

# **TIG**

**Generador interactivo de plantillas**

## **MANUAL DEL USUARIO**

**(Versión 1.0)**

**Jose Manuel Díaz**

**Sebastián Dormido**

**Joaquín Aranda**



**U.N.E.D**

**Departamento de Informática y Automática**



TIG Manual del Usuario (Versión 1.0). julio 2006.

ISBN: 84-690-0487-5

Copyright © 2006 Jose Manuel Díaz , Sebastián Dormido y Joaquín Aranda

Todos los derechos reservados. Prohibida la copia por cualquier medio de alguna de las partes de este manual sin el consentimiento por escrito de los autores.

Departamento de Informática y Automática

E.T.S.I Informática.

Universidad de Educación a Distancia (UNED).

C/ Juan del Rosal nº 16.

Madrid 28040 (España)



# INDICE

LISTA DE SIMBOLOS .....	i
-------------------------	---

## CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	3
1.2.1 Finalidad de la herramienta .....	3
1.2.2 Interactividad con el usuario .....	7
1.2.3 Cooperación con otras herramientas .....	8
1.2.4 Limitaciones.....	9

## CAPITULO 2: DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE LA VENTANA DE TIG

2.1 ORGANIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	11
2.2 MODO DE TRABAJO: ANÁLISIS .....	12
2.2.1 Zona Work Mode .....	13
2.2.2 Zona Saved Templates .....	13
2.2.3 Zona Frequencies.....	14
2.2.4 Zona Work Template .....	15
2.2.5 Zona Status .....	16
2.2.6 ZonaPlant Uncertain Parameters .....	18
2.2.7 Zona Analysis .....	19
2.2.8 Zona Algorithms Information.....	21
2.2.9 Zona Plant Transfer Function .....	21
2.3 MODO DE TRABAJO: CONFIGURACION.....	21
2.3.1 Paso 1: Configuración de los parámetros inciertos de la planta .....	23
2.3.2 Paso 2: Configuración del denominador de la planta .....	24
2.3.3 Paso 3: Configuración del numerador de la planta .....	26
2.3.4 Paso 4: Configuración del conjunto de frecuencias de trabajo .....	26
2.4 BARRA DE BOTONES AUXILIARES .....	27

## CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA BARRA DE MENÚS TIG

3.1 INTRODUCCIÓN .....	29
3.2 MENÚ SETTINGS.....	29
3.2.1 <i>Entrada Load/Save</i> .....	30
3.2.2 <i>Entrada Import/Export</i> .....	31
3.2.3 <i>Entrada Frequency range</i> .....	32
3.2.4 <i>Entrada Options plot</i> .....	35
3.2.5 <i>Entrada Grid algorithm configuration</i> .....	36
3.3 OTROS MENUS DISPONIBLES EN LA HERRAMIENTA.....	36

## CAPITULO 4: EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

4.1 EJEMPLO 1 .....	39
4.1.1 <i>Etapas de configuración</i> .....	40
4.1.2 <i>Etapas de análisis</i> .....	43
4.2 EJEMPLO 2 .....	51
4.2.1 <i>Etapas de configuración</i> .....	52
4.2.2 <i>Etapas de análisis</i> .....	53
4.3 EJEMPLO 3 .....	58
4.3.1 <i>Importar a TIG plantillas calculadas en Matlab</i> .....	58
4.3.2 <i>Obtención de los contornos de las plantillas importadas</i> .....	60
4.3.3 <i>Exportar los contornos de las plantillas obtenidos con TIG a Matlab</i> .....	61

REFERENCIAS .....	63
-------------------	----

# LISTA DE SIMBOLOS

$\Omega$	Conjunto de frecuencias de trabajo.
$\omega_i$	Frecuencia (rad/s) perteneciente al conjunto de trabajo $\Omega$ .
$\omega_w$	Frecuencia (rad/s) de trabajo actual.
$\omega_{\min}$	Frecuencia mínima (rad/s) que se visualiza en el eje de frecuencias de la zona <i>Frequencies</i>
$\omega_{\max}$	Frecuencia máxima (rad/s) que se visualiza en el eje de frecuencias de la zona <i>Frequencies</i>
$\Gamma(\omega_i)$	Plantilla salvada en la zona <i>Save Templates</i> calculada a la frecuencia $\omega_i$ .
$\Gamma_w(\omega_w)$	Plantilla de trabajo actual en la zona <i>Work Template</i> calculada a la frecuencia $\omega_w$ .
$d_1$	Exponente de la frecuencia mínima de validación $10^{d_1}$ (rad/s)
$d_2$	Exponente de la frecuencia máxima de validación $10^{d_2}$ (rad/s)
$L$	Número total de parámetros inciertos de la planta.
$L_d$	Número de parámetros inciertos en el denominador de la planta.
$L_n$	Número de parámetros inciertos en el numerador de la planta.
$N_\omega$	Número de frecuencias de trabajo.
$N_{\omega\text{val}}$	Número de frecuencias para la etapa de validación.
$Nb$	Parámetro de configuración del algoritmo de Bailey-Hui.
$N_c$	Número de puntos del contorno de $\Gamma_w(\omega_w)$ .
$Nf$	Parámetro de configuración del algoritmo de Fu.
$N_{ID}$	Número de integradores o derivadores de la planta.
$Nk$	Parámetro de configuración del algoritmo de los segmentos de Kharitonov.
$Np_j$	Número de valores equiespaciados del parámetro $p_j \in [p_j^{\min}, p_j^{\max}]$

$N_t$	Número de puntos de $\Gamma_w(\omega_w)$ .
$p_j$	Parámetro incierto j de la planta.
$p_j^{\min}$	Valor mínimo del parámetro $p_j$ .
$p_j^{\max}$	Valor máximo del parámetro $p_j$ .
$p_j^0$	Valor nominal del parámetro $p_j$ .
$R$	Porcentaje de puntos de $\Gamma_w(\omega_w)$ que forman parte de su contorno.
$T_c$	Tiempo que emplea el algoritmo de Montoya en obtener el contorno de $\Gamma_w(\omega_w)$ .
$T_t$	Tiempo que emplea el algoritmo actual de cálculo de plantillas en calcular $\Gamma_w(\omega_w)$ .



# Capítulo 1:

## CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Una *plantilla* (*template*) es la representación gráfica de la incertidumbre de una función de transferencia para una cierta frecuencia, dibujada como una región sobre el plano de Nichols (fase ( $^{\circ}$ ), magnitud (dB)) o alternativamente en el plano complejo (parte real, parte imaginaria).

Las plantillas son utilizadas por diferentes técnicas de diseño de controladores robustos, como por ejemplo la teoría de realimentación cuantitativa (QFT). La metodología QFT para el diseño en el dominio de la frecuencia de controladores robustos fue creada y desarrollada por Isaac Horowitz [Horowitz, 1963]. Se trata de una técnica de diseño en el dominio de la frecuencia, que permite obtener controladores robustos que cumplan unas prestaciones mínimas, formuladas de forma cuantitativa, considerando la presencia de incertidumbres en el modelo de la planta y la existencia de perturbaciones. Introducciones completas a QFT con una gran cantidad de referencias pueden encontrarse entre otras publicaciones en [Horowitz, 1992], [Horowitz, 2001], [Houpis et al., 1992], [Houpis et al., 2006] y [Yaniv, 1999].

En QFT las plantillas se utilizan para dibujar en el diagrama de Nichols las curvas de restricciones (bounds) asociadas a las especificaciones que debe cumplir el diseño. Debe precisarse que la única parte realmente útil de una plantilla es su contorno, los puntos interiores provocan un innecesario aumento de la carga computacional y por lo tanto de los tiempos de obtención de las curvas de restricción.

En general puede afirmarse que los usuarios de QFT suelen prestar muy poca atención al cálculo de las plantillas, y aún menos a la obtención de sus contornos. Típicamente suelen trabajar con toda la plantilla, y no únicamente con su contorno. Además para obtenerlas suelen utilizar la *técnica del barrido (grid) en el espacio de parámetros*, que aunque sencilla en la mayoría de las ocasiones no resulta muy eficiente.

Una prueba significativa del poco interés existente en el buen cálculo del contorno de las plantillas se encuentra en que la herramienta software, más utilizada y conocida, para la

implementación de la metodología QFT, la toolbox para QFT de Matlab [Borghesani et al., 1995] no trae implementado ningún algoritmo para su obtención, recayendo en el usuario el trabajo de programarlo.

Recientemente ha aparecido una nueva herramienta software de distribución libre (<http://ctb.dia.uned.es/asig/qftit/>) para la realización de diseño QFT, se trata de QFTIT (Quantitative Feedback Theory Interactive Tool) [Díaz et al., 2005]. QFTIT se diferencia de las herramientas software ya existentes en su mayor facilidad de uso e interactividad. Obviamente, esta herramienta presenta algunas limitaciones, sin duda, la más importante es que su versión 1.0 únicamente permite trabajar con plantas cuyas funciones de transferencia se deben encontrar factorizadas en ganancia, ceros y polos reales, y ceros y polos complejos. En este caso, QFTIT utiliza el excelente algoritmo propuesto por Gutman et al. (1995) para calcular el contorno de las plantillas.

Con el objetivo de ampliar los tipos de plantas sobre los que poder usar QFTIT, se ha desarrollado la herramienta software interactiva TIG (Template Interactive Generator). Esta herramienta permite calcular *los contornos de las plantillas de aquellas plantas cuyas funciones de transferencia poseen incertidumbre paramétrica de tipo afín en sus coeficientes*. Este tipo de plantas es bastante usual en problemas de control. Además TIG también se puede usar para obtener el contorno de las plantillas de otro tipo de plantas que hayan sido calculadas previamente con Matlab.

Una vez obtenidos los contornos, éstos pueden ser exportados tanto a Matlab como a QFTIT. En conclusión TIG ha sido diseñada para que pueda usarse cooperativamente con Matlab y con QFTIT.

TIG al igual que QFTIT ha sido desarrollada en Sysquake [Piguet, 1999] y se presenta en forma de archivo ejecutable para Windows o Mac de distribución gratuita.

La estructura de este manual es la siguiente: en las restantes secciones de este Capítulo 1 se describen las principales características de TIG. El Capítulo 2 se describen los elementos presentes en la ventana de la aplicación. En el Capítulo 3 se describen los menús de la herramienta. Finalmente en el Capítulo 4, con el objetivo de ilustrar su uso, se incluyen tres ejemplos.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

### 1.2.1 Finalidad de la herramienta

Considérese el vector de parámetros inciertos  $p$

$$p = [p_1, p_2, \dots, p_L]$$

con  $p_j \in [p_j^{\min}, p_j^{\max}]$   $j=1,2,\dots,L$ .

La herramienta TIG permite calcular los contornos de las plantillas de aquellas plantas cuyas funciones de transferencia presentan la siguiente estructura:

$$P(s, p) = \frac{b(s, p)}{a(s, p)} = \frac{\sum_{k=0}^m b_k(p) \cdot s^k}{\sum_{k=0}^n a_k(p) \cdot s^k} \quad (1.1)$$

donde los coeficientes  $b_k(p)$  y  $a_k(p)$  son combinaciones lineales de los parámetros inciertos:

$$b_k(p) = \beta_{k0} + \sum_{j=1}^{l_p} \beta_{kj} \cdot p_j \quad (1.2)$$

$$a_k(p) = \alpha_{k0} + \sum_{j=1}^{l_p} \alpha_{kj} \cdot p_j \quad (1.3)$$

Se supone que  $\beta_{kj}$  y  $\alpha_{kj}$  son constantes reales.

TIG tiene implementados cuatro algoritmos para el cálculo de las plantillas de este tipo especial de plantas:

- *Algoritmo de Bailey-Hui* [Bailey & Hui, 89]. Genera directamente puntos del contorno de la plantilla si los parámetros inciertos del numerador son independientes de los del denominador. Es decir,

$$P(s, q, r) = \frac{b(s, q)}{a(s, r)} = \frac{\sum_{k=0}^m b_k(q) \cdot s^k}{\sum_{k=0}^n a_k(r) \cdot s^k} \quad (1.4)$$

donde  $q_h \in [q_h^{\min}, q_h^{\max}]$   $h=1,2,\dots,L_n$  y  $r_i \in [r_i^{\min}, r_i^{\max}]$   $i=1,2,\dots,L_d$ , con  $L_n+L_d=L$ . Además los coeficientes  $b_k(q)$  y  $a_k(r)$  también deben presentar una estructura afín similar a la indicada en (1.2) y (1.3).

Si existe alguna dependencia entre los parámetros inciertos del numerador y del denominador, este algoritmo genera un contorno conservador para la plantilla. El número total de puntos  $N_c$  del contorno obtenido con este algoritmo se puede determinar mediante la expresión

$$N_c = 2 \cdot Nb \quad (1.5)$$

donde  $Nb$  es el número de puntos del borde superior y del borde inferior del contorno. TIG permite al usuario configurar  $Nb$ . Su valor por defecto es 25.

- **Algoritmo de Fu** [Fu, 90]. Este algoritmo genera  $Nf$  puntos de cada borde interior o exterior<sup>1</sup> de una plantilla. Puesto que considera un total de  $2^{L-1} \cdot L$  bordes, el número de puntos en una plantilla  $N_t$  vendrá dado por la expresión:

$$N_t = 2^{L-1} \cdot L \cdot Nf \quad (1.6)$$

TIG permite al usuario configurar  $Nf$ . Su valor por defecto es 5.

- **Algoritmo de los segmentos de Kharitonov** [Barlett et al., 93]. Se recomienda utilizar este algoritmo solamente si la función de transferencia de la planta presenta una estructura intervalar, es decir,

$$P(s, q, r) = \frac{b(s, q)}{a(s, r)} = \frac{\sum_{k=0}^m q_k \cdot s^k}{\sum_{k=0}^n r_k \cdot s^k} \quad (1.7)$$

donde  $q_k \in [q_k^{\min}, q_k^{\max}]$  y  $r_k \in [r_k^{\min}, r_k^{\max}]$ . Este algoritmo genera  $Nk$  puntos de cada borde interior o exterior de una plantilla. Puesto que considera un total de 32 bordes el número de puntos en una plantilla vendrá dado por la expresión:

$$N_t = 32 \cdot Nk \quad (1.8)$$

---

<sup>1</sup> Un *borde exterior* de la plantilla, es aquel que forma parte del contorno de la misma. Mientras que un *borde interior* sería aquel encerrado dentro del contorno.

TIG permite al usuario configurar  $N_k$ . Su valor por defecto es 5.

- *Algoritmo de barrido en el espacio de parámetros o algoritmo de grid.* Este algoritmo genera  $N_t$  puntos de la plantilla de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_t = \prod_{j=1}^L Np_j \quad (1.9)$$

donde  $Np_j$  es el número de valores equiespaciados del parámetro  $p_j \in [p_j^{\min}, p_j^{\max}]$   $j=1, \dots, L$  que se consideran para obtener los puntos de la plantilla.

TIG permite al usuario configurar los  $Np_j$ . El valor por defecto de cada  $Np_j$  es 2.

Tanto el algoritmo de Bailey-Hui, como el algoritmo de Fu y el algoritmo de los segmentos de Kharitonov únicamente se pueden utilizar si  $a(j\omega_i, p) \neq 0$  para cualquier combinación posible de valores de los parámetros de la planta dentro de sus rangos de incertidumbre. Ya que si  $a(j\omega_i, p) = 0$  la plantilla  $\Gamma(\omega_i)$  de la planta no estará acotada. Adicionalmente, el algoritmo de Bailey-Hui tampoco se puede utilizar si el hiperrectángulo formado por el vector de parámetros inciertos  $q$  del numerador o  $r$  del denominador encierra al origen del plano complejo.

Por otra parte, puesto que únicamente el algoritmo de Bailey-Hui obtiene directamente el contorno de las plantillas, en el caso de trabajar con los otros tres algoritmos es necesario utilizar un algoritmo adicional de obtención del contorno. TIG implementa el *algoritmo de Montoya* [Montoya, 98]. La idea de este algoritmo es la siguiente: se parte de un punto del contorno de la plantilla, típicamente el punto de la plantilla que posee mayor parte real, y se traza un círculo de radio  $\varepsilon$  dentro del cual se busca el punto más cercano de fase mínima que también forma parte del contorno. Ahora este punto será el centro de otro círculo de radio  $\varepsilon$ . Este procedimiento se va repitiendo hasta localizar todos los puntos del contorno. Por ejemplo, en la Figura 1.1 se parte del punto  $p1$ , que es el de mayor parte real. Dentro del círculo de radio  $\varepsilon$  y centro  $p1$  formaría parte del contorno el punto  $p2$  que es el punto de fase mínima. Luego el próximo círculo de radio  $\varepsilon$  tendría como centro a  $p2$ .

El éxito de este algoritmo en la obtención del contorno depende de dos factores: el radio  $\varepsilon$  de los círculos de búsqueda y la distribución en el plano complejo de los puntos de la plantilla. Si el radio  $\varepsilon$  es muy grande, el número de puntos que formarán parte del contorno será el mínimo posible. En dicho caso el contorno que devuelve el algoritmo es una aproximación conservativa del contorno real, conocida en la literatura como “convex hull”.

