

Ajustes de los Perfiles Radiales  
de Densidad y Temperatura para  
las Descargas con NBI del TJ-II

J. Guasp  
C. Fuentes  
M. Liniers

*Asociación EURATOM / CIEMAT para Fusión - 94*

**Departamento de Fusión y Física de Partículas Elementales**



## **Ajustes de los Perfiles Radiales de Densidad y Temperatura para las Descargas con NBI del TJ-II**

Guasp, J.; Fuentes, C.; Liniers, M.

41 pp. 25 figs. 5 refs.

### **Resumen:**

Los perfiles radiales de densidad y temperatura electrónica correspondientes a las descargas del TJ-II con inyección de Haces Neutros de las campañas 2003-2004, se han ajustado a funcionales sencillas, que permiten, para una densidad y potencia inyectada dadas, calcularlos muy rápidamente de manera aproximada. Esos ajustes se han efectuado, separadamente, para cada una de las cuatro posibles combinaciones de casos en Fase ECRH o NBI y de inyección On u Off Axis del ECRH.

Las desviaciones medias entre los cálculos para las descargas individuales, utilizando sus perfiles de densidad y temperatura experimentales y los valores predichos por los ajustes son del orden del 8% para los perfiles de densidad y 10% para los de temperatura electrónica.

Se han analizado los comportamientos predichos para esos perfiles en función de la densidad media de línea y de la potencia inyectada. Las temperaturas electrónicas centrales decrecen monótonamente con la densidad y la del caso ECRH On axis es claramente superior a la del ECRH Off. Los perfiles radiales de densidad se estrechan al crecer la densidad y la anchura del caso NBI On es claramente mayor que la del Off. Por el contrario los de temperatura electrónica tienden a ensancharse levemente siendo sistemáticamente más estrechos los perfiles de los casos On axis de todas las fases.

Por su parte los ajustes para el valor central de la temperatura iónica distan de ser satisfactorios, debido a la escasa población de la muestra (considerablemente menor que la de los casos anteriores) y deberán ser repetidos en futuras campañas experimentales.

Existen subrutinas Fortran, disponibles en los tres ordenadores del CIEMAT (jen50, fusc y fénix), para el cálculo rápido aproximado de todos esos perfiles.

## **NBI Calculations for the TJ-II Experimental Discharges**

Guasp, J.; Fuentes, C.; Liniers, M.

34 pp. 17 figs. 8 refs.

### **Abstract:**

The density and electron temperature radial profiles, corresponding to the experimental TJ-II campaigns 2003-2004, with NBI, have been fitted to simple functionals in order to allow a fast approximative evaluation for any given density and injected power... The fits have been calculated, separately, for the four possibilities: ECRH and NBI Phases as well as On and Off Axis ECRH injection.

The average difference between the experimental profiles for the individual discharges and the fit predictions are around 8% for the density and 10% for the temperature.

The behaviour of the predicted profiles with average line density and injected power has been analysed. The central electron temperature decreases monotonically with increasing density and the ECRH phase On Axis central value is clearly higher than the Off axis one. The radial density profiles narrow with increasing density and the NBI On axis case is clearly wider than de Off one. The electron temperature profile widens slightly with increasing density and the width of the On Axis case is lesser than for the Off case in all phases. There exist Fortran subroutines, available at the three CIEMAT computers, allowing the fast approximative evaluation of all these profiles.

## CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

S70

PLASMA; HELIAC STELLARATORS; HELICAL CONFIGURATION; NEUTRAL ATOM  
BEAM INJECTION; PLASMA HEATING; COMPUTER CODES

Ajustes de los perfiles radiales de densidad  
y temperatura para las descargas  
con NBI del TJ-II

J. Guasp  
C. Fuentes  
M. Liniers

## INDICE

1. Introducción.
2. Perfiles radiales de *Scattering Thomson*.
3. Comportamiento de los perfiles ajustados con la densidad y la potencia.
4. Comparación entre datos de las descargas y los ajustes.
5. Comparación entre los casos *On Axis* y *Off Axis*.
6. Ajuste de la temperatura iónica central.
7. Conclusiones.

Referencias

Lista de Figuras

Figuras

Apéndice I. Subrutina `get_perf_fit`.

## 1. Introducción.

En numerosas aplicaciones, p.ej.: cálculos de transporte de plasma, evolución temporal de las magnitudes durante la inyección de haces neutros (NBI), aporte de esos haces al incremento de densidad del plasma, etc., etc., es indispensable poseer datos sobre la evolución temporal de los perfiles radiales de densidad y temperatura electrónica del plasma. Sin embargo, en el TJ-II, esos perfiles se miden una sola vez a lo largo de la descarga mediante el sistema de *Scattering Thomson* [1], incluso en ocasiones esa medida no se produce o falla.

Por esta causa sería extremadamente conveniente poseer un método que permitiera la evaluación rápida aproximada de esos perfiles en ausencia de medidas. Para ello se han analizado los perfiles experimentales de *Scattering Thomson* de las descargas del TJ-II, en las que hubo inyección de neutros, correspondientes a las campañas 2003-2004, en cada una de las cuales la medida de los perfiles de *Scattering Thomson* tuvo lugar en tiempos y a densidades muy diferentes, esperando que el conjunto sea suficientemente numeroso y representativo. En total, por diversas causas, se han retenido finalmente 112 descargas que, como se detallará más adelante, según la situación de la inyección de NBI y de ECRH, se clasifican en cuatro categorías que se resumen en la siguiente tabla:

	<u>On Axis</u>	<u>Off Axis</u>	<u>Total</u>
<u>Fase ECRH</u>	46	18	64
<u>Fase NBI</u>	30	18	48
<u>Total</u>	76	36	<b>112</b>

Este conjunto de descargas permite obtener ajustes a funcionales sencillas que dependen solo de la densidad media de línea y de la potencia inyectada y que pueden ser utilizadas posteriormente, para tiempos distintos a los de medida de *Scattering Thomson* o en su ausencia, para una evaluación rápida aproximada de los perfiles radiales. Esos ajustes se han efectuado separadamente para cada una de las 4 categorías ya que, como se observará, los comportamientos de cada caso pueden ser bastante diferentes.

La separación entre fases ECRH y NBI se basa en el hecho de que a densidad suficientemente elevada los girotrones de ECRH dejan de calentar el plasma y, de hecho, es como si toda la potencia inyectada fuera exclusivamente la de NBI. Lo contrario sucede a muy baja densidad, o cuando la medida de perfiles tiene lugar antes de que comience la inyección. Un criterio sencillo de separación entre las dos fases es el siguiente: si la potencia absorbida por NBI (Pabsnb) es muy inferior a la absorbida en primer paso por ECRH (Pabsec), se considera una situación de fase ECRH. En la situación contraria ( $Pabsec \ll Pabsnb$ ) se está en fase NBI. Por supuesto pueden presentarse situaciones intermedias que serán discutidas más abajo. Para una evaluación aproximada de Pabsnb se ha utilizado el método descrito en Ref.[2], basado en los cálculos efectuados para casi un centenar de descargas de esas campañas. Por su parte para la evaluación aproximada, en primer paso, de Pabsec se ha tenido en cuenta la posible presencia y posición radial del corte de microondas para el perfil de densidad de cada descarga [3].

En realidad el análisis original partió de 134 descargas. De ellas 64 tenían, en el momento de la medida de perfiles, un valor de  $\underline{Pabsnb}$  inferior a un 5% de  $\underline{Pabsec}$  (esa ha sido la cota elegida). Por consiguiente 64 descargas correspondían a Fase ECRH clara. Por otro lado aquellas en que había absorción de NBI con valor de  $\underline{Pabsnb}$  superior 20 veces el de  $\underline{Pabsec}$  ( $pabsec \leq 0.05 \cdot pabsnb$ ) eran 63 y correspondían evidentemente a Fase NBI, sin embargo solo en 48 de ellas hubo medida de la potencia interceptada por el calorímetro durante ese mismo día y esas ha sido las retenidas, ya que para los ajustes en fase NBI se necesita poseer un valor plausible de la potencia entrante en el toro  $\underline{Ptor}$ .

Así pues quedaron 7 descargas intermedias en las que no estaba claro a qué fase podrían corresponder. En dos de ellas ambas potencias eran muy pequeñas, inferiores a 50 kW, y correspondían a situaciones en que la descarga había llegado a corte, espontáneamente, al poco tiempo de iniciarse la inyección NBI y fueron descartadas. De las 5 restantes solo 2 tenían medida de la potencia interceptada por el calorímetro. Por lo tanto, de un total de 114 descargas retenidas solo 2 aparecieron en la zona intermedia, dada la ambigüedad de su situación y su corto número, lo más conveniente ha sido ignorarlas y suprimirlas de la muestra, con lo cual solo han quedado casos claros en donde, o bien no hay apenas potencia de inyección de NBI en el momento de medida de los perfiles y, por consiguiente, toda la potencia inyectada es la de los girotrones (Pece), o bien, por el contrario, el ECRH ya no está actuando y toda, o casi toda, la potencia inyectada es  $\underline{Ptor}$ .

El resultado final es que, en las 112 descargas retenidas, la zona de fase ECRH aparece para densidades medias de línea inferiores a  $enl \leq 1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , mientras que la Fase de NBI lo hace por encima de  $enl \geq 1.3$  (en adelante las densidades se expresarán en unidades de  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ), esta frontera podrá variar en el futuro, cuando los resultados de nuevas campañas experimentales sean incluidos. Para cálculos en donde la densidad de evaluación se sitúe en la zona intermedia se promedia entre las extrapolaciones de cada caso.



## 2. Perfiles radiales de *Scattering Thomson*.

Dado que el objetivo para el cálculo de perfiles es su posterior utilización en otros códigos (transporte de plasma, cálculos de Montecarlo para NBI, etc.), que generalmente utilizan coordenadas de flujo, es necesario simetrizar los datos brutos de los perfiles de *Scattering Thomson*.

Dos ejemplos de perfiles medidos mediante *Scattering Thomson* (ya simetrizados), aparecen en las Figs.2.1 a 2.6. La primera representa una descarga en clara Fase ECRH (la 11699 con densidad media de línea muy baja,  $enl = 0.51$ ) e inyección On axis, su perfil de densidad (Fig.2.1) es relativamente ancho y con una ligera oquedad mientras que el de temperatura electrónica (Fig.2.2) es más estrecho, casi triangular, con valores centrales superiores a 1.2 keV. Por el contrario la segunda descarga es de densidad elevada (11965,  $enl = 1.82$ , Off axis) se encuentra en clara Fase NBI y la forma de los perfiles se ha invertido con relación a la descarga anterior, ahora es el perfil de densidad (Fig.2.3) el que es casi triangular, con valor central elevado (3.4), mientras que el de temperatura (Fig.2.4) se ha ensanchado y presenta una leve oquedad con valores centrales del orden de 0.3 keV. Como se observará en los párrafos siguientes éste es un comportamiento típico de ambas fases.

Sin embargo no solo es necesario simetrizar sino también suavizar los datos brutos de los perfiles de *Scattering Thomson*, para ello se han ajustado esos datos (círculos huecos en las figuras anteriores) a una funcional con 5 parámetros:

$$y(s) = p_0 \cdot (1 + p_3 \cdot s^2) / [1 + (s/p_1)^{p_2}]^{p_4} . \quad (2.1)$$

En donde  $\underline{s}$  es el radio medio del plasma normalizado a 1 en el borde,  $p_0$  es el valor central,  $p_1$  está ligado a la anchura del perfil,  $p_3$  da cuenta de la posible oquedad, mientras que  $p_2$  y  $p_4$  dan cuenta de la “curvatura” del perfil para  $s \rightarrow 0$  y  $s \gg p_1$ . Esta funcional permite gran variedad de formas (perfiles huecos o muy picudos p. ej.) y es la misma que se ha adoptado para el ajuste de los perfiles de deposición de potencia en los cálculos de NBI [2].

Como se observa en las figuras anteriores el acuerdo entre los datos experimentales y el perfil ajustado (líneas) es bastante bueno. Para la descarga 11699 de baja densidad la desviación media entre los datos y el ajuste (definida como la raíz cuadrada del cociente entre la norma de la diferencia y la norma del perfil ajustado) es de 4% para la densidad (Fig.2.1) y 8% para la temperatura (Fig.2.2), mientras que para la 11965 (Fig.2.3 y 2.4) esos valores son 3 y 6%, respectivamente. Otros ejemplos de perfiles experimentales y sus ajustes aparecen en las Figs.1.1 y 1.2 de Ref.[2], esos valores de las desviaciones son típicos de todos los casos analizados.

