen a preferir débilmente  $a_k$  a  $a_i$  es a lo sumo igual al número de criterios que conducen a preferir estrictamente  $a_i$  a  $a_k$ .
- (iii) Finalmente, el número de criterios para los cuales  $a_k$  presenta una mejor evaluación que  $a_i$  no debe superar el número de criterios para los cuales  $a_i$  presenta una mejor evaluación que  $a_k$  más uno.

$$a_i S_c a_k \Leftrightarrow \begin{cases} | \{ m_p(a_k, a_i) = 0 \} & \text{y} & m_q(a_k, a_i) \leq m_p(a_i, a_k), & \text{y} \\ | \{ m_q(a_k; a_i) + m_{in}(a_k, a_i) \leq 1 + m_{in}(a_i, a_k) + m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \} \end{cases}$$

- Pseudo-dominancia  $S_p$ :  $a_i$  supera a  $a_k$  con pseudo-dominancia, si y solamente si:

- (i) No existe ningún criterio que conduzca a preferir estrictamente  $a_k$  a  $a_i$ .
- (ii) Además, el número de criterios que conducen a preferir débilmente  $a_k$  a  $a_i$  es a lo sumo igual al número de criterios que conducen a preferir débilmente o estrictamente  $a_i$  a  $a_k$ .

$$a_i S_p a_k \Leftrightarrow \begin{cases} | \{ m_p(a_k, a_i) = 0 \text{ y} \\ | \{ m_q(a_k, a_i) \leq m_q(a_i, a_k) + m_p(a_i, a_k) \end{cases}$$

- Veto-dominancia  $S_v$ :  $a_i$  supera a  $a_k$  con veto-dominancia, si y solamente si:

- (i) No existe ningún criterio que conduzca a preferir estrictamente  $a_k$  a  $a_i$ , y la condición adicional requerida para que haya pseudo-dominancia no se verifica.
- (ii) Además, existe un único criterio que conduce a preferir  $a_k$  a  $a_i$ , pero sin veto-preferencia (la diferencia entre las dos evaluaciones es menor que el umbral de veto) y  $a_i$  es estrictamente preferida a  $a_k$  para al menos la mitad de los criterios.

$$a_i S_v a_k \Leftrightarrow \begin{cases} | \{ \text{bien } m_p(a_k, a_i) = \\ | \{ \text{bien } m_q(a_k, a_i) = 1, \text{ y no } a_k PV_j a_i, \forall j, \text{ y } m_p(a_i, a_k) \geq (m/2) \end{cases}$$

Hay que hacer notar que, en orden inverso al presentado aquí, cada relación está contenida en la precedente:

$$S_v \supset S_p \supset S_c \supset S_q$$

Es normal, debido a esta propiedad, hablar de relaciones de superación encajadas.

#### Definiciones de las relaciones de superación difusas

Como el objetivo final del método Electre IV es una ordenación de las alternativas de la mejor a la menos buena, es necesario partir de una matriz en la que se indica el grado de credibilidad que se le otorga a la “relación de superación” entre cada par de alternativas. Este grado de credibilidad varía entre 1 y 0, siendo

1 la credibilidad máxima y 0 la credibilidad mínima, pudiendo adoptar cualquier valor intermedio.

El algoritmo seguido hasta el momento proporciona para cada par de alternativas el número de criterios en los que una alternativa supera a otra de una de las anteriores 4 formas posibles. Por lo tanto, el siguiente paso consiste en pasar de ese conjunto de veces en las que se supera de esas cuatro formas posibles a un grado de credibilidad en la “relación de superación”, es decir, asignarle valor entre 1 y 0 a esa relación.

Para pasar de las relaciones de superación encajadas a las relaciones de superación difusas, necesarias para construir la matriz del grado de credibilidad y proceder a las dos destilaciones posteriores, habrá que asociar un valor del grado de credibilidad a cada una de las cuatro formas de superación ( $S_q$ ,  $S_c$ ,  $S_p$ ,  $S_v$ ). La coherencia consiste en definir los grados de credibilidad de manera que puedan jugar su papel en las destilaciones, definiéndola a partir del grado de credibilidad que le precede y del umbral de discriminación mantenido. Este concepto de umbral de discriminación se introduce a continuación.