Por el contrario, si el radio  $\varepsilon$  es muy pequeño el contorno que devuelve el algoritmo suele contener más puntos y ser más abrupto ya que el algoritmo considera como parte del contorno a puntos cada vez más internos. Obviamente existe un valor mínimo  $\varepsilon_{\min}$  por debajo del cual el algoritmo no encuentra ningún contorno.

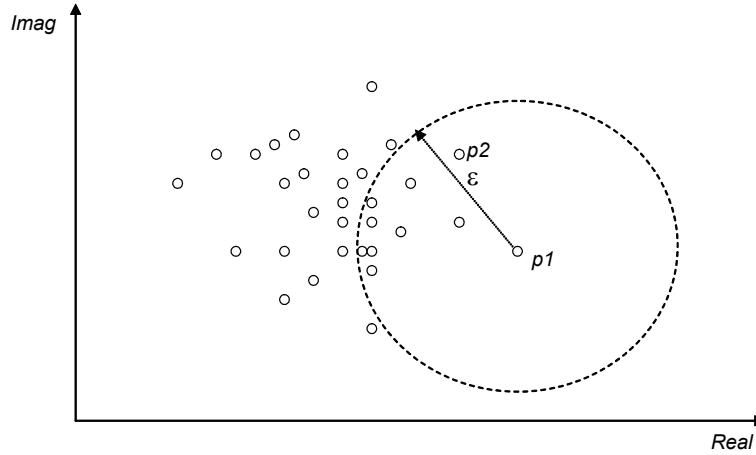


Figura 1.1: Puntos 'o' de una plantilla y círculo de radio  $\varepsilon$  de búsqueda de los puntos del contorno.

Por otra parte, si la distribución de los puntos de la plantilla en el plano complejo es más o menos homogénea la probabilidad de éxito en la obtención del contorno es elevada. Por el contrario si la distribución es heterogénea, o existen formaciones de cúmulos de puntos, será necesario escalar los puntos para “acercarlos” entre si.

La implementación en TIG del *algoritmo de Montoya* posee tres parámetros configurables por el usuario:

- *Weight*. Es un número real positivo que multiplica a la longitud de la diagonal D del rectángulo que encierra a todos los puntos de la plantilla. El producto de ambas cantidades es el radio de los círculos de búsqueda:

$$\varepsilon = Weight \cdot D \quad (1.10)$$

El valor por defecto de *Weight* es 1.

- *Factor X*. Es un número real positivo que divide la coordenada x de todos los puntos de la plantilla. El valor por defecto de este parámetro es 1.
- *Factor Y*. Es un número real positivo que divide la coordenada y de todos los puntos de la plantilla. El valor por defecto de este parámetro es 1.

En conclusión, el algoritmo de Montoya para la obtención del contorno de una plantilla requiere de la supervisión visual del usuario para decidir si el contorno que devuelve el algoritmo es el adecuado. En caso contrario, el usuario deberá modificar el valor de *Weight*. Asimismo, si observa que la distribución de los puntos en el plano complejo no es homogénea, deberá escalar los puntos incrementando los parámetros *Factor X* o/y *Factor Y* para “acercarlos” entre si. Un ejemplo del uso de estos parámetros puede encontrarse en la sección 4.2.2.1.

## 1.2.2 Interactividad con el usuario

TIG, al igual que todas las herramientas desarrolladas en Sysquake, se caracteriza por su facilidad de uso. El usuario principalmente debe operar con el ratón sobre diferentes elementos presentes en la ventana de la aplicación. Las acciones que realiza se ven reflejadas instantáneamente en todas las gráficas presentes en la ventana de la aplicación. De esta forma el usuario toma conciencia visualmente de los efectos que producen sus acciones. Entre los cambios que se pueden observar de forma instantánea cuando se realiza alguna modificación de los objetos interactivos de la herramienta se encuentran:

- 1) Las variaciones que se producen en la plantilla de trabajo  $\Gamma_w(\omega_w)$  representada en el diagrama de Nichols (o en el plano complejo) cuando el usuario modifica el parámetro de configuración del algoritmo de cálculo de plantillas: *Nb* en el algoritmo de Bailey-Hui, *Nf* en el algoritmo de Fu y *Nk* en el algoritmo de los segmentos de Kharitonov.
- 2) Las variaciones que se producen en el contorno de  $\Gamma_w(\omega_w)$  representado en el diagrama de Nichols (o en el plano complejo) cuando el usuario modifica los parámetros (*Weight*, *Factor X*, *Factor Y*) de configuración del algoritmo de Montoya para la obtención del contorno de la plantillas.
- 3) Las variaciones que se producen en  $\Gamma_w(\omega_w)$  o en su contorno representados en el diagrama de Nichols (o en el plano complejo) cuando el usuario modifica la frecuencia a la que se calcula la plantilla o los rangos de incertidumbre de los parámetros de la planta.
- 4) El movimiento de los polos y ceros de la planta nominal sobre el plano complejo y del punto nominal de las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$   $\omega_i \in \Omega$ , cuando se modifica el valor nominal de los parámetros inciertos de la planta.

Obviamente la interactividad de la herramienta depende de la carga computacional. Se considera que la carga computacional es *pesada* si se cumple que

$$T_t + T_c > 0.6 \text{ s} \quad (1.11)$$

donde  $T_t$  es el tiempo que emplea el algoritmo actual de cálculo de plantillas en calcular  $\Gamma_w(\omega_w)$ , y  $T_c$  el tiempo que emplea el algoritmo de Montoya en obtener el contorno de  $\Gamma_w(\omega_w)$ . En dicho caso la interactividad del usuario con la herramienta se ve reducida, ya que los cambios ya no se pueden observar de forma instantánea. En ese caso en la ventana de la herramienta no se muestran sliders, ya que su uso no tiene sentido debido al retardo, asociado al tiempo de cálculo de la plantilla y su contorno, desde que el usuario realiza un cambio hasta que se visualiza en la pantalla. Cuando no se cumple la desigualdad (1.11) se considera que la carga computacional es *ligera*.

Otras posibilidades que ofrece TIG al usuario son:

- La visualización conjunta de las  $\Gamma_w(\omega_w)$  que calcula cada uno de los algoritmos disponibles en la herramienta.
- La selección automática y eliminación de los puntos interiores de  $\Gamma_w(\omega_w)$ .
- La selección manual y eliminación de cualquier punto de  $\Gamma_w(\omega_w)$ .

### 1.2.3 Cooperación con otras herramientas

TIG está diseñada para actuar de forma cooperativa con las herramientas Matlab y QFTIT. Las tres configuraciones de cooperación posibles son (ver Figura 1.2):

- **Configuración 1.** El usuario utiliza TIG para configurar la planta y calcular el contorno de las plantillas. Al finalizar exporta esta información a QFTIT donde continuará realizando las restantes etapas de diseño de la metodología QFT.
- **Configuración 2.** El usuario utiliza Matlab para configurar la planta y calcular las plantillas. A continuación arranca TIG e importa las plantillas para calcular sus contornos. Al finalizar exporta esta información a QFTIT donde continuará realizando las restantes etapas de diseño de la metodología QFT. Adicionalmente QFTIT debe importar, desde Matlab, plantillas de la planta en frecuencias distintas a las del conjunto de trabajo para poder realizar la etapa de validación del diseño QFT.



- **Configuración 3.** El usuario utiliza Matlab para configurar la planta y calcular las plantillas. A continuación arranca TIG e importa las plantillas para calcular su contorno. Al finalizar exporta esta información a MATLAB donde continuará realizando las restantes etapas de diseño de la metodología QFT o de otra metodología de control robusto.

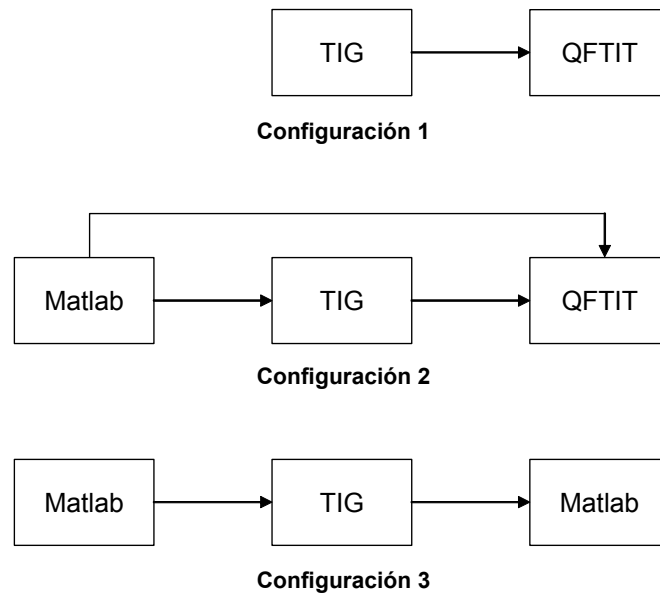


Figura 1.2. Configuraciones posibles de cooperación entre las herramientas TIF, QFTIT y Matlab

### 1.2.4 Limitaciones

La versión 1.0 de TIG presenta las siguientes limitaciones.

- El valor máximo del orden del denominador de la planta es  $n=7$ . Luego, el valor máximo del numerador será  $m=6$ , si  $n=7$ , ya que con el objetivo de tener una planta causal  $m < n$ .
- El número máximo de integradores o derivadores de la planta es  $N_{ID}=10$ .
- El número máximo de parámetros inciertos que puede tener la planta es  $L=14$ .
- El número máximo de parámetros inciertos distintos en el denominador es  $L_d=7$ . El numerador posee la misma restricción, luego  $L_n=7$ . Se debe recordar que  $L=L_n+L_d$ .
- El número máximo de frecuencias de trabajo es  $N_\omega=10$ .

- El rango máximo de frecuencias es  $[10^{-3}, 10^6]$  (rad/s).
- El valor máximo que puede tomar el parámetro de configuración del algoritmo de Bailey-Hui viene determinado por la siguiente expresión:

$$Nb_{\max} = \max \left\{ \frac{25 \times 120}{T_t(25)}, 5000 \right\} \quad (1.12)$$

donde  $T_t(25)$  es el tiempo que tarda este algoritmo en calcular la plantilla cuando  $Nb=25$ .

- El algoritmo de Fu solamente está disponible si el número de parámetros inciertos  $L$  de la planta es menor o igual a 9. En la Tabla 1.1 se muestra el valor máximo que puede tomar el parámetro de configuración de este algoritmo en función de  $L$ .

$L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Nf_{\max}$	5000	2500	1428	312	125	52	22	9	5

Tabla 1.1: Valor máximo de  $Nf$  en función de  $L$ .

- El parámetro de configuración del algoritmo de los segmentos de Kharitonov puede tomar como máximo el valor  $Nk=312$ .
- El algoritmo de grid solamente está disponible si  $L \leq 13$ . Además como máximo puede calcular  $N_t=10000$  puntos.

## Capítulo 2:

# DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA VENTANA DE TIG

### 2.1 ORGANIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA

TIG permite al usuario trabajar en dos modos distintos: *Configuración* y *Análisis*

■ *Modo configuración*. Consta de cuatro pasos secuenciales:

- Paso 1: Configuración de los parámetros inciertos de la planta.
- Paso 2: Configuración de la expresión del denominador de la función de transferencia de la planta.
- Paso 3: Configuración de la expresión del numerador de la función de transferencia de la planta.
- Paso 4: Configuración del conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$  para el que se van a calcular las plantillas.

■ *Modo análisis*. En este modo de trabajo el usuario puede entre otras acciones:

- Visualizar las plantillas salvas  $\Gamma(\omega_i)$   $\omega_i \in \Omega$  que han sido calculadas por defecto usando el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$ .
- Usar diferentes algoritmos para calcular  $\Gamma_w(\omega_w)$ , modificar sus parámetros de configuración y compararlos entre si.
- Obtener el contorno de  $\Gamma_w(\omega_w)$  y modificar los parámetros de configuración del algoritmo de Montoya para ajustar dicho contorno.
- Añadir o eliminar puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$ .

- Visualizar como se modifica el aspecto de  $\Gamma_w(\omega_w)$  en función de  $\omega_w$ .
- Modificar el conjunto  $\Omega$ .
- Visualizar como se modifica el aspecto de  $\Gamma_w(\omega_w)$  en función de la incertidumbre de los parámetros  $p_j$  de la planta.

En las siguientes secciones de este capítulo se describen, para cada modo de trabajo, los elementos que aparecen en la ventana de TIG. En primer lugar se describirá el modo Análisis, puesto que al arrancar la herramienta, ésta siempre lo hace en este modo de trabajo sobre un ejemplo predefinido.

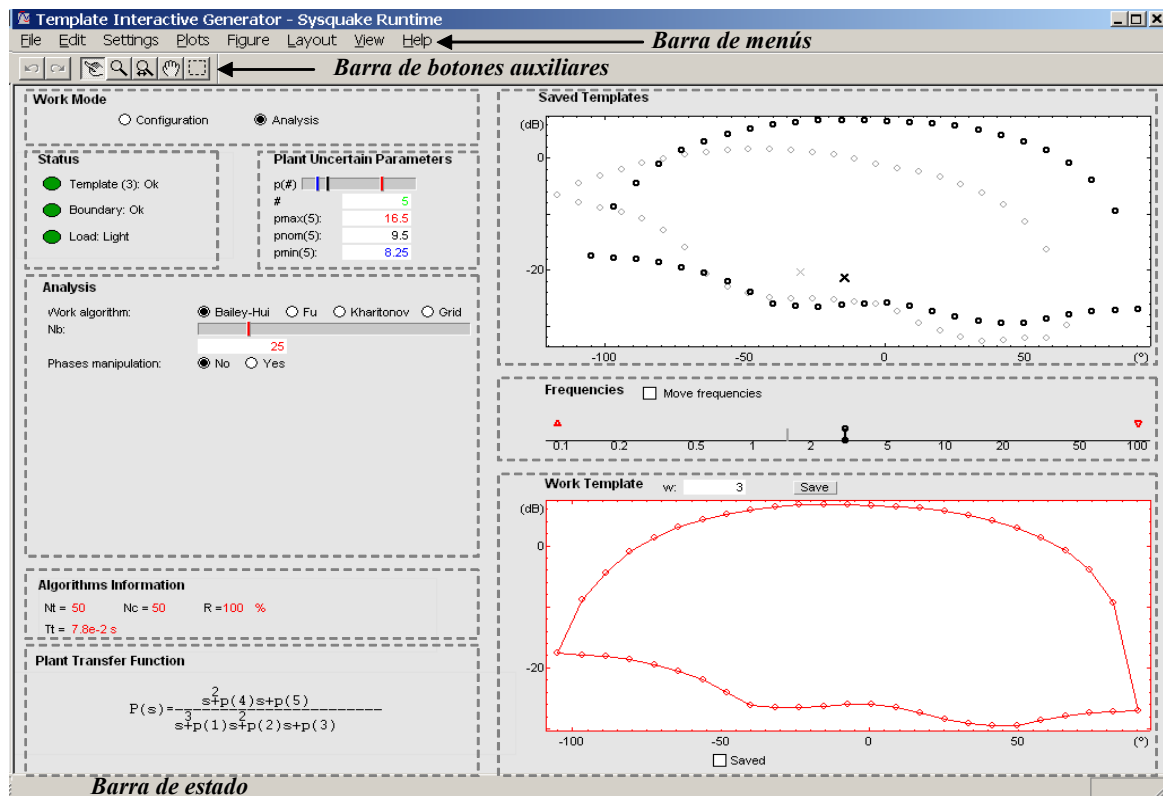


Figura 2.1. Aspecto que presenta la ventana de TIG al arrancar la herramienta. Se han marcado con línea discontinua cada una de las zonas de la ventana para su mejor visualización. Asimismo se han rotulado, la barra de menús, la barra de botones auxiliares y la barra de estado.

## 2.2 MODO DE TRABAJO: ANÁLISIS

En la Figura 2.1 se muestra el aspecto que presenta la ventana de TIG al arrancar la herramienta. En la parte superior de la ventana se distinguen la *barra de menús* y la *barra de botones auxiliares*. En su parte inferior se distingue una barra horizontal de color gris

denomina *barra de estado*, en ella se muestran diferentes mensajes e informaciones en función de donde se tenga posicionado el puntero del ratón dentro de la ventana de la herramienta. En el extremo derecho de la barra hay dibujado un rectángulo, en el que aparece el mensaje `Running` cuando la herramienta se encuentra calculando.

Asimismo en el área comprendida entre la barra de botones y la barra de estado, se distinguen 6 zonas en su parte izquierda (*Work Mode*, *Status*, *Plant Uncertain Parameters*, *Analysis*, *Algorithms Information* y *Plant Transfer Function*), y 3 zonas en su parte derecha (*Saved Templates*, *Frequencies* y *Work Template*). En las siguientes subsecciones se describen cada una de estas zonas.