La comparación entre los perfiles ya ajustados de las dos descargas citadas aparece en las Figs.2.5 y 2.6, en las que se ponen de manifiesto las tendencias al estrechamiento del perfil de densidad al crecer ésta y el ensanchamiento del de temperatura mencionados antes. Otros ejemplos pueden consultarse en las Figs.1.3 y 1.4 de [2].

Pues bien, para cada una de las 112 descargas mencionadas en §1 se determinó ese conjunto de parámetros. Hecho éso se calcularon los *factores de forma* para cada descarga. Esos factores de forma se definen de la siguiente manera (p. ej. para el perfil de temperatura electrónica  $Te(s)$ ):

fvolte: (factor de forma en volumen)  $fvolte = \langle Te \rangle / Te(0)$ , en donde  $\langle Te \rangle$  es el promedio en volumen del perfil y  $Te(0)$  es su valor central. Es el momento de orden 1 de  $Te(s)$  y la inversa de lo que, con frecuencia, se denomina como *factor de pico* (*peaking factor*).

flinte: (factor de forma de línea)  $flinte = [Te] / Te(0)$ , en donde  $[Te]$  es el promedio en línea del perfil. Es el momento de orden 0 de  $Te(s)$ .

ahte: (anchura a valor mitad)  $Te(ahte) = Te(0)/2$

Oqte: (oquedad)  $oqte = \text{Max}(Te(s)) / Te(0)$

Esos 4 factores de forma son independientes del valor central  $p_0$ , tienen más sentido físico y tienden a variar más suavemente que los coeficientes  $p_1, p_2, p_3, p_4$  de (2.1). En general fvolte, flinte y ahte son tanto mayores cuando más ancho y plano es el perfil, para un perfil exactamente parabólico sus valores serían 0.5, 0.67 y 0.71 y, en ese caso evidentemente,  $Oqte = 1$ .

Para las descargas mencionadas anteriormente esos factores son los siguientes:

Caso	enl	en(0)	fvolne	flinne	ahne	Oqne	Te(0)	fvolte	flinte	ahte	Oqte
11699	0.51	0.7	0.56	0.75	0.72	1.08	1.23	0.28	0.42	0.38	1.0
11965	1.82	3.4	0.35	0.52	0.54	1.0	0.31	0.74	0.87	0.85	1.06

en donde se confirman los comportamientos mencionados anteriormente. Todos esos parámetros y *factores de forma*, para cada una de las 112 descargas se han almacenado en ficheros permanentes.

El siguiente paso consistió en obtener una dependencia suave de esos *factores de forma* con la densidad media de línea (enl) y la potencia inyectada (Ptot) para lo cual se escogieron formas cuadráticas que se ajustaron, separadamente, para cada uno de los 4 casos (Fases ECRH, NBI, On y Off axis). Posteriormente, para una serie de valores suficientemente densa en el espacio bidimensional [ enl, Ptot ], se efectuó la interpolación en esas formas cuadráticas y se calcularon los coeficientes [  $p_1, p_2, p_3, p_4$  ] que producen los factores de forma más similares a los interpolados, estos parámetros finales se almacenaron también en ficheros permanentes.

Además el valor central de la temperatura  $Te(0)$  ( $p_0$  en (2.1) para el perfil de temperatura) se ajustó a una funcional del tipo

$$Te(0) = \pi_1 \cdot enl^{\pi_2} \cdot Ptot^{\pi_3} \quad (2.2)$$

Cuyos parámetros [  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$  ] se almacenaron también en los mismos ficheros.

Debe notarse que el valor central de la densidad  $n_e(0)$  NO necesita ser ajustado ya que, para una densidad media de línea enl dada se tiene, por definición,  $n_e(0) = \text{enl} / \text{flinne}$ , con lo que el factor de forma de línea para la densidad flinne determina completamente el valor central de ese perfil.

Por consiguiente en este proceso hay dos tipos de *ajuste* sucesivos, completamente distintos: en primer lugar el ajuste de la forma funcional (2.1) a cada descarga individual, que denominaremos en lo sucesivo *ajuste individual*. Después, el ajuste de formas cuadráticas a los factores de forma y de la temperatura electrónica central a (2.2), que denominaremos *ajuste colectivo*.

Posteriormente, para una densidad y potencia inyectada dadas, basta interpolar en los ficheros anteriores y utilizar las fórmulas (2.1) y (2.2) para obtener perfiles radiales aproximados. Existen subrutinas Fortran, disponibles en los tres ordenadores del Ciemat (jen50, fusc y fénix), que permiten calcular rápidamente esos perfiles radiales, cuyo modo de llamada y localización se describen en el Apéndice I.

### 3. Comportamiento de los perfiles ajustados con la densidad y la potencia.

Con esto ya pueden analizarse los comportamientos predichos por los perfiles de *ajuste colectivo* en función de la densidad de línea y la potencia inyectada.

La Fig. 3.1 muestra los contornos de densidad central constante, en un diagrama bidimensional: densidad media de línea (enl, eje horizontal), potencia inyectada (Ptot, eje vertical), predichos por los *ajustes colectivos* para el caso de Fase ECRH On Axis. El máximo de densidad se encuentra a mitad del eje vertical en el extremo derecho, el mínimo en la esquina superior izquierda. La figura pone de manifiesto que la densidad central crece monótonamente con la de línea, mientras que la casi verticalidad de los contornos muestra que la dependencia con la potencia es débil, con ligera tendencia a disminuir al aumentar la potencia. En todas las figuras de este párrafo los puntos dispersos por el diagrama muestran la localización de las descargas individuales.

El comportamiento de la temperatura electrónica central en ese mismo diagrama (Fig.3.2) y para ese mismo caso muestra un claro decrecimiento con la densidad y, esta vez, un claro incremento con la potencia,. Ambas tendencias parecen lógicas

El valor la densidad central para el caso de Fase NBI Off axis aparece en la Fig.3.3. Se mantiene el claro y lógico incremento con la densidad media aunque, ahora, la dependencia con la potencia deja de ser monótona y decrece inicialmente al aumentar Ptot a baja potencia para comenzar a crecer más tarde, aunque esa variación es débil. Por su parte la temperatura central (Fig.3.4) muestra el lógico fuerte decrecimiento con la densidad aunque, esta vez, el incremento con la potencia es mucho más débil que en el caso ECRH On.

En cuanto a la anchura de los perfiles de densidad (ahne) para el caso ECRH On axis, su comportamiento se muestra en la Fig.3.5 en donde se observa un leve decrecimiento (es decir un estrechamiento del perfil) al aumentar la densidad media y un leve aumento (ensanchamiento) al aumentar la potencia. Similar comportamiento tiene lugar para fvolne y flinne. Para el caso NBI Off axis (Fig. 3.6) persiste el estrechamiento con la densidad mientras que con la potencia el perfil comienza primero a estrecharse a baja potencia para luego volver a ensancharse, todo ello de manera leve.

Diagramas análogos se han obtenido para los otros casos y factores de forma. Un resumen del comportamiento de todos esos factores para los 4 casos aparece en las Tabla 3.I.

**Tabla 3.I**

Comportamiento de los valores centrales y factores de forma de los perfiles del *ajuste colectivo* con la densidad media de línea (enl) y la potencia inyectada (Ptot).

	<u>ECRH On</u>		<u>ECRH Off</u>		<u>NBI On</u>		<u>NBI Off</u>	
	<u>enl</u>	<u>Ptot</u>	<u>enl</u>	<u>Ptot</u>	<u>enl</u>	<u>Ptot</u>	<u>enl</u>	<u>Ptot</u>
ne(0)	↑↑	↓	↑↑	↔	↑↑	↔	↑↑	∩
Te(0)	↓↓	↑↑	↓↓	↔	↓↓	↓	↓↓	↑
Ti(0)	↓	↑	↑	↑	↓	~	↓	~
ahne	↓↓	↑↑	↓	~	∩	↓	↓↓	∩
fvolne	↓↓	↑↑	↓	~	∩	↓	↓↓	∩
flinne	↓↓	↑↑	↓	~	∩	↓	↓↓	∩
Oqne	↓↓	↑↑	-	-	-	-	-	-
ahte	∩	↓	~	~	↑	↑	↓↓	↑
fvolte	∩	↓	~	~	↑	↑	↓↓	↑
flintt	∩	↓	~	~	↑	↑	↓↓	↑
Oqte	-	-	-	-	-	-	∩	∩

La convención de símbolos utilizados en esa Tabla es la siguiente: Una flecha ascendente significa crecimiento del factor correspondiente (fila horizontal) al crecer la magnitud de la correspondiente columna. Cuanto más gruesa es la flecha más intenso el crecimiento. Una flecha descendente indica lo contrario.

Una flecha horizontal indica que no hay dependencia, el símbolo ~ significa que la dependencia es muy leve. El signo ∩ indica que al inicio hay crecimiento y más tarde decrecimiento. Lo contrario se indica con ∪.

Finalmente, para las oquedades, el símbolo - indica ausencia.

Se observará que las tres magnitudes fvol, flin y ah, del mismo perfil, varían a la par en todos los casos analizados. Todos estos comportamientos serán comentados y se apreciarán de manera más clara en los próximos párrafos, sobre todo en §5.

#### 4. Comparación entre datos de las descargas y los ajustes.

Los diagramas anteriores ayudan a percibir el comportamiento predicho pero no dan idea del grado de discrepancia con los datos brutos, es decir los obtenidos para cada descarga individual.

Eso sí que puede apreciarse en las siguientes figuras, en donde se ha representado, para cada descarga individual (triángulos), en función de la densidad media de línea (eje horizontal) e independientemente de la potencia que le corresponda, los valores de cada magnitud junto con los valores predichos por los *ajustes colectivos* (líneas gruesas). Los casos individuales de Fase ECRH se representan mediante triángulos con vértice hacia abajo, los de NBI con vértice hacia arriba.

En algunas de estas figuras se observará que los valores ajustados varían bruscamente con la densidad de un punto al siguiente. Eso se debe a que la potencia no aparece discriminada en este diagrama y, si bien en el espacio [ enl, Ptot ] los valores ajustados varían suavemente, por el contrario al representar sus valores para descargas individuales, ordenadas según la densidad media de línea, que pueden tener valores muy diferentes de la potencia inyectada (bien por corresponder a días distintos, bien porque la medida de perfiles se realizó en tiempos diferentes), los valores sucesivos ya no tienen por qué variar suavemente. En otras palabras descargas con densidades muy cercanas pueden tener potencias muy diferentes y, por consiguiente, encontrarse realmente muy alejadas entre si en el espacio bidimensional [ enl, Ptot].

Así la Fig.4.1 muestra la densidad central de los casos On Axis, tanto de fase ECRH como NBI. El ajuste correspondiente a la fase ECRH presenta una desviación media entre datos brutos y predicciones del *ajuste colectivo* de un 5% con desviación máxima del 17%, similar a los de la fase NBI (6 y 17%). En esa figura se observa claramente el crecimiento sostenido del valor central y la poca dependencia con la potencia, lo que se manifiesta en escasa oscilación de los valores ajustados.

Por su parte la Fig.4.2 representa el valor central de la temperatura electrónica, esta vez los puntos correspondientes a la fase ECRH muestran mayor dispersión (media 10%, máxima 28%), frente a 7% y 24% para la fase NBI. También se observa una fuerte dependencia con la potencia inyectada (oscilaciones bruscas de la línea del ajuste) en el caso ECRH y muy poca en el de NBI. El decrecimiento con la densidad queda también claro aunque en fase NBI se atenúe mucho.

La anchura del perfil de densidad para los casos On axis aparece en la Fig.4.3. Se observa el decrecimiento con la densidad ya comentado, que también se va atenuando a alta densidad. Las desviaciones medias son también de unos pocos por cien y las máximas inferiores al 15%. La dependencia con la potencia es importante en ambos casos.

Finalmente la anchura del perfil de temperatura se muestra en la Fig.4.4 para los casos On axis. La dispersión es mayor que en las figuras anteriores y la dependencia con la potencia muy notable en Fase ECRH. Por su parte la variación con la densidad no parece muy acusada, y sugeriría un leve ensanchamiento, aunque sí que parece clara un sistemática mayor anchura de los perfiles en los casos NBI.

Figuras similares se han obtenido para los casos Off Axis (cf. §5). Las diferencias medias y máximas para todas las magnitudes de los 4 casos se presentan en la Tabla 4.I.

**Tabla 4.I**

Diferencias relativas, medias y máximas, entre los valores experimentales y los del *ajuste colectivo* para los principales factores de forma (en %).