#### Umbral de discriminación.

El grado de credibilidad sirve para apreciar la mayor o menor credibilidad de la superación establecida en los apartados anteriores. Pero, teniendo en cuenta la parte de arbitrariedad que encierra la fórmula que define este grado<sup>9</sup>, la significación de los valores del grado de credibilidad no puede ser absoluta.

---

<sup>9</sup> Esta expresión para el cálculo del grado de credibilidad es:

$$\delta_{jk} = \begin{cases} C_{jk} & \text{si } \bar{F} = \text{conjunto vacío} \\ C_{jk} * \frac{1 - d_i(a_j, a_k)}{\prod_{i \in \bar{F}} (1 - C_{jk})} & \text{en otros casos} \end{cases}$$

Siendo  $\bar{F}$  el subconjunto de la familia  $F$  que tiene como elementos los criterios para los cuales el índice de discordancia es superior al índice de concordancia global;  $d_i(a_j, a_k)$  es el índice de discordancia para el criterio  $i$ , y  $C_{jk}$  es el índice de concordancia global.

Dicho de otra forma, no es posible admitir que, desde el momento que  $\delta_{ik} > \delta_{em}$  (éstos son los valores del grado de credibilidad), la superación de  $a_k$  por  $a_i$  es estrictamente más creíble que la superación de  $a_m$  por  $a_e$ .

Para poder distinguir si una superación es más creíble que otra, hay que introducir el umbral de discriminación.

El umbral de discriminación  $s(\lambda)$  es una función, definida para todo valor de  $\lambda \in [0,1]$ , que verifica: si  $\delta = k$  y  $\delta = \lambda - \eta$ , con  $\eta > s(\lambda)$ <sup>10</sup>, entonces la superación de  $a_k$  por  $a_i$  es estrictamente más creíble que la superación de  $a_m$  por  $a_e$ .

### Principio del algoritmo.

El objetivo considerado aquí, en una primera etapa, es el de construir dos preórdenes diferentes. Estos dos preórdenes serán completos, es decir, que toda acción  $a_i$  aparecerá como estrictamente preferida a las acciones peor clasificadas que ella, mientras que las acciones mejor clasificadas serán estrictamente preferidas a  $a_i$ .

Las definiciones siguientes se encuentran en la base del algoritmo de ordenación del método.

- Potencia de una acción  $a_i$ , denotada por  $p(a_i)$ : número de acciones a las cuales ella es estrictamente preferida.
- Debilidad de una acción  $a_i$ , denotada por  $d(a_i)$ : número de acciones que son estrictamente preferidas a ella.
- Cualificación de una acción  $a_i$ , denotada por  $q(a_i)$ :  $q(a_i) = p(a_i) - d(a_i)$

La cantidad  $q(a_i)$  aparece, por tanto, como un indicador cuyo valor es característico de la posición de  $a_i$  en el preorden.

Para la destilación descendente se parte del mayor valor que, para el grado de credibilidad, presente alguna alternativa de localización respecto a otra. A

---

<sup>10</sup>  $k$  y  $\lambda$  son valores del grado de credibilidad.

continuación se fija un margen de discriminación (un intervalo) por debajo de ese valor, y se observa si hay algún valor de los grados de credibilidad en el intervalo formado por el valor máximo y el margen. De entre las alternativas cuyo grado de credibilidad frente a otra está en ese intervalo, todas aquellas para las que se cumple que ese grado de credibilidad supera en el valor del margen al grado de credibilidad de la otra alternativa frente a ellas, forman la primera destilación y se dice que superan a la alternativa con la que se comparan. Para ellas se calcula su cualificación, como la diferencia entre el número de alternativas a las que supera menos el número de alternativas que la superan.