### 2.2.1 Zona Work Mode

Esta zona permite seleccionar al usuario el modo de trabajo. Consta de dos casillas circulares: `Configuration` y `Analysis`, asociadas cada una de ellas a un modo de trabajo. El usuario simplemente debe hacer clic sobre la casilla correspondiente para seleccionar el modo de trabajo deseado.

Por defecto la herramienta arranca en el modo *análisis* sobre un ejemplo predefinido, por eso dicha casilla se encuentra activada, es decir, presenta un círculo negro en su interior.

Si un usuario, que se encuentra trabajando en el modo *Análisis*, hace clic sobre la casilla `Configuration` le aparecerá el cuadro de diálogo `Save a work session` (ver sección 3.2.1) para salvar en un archivo, si así lo desea, la sesión de trabajo realizada. Asimismo si un usuario, que se encuentra trabajando en el modo configuración, hace clic sobre la casilla `Analysis` le aparecerá el cuadro de diálogo con el mensaje “`Configuration has not finished`”. Un usuario no puede forzar el paso del modo configuración al modo análisis, esta transición se realiza de forma automática cuando el usuario completa todos los pasos del modo configuración.

### 2.2.2 Zona Saved Templates

Esta zona tiene una función principalmente informativa, en ella aparece un diagrama de Nichols en el que se representan, en diferentes colores, las plantillas que se encuentran salvadas  $\Gamma(\omega_i)$   $\omega_i \in \Omega$ , es decir, aquellas plantillas que hasta el momento se han dado por válidas, y que pueden ser exportadas a Matlab o QFTIT. Asimismo, los puntos de cada plantilla se representan con ‘o’ y su valor nominal con ‘x’. En el caso de la plantilla salvada a

la frecuencia de trabajo actual  $\omega_w$  sus puntos se representan siempre en color negro con un grosor un poco mayor que el resto de los puntos de las restantes plantillas. El usuario tiene la opción de no aumentar el grosor de los puntos de la plantilla salvada a  $\omega_k$  (ver sección 3.2.4).

Se puede conocer la frecuencia  $\omega_i$  asociada a una plantilla simplemente posicionando el puntero del ratón sobre alguno de sus puntos, en la barra de estado se visualiza  $\omega_i$ . También se puede visualizar el valor nominal de una plantilla cuando el usuario posiciona el ratón sobre el simbolo 'x' que representa a dicho punto.

En la Figura 2.1 se observa como en la zona *Saved Templates* hay representadas dos plantillas,  $\Gamma(1.5)$  en color gris y  $\Gamma(3)$  en color negro. Luego  $\omega_w=3$  rad/s.

Inicialmente, las plantillas que se representan en este zona son las calculadas al pasar del modo configuración al modo análisis utilizando por defecto el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$  (o el algoritmo de grid con  $Np=2$  si el de Bailey no se puede utilizar). Durante la sesión de trabajo el usuario puede salvar en esta zona otras plantillas que sustituirán a las inicialmente existentes. Para una cierta  $\omega_i$  sólo se puede almacenar una plantilla. Las plantillas que se importan a Matlab o a QFTIT son las que se encuentran salvadas en esta zona.

### 2.2.3 Zona Frecuencias

Esta zona permite al usuario visualizar y configurar el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$ , así como seleccionar  $\omega_w$ . En esta zona se dibuja un eje horizontal graduado en radianes por segundo en escala logarítmica. Inicialmente, sobre dicho eje se representan mediante segmentos verticales las  $\omega_i \in \Omega$  establecidas en el modo configuración (ver sección 2.3.4). Cada  $\omega_i$  tiene asociada un color distinto, que coincide con el que se utiliza para representar a  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates*. Así, el segmento asociado a  $\omega_w$ , se representa en color negro y terminado en dos 'o' para destacarlo.

El usuario puede cambiar  $\omega_w$  simplemente haciendo clic sobre el segmento asociado a la nueva frecuencia de trabajo que desea establecer. Aunque el eje está graduado, el usuario puede conocer la frecuencia exacta posicionando el puntero del ratón sobre alguno de los segmentos, en la barra de estado se visualiza el valor de la frecuencia.

Por otra parte, si el usuario hace clic sobre la casilla cuadrada *Move frequencies* ésta queda seleccionada (aparece una 'x' en su interior) y puede desplazar horizontalmente

los segmentos verticales, es decir, modificar las frecuencias. Para ello simplemente tiene que situar el puntero del ratón sobre un segmento vertical y presionando el botón izquierdo del ratón desplazarlo horizontalmente hasta posicionarlo en otra frecuencia. Simultáneamente, mientras el usuario desplaza el segmento, es decir, modifica la frecuencia, en la zona *Saved Templates* se está representando la plantilla que se obtiene usando el algoritmo de Bailey-Hui con  $N_b=25$ . Además en la zona *Work Template* se está representando la plantilla que se obtiene con el algoritmo de trabajo seleccionado en la zona *Analysis*. Esta funcionalidad de TIG se encuentra disponible siempre que se esté en una situación de carga computacional ligera.

En esta zona el usuario también puede añadir y eliminar frecuencias  $\omega_i \in \Omega$ . Si se hace clic sobre el manipulador triangular de color rojo situado a la izquierda del eje de frecuencias, se representa un nuevo segmento situado 5 rad/s por encima del segmento vertical situado más a la derecha. Para configurar el valor exacto de la frecuencia  $\omega_w$  el usuario debe escribir dicho valor en el campo  $w$  de la zona *Work Template* y pulsar la tecla [ENTER].

Para eliminar  $\omega_i \in \Omega$ , el usuario simplemente debe hacer clic sobre el manipulador triangular de color rojo situado a la derecha del eje de frecuencias. El orden de eliminación es secuencial comenzando por la frecuencia más alta.

En la zona *Frequencies* de la Figura 2.1 se observa que hay representados dos segmentos verticales uno de color gris asociado a  $\omega_i=1.5$  rad/s y otro de color negro a  $\omega_w=3$  rad/s. Se observa que la casilla *Move frequencies* no está seleccionada, luego no es posible desplazar horizontalmente los segmentos. Independientemente de que esta casilla esté seleccionada siempre es posible añadir o eliminar frecuencias.

## 2.2.4 Zona Work Template

En esta zona se dibuja un diagrama de Nichols (o un plano complejo) en el que se representa la plantilla de trabajo actual  $\Gamma_w(\omega_w)$ . Se utilizan distintos colores para diferenciar el algoritmo con el que se está calculando  $\Gamma_w(\omega_w)$ . Así el color rojo está asociado al algoritmo de Bayley-Hui, el verde al algoritmo de Fu, el azul al algoritmo de los segmentos de Kharitonov y el marrón al algoritmo de grid. El color negro está reservado para representar la plantilla salvada  $\Gamma(\omega_w)$ .

Los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  se representan con 'o' y los puntos que conforman el contorno de  $\Gamma_w(\omega_w)$  se unen con líneas continuas (salvo en el caso de  $\Gamma(\omega_w)$  o si no se ha podido obtener

el contorno). El usuario puede conocer las coordenadas exactas de cada punto posicionando el puntero del ratón sobre dicho punto, en la barra de estado se visualiza su valor.

En principio en esta zona se representa únicamente a  $\Gamma_w(\omega_w)$  calculada con el algoritmo de trabajo que se encuentre seleccionado en *Work Algorithm* de la zona *Analysis*. Si el usuario ha probado distintos algoritmos para calcular esta plantilla puede visualizar conjuntamente los resultados obtenidos, simplemente tiene que hacer clic en la casilla cuadrada asociada al algoritmo correspondiente, ésta queda marcada con 'x'. Estas casillas se ubican en la parte inferior de esta zona. La única casilla que siempre está visible es *Saved* que permite visualizar  $\Gamma(\omega_w)$ .

En la parte superior de esta zona se encuentra el campo *w* donde se visualiza  $\omega_w$ . El usuario puede escribir en este campo el valor deseado para  $\omega_w$  y pulsar la tecla [ENTER]. El cambio de  $\omega_w$  tendrá éxito en función de cual sea el nuevo valor que se desea asignarla y de las  $\omega_i \in \Omega$ . Por ejemplo, en la Figura 2.1 el campo *w* indica que  $\omega_w = 3$  rad/s, puesto que existe una  $\omega_i = 1.5$  rad/s  $\in \Omega$  entonces en este campo sólo se podrían introducir valores tal que  $\omega_w > 1.5$ . Si el usuario desea introducir una  $\omega_w < 1.5$  deberá previamente hacer clic sobre el segmento posicionado en  $\omega_i = 1.5$  rad/s en la zona *Frequencies*. En dicho caso puesto que ahora  $\omega_w = 1.5$  rad/s y existe una  $\omega_i = 3$  rad/s  $\in \Omega$ , entonces desde el campo *w* se podrían introducir únicamente  $\omega_w < 3$  rad/s.

También en la parte superior de esta zona se sitúa el botón *Save*. Si el usuario pulsa este botón salva  $\Gamma_w(\omega_w)$  en la zona *Saved Templates*, es decir,  $\Gamma(\omega_w) = \Gamma_w(\omega_w)$ . Debe quedar claro que la  $\Gamma_w(\omega_w)$  que se salva es la que haya sido calculada con el algoritmo que se encuentre seleccionado en *Work Algorithm* en la zona *Analysis*.

## 2.2.5 Zona Status

La zona *Status* tiene una función meramente informativa no pudiendo el usuario interactuar con ella. En el modo *análisis* en esta zona aparecen tres indicadores circulares acompañados de mensajes de texto cortos, que informan al usuario de distintos aspectos de la sesión de trabajo.

El indicador circular situado en la parte superior de esta zona puede tomar tres colores: rojo, amarillo y verde. Si toma el color rojo aparece el mensaje "*Template( $\omega_w$ ) : Error!*", lo que está indicando que no es posible calcular  $\Gamma_w(\omega_w)$  con el algoritmo de trabajo actual



puesto que alguna combinación de los valores de los parámetros inciertos anula el denominador de la planta y hace que la plantilla no se encuentre acotada. En dicho caso en la zona *Saved Templates* únicamente aparece el punto nominal ('x') de dicha plantilla. Además el diagrama de Nichols de la zona *Work Template* estará vacío. Si toma el color amarillo aparece el mensaje "Template( $\omega_w$ ) : Check!" lo que significa que probablemente el algoritmo no esté funcionando correctamente por lo que se recomienda utilizar otro algoritmo. Por el contrario, si la plantilla se ha podido calcular normalmente entonces el indicador circular superior toma el color verde y aparece el mensaje "Template( $\omega_w$ ) : OK".

El indicador circular situado en la parte central de esta zona puede tomar tres colores: rojo, amarillo y verde. Si el algoritmo de Montoya no puede obtener un contorno para  $\Gamma_w(\omega_w)$  con el valor de los parámetros *Weight*, *Factor X* y *Factor Y* establecidos en la zona *Analysis*, entonces este indicador toma el color rojo y aparece el mensaje "Boundary: Error!". El indicador toma el color amarillo y muestra el mensaje "Boundary: Check!" si el contorno calculado por el algoritmo de Montoya requiere la verificación visual del usuario. En general ésta será la situación más usual ya que el algoritmo de generación de contornos implementado en TIG siempre requiere de la confirmación visual del usuario. El indicador central toma el color verde solamente en el caso de que el algoritmo de trabajo sea el de Bailey-Hui, ya que éste calcula directamente el contorno de la plantilla. En dicho caso junto al indicador aparece el mensaje "Boundary: Ok".

Finalmente, el indicador circular situado en la parte inferior de esta zona puede tomar dos colores: amarillo y verde. En el caso de que la carga computacional sea pesada este indicador toma el color amarillo y muestra el mensaje "Load: Heavy". Recuérdese que en dicho caso la interactividad del usuario con la herramienta se encuentra reducida. Si la carga computacional es ligera este indicador toma el color verde y muestra el mensaje "Load: Light".

En la Figura 2.1, los tres indicadores de la zona *Status* están en verde lo que indica que se ha podido calcular con éxito la plantilla a la frecuencia  $\omega=3$  rad/s y su contorno, y que se está en una situación de carga ligera.

En el caso de encontrarse en el modo de trabajo *Configuración*, en esta zona únicamente aparece un único indicador circular que está siempre en color rojo y que muestra el mensaje "Configuration has not finished".

## 2.2.6 Zona Plant Uncertain Parameters

Esta zona permite al usuario configurar los valores máximo, nominal y mínimo de los parámetros inciertos de la planta. Consta de cinco elementos interactivos: un slider y cuatro campos.

El campo # permite establecer el parámetros incierto  $p_j$  cuyo valor se desea configurar. Así 1 está asociado al parámetro  $p_1$ , 2 a  $p_2$ , etc. El usuario simplemente tiene que escribir el número asociado al parámetro incierto que desea configurar y pulsar la tecla [ENTER]. El funcionamiento de los otros tres campos es análogo a éste. Así los campos  $p_{\max}(\#)$ ,  $p_{\text{nom}}(\#)$  y  $p_{\min}(\#)$  permiten configurar el valor máximo  $p_j^{\max}$ , nominal  $p_j^0$  y mínimo  $p_j^{\min}$ , respectivamente, que puede tomar el parámetro  $p_j$ . Por ejemplo, en la Figura 2.1 la zona *Plant Uncertain Parameters* estaría indicando que  $p_5^{\max}=16.5$ ,  $p_5^0=9.5$  y  $p_5^{\min}=8.25$ .

El slider  $p(\#)$  consta de tres segmentos verticales (azul, negro y rojo) asociados a  $p_j^{\min}$ ,  $p_j^0$  y  $p_j^{\max}$ , respectivamente. El usuario puede desplazar horizontalmente estos segmentos, simplemente debe posicionar el puntero del ratón sobre un segmento vertical y manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón arrastrarlo a la posición deseada.

Si el usuario arrastra el segmento negro asociado a  $p_j^0$ , simultáneamente en la zona *Saved Templates* se desplazarían los valores nominales 'x' de las plantillas. Además si se encontrase visible la zona *Nominal Poles-Zeroes Map* (ver sección 3.2.4) se desplazarían los polos 'x' y los ceros 'o' de la función de transferencia asociada a la planta nominal.

Por otro lado, si el usuario arrastra el segmento azul o el rojo, asociados a  $p_j^{\min}$  y  $p_j^{\max}$ , respectivamente, entonces se estaría modificando el rango de incertidumbre de dicho parámetro. En consecuencia, es necesario recalculas las plantillas. Para evitar situaciones de carga pesada se eliminan todas las  $\omega_i \in \Omega$  de la zona *Frequencies* excepto  $\omega_w$ . Además en la zona *Saved Templates* desaparecen todas las  $\Gamma(\omega_i)$  excepto  $\Gamma(\omega_w)$ . Simultáneamente con el arrastre se va visualizando en dicha zona el cambio que se produce en  $\Gamma(\omega_w)$  calculada por el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$ . Asimismo en la zona *Work Template* se va visualizando el cambio que se produce en  $\Gamma_w(\omega_w)$  calculada por el algoritmo de trabajo actual.

Por lo tanto, el slider  $p(\#)$  resulta muy útil para visualizar como se modifica el aspecto de una plantilla en función de la incertidumbre de un cierto parámetro de la planta.

## 2.2.7 Zona Analysis

La zona *Analysis* permite al usuario: seleccionar el algoritmo con el que desea calcular  $\Gamma_w(\omega_w)$ , configurar los parámetros de dicho algoritmo y del algoritmo de Montoya, seleccionar puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  y eliminarlos, y corregir los saltos de fase que pueda presentar  $\Gamma_w(\omega_w)$ .

En la parte superior de esta zona se encuentran las casillas circulares de opciones mutuamente excluyentes *Work Algorithm*, que permiten al usuario seleccionar el algoritmo que desea utilizar para calcular  $\Gamma_w(\omega_w)$ . En principio dispone de cuatro algoritmos: *Bailey-Hui*, *Fu*, *Kharitonov* y *Grid*, aunque si el número de parámetros inciertos de la planta es grande el número de algoritmos disponibles se reduce. Para seleccionar un algoritmo de trabajo el usuario debe hacer clic sobre la casilla circular asociada a dicho algoritmo.

Debajo de las casillas *Work Algorithm*, se sitúan el slider y el campo asociados al parámetro de configuración del algoritmo de trabajo. Este parámetro toma distintos nombres en función del algoritmo seleccionado: *Nb* (algoritmo de *Bailey-Hui*), *Nf* (algoritmo de *Fu*) y *Nk* (algoritmo de los segmentos de *Kharitonov*). Debido al alto coste computacional que en general supone el algoritmo de *grid*, sus parámetros de configuración se configuran a través del menú *Settings* (ver sección 3.2.5). El usuario puede desplazar horizontalmente el segmento vertical del slider para configurar el valor del parámetro del algoritmo. También puede escribir directamente en el campo el valor que desea asignar al parámetro, para confirmar el valor introducido debe pulsar la tecla [ENTER].

Si el algoritmo de trabajo no es el *Bailey-Hui* (ver Figura 2.2) entonces debajo del campo del parámetro de configuración del algoritmo se visualizan tres sliders (*Weight*, *Factor X* y *Factor Y*) asociados a los parámetros de configuración del algoritmo de Montoya. Debajo de cada uno de estos sliders se sitúa un campo que permite visualizar el valor de cada parámetro. Para configurar los valores de estos parámetros el usuario puede desplazar los sliders o escribir directamente su valor en su campo asociado.