	<u>ECRH On</u>		<u>ECRH Off</u>		<u>NBI On</u>		<u>NBI Off</u>	
	<u>diffav</u>	<u>diffmax</u>	<u>diffav</u>	<u>diffmax</u>	<u>diffav</u>	<u>diffmax</u>	<u>diffav</u>	<u>diffmax</u>
ne(0)	4.6	<b>+16.7</b>	1.8	-5.4	<b>5.9</b>	+16.5	5.6	-14.1
Te(0)	<b>9.5</b>	-28.6	9.4	-19.9	6.7	-23.6	6.9	<b>+29.5</b>
Ti(0)	7.5	+35.3	8.1	+19.6	<b>15.4</b>	<b>+35.4</b>	4.4	+12.9
ahne	2.2	-11.1	1.3	+3.3	6.2	+14.7	5.4	+16.4
fvolne	6.5	-21.8	2.9	+8.9	10.2	-25.5	9.5	+26.1
flinne	4.5	-14.2	1.8	+5.7	6.0	+14.8	5.8	+16.4
Oqne	5.4	+17.5	0.5	+4.8	0.06	+1.7	0.	0.
ahte	11.2	<b>-30.2</b>	7.6	-23.4	8.5	-23.3	7.8	+18.3
fvolte	11.3	+29.3	9.3	+23.2	10.8	-22.9	<b>13.0</b>	+27.8
flinte	8.3	+19.4	7.9	-19.0	7.3	-18.1	8.5	-19.9
Qqte	0.1	+3.1	0.	0.	0.	0.	2.1	+8.0
<u>N°</u>	<u>46</u>		<u>18</u>		<u>30</u>		<u>18</u>	
<u>N° Ti</u>	40		13		27		9	

Las diferencias medias nunca superan el 13% (fvolte del caso NBI Off) y se sitúan generalmente alrededor del 10%.

Finalmente las Figs.4.5 y 4.6 muestran los perfiles radiales de densidad y temperatura electrónica correspondientes al ajuste individual (símbolos) y al perfil resultante del *ajuste colectivo* (líneas) para la descarga 11965. La diferencia media entre los perfiles (definida, una vez más, como la raíz cuadrada del cociente entre la norma de la diferencia y la norma del perfil ajustado) es de 7% para la densidad y 13% para la temperatura, las desviaciones relativas para los valores centrales son 11% y 1%. Para el conjunto de descargas la desviación media se sitúa en 8% para el perfil de densidad y 10% para el de temperatura, las de los valores centrales aparecen en la Tabla anterior.

## 5. Comparación entre los casos On Axis y Off Axis.

Una mejor apreciación de las tendencias con la densidad y, sobre todo, de las diferencias entre los casos de inyección On y Off axis se consigue agrupando los 4 casos en un mismo diagrama.

Así a Fig.5.1 muestra las predicciones de los *ajustes colectivos* para cada descarga individual de los 4 casos, correspondientes a la densidad central. Es decir esta figura es similar a la Fig.4.1 suprimiendo los valores correspondientes a los datos brutos e incluyendo también los casos Off axis. Las mismas observaciones que se hicieron en §4 sobre los saltos bruscos debidos a la diferente potencia de cada punto se aplican aquí.

Junto al hecho, repetidamente mencionado y lógico, del incremento claro con la densidad, esta figura nos muestra que los valores centrales en fase ECRH son muy similares en ambos esquemas de inyección (On y Off axis). Por el contrario en fase NBI los perfiles Off axis tienen valor central de densidad claramente más elevado que los On axis. Esto es debido a que, ya que aquellos son más estrechos (ahne y flinne menores, cf Fig.5.3), la propia definición de flinne (cf. §1) fuerza ese comportamiento.

En la Fig.5.2 se muestra la dependencia del valor central de la temperatura electrónica. Es evidente su decrecimiento con la densidad (ya comentado anteriormente) más acusado en fase ECRH y, sobre todo, que la temperatura central en fase ECRH es mucho mayor en el caso On axis, lo que parece lógico ya que el calentamiento debería ser más central en ese caso. Por el contrario la fase NBI parece insensible al modo de inyección de los dos girotrones.

La anchura del perfil de densidad ahne para los ajustes de los 4 casos aparece en la Fig.5.3. Aparte del ya mencionado estrechamiento del perfil a densidad baja, que se atenúa e incluso parecería detenerse a alta densidad, se observa que no hay diferencia apreciable entre inyección On y Off axis en fase ECRH, mientras que en fase NBI el perfil de densidad del caso Off axis es claramente más estrecho.

Finalmente para la anchura del perfil de temperatura en fase ECRH (Fig.5.4), se observa un ligero ensanchamiento con la densidad y, sobre todo un clarísimo mayor estrechamiento del perfil del caso On, que es compatible con el calentamiento más localizado cerca del eje de ese caso. En el caso NBI para el caso On también aparece un ligero ensanchamiento con la densidad, con poca dependencia de la potencia, mientras en el caso Off la fuerte dependencia de la potencia hace menos claro el comportamiento aunque, salvo para un par de casos, el perfil Off parece ser bastante más ancho que el On, lo mismo que ocurre en fase ECRH.

Como ya se indicó anteriormente los comportamientos de los factores de forma fvol y flin son similares a los ah correspondientes.



## 6. Ajuste de la temperatura iónica central.

Desgraciadamente las medidas del espectrómetro de cambio de carga (CX, [4]) para la temperatura iónica central fueron menos numerosas, en las campañas 2003-2004, que las de perfiles de *Scattering Thomson*, en total solo 89 de las 112 descargas retenidas poseen ese tipo de medida y se distribuyen, con el criterio de §1, de la siguiente manera:

	<u>On Axis</u>	<u>Off Axis</u>	<u>Total</u>
<u>Fase ECRH</u>	40	13	53
<u>Fase NBI</u>	27	9	36
<u>Total</u>	67	22	<b>89</b>

Se observará, en particular, lo escaso de la muestra disponible para los casos de inyección Off Axis en esas campañas (13 para la Fase ECRH, 9 para la de NBI).

Pese a ello, aunque con bastante escepticismo, se ha intentado ajustar esa temperatura iónica central con una funcional similar a la (2.2), que se utilizó para la temperatura electrónica y, como siempre, separadamente para los 4 casos.

$$T_i(0) = \pi^1 \cdot n_l^{\pi^2} \cdot P_{tot}^{\pi^3} \quad (6.1)$$

Como para la temperatura iónica, en esas campañas, no se midieron perfiles radiales no se han incluido factores de forma. La forma de los perfiles se toma puramente parabólica, lo que parece estar de acuerdo con cálculos de transporte preliminares, con la salvedad de que su valor radial local nunca supere el de la temperatura electrónica. La forma definitiva dependerá de futuros cálculos de transporte o de la medida de esos perfiles

Las tendencias de este ajuste en el espacio bidimensional [  $n_l$ ,  $P_{tot}$  ] aparecen incluidas en la Tabla 3.I. Para los casos On axis (más fiables) se observa un decrecimiento con la densidad, mientras que la dependencia con la potencia crece levemente en el caso de muestra más numerosa (ECRH) y parece variar poco en los de NBI.

La comparación con los resultados brutos aparece en la Fig.6.1 para los casos de inyección On axis y la Fig.6.2 para los Off. En los primeros se observa un leve decrecimiento con la densidad, poca dependencia con la potencia y, para ambos casos, una considerable dispersión, de tal forma que los ajustes serían compatibles también con otro que predijera, simplemente, un valor constante de unos 96 eV en ambas Fases.

Por su parte los casos Off axis aparecen en la Fig.6.2, la dispersión es ahora algo menor para la Fase NBI y la dependencia con la potencia algo más acusada, sobre todo en el Caso ECRH. La ligera tendencia creciente en esta última fase o el aparente decrecimiento del caso NBI no parecen fiables dada la escasez de la muestra. Sin embargo sí parece claro que el caso NBI posee temperaturas iónicas centrales claramente superiores al de fase ECRH. Un ajuste que fuera constante con la densidad daría valores del orden de 84 eV para la fase ECRH y 120 para la de NBI.

La Tabla 4.I incluye las desviaciones medias y máximas de todos los casos. La desviación media es inferior al 10%, salvo en el caso NBI On axis en que alcanza el 15%.

Finalmente la comparación entre casos On y Off se presenta en la Fig.6.3. Se observa que en fase ECRH la temperatura iónica central del caso On es claramente superior a la del Off, tal vez resultado del *arrastré* que ocasiona una mayor temperatura electrónica. Sin embargo en fase NBI esa situación se invierte, lo que pudiera ser debido a la mayor densidad central del caso Off, aunque ello también pudiera ser un efecto espúreo causado, simplemente, por la escasa población de la muestra.

Otro intento de ajuste de esta temperatura iónica central consiste en mantener la separación entre las dos fases, aunque agrupando los dos modos de inyección con el fin de ampliar la muestra. La funcional a ajustar se ha elegido de la forma:

$$T_i(0) = \pi_1 \cdot n_l^{\pi_2} \quad (6.1)$$

En donde ahora se ha eliminado la dependencia con la potencia inyectada. El objetivo de este intento es comprobar si esa temperatura iónica central podría amoldarse a una ley de tipo Artsimovitch [5] que predice  $\pi_2 \sim +1/3$ . Debe notarse sin embargo que dicha ley es aplicable a *Tokamaks* (es decir dispositivos con fuerte calentamiento ohmico), a casos en que la colisionalidad de los iones se encuentra en régimen *Plateau*, lo que es correcto en nuestro caso en ambas fases, con perfiles radiales de densidad parabólicos lo que dista de ser correcto y, sobre todo, en casos en que la relación entre temperatura electrónica e iónica esté situada entre 1.6 y 10, b que, si bien es adecuado para fase NBI, dista de serlo en muchos casos en la ECRH en donde esa relación puede superar el valor 13. Por consiguiente la aplicabilidad de esa Ley a nuestro caso es más bien dudosa.

Sin embargo esta funcional presenta la ventaja de que la muestra en fase NBI se incrementa desde 36 (9+27) a 48, ya que ahora no importa que la potencia interceptada en el calorímetro no haya sido medida.

Pese a todos esos inconvenientes, se ha efectuado el ajuste para ambas fases. El resultado es francamente decepcionante.

Para la fase ECRH los valores de los parámetros de (6.1) son  $\pi_1 = 91. \text{ eV}$  y  $\pi_2 = -0.016$ , que no solo no crece con exponente cercano a  $+1/3$  sino que, incluso, decrece levemente. Además la desviación media es del 12% y la máxima del 41%, considerablemente peores que en el método de ajuste anterior.

Para la fase NBI esos parámetros son  $\pi_1 = 122 \text{ eV}$  y  $\pi_2 = -0.18$ , también decreciente, esta vez de manera clara. La desviación media es ahora del 20% y máxima del 45%, también considerablemente peores que en el método de ajuste anterior pese a una muestra más numerosa.

En suma. los ajustes de temperatura iónica central distan de ser satisfactorios y quizás lo menos arriesgado, en este caso, sería tomarlos independientes tanto de la densidad como de la potencia y del modo de inyección, es decir aproximadamente 93 eV para la fase ECRH y 105 para la de NBI.

Todo lo anterior indica que estos intentos de ajuste para la temperatura iónica central tendrán que ser repetidos, ampliando la muestra, en campañas futuras.

## 7. Conclusiones.

Los perfiles radiales de densidad y temperatura electrónica correspondientes a las descargas del TJ-II con inyección de NBI de las campañas 2003-2004, se han ajustado a funcionales sencillas, que permiten, para una densidad y potencia inyectada dadas, calcularlos muy rápidamente de manera aproximada. Esos ajustes se han efectuado, separadamente, para cada una de las cuatro posibles combinaciones de casos en Fase ECRH o NBI y de inyección On u Off Axis del ECRH.

Las desviaciones medias entre los cálculos para las descargas individuales, utilizando sus perfiles de densidad y temperatura experimentales y los valores predichos por los ajustes son del orden del 8% para los perfiles de densidad y 10% para los de temperatura electrónica.

Se han analizado los comportamientos predichos para esos perfiles en función de la densidad media de línea y de la potencia inyectada. Las temperaturas electrónicas centrales decrecen monótonamente con la densidad y la del caso ECRH On axis es claramente superior a la del ECRH Off. Los perfiles radiales de densidad se estrechan al crecer la densidad y la anchura del caso NBI On es claramente mayor que la del Off. Por el contrario los de temperatura electrónica tienden a ensancharse levemente siendo sistemáticamente más estrechos los perfiles de los casos On axis de todas las fases.

Por su parte los ajustes para el valor central de la temperatura iónica distan de ser satisfactorios, debido a la escasa población de la muestra (considerablemente menor que la de los casos anteriores) y deberán ser repetidos en futuras campañas experimentales.

Existen subrutinas Fortran, disponibles en los tres ordenadores del Ciemat (jen50, fusc y fénix), para el cálculo rápido aproximado de todos esos perfiles.