El proceso continúa de diferente forma según sea el resultado de la primera destilación. Si la primera destilación tiene una sola alternativa, el proceso se repite con el resto de alternativas con un nuevo valor del margen menor. Y si la primera destilación estuviera compuesta por varias alternativas, se repite el proceso de destilación sólo con ellas antes de pasar a aplicarlo al resto. Estos pasos se repiten sucesivamente hasta que se obtiene una ordenación de todas las alternativas atendiendo a un criterio de superación. El proceso de destilación ascendente es similar, pero en sentido contrario y, por lo tanto, la ordenación que se obtiene también se interpreta en sentido contrario.

El proceso iterativo que consiste en buscar un subconjunto de acciones cada vez más reducido, que tenga una cualificación máxima en el valor del grado de credibilidad para los niveles cada vez más bajos, se denomina destilación descendente (en realidad se trata de una cadena de destilaciones descendentes). Cuando la progresión se hace en el otro sentido, apoyándose en las acciones de peor cualificación, se define una destilación ascendente.

### Construcción del preorden parcial final.

La intersección, en el sentido matemático del término, de los dos preórdenes completos que son el ordenamiento directo y el ordenamiento inverso es un preorden parcial. Esto significa que la incomparabilidad entre dos acciones

está permitida. Concretamente para construir este preorden final, habrá que seguir las reglas siguientes:

- Si  $a_i$  es preferida a  $a_k$  en los dos preordenes completos, entonces también lo será en el preorden parcial final.
- Si  $a_i$  es equivalente a  $a_k$  en un preorden completo, pero es preferida en el segundo, entonces  $a_i$  será preferida a  $a_k$  en la ordenación final.
- Si en el primer preorden  $a_i$  es preferida a  $a_k$  y si en el segundo  $a_k$  es preferida a  $a_i$ , entonces las dos acciones serán incomparables en el preorden parcial final.

Hay que recordar que el preorden parcial es revelador de las comparaciones que es razonable considerar como bien establecidas sobre la base de los datos disponibles.

#### Análisis de robustez.

Los parámetros de Electre IV susceptibles de ser objeto de tal análisis son:

- Umbrales de indiferencia ( $q_j$ ).
- Umbrales de preferencia estricta ( $p_j$ ).
- Umbrales de veto ( $v_j$ ).

En esta versión del modelo Electre, al no tomarse en consideración la importancia de los pesos, no se puede realizar un análisis de robustez sobre estos parámetros.

## Anexo de características técnicas.

# Hypertherm®

## HyPerformance® Plasma HPR260XD®

**El HPR260XD combina altas velocidades de corte con ciclos de proceso acelerados, cambios rápidos y gran confiabilidad a fin de maximizar la productividad.**

Hypertherm ha dedicado más de cuatro décadas al desarrollo de más de 100 tecnologías de plasma con patente que aportan a los clientes un rendimiento excepcional en el que pueden confiar. Los más de 20 mil sistemas HyPerformance Plasma en uso en todo el mundo evidencian que la familia de productos HPRXD ha pasado a ser la opción de sistema para clientes que exijan una calidad de corte mucho más estable, mayor productividad, un costo operativo más bajo y una confiabilidad inigualable.

### Ventajas principales

#### Uniformidad y calidad de corte superiores

*HyPerformance Plasma corta piezas de acabado superficial con una uniformidad y calidad superiores, eliminando el gasto en operaciones colaterales*

- La tecnología HyDefinition® alinea y centra el arco de plasma para lograr una poderosa precisión de corte en acero al carbono de hasta 64 mm (2½ pulg.).
- La **nueva tecnología HDi** produce calidad de corte HyDefinition en placas delgadas de acero inoxidable con un espesor de 3 a 6 mm (calibre 12 a 1/4 pulg.).
- Las tecnologías con patente de los sistemas dan una calidad de corte más uniforme por más tiempo que los demás sistemas existentes en el mercado.

#### Productividad maximizada

*HyPerformance Plasma combina altas velocidades de corte con ciclos de proceso acelerados, cambios rápidos y gran confiabilidad a fin de maximizar la productividad.*

#### Costo operativo minimizado

*HyPerformance Plasma reduce el costo operativo y mejora la rentabilidad.*

- La tecnología LongLife® aumenta considerablemente la duración de los consumibles y posibilita una calidad de corte constante HyDefinition por más tiempo.