Debajo del campo asociado al parámetro *Factor Y* aparece (*X:Y*) que es el resultado de dividir *Factor X* entre *Factor Y*, que indica al usuario cuanto se ha aumentado o se ha reducido las coordenadas *x* de los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  con respecto a sus coordenadas *y*.

Figura 2.2. Aspecto de la zona Analysis cuando el algoritmo de trabajo no es el de Bailey-Hui

También, si el algoritmo de trabajo seleccionado no es el Bailey-Hui debajo de  $X:Y$  se muestran las casillas circulares de opciones mutuamente excluyentes *Operate on interior points*, que habilitan al usuario para poder eliminar puntos  $\Gamma_w(\omega_w)$ . Dispone de tres opciones: No, *Select (All)* y *Select Manual*. Por defecto la opción seleccionada es No, es decir, el usuario no puede eliminar puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$ . Si se elige *Select (All)* entonces todos los puntos del interior del contorno de  $\Gamma_w(\omega_w)$  son eliminados si el usuario pulsa el botón *Remove* situado debajo de las casillas circulares. Si se elige la opción *Select (Manual)* el usuario puede dibujar en la zona *Work Template* un cuadrado manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón. Los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  encerrados dentro de dicho cuadrado serán eliminados si se pulsa el botón *Remove*.

Debajo del campo asociado a  $Nb$  (si el algoritmo de trabajo es el de Bailey-Hui) o debajo del botón *Remove* (si el algoritmo de trabajo no es el de Bailey-Hui) aparecen las casillas circulares de opciones mutuamente excluyentes *Phases Manipulation* que habilitan al usuario para poder manipular las fases de los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  y corregir así las discontinuidades que pudieran aparecer en la plantilla asociadas a los saltos de fase de  $360^\circ$ . Por defecto la opción seleccionada es No. Si el usuario selecciona la opción Yes debajo aparece la lista desplegable *Phases range* (si el algoritmo de trabajo no es el de Bailey-Hui) y los botones  $-360^\circ$  y  $360^\circ$ .

En la lista desplegable el usuario puede seleccionar, en función del cuadrante del plano complejo, los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  a los que desea sumar o restar  $360^\circ$ . Las opciones disponibles en esta lista son: All, First Cuadrant, Second Cuadrant, Third Cuadrant y Fourth Cuadrant. Para seleccionar un elemento de la lista el usuario debe posicionar el puntero del ratón sobre la lista desplegable y manteniendo pulsado el botón

izquierdo moverse verticalmente por los elementos de la lista hasta seleccionar el deseado. En la zona *Work Template* se destacan en color azul claro los puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  seleccionados (salvo que se haya escogido la opción *All*). El usuario puede añadir o restar  $360^\circ$  a la fase de los puntos seleccionados, simplemente debe pulsar el botón  $360^\circ$  o  $-360^\circ$ , respectivamente.

Con el fin de ayudar al usuario a distinguir claramente el algoritmo de trabajo que está utilizando, en esta zona se utiliza el mismo código de colores que el utilizado en la zona *Work Template*. Así el color rojo está asociado al algoritmo de Bayley-Hui, el verde al algoritmo de Fu, el azul al algoritmo de Kharitonov y el marrón al algoritmo de grid.

Por último, es importante destacar que cualquier modificación que el usuario realice sobre un slider o un campo de esta zona, se refleja instantáneamente (siempre que la carga computacional, sea ligera) sobre  $\Gamma_w(\omega_w)$  representada en la zona *Work Template*.

### 2.2.8 Zona Algorithms Information

La zona *Algorithms Information* tiene una función meramente informativa no pudiendo el usuario interactuar con ella. En esta zona se visualizan<sup>1</sup>  $N_t$ ,  $N_c$ ,  $R$ ,  $T_t$  y  $T_c$  asociados a  $\Gamma_w(\omega_w)$ . Con respecto a los tiempos  $T_t$  y  $T_c$  debe tenerse en cuenta que si son menores o iguales a  $10^{-2}$  s, TIG los redondea a 0 s.

### 2.2.9 Zona Plant Transfer Function

En la zona *Plant Transfer Function* se visualiza la expresión simbólica de la función de transferencia de la planta. En el caso de que la longitud de dicha expresión sea mayor que el tamaño asignado a esta zona en la ventana, entonces aparecen en la parte inferior dos manipuladores triangulares de color rojo que permiten desplazar la expresión simbólica a la izquierda o la derecha para que el usuario pueda ir visualizando todos sus términos.

## 2.3 MODO DE TRABAJO: CONFIGURACION

En la Figura 2.3 se muestra el aspecto que presenta la ventana de TIG al entrar en el modo de trabajo *Configuración*. Recuérdese que para acceder a dicho modo hay que hacer clic sobre la casilla circular *Configuration* de la zona *Work Mode*. En la ventana se distinguen 6 zonas en su parte izquierda (*Work Mode*, *Status*, *Configure Plant Uncertain Parameters*, *Configuration Steps*, *Algorithms Information* y *Plant Transfer Function*), y 3

<sup>1</sup>  $R$  es el porcentaje de puntos de  $\Gamma_w(\omega_w)$  que forman parte de su contorno.

zonas en su parte derecha (*Table of Plant Uncertain Parameters*, *Frequencies* y *Work Template*).

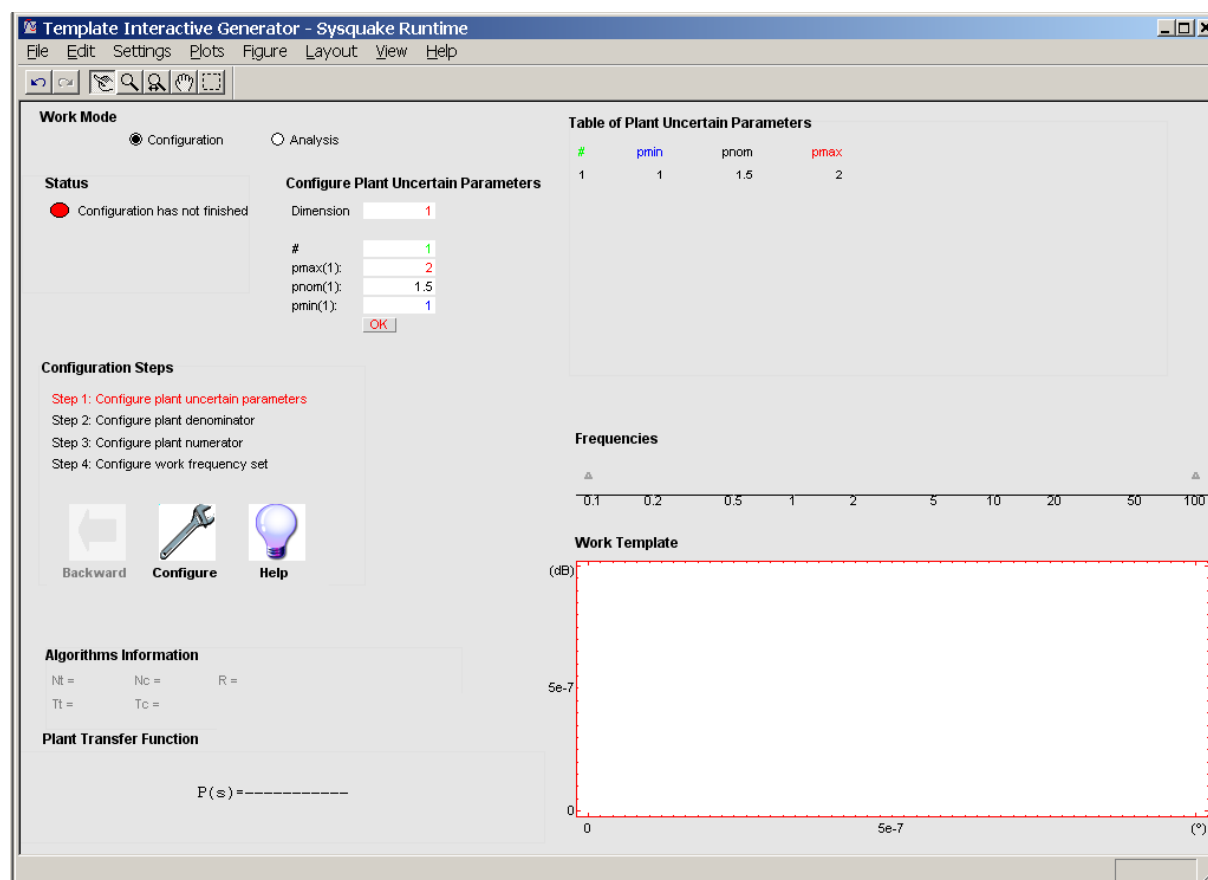


Figura 2.3. Aspecto que presenta la ventana de TIG al entrar en el modo configuración.

El usuario trabaja principalmente en la zona *Configuration Steps* para poder configurar el número y los valores mínimos, máximos y nominales de los parámetros inciertos, así como la estructura del numerador y del denominador de la función de transferencia de la planta. También puede establecer el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$  para el que se van a calcular las plantillas.

En la parte superior de esta zona se muestran cuatro líneas de texto que indican los cuatro pasos (steps) de que consta este modo de trabajo. Siempre se destaca en color rojo el paso en que se encuentra el usuario.

Por otro lado, en la parte inferior de esta zona se sitúan tres botones: *Backward*, *Configure* y *Help*. Si el usuario pulsa *Backward* vuelve al paso anterior. Si pulsa *Configure* aparece un cuadro de diálogo en el que debe escribir la información que se le solicite (tal y como se describirá en las siguientes subsecciones). Asimismo, si pulsa *Help*

se conectará a la página web de la herramienta <http://ctb.dia.uned.es/asig/tig/> donde podrá descargarse este manual.

Otras zonas útiles en este modo de trabajo son: *Configure Plant Uncertain Parameters*, *Table of Plant Uncertain Parameters* y *Plant Transfer Function*. La primera zona ofrece al usuario una forma alternativa de configurar el número y los valores mínimos, máximos y nominales de los parámetros inciertos de la planta. Las otras dos zonas tienen una función puramente informativa. Así la zona, *Table of Plant Uncertain Parameters* muestra una tabla con  $p_j^{\min}$ ,  $p_j^0$  y  $p_j^{\max}$   $j=1,...,L$ .

Por su parte, en este modo de trabajo, el denominador y el numerador de la planta se van mostrando en la zona *Plant Transfer Function* conforme se van configurando. Además en el paso 4 aparece un campo que permite introducir el número  $N_{ID}$  de integradores o derivadores que posee la planta.

### 2.3.1 Paso 1: Configuración de los parámetros inciertos de la planta

Cuando el usuario se encuentra en el primer paso de la etapa de configuración (Step 1: Configure plant uncertain parameters) y pulsa el botón *Configure* aparece el cuadro de diálogo *Plant Uncertain Parameters* que se muestra en la Figura 2.4. En el cuadro aparecen los valores mínimos, máximos y nominales de los parámetros inciertos de la planta, de acuerdo al siguiente formato:

$$[p_1^{\min}, p_1^{\max}, p_1^0; p_2^{\min}, p_2^{\max}, p_2^0; \dots; p_L^{\min}, p_L^{\max}, p_L^0]$$

Recuérdese que  $L$  no puede ser mayor de 14.

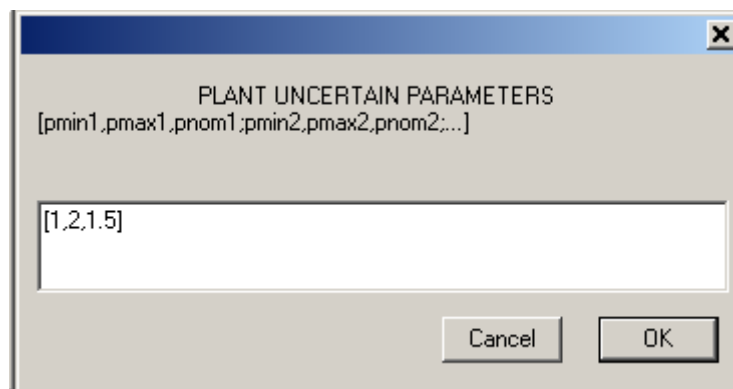


Figura 2.4. Cuadro de diálogo *Plant Uncertain Parameters*

Para configurar este cuadro el usuario debe primero escribir los parámetros inciertos en el formato adecuado y posteriormente hacer clic sobre el botón OK. Para una correcta configuración de este cuadro de diálogo cada elemento perteneciente a un mismo parámetro incierto debe ir separado por una coma, mientras que cada parámetro incierto debe ir separado por punto y coma. Además se debe cumplir que  $p_j^{\min} \leq p_j^0 \leq p_j^{\max}$ .

Si no se ha cometido ningún error en el formato la herramienta pasa automáticamente al paso 2 de la etapa de configuración. En la zona *Table of Uncertain Parameters* se muestran los parámetros inciertos introducidos para que el usuario pueda comprobarlos.

Por defecto, la herramienta considera la existencia de un único parámetro  $p_1 \in [1, 2]$  cuyo valor nominal es 1.5.

Este paso de la etapa de *Configuración* el usuario también puede realizarlo en la zona *Configure Plant Uncertain Parameters*, cuyo funcionamiento es muy similar al de la zona *Plant Uncertain Parameters* descrita en la sección 2.2. En este caso en lugar del slider  $p(\#)$  aparece el campo *Dimension* que permite al usuario configurar el número  $L$  de parámetros inciertos que tiene la planta. Otra diferencia es la aparición del botón OK que el usuario debe pulsar para pasar al paso 2 de la etapa de configuración una vez finalizada la configuración de los parámetros inciertos de la planta.

### 2.3.2 Paso 2: Configuración del denominador de la planta

Si el usuario se encuentra en el segundo paso de la etapa de configuración (*Step 2: Configure plant denominator*) y pulsa el botón *Configure* aparece el cuadro de diálogo *Plant denominator* que se muestra en la Figura 2.5.

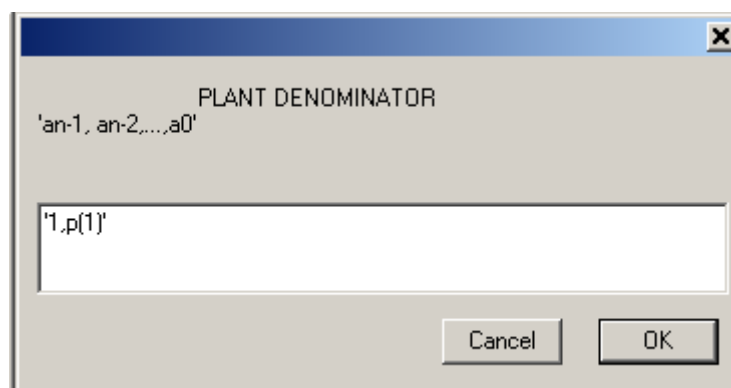


Figura 2.5. Cuadro de diálogo *Plant Denominator*



En el cuadro aparece una cadena de texto que permite configurar las expresiones de los coeficientes de las potencias del polinomio en  $s$  asociado al denominador de la planta incierta, para escribir esta cadena correctamente hay que seguir las siguientes reglas:

- Las expresiones de los coeficientes de las potencias del polinomio deben ir separadas por comas en orden descendente, es decir, el coeficiente situado más a la izquierda en la cadena está asociado a la potencia más alta  $s^n$ , que puede ser como mucho de orden 7.
- El coeficiente asociado a la potencia  $s^0$  no puede ser 0, es decir, el denominador se escribe sin integradores. Éstos se pueden introducir en el paso 4.
- Cada parámetro incierto se representa mediante el símbolo  $p(j)$  siendo  $j$  el número del parámetro incierto, por ejemplo,  $p(1)$  está asociado al parámetro incierto  $p_1$ ,  $p(2)$  al parámetro incierto  $p_2$ , etc.
- La expresión de un coeficiente sólo puede ser una combinación lineal de parámetros inciertos:

$$c_1 p_1 + c_2 p_2 + \dots + c_L p_L + c_0$$

Por ejemplo la cadena '2.3, -p(1)+3.5p(2)+5, 1.6p(2)+3.5p(3)', que equivale al polinomio  $2.3 \cdot s^2 + (-p_1 + 3.5 \cdot p_2 + 5) \cdot s + (1.6 \cdot p_2 + 3.5 \cdot p_3)$ , sería válida. Otro ejemplo de cadena válida sería '-2.1e-10, e-3p(1)+p(3)-2p(2)' que equivale al polinomio  $-2.1 \cdot 10^{-10} \cdot s + (10^{-3} \cdot p_1 + p_3 - 2 \cdot p_2)$ . Un ejemplo de cadena no válida sería '1, p(1)\*p(3), p(3)^3'.