## Referencias.

- [1] J.Herranz, F.Castejón, I.Pastor et al. “The spectrometer of the high-resolution multiposition Thomson Scattering diagnostic for TJ-II”. Fusion Engineering Design **65** , 525 (2003)
- [2] J.Guasp, C.Fuentes, M.Liniers. “Cálculos de inyección de Haces Neutros para las descargas del TJ-II”. Informe Ciemat *en prensa*.
- [3] J.Guasp, C.Fuentes, M.Liniers. “Dinámica de impurezas durante la inyección de haces neutros en el TJ-II (simulación)”. Informe Ciemat-981 (Octubre 2001).
- [4] J.M.Fontdecaba, R.Balbín, et al. “Charge Exchange Neutral particle Analyser Diagnostics of TJ-II”. Informe Ciemat-1014 (2003).
- [5] K.Miyamoto. “Plasma Physics for Nuclear Fusion”. MIT Press. Cambridge. Mass. (1980)

## Lista de Figuras.

§2.

Fig.2.1 Comparación entre los datos experimentales del perfil de densidad procedentes del *Scattering Thomson* (círculos) y el perfil ajustado (línea gruesa) para la descarga de Fase ECRH On Axis 11699.

Fig.2.2 Idem. para el perfil de temperatura electrónica.

Fig.2.3 Comparación entre los datos experimentales del perfil de densidad procedentes del *Scattering Thomson* (círculos) y el perfil ajustado (línea gruesa) para la descarga de Fase NBI Off Axis 11965.

Fig.2.4 Idem. para el perfil de temperatura electrónica.

Fig.2.5 Comparación entre los perfiles de densidad (ya ajustados) de dos descargas de fase diferente (11699 de Fase ECRH On axis y 11965 de Fase NBI Off Axis).

Fig.2.6 Idem. para el perfil de temperatura electrónica.

§3.

Fig.3.1 Líneas de nivel de densidad central constante en el diagrama bidimensional: densidad media de línea (enl, eje horizontal), Potencia inyectada (P<sub>tot</sub>, eje vertical) para los casos de Fase ECRH On Axis.

Fig.3.2 Idem. para la temperatura electrónica central.

Fig.3.3 Idem. para la densidad central de los casos de Fase NBI Off Axis..

Fig.3.4 Idem. para la temperatura electrónica central.

Fig.3.5 Idem. para la anchura del perfil de densidad (ahne) de los casos de Fase ECRH On Axis.

Fig.3.6 Idem. para los casos de Fase NBI Off Axis.

§4

Fig.4.1 Comparación entre los valores calculados a partir los perfiles de densidad y temperatura experimentales (triángulos) y los resultados del *ajuste colectivo* (líneas) para la densidad central de los casos On Axis de ambas fases. Dependencia con la densidad media de línea (enl)

Fig.4.2 Idem. para la temperatura electrónica central.

Fig.4.3 Idem. para la anchura del perfil de densidad (ahne)

Fig.4.4 Idem. para la anchura del perfil de temperatura electrónica (ahte).

Fig.4.5 Comparación entre el perfil radial de densidad electrónica experimental procedente del *Scattering Thomson* (simetrizado y suavizado, triángulos) y el predicho por los ajustes colectivos (líneas) para la descarga de Fase NBI Off axis 11965.

Fig.4.6 Idem. para el perfil de temperatura electrónica.

§5

Fig.5.1 Comparación entre los valores predichos por los *ajustes colectivos* para la densidad central en todos los casos, en función de la densidad media de línea (enl).

Fig.5.2 Idem. para la temperatura electrónica central.

Fig.5.3 Idem. para la anchura del perfil de densidad (ahne)

Fig.5.4 Idem. para la anchura del perfil de temperatura electrónica (ahte).

§6

Fig.6.1 Comparación entre los valores medidos para la temperatura iónica central con el espectrómetro de Cambio de Carga y los resultados del *ajuste colectivo* (líneas) en los casos On Axis de ambas fases. Dependencia con la densidad media de línea (enl).

Fig.6.2 Idem. para los casos Off Axis.

Fig.6.3 Comparación entre los valores predichos por los *ajuste colectivos* para la temperatura iónica central en todos los casos.