#### Confiabilidad inigualable

*Ensayos exhaustivos, respaldados por cuatro décadas de experiencia, garantizan la calidad de Hypertherm, calidad en la que puede confiar.*



#### Datos operativos

##### Capacidad de corte acero al carbono

Sin escoria*	32 mm (1¼ pulg.)
Perforación de producción	38 mm (1½ pulg.)
Capacidad de corte máxima	64 mm (2½ pulg.)

##### Capacidad de corte acero inoxidable

Perforación de producción	32 mm (1¼ pulg.)
Capacidad de corte máxima	50 mm (2 pulg.)

##### Capacidad de corte aluminio

Perforación de producción	25 mm (1 pulg.)
Capacidad de corte máxima	50 mm (2 pulg.)

\* Las características y tipo de material pueden afectar el rendimiento sin escoria.



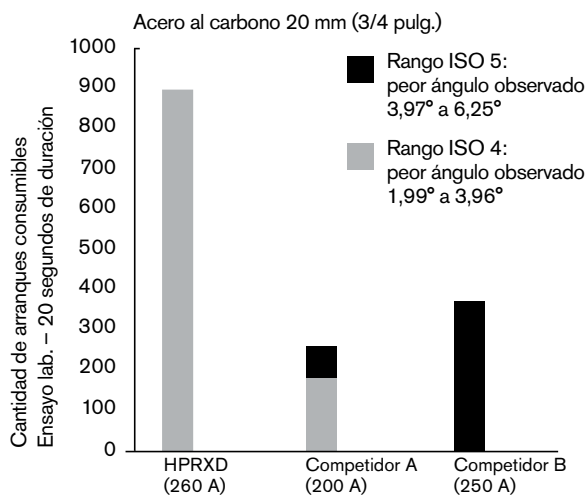
## Especificaciones

Voltaje de entrada	VCA	Hz	A
	200/208	50/60	149/144
	220	50/60	136
	240	60	124
	380	50/60	84
	400	50/60	75
	415	50/60	75
	440	60	68
Voltaje de salida	175 VCD		
Corriente de salida	260 A		
Ciclo de trabajo	100% a 40 °C y 45,5 kW		
Factor de potencia	0,98 a 45,5 kW de salida		
Máximo voltaje en circuito abierto	311 VCD		
Dimensiones	115 cm L, 82 cm A, 119 cm P		
Peso con antorcha	567 kg		
Alimentación de gas	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , F5*, H35**, aire, Ar		
Gas plasma	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , aire, Ar		
Gas protección	8,3 bar consola de gases manual		
Presión de gas	8 bar consola de gases automática		

\* F5 = 5% H, 95% N<sub>2</sub>  
 \*\* H35 = 35% H, 65% Ar



## Calidad de corte respecto a duración (260 A)



## Corte con confianza

- Hypertherm tiene una certificación de calidad ISO 9001: 2000.
- La garantía total de Hypertherm da cobertura completa por un año para la antorcha y el conjunto de cables y mangueras y, de dos años, para los demás componentes del sistema.
- Las fuentes de energía plasma Hypertherm han sido diseñadas para un ahorro energético y productividad punteros de la industria con índices de rendimiento de potencia del 90% o mayores y factores que llegan a 0,98. El enorme aprovechamiento energético, la mayor duración de los consumibles y la manufactura esbelta condujeron a un reducido uso de recursos naturales y menor impacto ambiental.