- Dentro de una combinación lineal asociada a un coeficiente el término independiente  $c_0$ , si existe, se debe escribir al final. Si se escribe al principio o en medio provoca un mensaje de error. Por ejemplo la cadena '2.3, 5-p(1)+3.5p(2)' no sería válida ya que el término independiente de la expresión del coeficiente asociado a la potencia  $s^0$  se ha escrito al principio. La cadena correcta sería: '2.3, -p(1)+3.5p(2)+5'
- Dentro de una combinación lineal asociada a un coeficiente solamente puede aparecer una vez un mismo parámetro incierto. Por ejemplo la cadena '1, p(1)+3p(1)' no sería válida ya que el parámetro incierto  $p_1$  aparece repetido. La cadena correcta sería '1, 4p(1)'

- Las potencias  $r \cdot 10^n$  o  $r \cdot 10^{-n}$  se denotan en la cadena como `ren` y `re-n`, respectivamente. Por ejemplo el polinomio  $4 \cdot 10^2 s - 2.5 \cdot 10^{-5} p_1$ , equivaldría a la cadena `'4e2, -2.5e-5p(1)'`.

Por defecto, en este cuadro aparece la cadena `'1, p(1)'` que equivale al denominador  $s + p_1$ .

Para configurar este cuadro el usuario debe primero escribir la cadena de texto y posteriormente hacer clic sobre el botón `OK`. En el caso de no existir ningún error en el formato de la cadena la herramienta pasa automáticamente al paso 3 de la etapa de configuración. En la zona *Plant Transfer Function* se muestra el denominador de la planta.

### 2.3.3 Paso 3: Configuración del numerador de la planta

Si el usuario se encuentra en el tercer paso de la etapa de configuración (`Step 3: Configure plant numerator`) y pulsa el botón `Configure` aparece el cuadro de diálogo `Plant numerator`. La configuración de este cuadro de dialogo es similar a la del cuadro `Plant denominator`. En este paso es importante recordar que el orden del numerador nunca puede ser igual o mayor que el del denominador. Además el numerador se escribe sin derivadores, éstos se pueden introducir en el paso 4.

### 2.3.4 Paso 4: Configuración del conjunto de frecuencias de trabajo

En este paso el usuario introduce el conjunto de frecuencias  $\Omega$  para el que se van a calcular las plantillas. Además puede introducir el número  $N_{ID}$  de integradores o derivadores que posee la planta. Simplemente debe escribir dicho número en el campo `Ni` que aparece en la zona *Plant Transfer Function* y pulsar la tecla `[ENTER]`. Si  $N_{ID}$  es un entero positivo se introducen integradores en el denominador, si es un entero negativo se introducen derivadores en el numerador. Como máximo se pueden introducir 10 integradores o 10 derivadores.

En este paso 4, si el usuario pulsa el botón `Configure` aparece el cuadro de diálogo `Work Frequency set` que se muestra en la Figura 2.6. En el cuadro aparecen las frecuencias  $\omega_i \in \Omega$   $i=1,2,\dots,N_\omega$ , de acuerdo al siguiente formato:

$$[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{N_\omega}]$$

$N_\omega$  nunca puede ser mayor de 10. Por defecto, la herramienta considera inicialmente la existencia de una única frecuencia  $\omega_1=10 \text{ rad/s} \in \Omega$ .

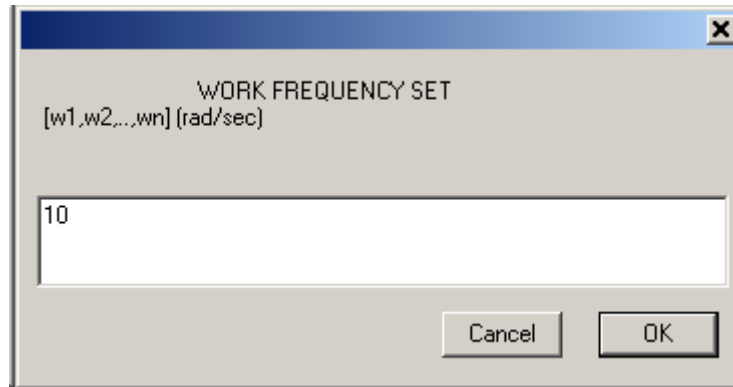


Figura 2.6: Cuadro de diálogo *Template Frequency Vector*

Para configurar este cuadro el usuario debe primero escribir las frecuencias  $\omega_i \in \Omega$  y posteriormente hacer clic sobre el botón OK. Si no se ha cometido ningún error en el formato la herramienta calcula  $\Gamma(\omega_i)$  usando el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$  (o el algoritmo de grid con  $Np_j=2$  si el de Bailey no se puede utilizar) . A continuación pasa automáticamente al modo de trabajo análisis.

Si la carga computacional es pesada se muestra un cuadro de diálogo que contiene el mensaje de texto “The computation of the templates may take some seconds” o el mensaje “The computation of the templates may take some time (maximum 10 seconds for each frequency)”.

En el caso de que una plantilla no pueda ser calculada a una cierta frecuencia por estar no acotada la herramienta muestra un cuadro de diálogo que contiene el mensaje de texto “Templates computation algorithms can not work at [wj] (rad/s) some uncertain parameter does  $P=\infty$ ”. Solamente en el caso de que no se pueda calcular ninguna  $\Gamma(\omega_i)$  la herramienta no pasará automáticamente al modo de trabajo análisis.

## 2.4 BARRA DE BOTONES AUXILIARES

En la parte superior izquierda de la ventana de la herramienta se sitúa la *barra de botones auxiliares* que se muestra en la Figura 2.7. Esta barra es común a todas las aplicaciones generadas con Sysquake y consta de 7 botones:

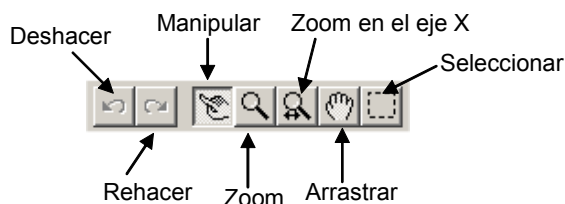


Figura 2.7: Barra de botones auxiliares

- **Botón Deshacer.** Deshace la última acción realizada.
- **Botón Rehacer.** Rehace la última acción que fue deshecha al presionar el botón Deshacer.
- **Botón Manipular.** Permite manipular los elementos presentes en la ventana de la herramienta, por defecto este botón se encuentra pulsado.
- **Botón Zoom.** Si se presiona este botón el usuario puede hacer un zoom sobre las figuras presentes en la ventana de la herramienta. Simplemente debe mantener pulsado el botón izquierdo del ratón y trazar un rectángulo sobre el área de la figura que desea ver aumentada, al soltar el botón el zoom se hace efectivo. Para deshacerlo debe mantener pulsada la tecla [Shift] y hacer clic con el ratón sobre la figura.
- **Botón Zoom en el Eje X.** Su funcionamiento es similar al botón Zoom pero el zoom únicamente se realiza sobre el eje X.
- **Botón Arrastrar.** Si se presiona este botón el usuario puede arrastrar el contenido de las figuras presentes en la herramienta. Simplemente debe situarse sobre la figura que desea arrastrar y manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón arrastrarla a la posición deseada.
- **Botón Seleccionar.** Si se presiona este botón el usuario puede arrastrar y cambiar el tamaño de las distintas zonas presentes en la ventana de la herramienta. Simplemente debe situarse sobre la zona que desea arrastrar y manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón arrastrarla a la posición deseada. Asimismo si desea cambiar su tamaño debe hacer clic sobre ella, situarse en una de sus esquinas y manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón arrastrarla hasta obtener el tamaño deseado.



# Capítulo 3:

## DESCRIPCIÓN DE LA BARRA DE MENÚS DE TIG

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Todas las herramientas creadas con Sysquake, como es el caso de TIG, disponen en la parte superior de la ventana de una barra que contiene los siguientes menús (ver Figura 2.1): `File`, `Edit`, `Settings`, `Figure`, `Layout`, `View` y `Help`. Únicamente los contenidos de los menús `Settings` y `Figure` son diferentes en cada herramienta. De todos los menús disponibles el más importante es el menú `Settings`, por ello este capítulo está dedicado en su mayor parte a describir este menú.

### 3.2 MENÚ SETTINGS

Si el usuario hace clic en `Settings` se despliega un menú que contiene las siguientes entradas:

- `Load/Save`. Permite cargar o salvar una sesión de trabajo con la herramienta. Además permite generar un informe sobre la sesión de trabajo realizada.
- `Import/Export`. Permite importar plantillas de Matlab y exportar las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates* a Matlab o QFTIT.
- `Frequency range`. Permite configurar la escala de la zona *Frequencies*, y el rango de frecuencia donde es necesario calcular plantillas para la realización de la etapa de validación en QFTIT.
- `Options plot`. Permite seleccionar diversas opciones relativas a la representación de las plantillas.
- `Grid algorithm configuration`. Permite configurar el valor de los parámetros  $Np_j$  del algoritmo de grid.

En las siguientes subsecciones se describen en mayor detalle las entradas del menú `Settings`.

### 3.2.1 Entrada Load/Save

Se define como *sesión de trabajo* (work session) al valor de las diferentes variables internas que utiliza TIG en un determinado instante de tiempo. TIG permite guardar y cargar una sesión de trabajo en cualquier momento que el usuario considere oportuno. Una sesión de trabajo se almacena en un fichero ASCII con extensión `.ses`.

Asimismo, TIG también permite generar y guardar un informe con los datos más relevantes de una sesión de trabajo. Un informe se almacena en un fichero ASCII con extensión `.txt`.

Para poder realizar estas acciones el usuario debe hacer clic sobre el menú `Settings`, posicionar el puntero del ratón sobre la entrada `Load/Save` y pinchar sobre alguna de las tres entradas del nuevo menú que se despliega:

- `Load work session`. Al pulsar sobre esta entrada aparece un cuadro de diálogo donde el usuario deberá seleccionar el archivo `.ses` asociado a la sesión de trabajo que desea cargar.
- `Save work session`. Al pulsar sobre esta entrada aparece un cuadro de diálogo donde el usuario deberá escribir el nombre del archivo `.ses` asociado a la sesión de trabajo que desea guardar. Por defecto, el nombre de dicho fichero es `session.ses`.
- `Save report`. Al pulsar sobre esta entrada aparece un cuadro de diálogo donde el usuario deberá escribir el nombre del archivo `.txt` asociado al informe de la sesión de trabajo que desea guardar. Por defecto, el nombre de dicho fichero es `report.txt`.

La principal diferencia entre un archivo `.ses` asociado a una sesión de trabajo y un archivo `.txt` asociado a un informe, radica en que el primero contiene líneas de números, sin mensajes de texto, asociados a las variables de TIG. Por el contrario, en un informe se almacenan sólo las variables más importantes con mensajes de texto explicativos para el usuario.

### 3.2.2 Entrada Import/Export

Como se comentó en la sección 1.2.3 TIG puede trabajar cooperativamente con las herramientas Matlab y QFTIT. TIG permite importar plantillas calculadas en Matlab. Además permite exportar las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates* a Matlab o QFTIT.

Para poder realizar estas acciones el usuario debe pulsar sobre el menú *Settings*, posicionar el puntero del ratón sobre la entrada *Import/Export* y pinchar sobre alguna de las tres entradas del nuevo menú que se despliega:

- *Import templates from Matlab.* Al hacer clic sobre esta entrada aparece un cuadro de diálogo donde el usuario deberá seleccionar el archivo que contiene las plantillas generadas en Matlab que desea importar a TIG. Previamente las plantillas que se han calculado en Matlab se almacenan en un fichero ASCII con extensión *.tmp* mediante la función *mat2tig.m*. Esta función se distribuye conjuntamente con TIG.

En un fichero con extensión *.tmp* se almacenan las plantillas como una matriz de números reales, cada par de columnas son la parte real y la parte imaginaria de una plantilla. También se almacena un vector fila cuyos componentes son las frecuencias a las que se han calculado las plantillas, un número entero positivo que es la fila de la matriz de las plantillas que contiene el punto nominal, un vector fila con los coeficientes del numerador de la planta nominal y un vector fila con los coeficientes del denominador de la planta nominal.

- *Export templates to Matlab.* Abre un cuadro de diálogo donde el usuario deberá escribir el nombre del archivo *.tmo* donde desea almacenar las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates* para exportarlas a Matlab. Por defecto, el nombre de dicho fichero es *toMATLAB.tmo*. La información contenida en un archivo *.tmo* puede ser cargada en el espacio de trabajo de Matlab invocando desde la línea de comandos a la función *tig2mat.m* con los parámetros adecuados. Esta función se distribuye conjuntamente con TIG. Esta entrada del menú *Import/Export* no se encuentra disponible si se está en el modo de trabajo configuración.

En un fichero con extensión *.tmo* se almacenan las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates* como una matriz de números reales, cada par de columnas son la parte real y la parte imaginaria de una  $\Gamma(\omega_i)$ . Dentro de esta



matriz la información asociada a las  $\Gamma(\omega_i)$  se extiende desde la primera fila hasta la antepenúltima. En la penúltima fila se almacena las  $\omega_i \in \Omega$ . Asimismo en la última fila de la matriz se almacena un número entero positivo que es la fila de la matriz que contiene el punto nominal de las plantillas.

- `Export templates to QFTIT`. Abre un cuadro de diálogo donde el usuario deberá escribir el nombre del archivo `.tqf` donde desea almacenar las plantillas salvadas  $\Gamma(\omega_i)$  en la zona *Saved Templates* para exportarlas a QFTIT. Por defecto, el nombre de dicho fichero es `toQFTIT.tqf`. Esta entrada del menú `Import/Export` no se encuentra disponible si se está en el modo de trabajo configuración. Tampoco está disponible si se está en el modo de trabajo análisis dentro de una sesión de trabajo con plantillas importadas de Matlab para las que no se definió el numerador y el denominador de la planta nominal.

En un fichero con extensión `.tqf` se almacena la siguiente información: un vector fila con los coeficientes del numerador de la planta nominal, un vector fila con los coeficientes del denominador de la planta nominal, un vector fila con  $\Omega$ ,  $N_\omega$  matrices de dos columnas (fase ( $^\circ$ ) y magnitud en (dB)) asociadas cada una de ellas a una  $\Gamma(\omega_i)$ , una matriz de dos columnas con los puntos nominales de las  $N_w$  plantillas, un vector fila con  $N_{\omega_{val}}$  frecuencias de validación, una cadena de caracteres con el nombre del algoritmo utilizado para calcular las plantillas de validación, el valor del parámetro de configuración del algoritmo utilizado,  $N_{\omega_{val}}$  matrices de dos columnas (fase ( $^\circ$ ) y magnitud en (dB)) asociadas cada una de ellas a las plantillas de validación. En el caso de no haberse podido calcular alguna plantilla a una cierta frecuencia en vez de la matriz aparece la cadena de caracteres `vempty`.

### 3.2.3 Entrada Frequency range

Esta entrada del menú `Settings` permite configurar la escala de la zona *Frequencies*., y el rango de frecuencia donde es necesario calcular plantillas para la realización de la etapa de validación en QFTIT.

Si el usuario hace clic sobre esta entrada, entonces se despliega otro menú que contiene dos entradas: `Template frequency range` y `Frequency range for QFTIT validation stage`.

### 3.2.3.1 Entrada Template frequency range

Pulsando sobre la entrada `Template frequency range` del menú asociado a la entrada `Frequency range` del menú `Settings` aparece el cuadro de diálogo que se muestra en la Figura 3.1.

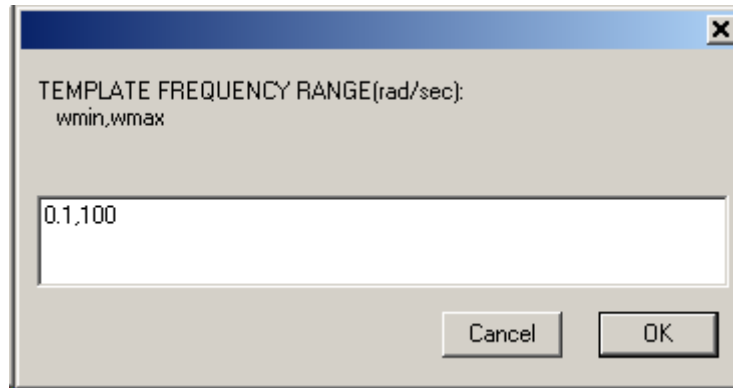


Figura 3.1. Cuadro de diálogo *Template Frequency vector*

En el cuadro aparecen los valores mínimo  $\omega_{\min}$  y máximo  $\omega_{\max}$  del eje de frecuencias que se visualiza en la zona `Frequencies`, de acuerdo con el siguiente formato:

$$\omega_{\min}, \omega_{\max}$$

Los valores por defecto de estas dos frecuencias son  $\omega_{\min}=0.1$  rad/s y  $\omega_{\max}=100$  rad/s. Para configurar este cuadro el usuario debe escribir los valores deseados para  $\omega_{\min}$  y  $\omega_{\max}$ , y posteriormente hacer clic sobre el botón `OK`.