# 11699, 2 June  
100\_44\_64, On Axis. ECRH phase  
density

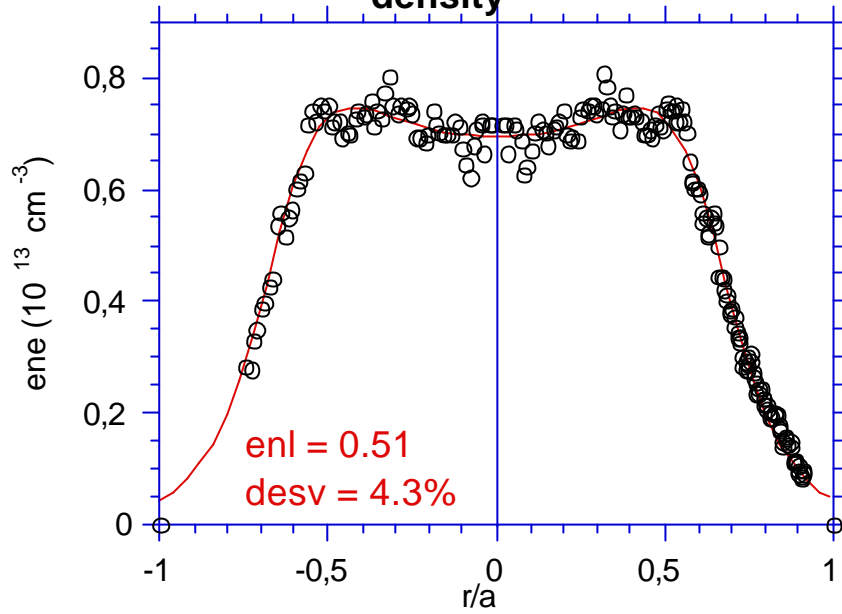


Fig.2.1

# 11699, 2 June  
100\_44\_64, On Axis. ECRH Phase  
temperature

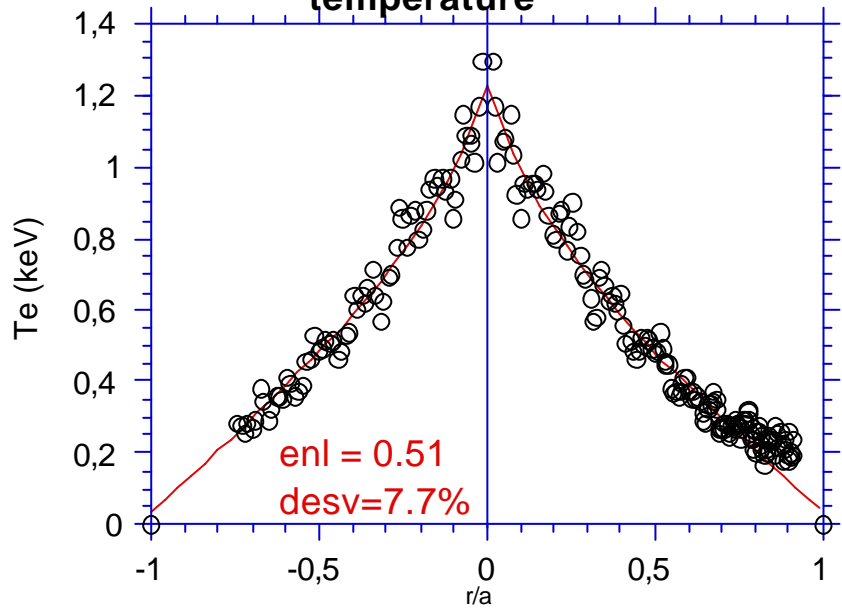


Fig.2.2

# 11965, 17 Jun.  
100\_44\_64, Off Axis. NBI Phase  
density

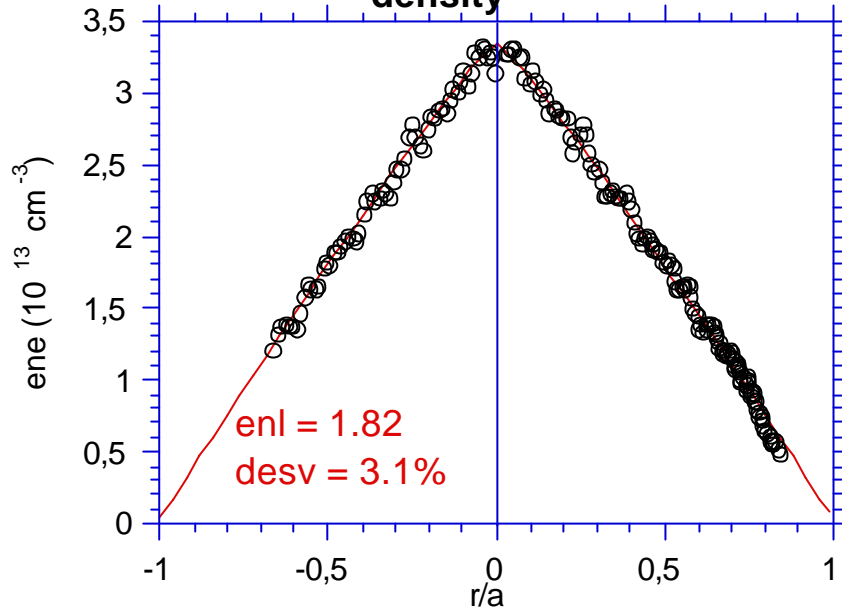


Fig.2.3

# 11965, 17 Jun.  
100\_44\_64, Off Axis. NBI Phase  
temperature

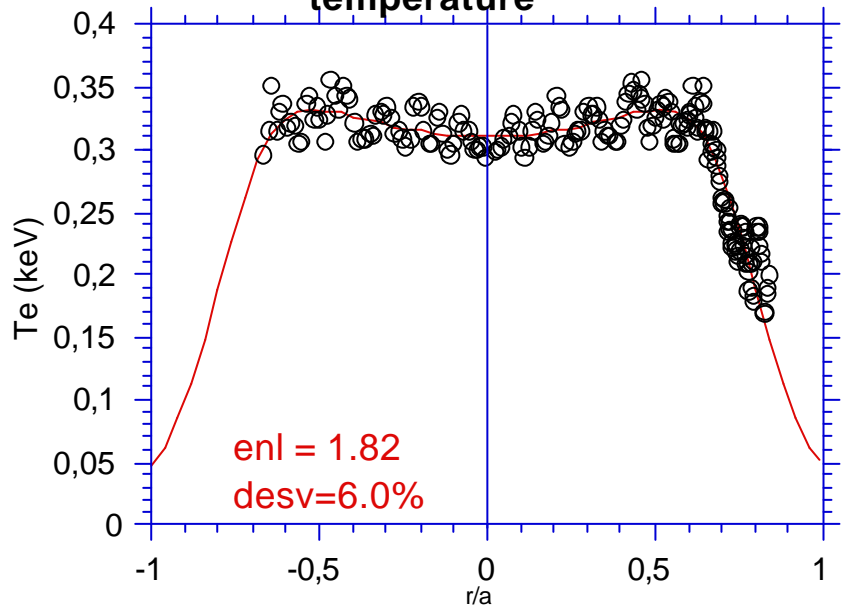


Fig.2.4



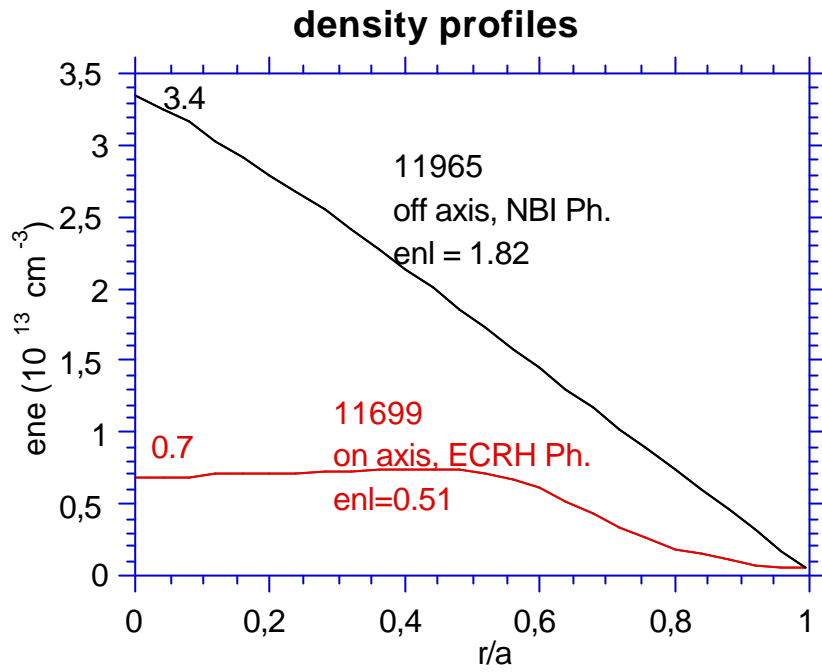


Fig.2.5