## Datos operativos

Material	Corriente (A)	Espesor (mm)	Velocidad de corte aproximada (mm/min)	Espesor (pulg.)	Velocidad de corte aproximada (pulg/min)
Acero al carbono Plasma O <sub>2</sub> Protección O <sub>2</sub>	30	0,5	5355	0.018	215
		3	1160	0.135	40
		6	665	1/4	25
	80	3	6145	0.135	180
		12	1410	1/2	50
		20	545	3/4	25
	130†	6	4035	1/4	150
		10	2680	3/8	110
		25	550	1	20
	200	10	3460	3/8	140
		20	1575	3/4	65
		32	750	1 1/2	20
Acero inoxidable Plasma F5 Protección N <sub>2</sub>	60	3	2770	0.105	120
		4	2250	0.135	95
		5	1955	3/16	80
	130†	6	1835	1/4	70
		12	875	1/2	30
		20	305	3/4	15
	200	8	2000	5/16	79
		12	1800	1/2	70
		20	1000	3/4	45
	260†	10	2030	3/8	75
		12	1710	1/2	65
		20	1085	3/4	45
Aluminio Plasma H35 y N <sub>2</sub> Protección N <sub>2</sub>	130†	6	2215	1/4	85
		12	1455	1/2	55
		20	815	3/4	35
	200	8	4350	5/16	171
		12	3650	1/2	140
		20	1050	3/4	50
	260†	12	4290	1/2	160
		20	1940	3/4	80
		32	940	1 1/4	40

HDI

† Los consumibles aseguran el corte en bisel hasta 45°.

Para el H35 y el N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> es obligatorio el uso de una consola de gases automática.

La tabla de datos operativos no lista todos los procesos existentes del HPR260XD. Comuníquese con Hypertherm para más información.

# Hypertherm®

## Corte con confianza®

Hypertherm, HyPerformance Plasma, HPR, HyDefinition y LongLife son marcas comerciales de Hypertherm, Inc., y pueden estar registradas en Estados Unidos u otros países.

[www.hypertherm.com](http://www.hypertherm.com)

©09/2012 Hypertherm, Inc. Revisión 3  
 870803 Español/Spanish

# Hypertherm®

## HyPerformance® Plasma HPR400XD®

**El HPR400XD ofrece el magnífico rendimiento de corte por plasma en acero al carbono, además de la versatilidad de una calidad de corte puntera de la industria en acero inoxidable**

Hypertherm ha dedicado más de cuatro décadas al desarrollo de más de 100 tecnologías de plasma con patente que aportan a los clientes un rendimiento excepcional en el que pueden confiar. Los más de 20 mil sistemas HyPerformance Plasma en uso en todo el mundo evidencian que la familia de productos HPRXD ha pasado a ser la opción de sistema para clientes que exijan una calidad de corte mucho más estable, mayor productividad, un costo operativo más bajo y una confiabilidad inigualable.

### Ventajas principales

#### Uniformidad y calidad de corte superiores

*HyPerformance Plasma corta piezas de acabado superficial con una uniformidad y calidad superiores, eliminando el gasto en operaciones colaterales.*

- La tecnología HyDefinition® alinea y centra el arco de plasma para lograr una poderosa precisión de corte en acero al carbono de hasta 80 mm (3.2 pulg.).
- La **nueva tecnología HDi** produce calidad de corte HyDefinition en placas delgadas de acero inoxidable con un espesor de 3 a 6 mm (calibre 12 a 1/4 pulg.).
- Las tecnologías con patente de los sistemas dan una calidad de corte más uniforme por más tiempo que los demás sistemas existentes en el mercado.

#### Productividad maximizada

*HyPerformance Plasma combina altas velocidades de corte con ciclos de proceso acelerados, cambios rápidos y gran confiabilidad a fin de maximizar la productividad.*

#### Costo operativo minimizado

*HyPerformance Plasma reduce el costo operativo y mejora la rentabilidad.*

- La tecnología LongLife® aumenta considerablemente la duración de los consumibles y posibilita una calidad de corte constante HyDefinition por más tiempo.

#### Confiabilidad inigualable

*Ensayos exhaustivos, respaldados por más de cuatro décadas de experiencia, garantizan la calidad de Hypertherm, calidad en la que puede confiar.*



### Datos operativos

#### Capacidad de corte acero al carbono

Sin escoria*	38 mm (1½ pulg.)
Perforación producción	50 mm (2 pulg.)
Capacidad de corte máxima	80 mm (3.2 pulg.)