### 3.2.3.2 Entrada Frequency range for QFTIT validation stage

Si la planta es definida en Matlab o TIG, entonces para poder realizar la etapa de validación del diseño QFT usando QFTIT es necesario suministrarle un conjunto adicional de  $N_{\omega_{\text{val}}}$  plantillas de la planta calculadas en el rango de frecuencias  $[10^{d1}, 10^{d2}]$  (rad/s) donde se desea validar el diseño.

En el caso de haber definido la planta en Matlab el conjunto de  $N_{\omega_{\text{val}}}$  plantillas para validación se obtiene ejecutando desde la línea de comandos de Matlab la función `mat2qftitval.m` con los parámetros adecuados. Esta función se distribuye conjuntamente con TIG.

Por otra parte, si la planta se ha definido en TIG el conjunto de  $N_{\omega val}$  plantillas para validación se calcula automáticamente cuando se genera un archivo .tqf usando la entrada `Export templates to QFTIT`. Dicho conjunto se salva dentro de este archivo. El algoritmo que se utiliza para calcular estas plantillas es el que se tenga seleccionado en `Work Algorithm` en la zona *Analysis*. El valor del parámetro de configuración de este algoritmo es el mismo que se tenga configurado en la zona *Analysis*, excepto si se está en una situación de carga pesada, en cuyo caso se consideran los siguientes valores:  $Nb=25$ ,  $Nf=5$ ,  $Nk=20$  y  $Np_f=2$ .

Si el usuario pulsa sobre la entrada `Frequency range for QFTIT validation stage` del menú asociado a la entrada `Frequency range` del menú `Settings` aparece el cuadro de diálogo que se muestra en la Figura 3.2.

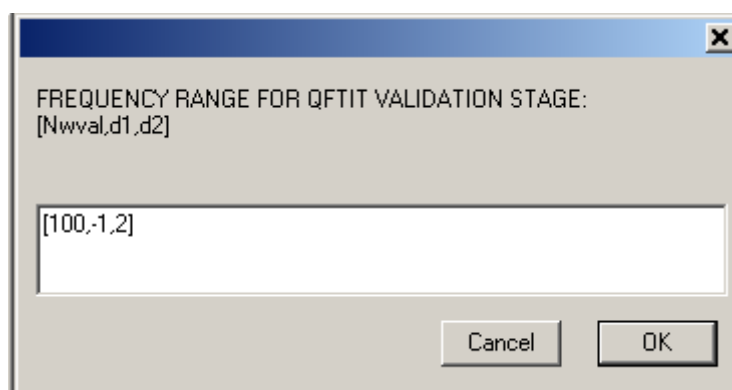


Figura 3.2. Cuadro de diálogo *Frequency range for QFTIT validation stage*

En el cuadro aparecen el número de frecuencias de validación  $N_{\omega val}$ , el exponente  $d_1$  de la frecuencia mínima de validación  $10^{d_1}$  rad/s y el exponente  $d_2$  de la frecuencia máxima de validación  $10^{d_2}$  rad/s de acuerdo con el siguiente formato:

$$[N_{wval}, d1, d2]$$

Los valores por defecto son  $N_{wval}=100$ ,  $d_1=-1$  y  $d_2=2$ . Para configurar este cuadro el usuario debe escribir los valores deseados para  $N_{\omega val}$ ,  $d_1$  y  $d_2$  y posteriormente pulsar sobre el botón `OK`.

TIG estima el tiempo que va a tardar en calcular las  $N_{\omega val}$  plantillas, en el caso de que dicho tiempo supere los 4 minutos entonces el número de plantillas para validación que calcula es reducido a un valor inferior  $N_{\omega val}$  introducido por el usuario.

### 3.2.4 Entrada Options plot

Si el usuario posiciona el puntero del ratón sobre la entrada `Options plot` del menú `Settings` se despliega otro menú donde es posible configurar las siguientes opciones relativas a la representación de las plantillas:

- El tipo de diagrama en la zona *Work Template*. Existen dos tipos de diagramas, el diagrama de Nichols (`Nichols diagram`) y el plano complejo (`Complex plane`). La opción seleccionada por defecto es `Nichols diagram`.
- Tipos de escala en la zona *Work Template*.
  - `Automatic scale`. El programa se encarga automáticamente de escalar los ejes para que aparezcan todas las plantillas representadas en dicha figura. Ésta es la opción seleccionada por defecto.
  - `Fix scale`. El rango de los ejes se mantiene fijo y sólo puede ser cambiado por el usuario a través de cuatro manipuladores triangulares de color negro que se sitúan en los extremos de cada eje. Para un manipulador de escala vertical, según se pinche en un extremo u otro del manipulador, la escala vertical se desplazará arriba o abajo. De forma análoga con un manipulador de escala horizontal es posible desplazar la escala horizontal a izquierda o a derecha.
- Mostrar en la ventana de la herramienta el mapa de polos y ceros de la planta nominal. Si el usuario pulsa en la opción `Show nominal poles-zeroes map` entonces la zona *Work Template* es sustituida por la zona *Nominal poles-zeroes map*. Por defecto este mapa no se muestra en la ventana, es decir, se encuentra seleccionada la opción `Hide nominal poles-zeroes map`.
- Destacar en la zona `Saved templates` la plantilla de trabajo. Por defecto, la herramienta dibuja con mayor grosor los puntos de  $\Gamma(\omega_w)$  en la zona `Saved templates`, es decir, se encuentra seleccionada la opción `Highlight work template`. Si el usuario desea deshabilitar esta característica deberá hacer clic sobre la opción `Not Highlight work template`.

### 3.2.5 Entrada Grid algorithm configuration

Si el usuario pulsa sobre la entrada `Grid algorithm configuration` del menú `Settings` aparece el cuadro de diálogo que se muestra en la Figura 3.3

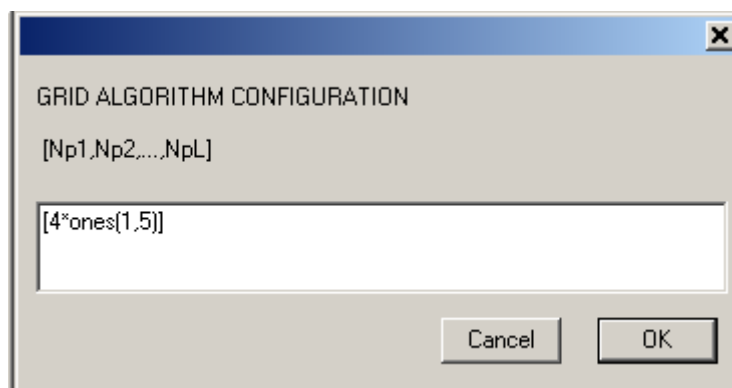


Figura 3.3. Cuadro de diálogo *Grid algorithm configuration*.

En el cuadro aparecen los parámetros  $Np_j$  del algoritmo de grid, su formato es

$$[Np_1, Np_2, \dots, Np_L]$$

El valor que aparece en este cuadro al arrancar la herramienta es `[4*ones(1,5)]` que es equivalente a `[4,4,4,4,4]`. Para configurar este cuadro el usuario debe escribir los valores deseados para los  $Np_j$  y posteriormente pulsar sobre el botón `OK`.

## 3.3 OTROS MENUS DISPONIBLES EN LA HERRAMIENTA

Otros menús disponibles, aparte de `Settings`, en la barra de menús de TIG son:

- **File.** Este menú permite al usuario, entre otras acciones, reiniciar la aplicación (entrada `Reset Data`), imprimir la ventana de la herramienta (entrada `Print`) y salir de la aplicación (entrada `Exit`).
- **Edit.** Usando este menú es posible, entre otras acciones, deshacer alguna acción (entrada `Undo`), rehacer alguna acción anteriormente deshecha (entrada `Redo`), aumentar el grosor de las líneas de las figuras (entrada `Preferences/Thick lines`), seleccionar el tipo, estilo y tamaño de las fuente de la ventana de la herramienta (entrada `Preferences/Figure Font`), y seleccionar el color del fondo de la ventana de la herramienta (entrada `Preferences/Background Color`).

- **Plots.** Contiene la lista de las zonas que se pueden mostrar en la ventana de la herramienta. Además permite eliminar alguna zona y sustituirla por otra.
- **Figure.** Este menú, entre otras acciones, permite seleccionar entre 5 modos de operación sobre las figuras de la herramienta: Manipular (entrada `Manipulate`), Zoom (entrada `Zoom`), Zoom en el eje X (entrada `Zoom X`), arrastrar (entrada `Drag`) y seleccionar (entrada `Select`). Estos modos de operación ya fueron descritos en la sección 2.4.
- **Layout.** Este menú permite recolocar conforme a una serie de patrones predefinidos las zonas de la ventana de la herramienta.
- **View.** Este menú permite ocultar la barra de botones auxiliares (entrada `Toolbar`) y la barra de estado (entrada `Status Bar`).
- **Help.** Esta menú, entre opciones, dispone de un enlace a la página web <http://www.calerga.com/> de la compañía Calerga propietaria del programa Sysquake.

Para una descripción más detallada de estos menús y de todas las opciones que contienen se recomienda consultar el manual de Sysquake (disponible en <http://www.calerga.com/>).



# Capítulo 4:

## EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

### 4.1 EJEMPLO 1

El ejemplo que se va a describir en esta sección es el que trae implementado la herramienta. Se considera la siguiente planta

$$P(s, p) = \frac{s^2 + p_4 \cdot s + p_5}{s^3 + p_1 \cdot s^2 + p_2 \cdot s + p_3} \quad (4.1)$$

que posee 5 parámetros inciertos:

$$p_1 \in [2.3, 19], p_2 \in [13.51, 147], p_3 \in [11.025, 490], p_4 \in [7, 9.5], p_5 \in [8.25, 9.5] \quad (4.2)$$

Asimismo se consideran que sus valores nominales son:

$$p_1^0 = 10, p_2^0 = 100, p_3^0 = 25, p_4^0 = 8, p_5^0 = 9 \quad (4.3)$$

Se supone que el conjunto de frecuencias de trabajo es:

$$\Omega = \{1.5, 3\} \text{ (rad/s)} \quad (4.4)$$

Se desean obtener los contornos de las plantillas  $\Gamma(1.5)$  y  $\Gamma(3)$ .

Se observa en la función de transferencia (4.1) que los parámetros inciertos del numerador son independientes de los parámetros inciertos del denominador. Por lo tanto, el algoritmo de Bailey-Hui puede ser una buena elección para calcular los contornos de las plantillas. Recuérdese que en este caso este algoritmo calcula directamente el contorno de las plantillas. Se puede comprobar que dichos contornos son los exactos utilizando algún otro algoritmo como por ejemplo el algoritmo de grid. Así este ejemplo va a servir principalmente para aprender a realizar con TIG las siguientes acciones:

- Calcular y estudiar los contornos de las plantillas usando el algoritmo de Bailey-Hui.



- Calcular las plantillas usando el algoritmo de grid.
- Estudiar gráficamente la variación de la forma de una plantilla en función de la frecuencia.
- Estudiar gráficamente la posición del punto nominal de las plantillas en función de los valores nominales de los parámetros inciertos de la planta.
- Estudiar gráficamente la variación de la forma de una plantilla en función de la incertidumbre de los parámetros inciertos de la planta.

### 4.1.1 Etapa de configuración

Para resolver este problema hay que introducir en TIG toda la información asociada al mismo. Tras arrancar la herramienta `tig.exe` se debe pasar al modo de trabajo configuración. Para ello hay que pulsar en la casilla circular `Configuration` de la zona *Work Mode*. Aparece el cuadro de diálogo `Save work session`. Si se desea salvar la sesión de trabajo que se estaba realizando se debe introducir el nombre del fichero `.ses` donde se guardará y pulsar en `OK`. Si no se desea guardarla hay que pulsar en `Cancel`. En ambos casos tras realizar esta acción se pasa al modo de trabajo *configuración*. La ventana de la herramienta toma el aspecto que se muestra en la Figura 2.3.

#### 4.1.1.1 Paso 1: Configuración de los parámetros inciertos de la planta

En la zona `Configuration Steps` se observa que se encuentra destacado en rojo el mensaje `Step 1: Configure plant uncertain parameters`, que nos indica que nos encontramos en el paso 1 de la etapa de configuración.

Una posible forma de realizar este paso es pulsando sobre el botón `Configure` de la zona *Configurations Steps*, aparece entonces el cuadro de diálogo `Plant uncertain parameters` que permite introducir los valores mínimos, máximos y nominales de los parámetros inciertos de la planta. De acuerdo con (4.2) y (4.3) se debe escribir

```
[2.3 19.8 10; 13.51 147 100; 11.025 490 25; 7 9.5 8; 8.25 16.5 9.5]
```

y pulsar en `OK`. Se observa que en la zona *Table of Plant Uncertain Parameters* se muestra una tabla con los valores introducidos que sirve al usuario para comprobar que los datos que ha introducido son correctos.

En el caso de haberse equivocado al escribir algún valor, el usuario puede cambiarlo realizando las siguientes acciones: en primer lugar pulsar el botón `Backward` en la zona *Configuration Steps* para volver al paso 1. En segundo lugar pulsar el botón `Configure` para visualizar de nuevo el cuadro de dialogo `Plant uncertain parameters` y así poder cambiar los valores erróneos. Cuando finalice debe pulsar en `OK`. La herramienta pasa automáticamente al paso 2 de la etapa de configuración.

Otra forma de realizar el paso 1, es usando los campos de la zona *Configure Plant Uncertain Parameters*. En primer lugar hay que escribir en el campo `Dimension` el número de parámetros inciertos de la planta, en este caso 5, y pulsar la tecla `[ENTER]`. En la zona *Table of Plant Uncertain Parameters*, aparecen los valores por defecto de estos 5 parámetros.

En segundo lugar, en el campo `#` se debe escribir el número del parámetro cuyos valores se desean configurar, por ejemplo para el parámetro  $p_1$  hay que escribir 1, para  $p_2$  hay que escribir 2, etc. A continuación se debe pulsar la tecla `[ENTER]` para confirmar el valor escrito. En la zona *Table of Plant Uncertain Parameters*, se destacan en color negro los valores del parámetro seleccionado.

Supóngase que el parámetro seleccionado en el campo `#` ha sido  $p_1$ . Para introducir su valor máximo se debe escribir 19.8 en el campo `pmax(1)` y pulsar `[ENTER]`. Para introducir su valor nominal se debe escribir 10 en el campo `pnom(1)` y pulsar `[ENTER]`. Asimismo, para introducir su valor mínimo se debe escribir 2.3 en el campo `pmin(1)` y pulsar `[ENTER]`. Obsérvese, como en la zona *Table of Plant Uncertain Parameters* van apareciendo los correspondientes valores asociados a cada parámetro cada vez que se pulsa `[ENTER]`.

La configuración de los valores de los otros cuatro parámetros inciertos  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  y  $p_5$  se realizaría de forma análoga a la descrita para el parámetro  $p_1$ . Cuando se termine de introducir los valores de todos los parámetros para pasar al paso 2 de la etapa de configuración se debe pulsar sobre el botón `OK` que aparece en la parte inferior de la zona *Configure Plant Uncertain Parameters*.

#### 4.1.1.2 Paso 2: Configuración del denominador de la planta

Si en la zona *Configuration Steps* se encuentra destacado en rojo el mensaje `Step 2: Configure plant denominator`, entonces el usuario puede configurar la estructura del

denominador de la planta. Para ello debe hacer clic sobre el botón `Configure` en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.1), escribir

$$'1, p(1), p(2), p(3) '$$

en el cuadro de diálogo `Plant denominator` y pulsar `OK`. El usuario puede comprobar en la zona `Plant transfer function` que el denominador que ha introducido para la planta es el correcto.

#### **4.1.1.3 Paso 3: Configuración del numerador de la planta**

Si en la zona `Configuration Steps` se encuentra destacado en rojo el mensaje `Step 3: Configure plant numerator`, entonces el usuario puede configurar la estructura del numerador de la planta. Para ello debe hacer clic sobre el botón `Configure` en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.1), escribir

$$'1, p(4), p(5) '$$

en el cuadro de diálogo `Plant numerator` y pulsar `OK`. El usuario puede comprobar en la zona `Plant transfer function` que el numerador que ha introducido para la planta es el correcto.

#### **4.1.1.4 Paso 4: Configuración del conjunto de frecuencias de trabajo**

Si en la zona `Configuration Steps` se encuentra destacado en rojo el mensaje `Step 4: Configure work frequencies set`, entonces el usuario puede configurar el número de integradores o derivadores de la planta, si los tuviera, y el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$ .

De acuerdo con (4.1) la planta no tiene ni integradores ni derivadores, por lo que no es necesario introducir ningún valor en el campo `Ni` de la zona *Plant Transfer Function*. Llegados a este punto de la etapa de configuración se recomienda guardar la sesión de trabajo. Para ello se debe pulsar sobre la entrada `Save work session` del menú asociado a la entrada `Load/Save` del menú `Settings`, y en el cuadro de diálogo que aparece se debe escribir el nombre del archivo donde va a guardar la sesión de trabajo, por ejemplo, `example1_conf.ses`.