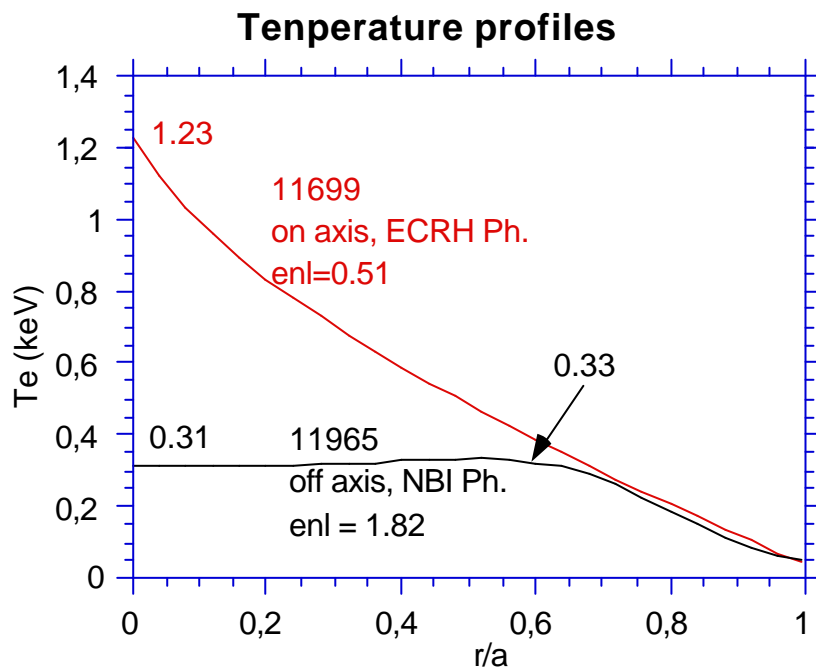


Fig.2.6

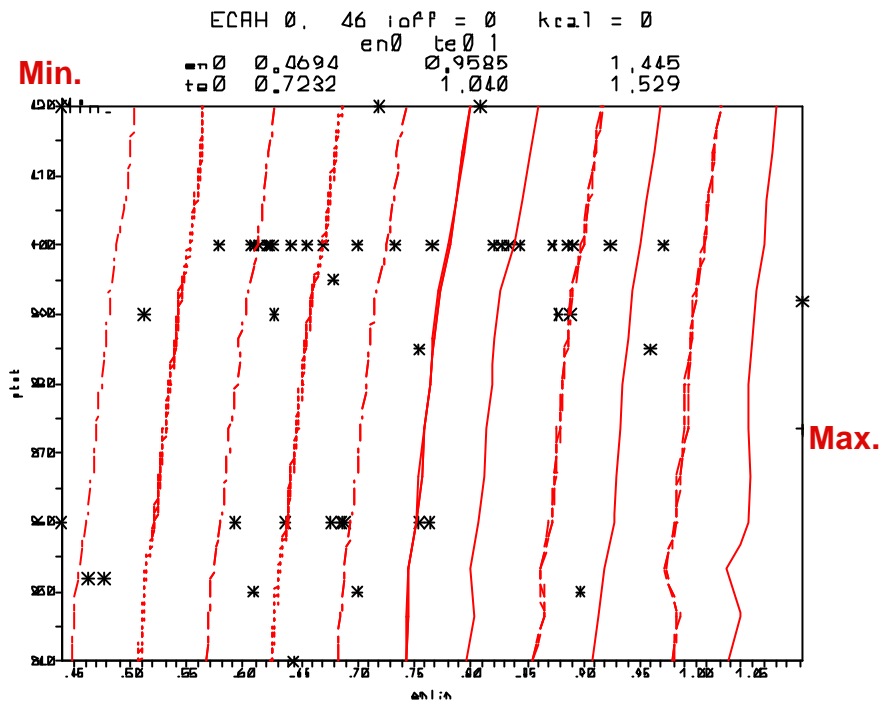


Fig.3.1

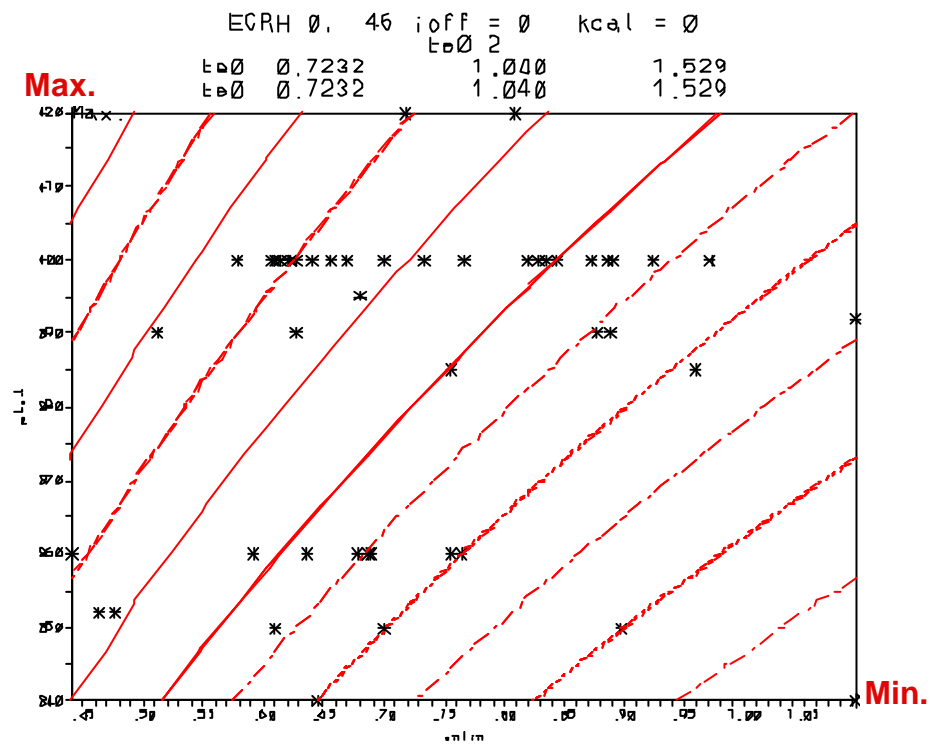


Fig.3.2

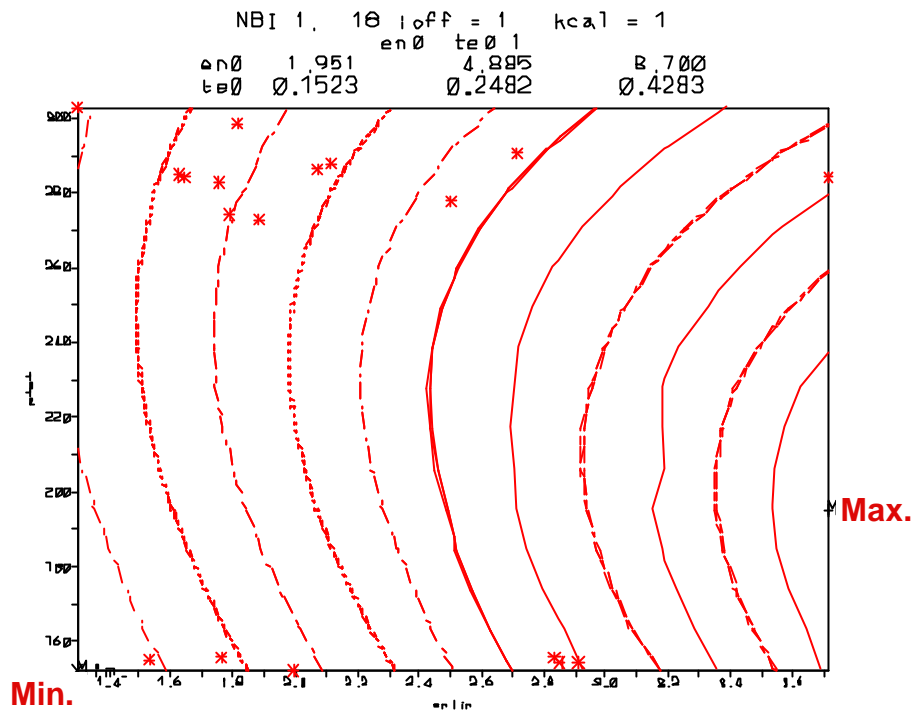


Fig.3.3

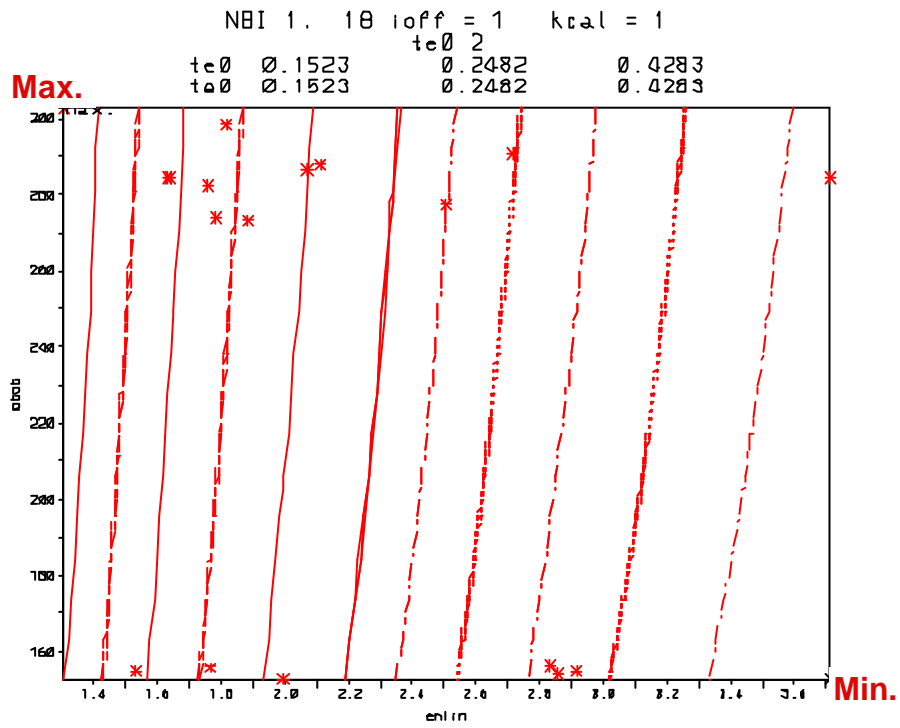


Fig.3.4

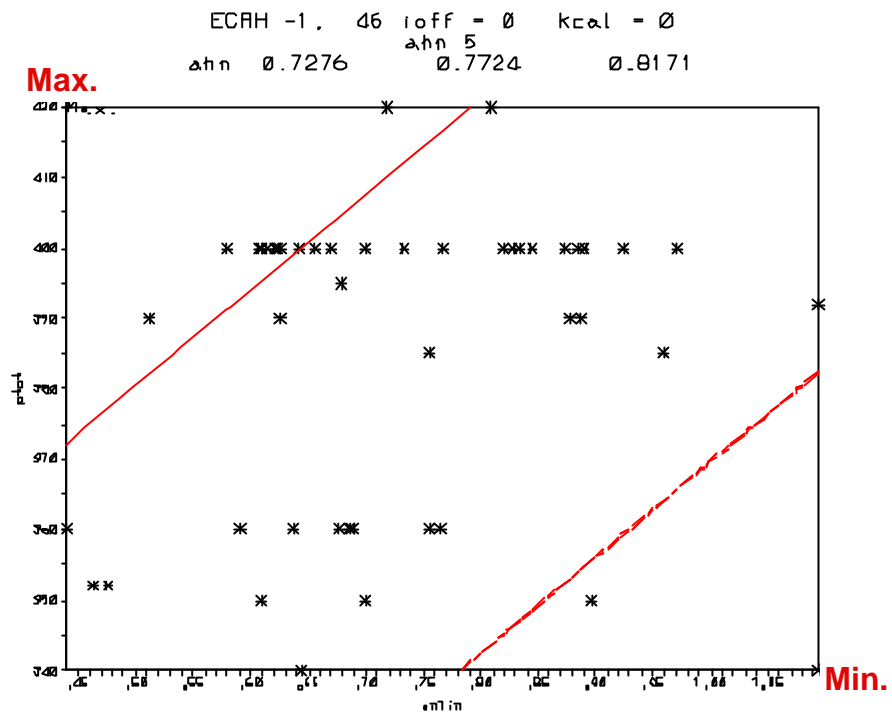


Fig.3.5

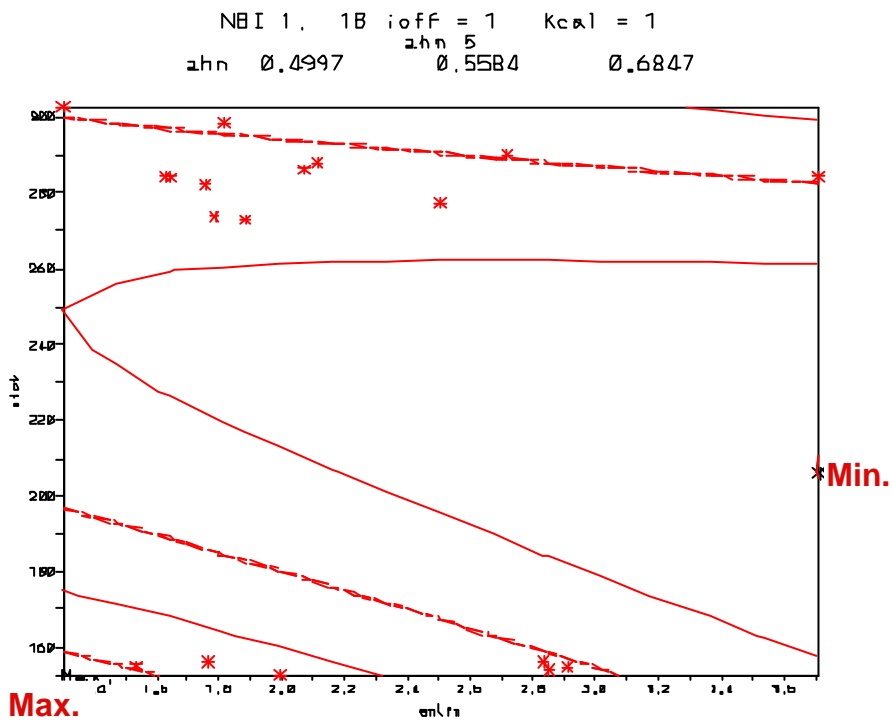


Fig.3.6

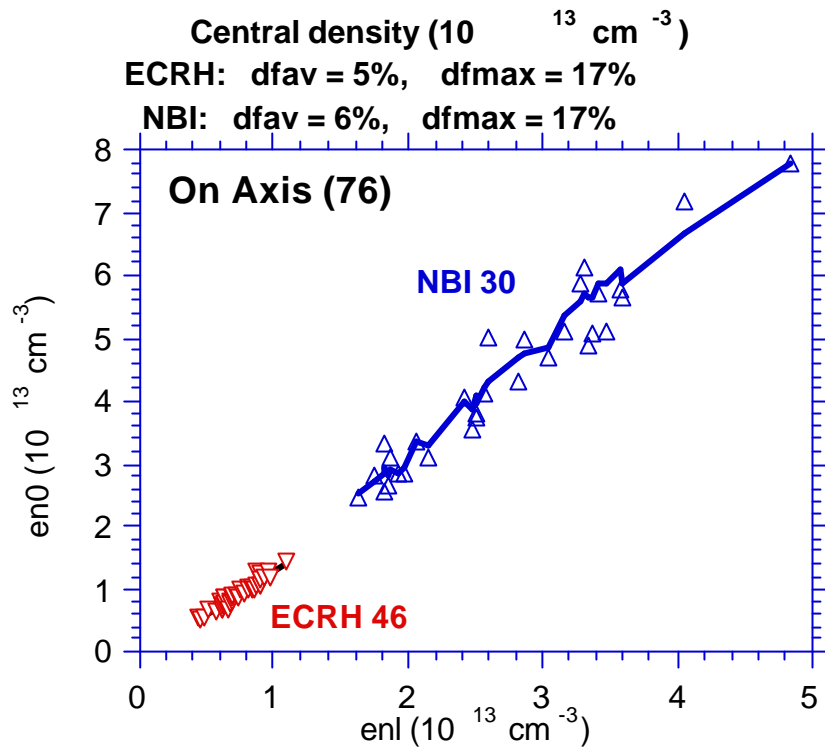


Fig.4.1

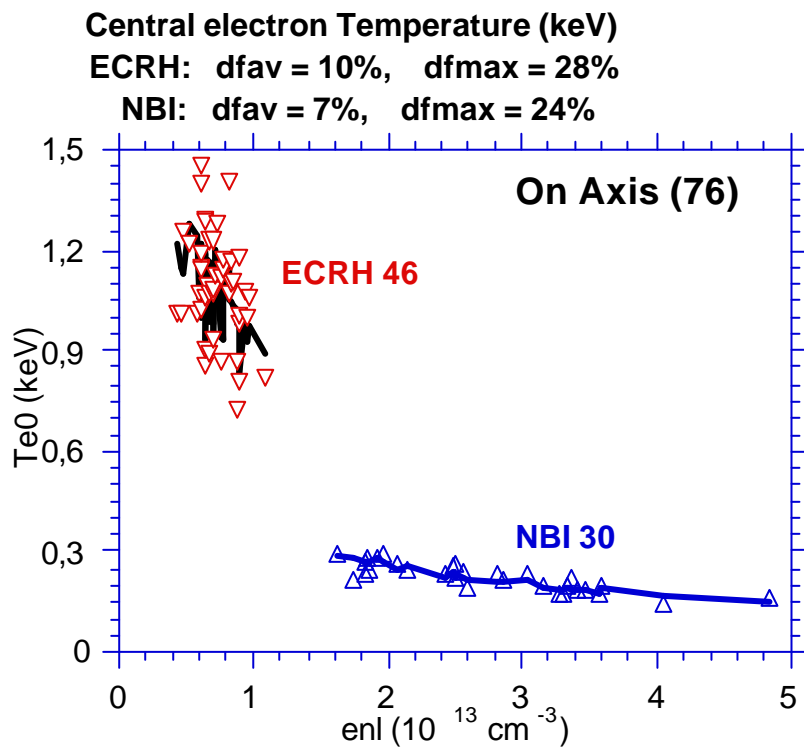
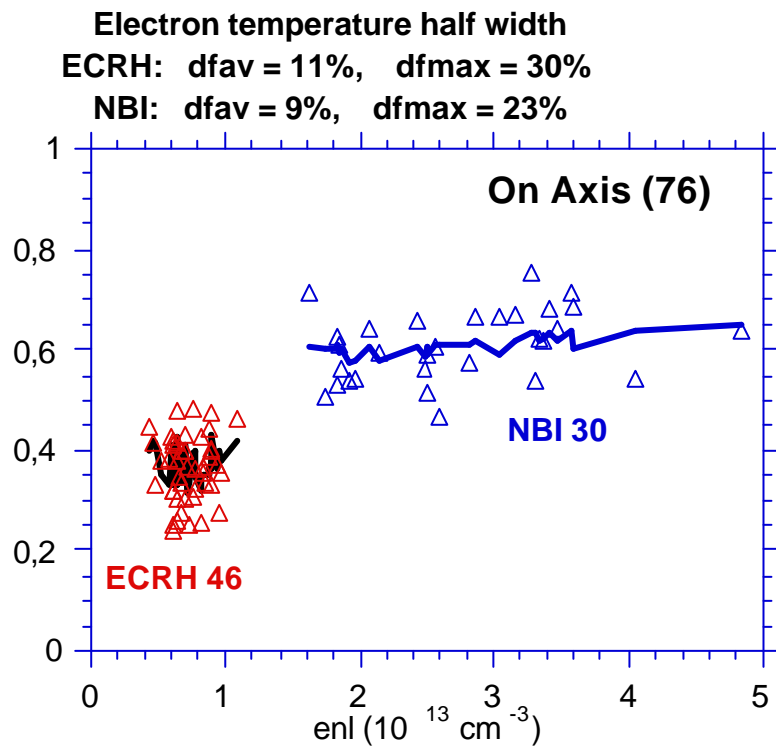
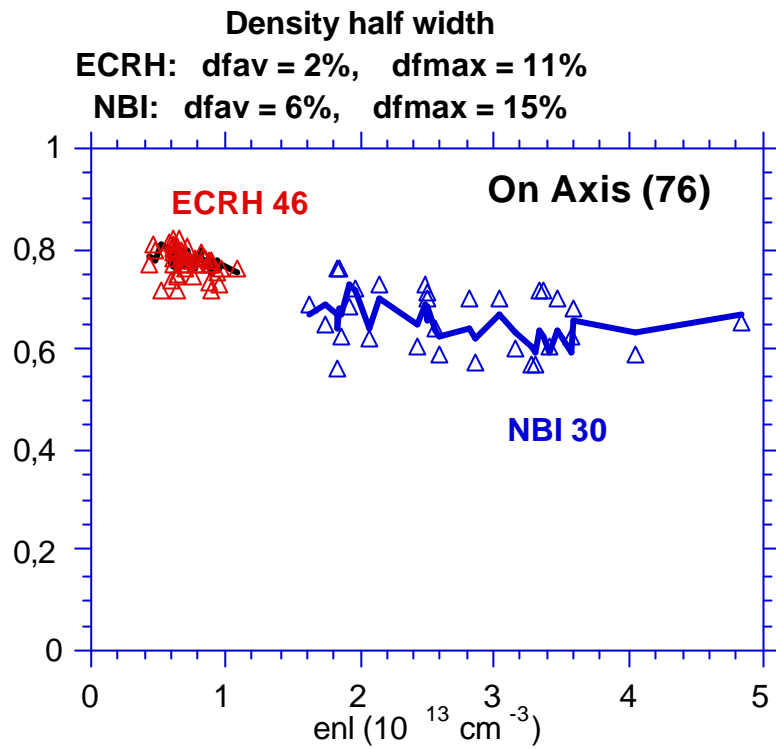