#### Capacidad de corte acero inoxidable

Perforación producción	45 mm (1¾ pulg.)
Perforación máxima**	75 mm (3 pulg.)
Corte de separación	80 mm (3.2 pulg.)

#### Capacidad de corte aluminio

Perforación producción	38 mm (1½ pulg.)
Capacidad de corte máxima	80 mm (3.2 pulg.)

\* Las características y tipo de material pueden afectar el rendimiento sin escoria.

\*\* Para la perforación máxima es obligatorio el uso de una consola de gases automática y un proceso de avance controlado. Ver especificaciones en la documentación técnica.



## Especificaciones

Voltajes de entrada	VCA	Hz	A
	200/208	50/60	262/252
	220	50/60	238
	240	60	219
	380	50/60	138
	400	50/60	131
	440	50/60	120
	480	60	110
	600	60	88
Voltaje de salida	200 VCD		
Corriente de salida	400 A		
Ciclo de trabajo	100% a 40 °C a 80 kW		
Factor de potencia	0,98 a 80 kW de salida		
Máximo voltaje en circuito abierto	360 VCD		
Dimensiones	118 cm H, 88 cm A, 126 cm L		
Peso	851 kg		
Alimentación de gas	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , F5*, H35**, aire, Ar		
Gas plasma	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , aire, Ar		
Gas protección	Consola de gases manual de 8,3 bar		
Presión de gas	Consola de gases automática de 8,0 bar		

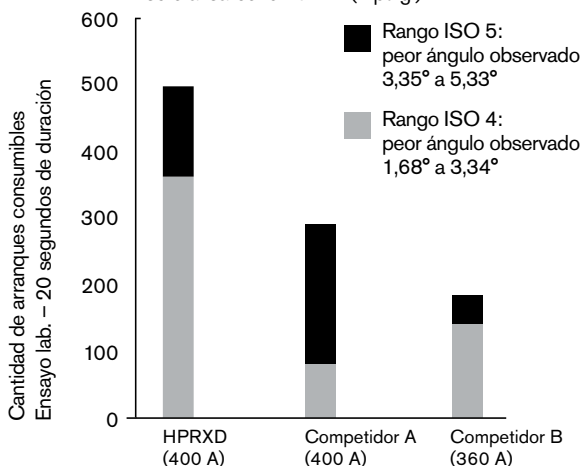
\* F5 = 5% H, 95% N<sub>2</sub>

\*\* H35 = 35% H, 65% Ar



### Calidad de corte respecto a duración (400 A)

Acero al carbono 25 mm (1 pulg.)



## Corte con confianza

- Hypertherm tiene una certificación de calidad ISO 9001: 2000.
- La garantía total de Hypertherm da cobertura completa por un año para la antorcha y el conjunto de cables y mangueras y, de dos años, para los demás componentes del sistema.
- Las fuentes de energía plasma Hypertherm han sido diseñadas para un ahorro energético y productividad punteros de la industria con índices de rendimiento de potencia del 90% o mayores y factores que llegan a 0,98. El enorme aprovechamiento energético, la mayor duración de los consumibles y la manufactura esbelta condujeron a un reducido uso de recursos naturales y menor impacto ambiental.



## Datos operativos

Material	Corriente (A)	Espesor (mm)	Velocidad de corte aproximada (mm/min)	Espesor (pulg.)	Velocidad de corte aproximada (pulg/min)
Acero al carbono	30	0,5	5355	0.018	215
		3	1160	0.135	40
		6	665	1/4	25
	80	3	6145	0.135	180
		12	1410	1/2	50
		20	545	3/4	25
	130†	6	4035	1/4	150
		10	2680	3/8	110
		25	550	1	20
	260†	10	4440	3/8	180
		20	2170	3/4	90
		32	1135	1 1/2	35
Acero inoxidable	60	3	2770	0.105	120
		4	2250	0.135	95
		5	1955	3/16	80
		6	1635	1/4	60
	130†	6	1835	1/4	70
		12	875	1/2	30
		20	305	3/4	15
	260†	10	2190	3/8	90
		12	1790	1/2	65
		20	1320	3/4	55
	400†	20	1100	3/4	45
		50	400	2	15
		60	280	2 1/2	10
	400†	20	1810	3/4	75
		50	520	2	20
		80	180	3	10
Aluminio	130†	6	2215	1/4	85
		12	1455	1/2	55
		20	815	3/4	35
	260†	12	4290	1/2	160
		20	1940	3/4	80
		32	940	1 1/4	40
	400†	12	5190	1/2	200
		50	1000	2	40
		80	210	3	10

HDI

† Los consumibles aseguran el corte en bisel hasta 45°.