Falta por configurar el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$ , para ello se debe hacer clic sobre el botón `Configure` en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.4), escribir

[1.5, 3]

en el cuadro de diálogo *Template frequency vector* y pulsar OK.

## 4.1.2 Etapa de análisis

### 4.1.2.1 Cálculo y estudio de los contornos de las plantillas

Una vez finalizada la etapa de configuración, la herramienta pasa automáticamente al modo de trabajo análisis y la ventana cambia de aspecto (ver Figura 2.1). En la zona *Saved Templates* se representan  $\Gamma(1.5)$  (color gris) y  $\Gamma(3)$  (color negro) que han sido calculadas por defecto usando el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$ . De acuerdo con el valor que se visualiza en el campo  $\omega_w$  de la zona *Work Template* la frecuencia de trabajo es  $\omega_w=3$  rad/s.

En la zona *Analysis* se observa que el algoritmo de trabajo es el de Bailey-Hui, y que el valor de su parámetro de configuración es  $Nb=25$ . En consecuencia la plantilla de trabajo  $\Gamma_w(3)$  dibujada en color rojo en la zona *Work Template* es idéntica a  $\Gamma(3)$ . Este hecho se puede poner fácilmente de manifiesto pulsando sobre la casilla cuadrada *Saved* situada en la parte inferior de la zona *Work Template*. En dicho caso, se representarían en color negro sobre el diagrama de Nichols los puntos de  $\Gamma(3)$ , que se observa coinciden exactamente con los puntos de color rojo de  $\Gamma_w(3)$ .

En la zona *Status* los tres indicadores circulares están en verde. Los dos primeros indicadores indican que  $\Gamma_w(3)$  y su contorno han sido calculado con éxito con el algoritmo de trabajo actual. Asimismo el tercer indicador indica que la carga computacional es ligera.

En la zona *Algorithms Information*, aparece la siguiente información<sup>1</sup> relativa a  $\Gamma_w(3)$ :  $N_i=50$ ,  $N_c=50$ ,  $R=100\%$  y  $T_i=3.2 \cdot 10^{-2}$  s. Obviamente como el algoritmo de Bailey-Hui calcula directamente puntos del contorno de  $\Gamma_w(3)$  entonces el rendimiento del algoritmo es del 100%.

Se va a estudiar si es necesario aumentar  $Nb$  para que el contorno de  $\Gamma_w(3)$  quede mejor definido, o si es posible reducir  $Nb$  sin que la forma del contorno cambie significativamente. Para ello simplemente hay que situar el puntero del ratón sobre el segmento vertical de color rojo del slider  $Nb$  ubicado en la zona *Analysis* y manteniendo

<sup>1</sup> Se debe tener en cuenta que los valores que aparecen para  $T_i$  o  $T_c$  en este Capítulo, pueden variar en función de las características de la computadora donde se ejecute TIG. En consecuencia también variará los valores de  $Nb$ ,  $Nk$ ,  $Nf$ , *Weight*, *Factor X* y *Factor Y* para los que TIG tiene carga pesada.

pulsado el botón izquierdo del ratón arrastrar el segmento a la izquierda para reducir el valor de  $Nb$  o la derecha para aumentar su valor.

Se observa que conforme se aumenta el valor de  $Nb$  aparecen más puntos en el contorno, pero este tampoco cambia significativamente su forma. Quizás un buen valor sería  $Nb=50$  para dejar un poco mejor definidos los lados del contorno  $\Gamma_w(3)$  (ver Figura 4.1). Para salvar esta plantilla en la zona *Saved Templates* se debe pulsar el botón *Save* situado en la parte superior de la zona *Work Template*.

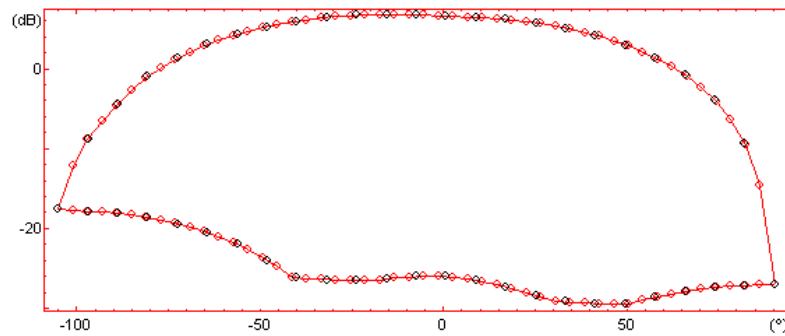


Figura 4.1.  $\Gamma_w(3)$  (color rojo) calculada con el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=50$  y  $\Gamma(3)$  (puntos de color negro) calculada con el mismo algoritmo considerando  $Nb=25$

Si se hiciese  $Nb > 414$  se entraría en una situación de carga computacional pesada y el slider asociado a  $Nb$  desaparecería. En dicho caso para cambiar el valor de  $Nb$  se debe escribir el valor deseado en el campo asociado a dicho parámetro.

Se va a demostrar que efectivamente el algoritmo de Bailey-Hui genera para este problema un contorno no conservativo de  $\Gamma_w(3)$ . Para ello se va a obtener  $\Gamma_w(3)$  usando el algoritmo de grid. Se debe seleccionar la entrada *Grid algorithm configuration* del menú *Settings*. Aparece un cuadro de diálogo donde se visualiza

$$[2 * \text{ones}(1, 5)]$$

Luego,  $Np_j=2$  para  $j=1, \dots, 5$ . Para estos valores de acuerdo con (1.9) se obtendría una  $\Gamma_w(3)$  con  $N_t=2^5=32$  puntos, lo que resulta claramente insuficiente para poder realizar una buena comparación. Es importante recordar que el número máximo de puntos que puede calcular TIG usando este algoritmo es  $N_t=10000$ . Por ello se va a tomar, por ejemplo,  $Np_j=6$ , con lo que el número de puntos que tendría la plantilla sería  $N_t=6^5=7776$  puntos. Para conseguir este valor en el cuadro de diálogo se debe escribir

```
[ 6*ones(1,5) ]
```

o si se prefiere

```
[ 6, 6, 6, 6, 6 ]
```

y pulsar en OK. En la pantalla aparece otro cuadro de diálogo que contiene el siguiente mensaje

```
The approximate time to compute 7776 points is less than 1 minute
```

Tras pulsar en OK, TIG comienza a calcular  $\Gamma_w(3)$  usando el algoritmo de grid con la configuración establecida. Al finalizar, en la zona *Work Template* se dibujan en color marrón los puntos de  $\Gamma_w(3)$ . Además se unen en línea continua los puntos del contorno de  $\Gamma_w(3)$ , que recuérdese han sido obtenidos por TIG usando el algoritmo de Montoya.

En la zona *Algorithms Information*, aparece la siguiente información relativa  $\Gamma_w(3)$  calculada con el algoritmo de grid:  $N_t=7776$ ,  $N_c=94$ ,  $R=1.22\%$ ,  $T_t=21.547$  s y  $T_c=1.063$  s.

Para visualizar el contorno de  $\Gamma_w(3)$  obtenido anteriormente con el algoritmo de Bailey-Hui tomando  $N_b=50$ , simplemente se debe hacer clic en la casilla cuadrada *Bailey* situada en la parte inferior de la zona *Work Template*. Dicha zona toma el aspecto que se muestra en la Figura 4.2. Se observa que el contorno obtenido por el algoritmo de Bailey-Hui con  $N_b=50$  es una magnífica aproximación del contorno real de la plantilla, ya que la distribución de los puntos obtenidos con el algoritmo de grid parece sugerir que falta otro cúmulo de puntos en la parte superior de la plantilla. Dicho cúmulo seguramente se obtendría si se aumentase el valor de  $N_{p_j}$ .

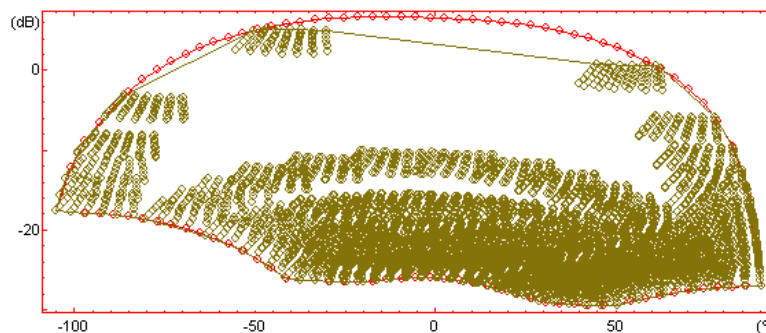


Figura 4.2.  $\Gamma_w(3)$  (color rojo) calculada con el algoritmo de Bailey-Hui con  $N_b=50$  y  $\Gamma_w(3)$  (color marrón) calculada con el algoritmo de grid con  $N_{p_j}=6$

Una vez realizada la comparación, se va a establecer de nuevo que el algoritmo de trabajo sea el de Bailey-Hui. Para ello únicamente hay que seleccionar la opción `Bailey-Hui`, en `Work Algorithm` en la zona *Analysis*.

Se va a cambiar ahora de frecuencia de trabajo, para ello en la zona *Frequencies* se va pulsar sobre el segmento de color gris, con lo que  $\omega_w=1.5$  rad/s. En la zona *Saved Templates* ahora se han dibujado en color negro  $\Gamma(1.5)$  que fue calculada, al pasar al modo de trabajo configuración, con el algoritmo de Bailey-Hui considerando  $Nb=25$ .

Por su parte en la zona *Work Template* se ha dibujado  $\Gamma_w(1.5)$  con  $Nb=50$ , que es el último valor que se había asignado a dicho campo en esta sesión de trabajo. Se puede dibujar en el diagrama de Nichols  $\Gamma(1.5)$  haciendo clic en la casilla `Bailey`. Al compararla con  $\Gamma_w(1.5)$  (ver Figura 4.3) se observa que son bastante semejantes, por lo que no es necesario modificar  $\Gamma(1.5)$ .

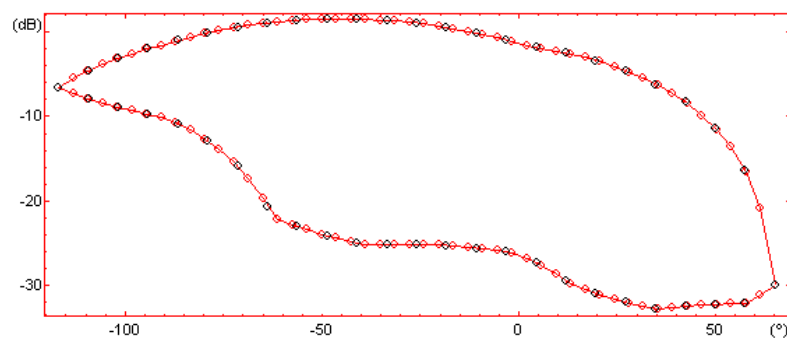


Figura 4.3.  $\Gamma_w(1.5)$  (color rojo) calculada con el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=50$  y  $\Gamma(1.5)$  (puntos de color negro) calculada con el mismo algoritmo considerando  $Nb=25$

A lo largo de este ejemplo en la zona *Work Template* se ha estado visualizando el diagrama de Nichols, pero si el usuario lo prefiere puede visualizar el plano complejo, sólo debe seleccionar la entrada `Complex plane` del menú que se despliega al seleccionar la entrada `Options plot` del menú `Settings`.

Una vez obtenidos los dos contornos deseados, se recomienda guardar la sesión de trabajo, usando la entrada `Save work session` del menú `Settings`, por si en el futuro se desea modificar los contornos obtenidos o calcular contornos a otras frecuencias.

Asimismo si se desea exportar los contornos salvados en la zona *Saved Templates* a las herramientas QFTIT o Matlab se pueden usar las entradas correspondientes del menú que se despliega al seleccionar la entrada *Load/Save* del menú *Settings*.

#### **4.1.2.2 Estudio de la variación de la forma de una plantilla en función de la frecuencia**

Una de las posibilidades que ofrece la interactividad de TIG es la de estudiar el cambio en la forma de una plantilla que se produce al modificar la frecuencia. Este estudio es interesante para seleccionar el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$ , ya que una regla básica de la metodología QFT es que para una especificación dada su curva de restricción cambiará si cambia la forma de la plantilla. Por lo tanto, bastaría con considerar aquellas frecuencias donde la forma de la plantilla presente variaciones apreciables en su forma.

Para poder realizar el estudio del cambio de forma de una plantilla en función de la frecuencia el usuario simplemente debe pulsar en la casilla cuadrada *Move frequencies* (visible si la carga computacional es ligera) situada en la parte superior de la zona *Frequencies*, posicionar el puntero del ratón sobre uno de los segmentos verticales presentes en el eje de frecuencias y arrastrarlo a la derecha o a la izquierda para aumentar o disminuir, respectivamente, la frecuencia de trabajo. Simultáneamente se visualiza en la zona *Saved Templates*  $\Gamma(\omega_w)$ , que se obtiene con el algoritmo de Bailey-Hui considerando  $Nb=25$ , y en la zona *Work Template*  $\Gamma_w(\omega_w)$ , que se obtiene con el algoritmo de trabajo actual.

En el caso del ejemplo considerado, se va a analizar la forma de la plantilla en el rango de frecuencias  $[0.001, 1000]$  (rad/s). Como el rango actual en el eje de frecuencias de la zona *Frequencies* es  $[0.1, 100]$  (rad/s), es necesario cambiarlo. Para ello se debe seleccionar la entrada *Template frequency range* del menú que se despliega al seleccionar la entrada *Frequency range* del menú *Settings*. En el cuadro de diálogo que aparece se debe escribir  $0.001, 1000$  y pulsar *OK*.

Se pulsa en la casilla *Move frequencies*, para poder mover los dos segmentos verticales en el eje de frecuencia de la zona *Frequencies*. Si se arrastra hacia la izquierda el segmento posicionado en  $\omega=1.5$  rad/s se observa en la zona *Saved Templates* (ver Figura 4.4) que conforme disminuye  $\omega_w$  hacia 0.001 rad/s entonces  $\Gamma(\omega_w)$  tiende hacia una aparente línea vertical situada sobre  $0^\circ$  (si se compara con  $\Gamma(3)$ ). En la zona *Work Templates* se observa que no existe dicha línea vertical sino que  $\Gamma_w(0.001)$  tiene forma de “pistola” con una anchura menor de  $1^\circ$ .



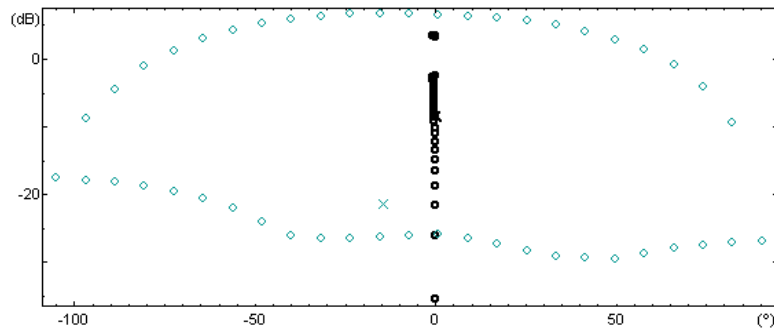


Figura 4.4.  $\Gamma(0.001)$  (color negro) y  $\Gamma(3)$  (color azul) calculadas con el algoritmo de Bailey-Hui considerando  $N_b=25$ .

Por otra parte, si se arrastra hacia la derecha el segmento posicionado en  $\omega=3$  rad/s, se observa que aproximadamente en el rango de frecuencias  $[3.7, 12.2]$  (rad/s) la herramienta no puede calcular la plantilla usando el algoritmo de Bailey-Hui ya que existen combinaciones de valores de los parámetros inciertos que hace que se anule el denominador de la planta (4.1). En consecuencia la plantilla estaría no acotada. Esta situación se pone de manifiesto por que en la zona *Saved Templates* en vez de  $\Gamma(\omega_w)$  se visualiza únicamente el punto nominal. Asimismo la zona *Work Template* está vacía, y en la zona *Status* aparece un único indicador circular en color rojo con el mensaje `Template: Error!`.

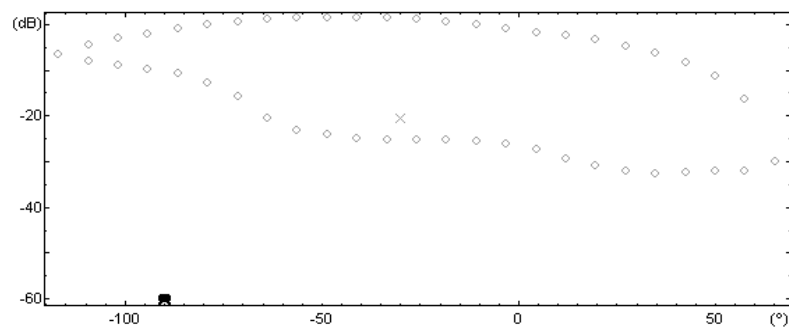


Figura 4.5.  $\Gamma(1.5)$  (gris) y  $\Gamma(1000)$  (color negro) calculadas con el algoritmo de Bailey-Hui considerando  $N_b=25$ .