Fig.4.2



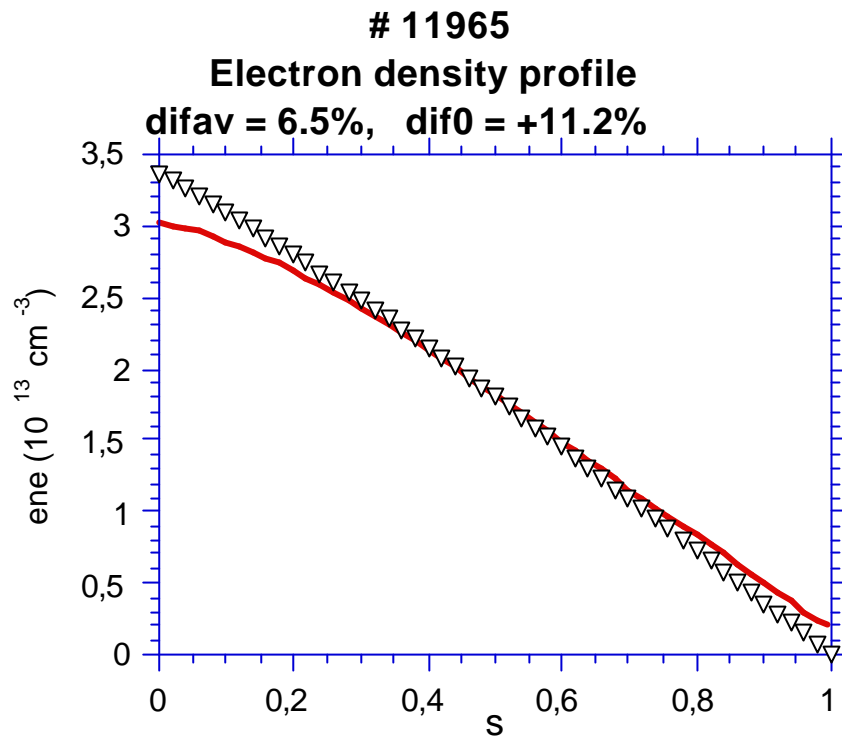


Fig.4.5

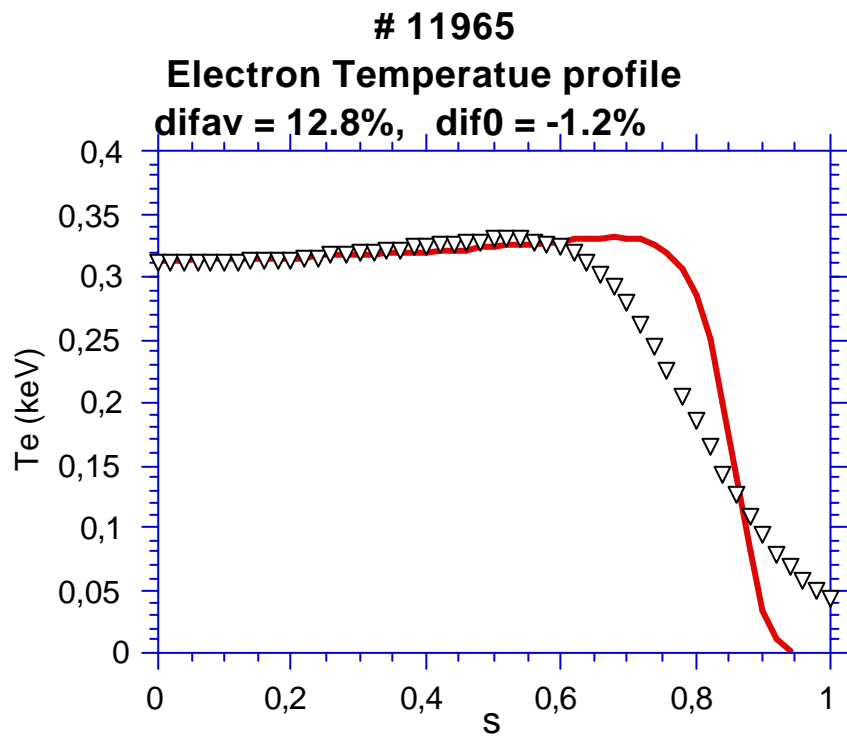


Fig.4.6

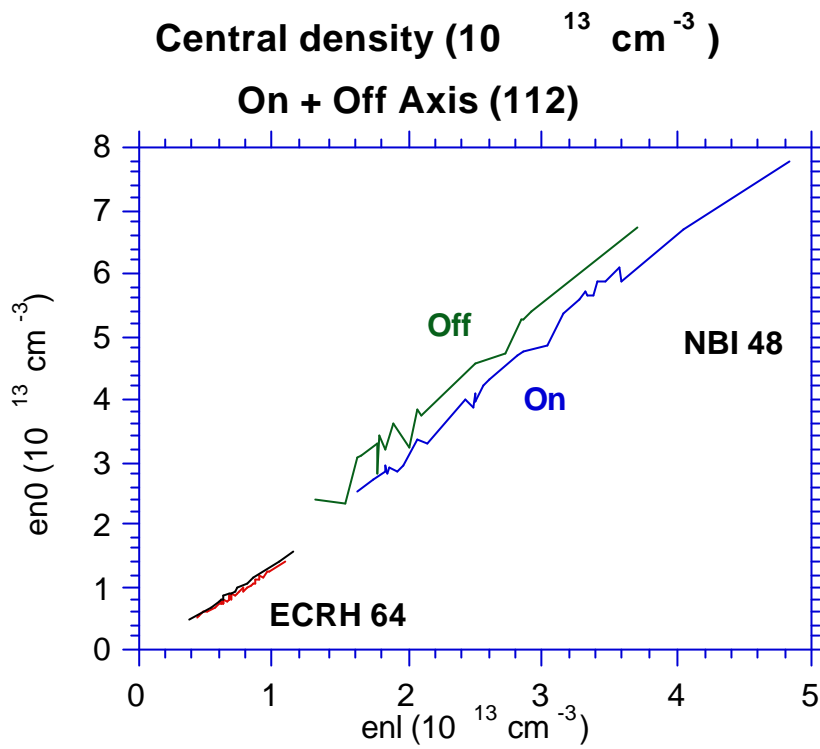


Fig.5.1

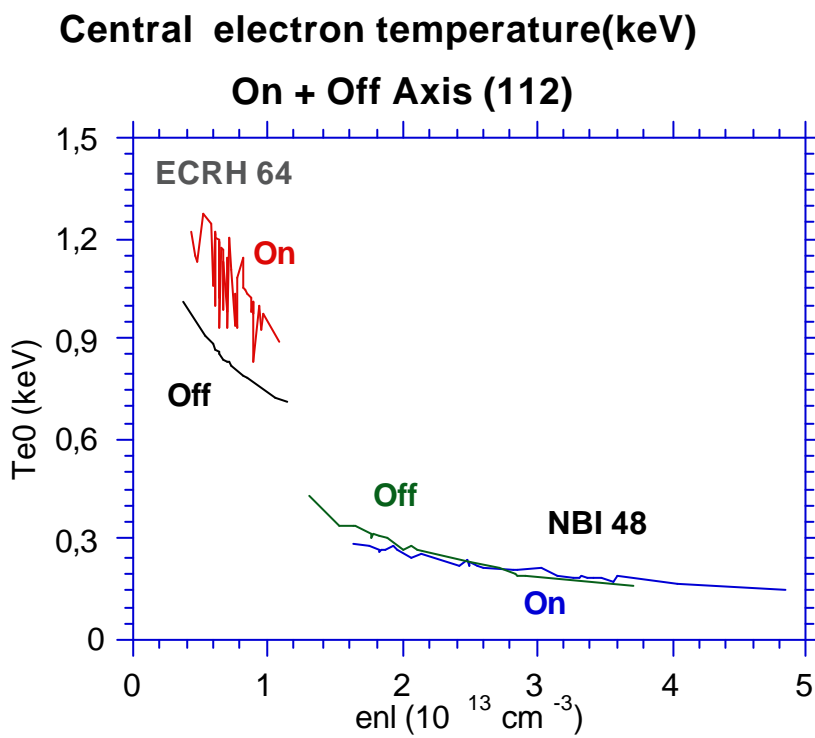


Fig.5.2



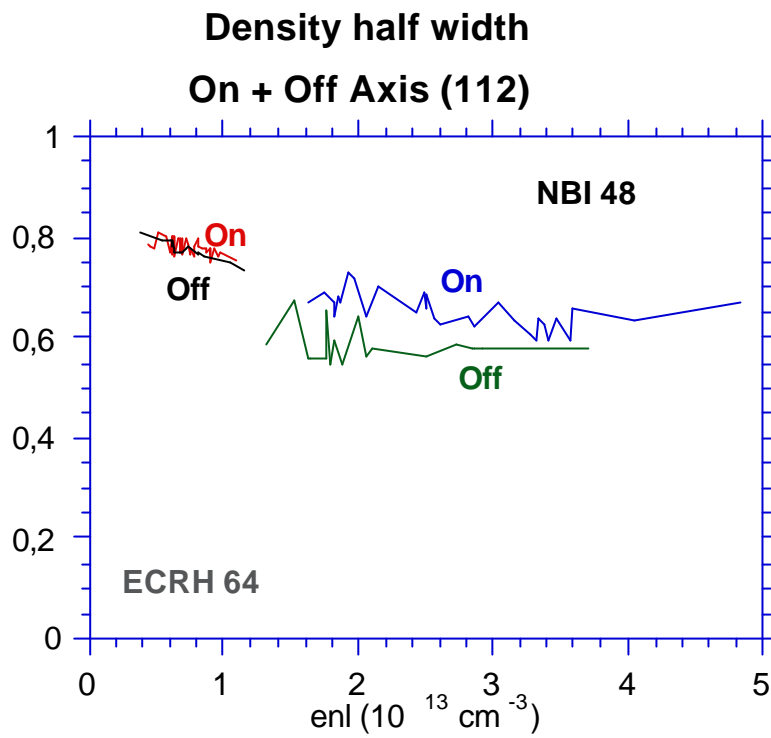


Fig.5.3

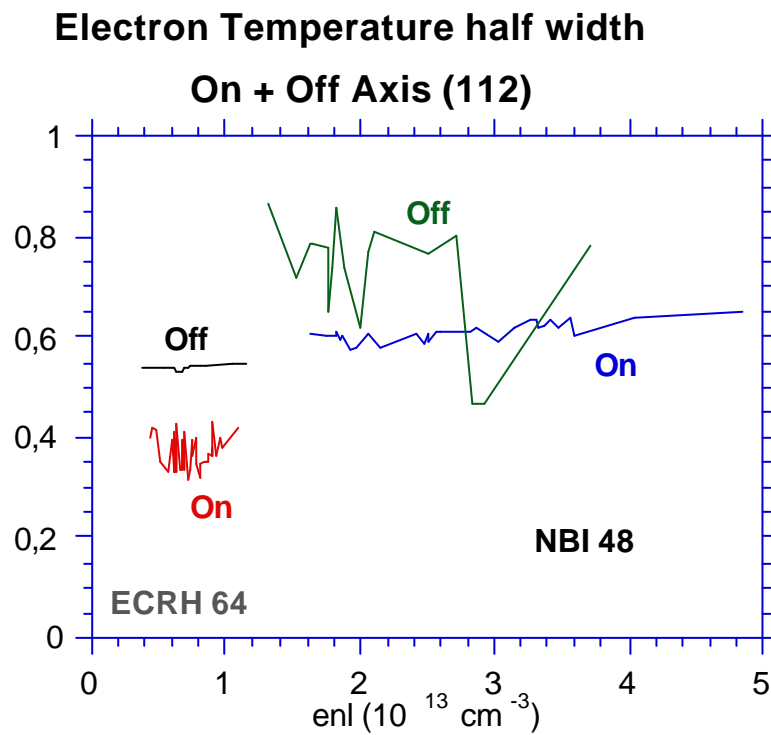


Fig.5.4

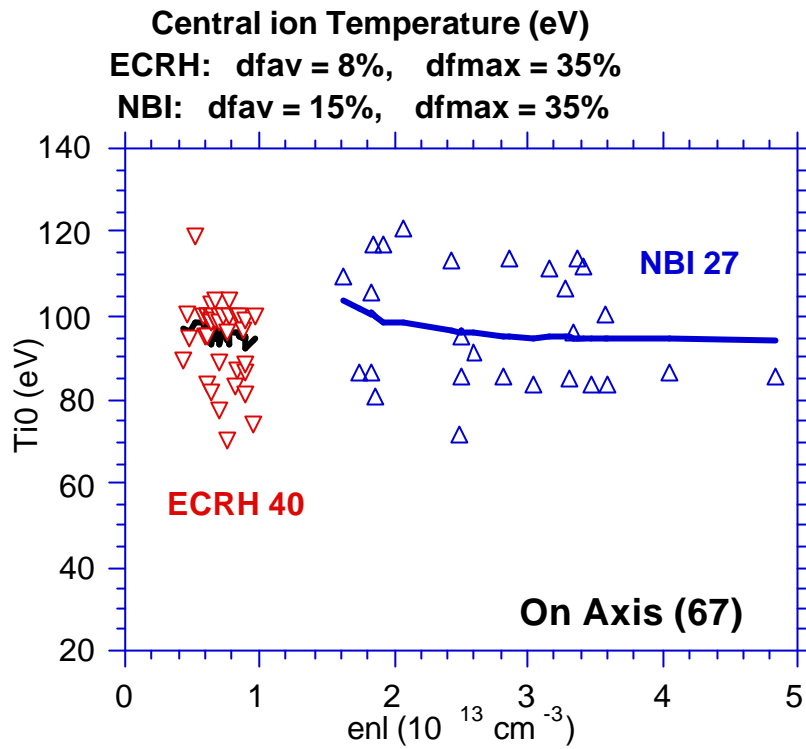


Fig.6.1

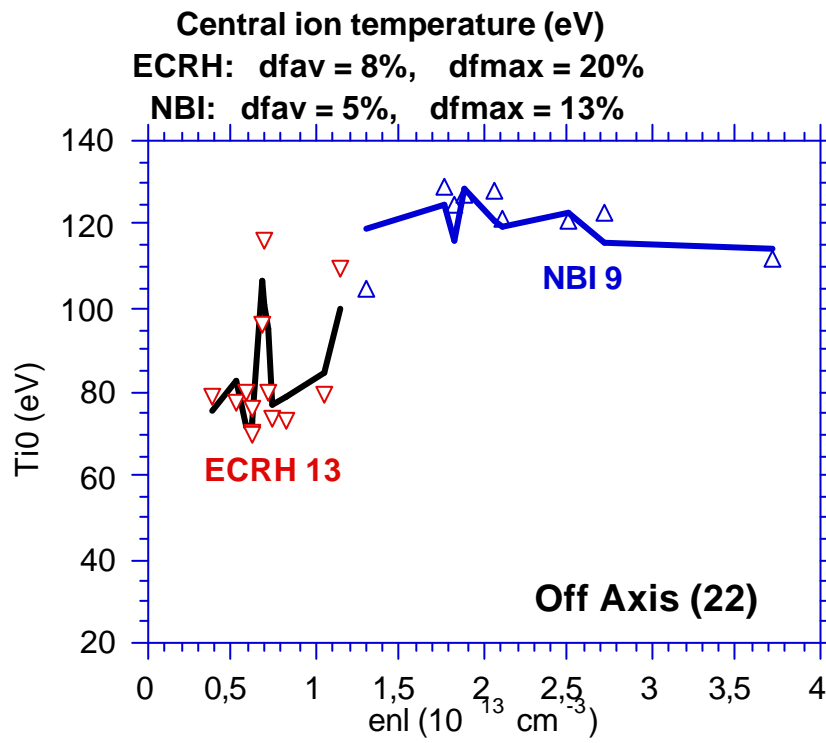


Fig.6.2

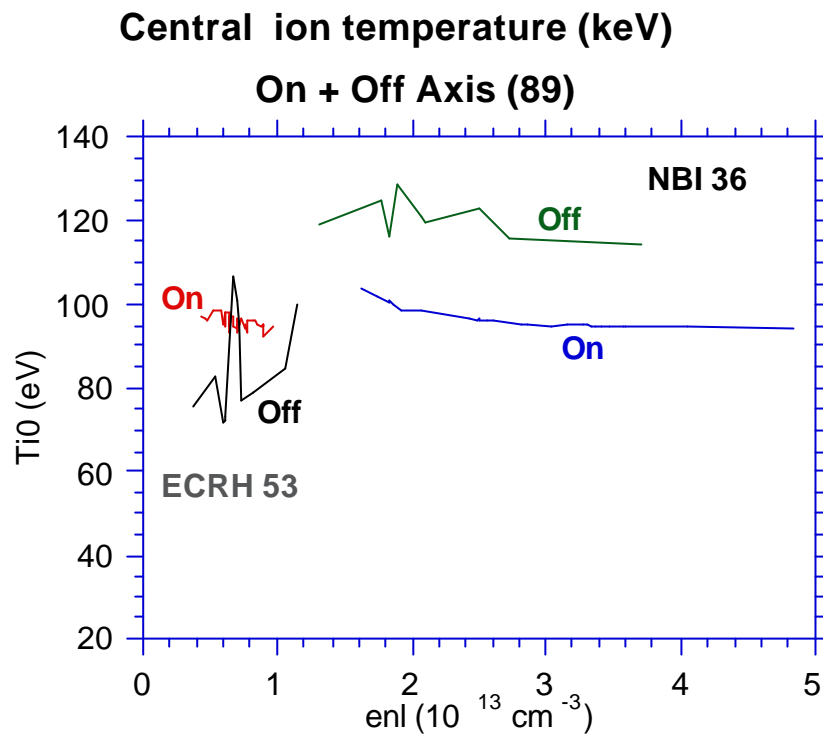


Fig.6.3

## Apéndice I. Subrutina get\_perf\_fit.

Se describe aquí el modo de utilización de la subrutina `get_perf_fit` para el cálculo rápido aproximado de los perfiles radiales de densidad y temperatura del plasma para densidad media de línea y potencias inyectadas de NBI y ECRH dadas.

`get_perf_fit` : Subrutina para el calculo aproximado de los perfiles radiales de densidad y temperatura del plasma del TJ-II.

Hace uso de los ajustes realizados sobre las descargas con inyección de NBI durante las campañas 2003-2004 del TJ-II. Para ello se simetrizaron y suavizaron los perfiles de *Scattering Thomson* de 112 descargas y se ajustaron a formas funcionales adecuadas. Estos ajustes se efectuaron separadamente para las fases ECRH y NBI, así como para los casos ON y OFF Axis. En el momento actual el final de la fase ECRH se sitúa en una densidad media de línea igual a  $1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , mientras que la del inicio de la fase NBI esta en  $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Para densidades situadas entre esos dos limites se promedia entre los dos casos.

La subrutina esta escrita en Fortran-90 e instalada en el Origin-3800 (jen50), el ALTIX-3700 (fenix) y el Alpha-Server8400 (fusc).

Todas las variables siguen la convención usual del Fortran, además aquellas que comienzan por la letra "c" son de tipo "*character*" y, a menos que se indique explícitamente lo contrario, todas las variables son *real\*4* e *integer\*4*, es decir simple precisión en cada ordenador. No obstante existe un módulo alternativo en donde las variables están en doble precisión.

### 1. Modo de llamada

```
call get_perf_fit (enlcm, ptnbmw,ptecmw, xoff, perfn,perfte,  
$                perfti, ns, iern)
```

En donde los 9 argumentos (los 4 primeros y el 8º son de entrada, los 4 restantes de salida) poseen el siguiente significado:

#### 1.1 Input ( 5 argumentos):

enlcm (real): Densidad media de línea del plasma (en  $\text{cm}^{-3}$ )

ptnbmw (real): Potencia total entrante en el Toro inyectada por los dos haces de NBI (en MW)

ptecmw (real): Potencia total de ECRH inyectada por los dos girotrones (en MW).

Para casos en Fase NBI pura solo cuenta la potencia inyectada por los NBI (ptnbmw). Para los de Fase ECRH pura solo cuenta la potencia inyectada por

los dos girotrones (ptecmw). Para situaciones intermedias se promedia entre los dos casos pesándolos con la respectiva potencia.

xoff (real): Grado global de inyección Off\_axis. Si xoff=0. se trata de un caso puramente

On Axis, si es =1 es totalmente Off. Para valores intermedios se promedia entre los dos extremos

ns (integer): Número de puntos radiales en que se desea obtener los perfiles. Esos puntos radiales se distribuyen uniformemente en radio medio, normalizado a 1 en el borde, con el primer valor = 0. y el ultimo (el ns) = 1. Lo más conveniente es que esté comprendido entre 11 y 25. Si este valor fuera  $\leq 1$  solo se calculan los valores centrales de los perfiles radiales. Ha de ser  $\leq 51$ .

## 1.2 Ouput ( 4 argumentos):

perfn (real,dimension  $\geq$  ns): Perfil radial para la densidad electrónica del plasma en cada uno de los ns puntos deseados (en  $\text{cm}^{-3}$ ).

perfte (real,dimension  $\geq$  ns): Perfil radial para la temperatura electrónica del plasma en cada uno de los ns puntos deseados (en eV).

perfti (real,dimension  $\geq$  ns): Perfil radial para la temperatura iónica del plasma en cada uno de los ns puntos deseados (en eV).

iern (integer): Indicador de error. Es  $< 0$  en el caso en que hubiera habido algún problema en la lectura de la base de datos. Es  $> 0$  si los perfiles presentan algún tipo de anomalía (lo que NO quiere decir que sean erróneos, sino solo sospechosos). En los casos normales vale 0.

La subrutina usa internamente la unidad lógica 399 para efectuar la lectura de la base de datos, por lo que esa unidad no deberá ser utilizada por el usuario.

## 2. Subrutinas auxiliares.

En ocasiones puede ser conveniente averiguar si una densidad de línea dada corresponde a fase ECRH, NBI o intermedia. Para ello debe utilizarse la subrutina get\_denlim. Su modo de llamada es:

```
call get_denlim (enlcm, enla, enlb, ibeam)
```

el primer parametro (enlcm) es de entrada y corresponde a la densidad media de línea del plasma (en  $\text{cm}^{-3}$ )

Los otros tres son de salida y corresponden a:

enla (real): Densidad para la que se termina la fase de ECRH (en  $\text{cm}^{-3}$ ). Actualmente su valor es  $1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ .

enlb (real): Densidad para la que comienza la fase de NBI (en  $\text{cm}^{-3}$ ). Actualmente su valor es  $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ .

inbi (integer): Vale -1 si se esta en fase ERH, +1 si en NBI, 0 en casos intermedios y -99 si ha habido algún problema en la lectura de la base de datos.