Para el H35 y el N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> es obligatorio el uso de una consola de gases automática.

La tabla de datos operativos no lista todos los procesos existentes del HPR40XD. Comuníquese con Hypertherm para más información.

# Hypertherm®

## Corte con confianza®

Hypertherm, HyPerformance, HPR, HyDefinition y LongLife son marcas comerciales de Hypertherm, Inc., y pueden estar registradas en Estados Unidos u otros países.

[www.hypertherm.com](http://www.hypertherm.com)

©09/2012 Hypertherm, Inc. Revisión 1  
870813 Español / Spanish

## Anexo de resultados del software ELECTRE III/IV.

Se procede a mostrar los resultados de los cálculos realizados con el software ELECTRE  
III/IV:

La tabla de datos implementados en el programa es la siguiente:

ELECTRE III / IV - [f:\personal\proyecto\electr-1\daniel.elp]

Fichier Edition Calculs Résultats Options Fenêtre

Editer les Performances

	COST	INTE	CALI	SERT	CNC	COMP	ESTR
M-E2	1.21	0.86	1	0.78	0.78	0.7	0.89
M-E6	1.64	0.86	1	0.67	0.78	0.7	0.89
T-E6	1.3	1	0.89	0.78	0.89	1	1
E-E6	1.19	0.57	0.89	0.44	1	0.3	0.89
P-E6	1.22	0.71	0.78	1	0.78	1	0.83
E-E2	1.07	0.57	0.89	0.44	1	0.3	0.89
P-E2	1	0.71	0.78	1	0.78	1	0.83
T-E2	1.08	1	0.89	0.78	0.89	1	1

Nombre de Critères: 7  
Nombre d'Actions: 8

1.21

Fermer Aide

Cuando se aplica el algoritmo con los valores de preferencia, indiferencia y veto mostrados en la memoria se dan como resultados las siguientes tablas:

Tabla de destilación:

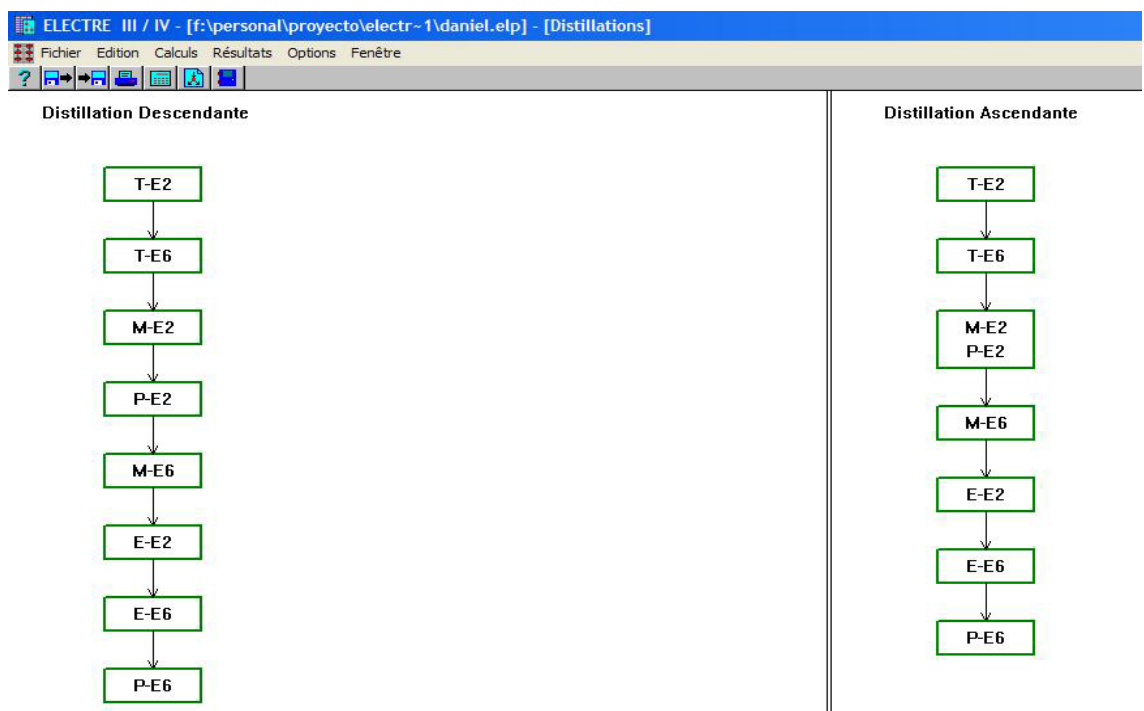


Tabla de grados de credibilidad:

ELECTRE III / IV - [f:\personal\proyecto\electr~1\daniel.elp] - [Matrice des degrés de crédibilité]								
Fichier Edition Calculs Résultats Options Fenêtre								
	M-E2	M-E6	T-E6	E-E6	P-E6	E-E2	P-E2	T-E2
M-E2	1	1	0.6	1	1	1	0.6	0.6
M-E6	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	0.6
T-E6	1	1	1	1	1	1	1	0.6
E-E6	0.6	0.6	0.6	1	1	0.6	0.6	0.6
P-E6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.6	0.6
E-E2	0.6	0.6	0.6	1	1	1	0.6	0.6
P-E2	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	0.6
T-E2	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla de preorden final:

ELECTRE III / IV - [f:\personal\proyecto\electr~1\daniel.elp] - [Matrice du préordre final]								
Fichier Edition Calculs Résultats Options Fenêtre								
	M-E2	M-E6	T-E6	E-E6	P-E6	E-E2	P-E2	T-E2
M-E2	I	P	P <sup>-</sup>	P	P	P	P	P <sup>-</sup>
M-E6	P <sup>-</sup>	I	P <sup>-</sup>	P	P	P	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>
T-E6	P	P	I	P	P	P	P	P <sup>-</sup>
E-E6	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	I	P	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>
P-E6	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	I	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>
E-E2	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>	P	P	I	P <sup>-</sup>	P <sup>-</sup>
P-E2	P <sup>-</sup>	P	P <sup>-</sup>	P	P	P	I	P <sup>-</sup>
T-E2	P	P	P	P	P	P	P	I

Tabla de orden final:

ELECTRE III / IV - [f:\pers...	
Fichier Edition Calculs Résult	
Rang	Action
1	T-E2
2	T-E6
3	M-E2
4	P-E2
5	M-E6
6	E-E2
7	E-E6
8	P-E6



Tabla de preorden final:

ELECTRE III / IV - [f:\personal\proyecto\electr~1\robustez.elp] - [Matrice du préordre final]								
Fichier Edition Calculs Résultats Options Fenêtre								
	M-E2	M-E6	T-E6	E-E6	P-E6	E-E2	P-E2	T-E2
M-E2	<b>I</b>	<b>P</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P<sup>-</sup></b>
M-E6	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>I</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>
T-E6	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>I</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P<sup>-</sup></b>
E-E6	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>I</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>
P-E6	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>I</b>	<b>R</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>
E-E2	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>I</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P<sup>-</sup></b>
P-E2	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>P<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>I</b>	<b>P<sup>-</sup></b>
T-E2	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>I</b>

Tabla de orden final:

ELECTRE III / IV - [f:\pers	
Fichier Edition Calculs Résu	
Rang	Action
1	T-E2
2	T-E6
3	M-E2
4	P-E2
5	M-E6
6	P-E6 E-E2
7	E-E6