### 3. Utilización de las subrutinas.

El conjunto de subrutinas se encuentra compilado en Fortran-90 y debe utilizarse con ese lenguaje, aunque es compatible con la inclusión de subrutinas o librerías escritas en Fortran-77 (p. ej. las de los datos de descarga del TJ-II o, incluso, teniendo en cuenta la diferencia en la precisión de los argumentos, las de la librería del TJ-II).

Para su inclusión deberá hacerse uso de las siguientes sentencias en cada ordenador ("prog\_user.f" simboliza el programa del usuario y los puntos suspensivos posibles opciones, llamadas a otros módulos, librerías, etc.)

#### 3.1 Origin-3800 (jen50):

```
f90 .... prog_user.f .... \  
      .... /r4/temporal/guasp/bases/calc_nbi.o ....
```

#### 3.2 ALTIX-3700 (fenix):

```
ifort .... prog_user.f .... \  
      .... /disco02/fusion/guasp/datos_tj2/calc_nbi.o ....
```

#### 3.3 AlphaServer 8400 (fusc):

```
f90 ..... prog_user.f ... \  
      ..... /usr/users2/guasp/proctr/bases/calc_nbi.o .....
```

### 4. Utilización en doble precisión

A menudo algunos programas se compilan con la opción de compilación " -r8 -i8 " lo que fuerza automáticamente a que el tipo por defecto de todas las variables sea real\*8 e integer\*8 (doble precisión en esos ordenadores), eso sucede p.ej. con la librería del TJ-II "libtj2.a" o con la de rejilla del espacio real "lib\_g3d.a".

Con el fin de facilitar la utilización en esos casos y no tener necesidad de efectuar la engorrosa transferencia de variables de cada precisión, se ha incluido un módulo alternativo que permite esa posibilidad.

Con él las llamadas son idénticas a las de los §§ 1 a 3, aunque ahora las variables son real\*8 e integer\*8. Lo único que ahora cambia es que el módulo binario incluido en §§3.1 a 3.3 ya no es el "calc\_nbi.o", sino el "calc\_nbi8.o".

este texto se encuentra en:

jen50:/r2/fusion/guasp/datos\_tj2/get\_perf\_fit.help  
fenix:/disco02/fusion/guasp/datos\_tj2/ get\_perf\_fit.help  
y en fusc:/usr/users2/guasp/datos\_tj2/get\_perf\_fit.help

---

## **Ajustes de los perfiles radiales de densidad y temperatura para las descargas con NBI del TJ-II**

Guasp J.; Fuentes C.; Liniers M.  
35 pp., 25 figs., 5 ref.

### **Resumen:**

Los perfiles radiales de densidad y temperatura electrónica correspondientes a las descargas del TJ-II con inyección de Haces Neutros de las campañas 2003-2004, se han ajustado a funcionales sencillas, que permiten, para una densidad y potencia inyectada dadas, calcularlos muy rápidamente de manera aproximada. Esos ajustes se han efectuado, separadamente, para cada una de las cuatro posibles combinaciones de casos en Fase ECRH o NBI y de inyección On u Off Axis del ECRH.

Las desviaciones medias entre los cálculos para las descargas individuales, utilizando sus perfiles de densidad y temperatura experimentales y los valores predichos por los ajustes son del orden del 8% para los perfiles de densidad y 10% para los de temperatura electrónica.

Se han analizado los comportamientos predichos para esos perfiles en función de la densidad media de línea y de la potencia inyectada. Las temperaturas electrónicas centrales decrecen monótonamente con la densidad y la del caso ECRH On axis es claramente superior a la del ECRH Off. Los perfiles radiales de densidad se estrechan al crecer la densidad y la anchura del caso NBI On es claramente mayor que la del Off. Por el contrario los de temperatura electrónica tienden a ensancharse levemente siendo sistemáticamente más estrechos los perfiles de los casos On axis de todas las fases.

Por su parte los ajustes para el valor central de la temperatura iónica distan de ser satisfactorios, debido a la escasa población de la muestra (considerablemente menor que la de los casos anteriores) y deberán ser repetidos en futuras campañas experimentales.

Existen subrutinas Fortran, disponibles en los tres ordenadores del Ciemat (jen50, fusc y fénix), para el cálculo rápido aproximado de todos esos perfiles.

## **Fits for the density and temperature radial profiles from the TJ\_II NBI discharges**

Guasp J.; Fuentes C.; Liniers M.  
35 pp., 25 figs., 5 ref.

### **Abstract:**

The density and electron temperature radial profiles, corresponding to the experimental TJ-II campaigns 2003-2004, with NBI, have been fitted to simple functionals in order to allow a fast approximative evaluation for any given density and injected power. The fits have been calculated, separately, for the four possibilities: ECRH and NBI Phases as well as On and Off Axis ECRH injection.

The average difference between the experimental profiles for the individual discharges and the fit predictions are around 8% for the density and 10% for the temperature

The behaviour of the predicted profiles with average line density and injected power has been analysed. The central electron temperature decreases monotonically with increasing density and the ECRH phase On Axis central value is clearly higher than the Off axis one. The radial density profiles narrow with increasing density and the NBI On axis case is clearly wider than de Off one. The electron temperature profile widens slightly with increasing density and the width of the On Axis case is lesser than for the Off case in all phases.

There exist Fortran subroutines, available at the three Ciemat computers, allowing the fast approximative evaluation of all these profiles.



DESCRIPTORES

S70

PLASMA; HELIAC STELLARATORS; HELICAL CONFIGURATION;  
NEUTRAL ATOM BEAM INJECTION; PLASMA HEATING;  
COMPUTER CODES