Finalmente se observa que conforme aumenta la frecuencia por encima de  $\omega=12.1$  rad/s la anchura de la plantilla tanto en fase como en magnitud disminuye. De hecho para  $\omega_w=1000$  rad/s en la zona *Saved Templates* (ver Figura 4.5)  $\Gamma(1000)$  parece ser un punto, aunque en la zona *Work Template* se aprecia que  $\Gamma_w(1000)$  no es un punto sino que en

realidad encierra un área muy pequeña. Su valor en magnitud está comprendido entre -60.00 dB y - 59.99 dB, mientras que su valor en fase está comprendido entre -90.41° y -89.27°. Estos valores se visualizan en la barra de estado al posicionar el puntero del ratón sobre los puntos extremos de  $\Gamma_w(1000)$ .

#### **4.1.2.3 Estudiar gráficamente la posición del punto nominal de las plantillas en función de los valores nominales de los parámetros inciertos de la planta.**

Otra de las posibilidades que ofrece la interactividad de TIG es la de estudiar la posición del punto nominal de las plantillas y de los polos y ceros de la planta nominal en función de los valores nominales de los parámetros inciertos de la planta.

Para poder realizar este estudio se debe mostrar en la ventana de la herramienta la zona *Nominal Poles-Zeroes map*. Recuérdese que esta zona se visualiza seleccionando la opción `Show nominal poles-zeroes map` del menú asociado a la entrada `Options plot` del menú `Settings`.

El usuario debe primero seleccionar en el campo # de la zona *Plant Uncertain Parameters* el número del parámetro  $p_j$  cuyo valor nominal desea modificar. Y a continuación arrastrar a derecha o a izquierda el segmento vertical de color negro asociado a  $p_j^0$  en el slider  $p(\#)$ . Simultáneamente en el campo  $p_{nom}(\#)$  de esa misma zona aparece el valor nominal que se está configurando. Además en la zona *Saved Templates* se desplaza el valor nominal (representado con 'x') de cada  $\Gamma(\omega_i)$   $\omega_i \in \Omega$ . Asimismo en la zona *Nominal Poles-Zeroes Map* se desplazan en el plano complejo los polos ('x') y los ceros ('o') de la planta nominal.

Supóngase que se ha reiniciado la herramienta pulsando las teclas `[ctrl]+[n]`. TIG lleva implementada por defecto la planta (4.1). Supóngase, además, que se escribe el valor 1 en el campo # de la zona *Plant Uncertain Parameters* y se pulsa la tecla `[ENTER]`. En los restantes campos de esa zona se muestran los valores máximo (19.8), nominal (10) y mínimo (2.3) del parámetro  $p_1$  de la planta (4.1). Si se posiciona el puntero del ratón sobre los puntos nominales 'x' de las plantillas salvadas en la zona *Saved Templates* se puede observar en la barra de estado las coordenadas de dichos puntos: [-30.16°, -20.39 dB] para el punto nominal de  $\Gamma(1.5)$  y [-14.58°, -21.35 dB] para el punto nominal de  $\Gamma(3)$ .

Asimismo se observa en la zona *Nominal Poles-Zeroes Map* que la planta nominal posee dos ceros simples ( $s=-6.55$ ,  $s=-1.45$ ), un polo real ( $s=-0.26$ ) y un par de polos

complejos conjugados ( $s=-4.87 \pm j8.59$ ). Estos valores pueden ser leídos en la barra de estado simplemente posicionando el ratón sobre un cero o un polo.

Si se desplaza en el slider  $p(\#)$  el segmento negro asociado al valor nominal 10 hacia la izquierda hasta el segmento de color azul asociado al valor mínimo 2.3. Se observa que los puntos nominales de las plantillas  $\Gamma(1.5)$  y  $\Gamma(3)$  se desplazan prácticamente en línea recta hacia la derecha. Sus nuevas posiciones son  $[-23.44^\circ, -20.47 \text{ dB}]$  para el punto nominal de  $\Gamma(1.5)$  y  $[0.29^\circ, -21.18 \text{ dB}]$  para el punto nominal de  $\Gamma(3)$ . Asimismo se observa en el mapa de polos y ceros que los polos complejos también se han desplazado hacia la derecha, sus nuevas posiciones son  $s=-1.02 \pm j9.92$ . Mientras que el polo real prácticamente permanece en la misma posición  $s=-0.25$ .

Por otro lado, si se desplaza en el slider  $p(\#)$  el segmento negro asociado al valor nominal hacia la derecha hasta el segmento de color rojo asociado al valor máximo 19.8. Se observa que los puntos nominales de las plantillas  $\Gamma(1.5)$  y  $\Gamma(3)$  se desplazan hacia la izquierda. Sus nuevas posiciones son  $[-38.73^\circ, -20.46 \text{ dB}]$  para el punto nominal de  $\Gamma(1.5)$  y  $[-30.49^\circ, -22.31 \text{ dB}]$  para el punto nominal de  $\Gamma(3)$ . Asimismo se observa en el mapa de polos y ceros que los polos complejos también se han desplazado hacia la izquierda y han pasado a ser dos polos reales  $s=-10.52$  y  $s=-9.015$ . Mientras que el polo real original prácticamente permanece en la misma posición  $s=-0.26$ .

Estudios similares pueden realizarse con los valores nominales de los restantes parámetros.

#### **4.1.2.4 Estudio de la variación de la forma de una plantilla en función de la incertidumbre de los parámetros**

Otra de las posibilidades que ofrece la interactividad de TIG es la de estudiar la variación de la forma de una plantilla en función de la incertidumbre de sus parámetros.

Supóngase que se ha reiniciado la herramienta pulsando las teclas `[ctrl]+[n]`. TIG lleva implementada por defecto la planta (4.1). Si se posiciona el puntero del ratón en los puntos extremos de  $\Gamma_w(3)$  en *Work Template* se puede comprobar que la anchura en fase de  $\Gamma_w(3)$  es  $195.41^\circ$  y su anchura en magnitud es  $36.16 \text{ dB}$ .

Se va estudiar, por ejemplo, como se modifica la forma de  $\Gamma_w(3)$  al reducir la incertidumbre de  $p_5$ . En primer lugar se debe fijar la escala en la zona *Work Template* (opción `Fix scale` del menú `Settings/Options plot`). A continuación en el slider

$p(\#)$  de la zona *Plant Uncertain Parameters* asociado a  $p_5$  hay que desplazar los segmentos azul (asociado a  $p_5^{\min}$ ) y rojo (asociado a  $p_5^{\max}$ ) hasta superponerlo sobre el segmento negro (asociado a  $p_5^0$ ). En los campos correspondientes se observa que la diferencia entre estos tres valores es del orden de 0.0001, con lo que se puede considerar que la incertidumbre en este parámetro es despreciable. El usuario ha podido observar en la zona *Work Template* como  $\Gamma_w(3)$  ha reducido apreciablemente su anchura en fase, que ahora es 174.07. Mientras que su anchura en magnitud se ha modificado ligeramente pasando a ser 35.4.

Estudios similares pueden realizarse con los restantes parámetros  $p_j, j=1, \dots, 4$ .

## 4.2 EJEMPLO 2

En este ejemplo se va a considerar la siguiente planta propuesta originariamente en [Fu, 90]:

$$P(s, p) = \frac{s^2 + (0.4 \cdot p_1 + 0.2 \cdot p_2 + 4) \cdot s + (p_1 - p_3 + 20)}{s^3 + (0.5 \cdot p_1 - 0.5 \cdot p_2 + 0.5 \cdot p_3 + 9.5) \cdot s^2 + (2.0 \cdot p_1 + p_2 + 27) \cdot s - p_1 + p_3 + 22.5} \quad (4.5)$$

Esta planta posee 3 parámetros inciertos:

$$\{p_1, p_2, p_3\} \in [-3, 3] \quad (4.6)$$

Asimismo se consideran que sus valores nominales son:

$$p_1^0 = 1.5, p_2^0 = -1.5, p_3^0 = 1.5 \quad (4.7)$$

Se supone que el conjunto de frecuencias de trabajo es:

$$\Omega = \{0.2, 1, 3\} \text{ (rad/s)} \quad (4.8)$$

Se desean obtener los contornos de las plantillas  $\Gamma(0.2)$ ,  $\Gamma(1)$  y  $\Gamma(3)$ .

Se observa en (4.5) que los parámetros inciertos del numerador son los mismos que los del denominador. Por lo tanto, el algoritmo de Bailey-Hui, generaría contornos conservativos para las plantillas. De los tres algoritmos restantes disponibles en la herramienta el más apropiado es el algoritmo de Fu. Así este ejemplo va a servir principalmente para aprender a realizar con TIG las siguientes acciones:

- Calcular las plantillas usando el algoritmo de Fu.
- Ajustar los parámetros *Weight*, *Factor X* y *Factor Y* del algoritmo de Montoya para la obtención de los contornos de las plantillas.
- Eliminación de puntos de una plantilla.

## 4.2.1 Etapa de configuración

Para resolver este problema hay que introducir en TIG toda la información asociada al mismo. Así en primer lugar hay que arrancar la herramienta (sino lo estaba ya) haciendo doble clic sobre el fichero `tig.exe`. A continuación se debe pasar al modo de trabajo *configuración*.

### 4.2.1.1 Paso 1: Configuración de los parámetros inciertos de la planta

Una posible forma de realizar este paso es pulsar sobre el botón `Configure` de la zona *Configurations Steps*, aparece entonces el cuadro de diálogo `Plant uncertain parameters` que permite introducir los valores mínimos, máximos y nominales de los parámetros inciertos de la planta. De acuerdo con (4.6) y (4.7) se debe escribir

$$[-3 \ 3 \ 1.5; -3 \ 3 \ -1.5; -3 \ 3 \ 1.5]$$

y hacer clic en `OK`. La herramienta pasa automáticamente al paso 2 de la etapa de configuración.

### 4.2.1.2 Paso 2: Configuración del denominador de la planta

Para configurar la estructura del denominador de la planta se debe pulsar sobre el botón `Configure` en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.5), escribir

$$'1, 0.5p(1) - 0.5p(2) + 0.5p(3) + 9.5, 2.0p(1) + p(2) + 27, -p(1) + p(3) + 22.5'$$

en el cuadro de diálogo `Plant denominator` y pulsar `OK`. La herramienta pasa automáticamente al paso 3 de la etapa de configuración.

El usuario puede comprobar en la zona *Plant transfer function* que el denominador que ha introducido para la planta es el correcto. Puesto que el tamaño del denominador supera el tamaño de la zona éste se muestra parcialmente. El usuario puede pulsar sobre los manipuladores triangulares de color rojo para desplazar a izquierda o a derecha la expresión del denominador y así visualizar todos sus términos.

#### 4.2.1.3 Paso 3: Configuración del numerador de la planta

Para configurar la estructura del numerador de la planta se debe pulsar sobre el botón *Configure* en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.5), escribir

$$'1, 0.4p(1)+0.2p(2)+4, p(1)-p(3)+20'$$

en el cuadro de diálogo *Plant numerator* y pulsar *OK*. La herramienta pasa automáticamente al paso 4 de la etapa de configuración.

#### 4.2.1.4 Paso 4: Configuración del conjunto de frecuencias de trabajo

Como la planta (4.5) no tiene ni integradores ni derivadores no es necesario introducir ningún valor en el campo *Ni* de la zona *Plant Transfer Function*. Llegados a este punto de la etapa de configuración se recomienda guardar la sesión de trabajo. Para ello se debe pulsar sobre la entrada *Save work session* del menú asociado a la entrada *Load/Save* del menú *Settings*, y en el cuadro de diálogo que aparece se debe escribir el nombre del archivo donde va a guardar la sesión de trabajo, por ejemplo, *example2\_conf.ses*.

Falta por configurar el conjunto de frecuencias de trabajo  $\Omega$ , para ello debe pulsar sobre el botón *Configure* en la zona *Configuration Steps* y, de acuerdo con (4.8), escribir

$$[0.2, 1, 3]$$

en el cuadro de diálogo *Template frequency vector* y pulsar *OK*.

### 4.2.2 Etapa de análisis

#### 4.2.2.1 Cálculo y estudio de los contornos de las plantillas

Una vez finalizada la etapa de configuración, la herramienta pasa automáticamente al modo de trabajo análisis y la ventana cambia de aspecto (ver Figura 4.6). En la zona *Saved Templates* se observan los contornos de  $\Gamma(0.2)$  (color gris),  $\Gamma(1)$  (color azul-verde) y  $\Gamma(3)$  (color negro) calculados usando el algoritmo de Bailey-Hui con  $Nb=25$ . Asimismo en la zona *Work Template* se dibuja  $\Gamma_w(3)$  en color rojo. De acuerdo con la zona *Analysis*  $\Gamma_w(3)$  ha sido calculada usando el Bailey-Hui con  $Nb=25$ .

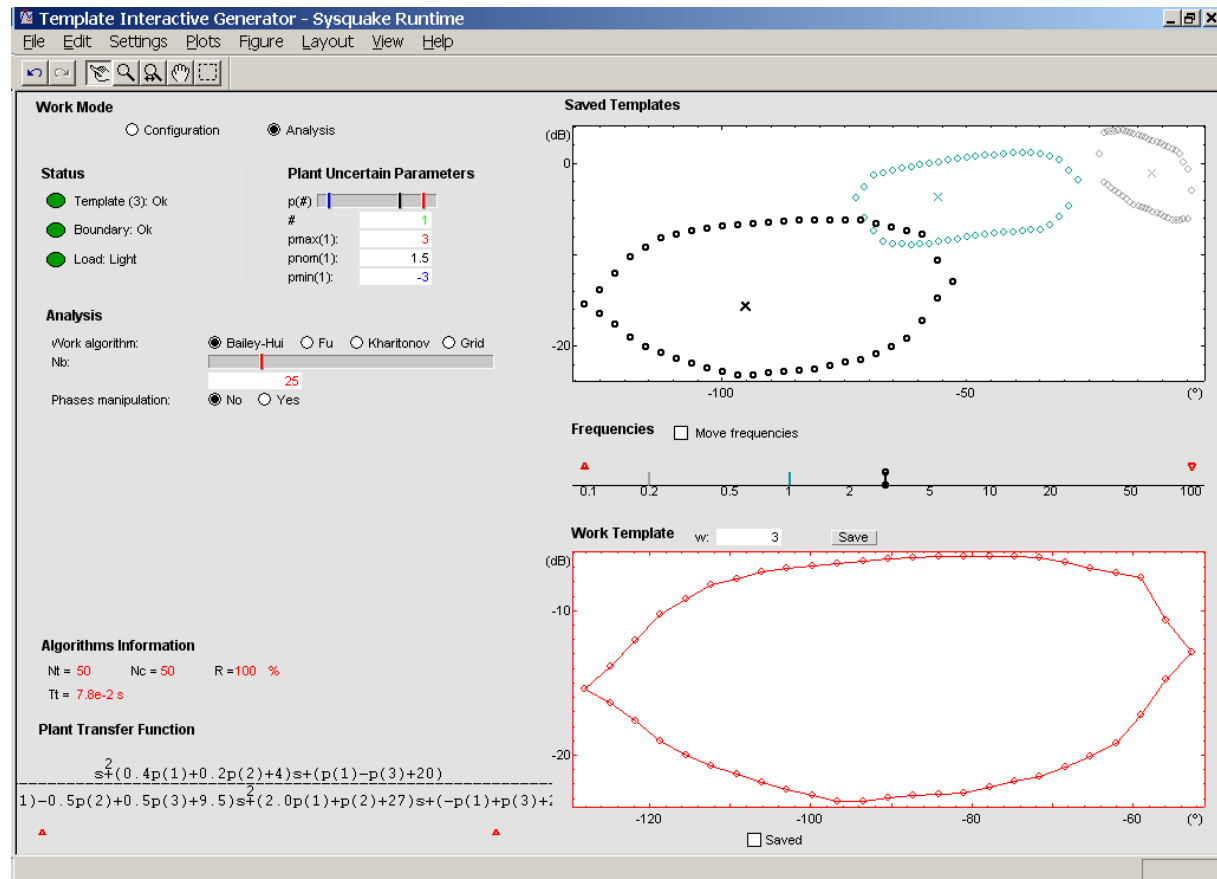


Figura 4.6: Aspecto que presenta la ventana de TIG al pasar al modo de trabajo análisis

Para calcular  $\Gamma_w(3)$  usando el algoritmo de Fu se debe pulsar sobre la casilla circular Fu de Work Algorithm en la zona Analysis. Instantáneamente en la zona Work Template aparecen representados en color verde los puntos de  $\Gamma_w(3)$  obtenidos con dicho algoritmo considerando  $N_f=5$ , que recuérdese es el valor por defecto. Asimismo se representa con línea continua de color verde el contorno de  $\Gamma_w(3)$  obtenido por el algoritmo de Montoya con  $Weight=1$ ,  $Factor X=1$  y  $Factor Y=1$ . Se observa que dicho contorno no es el correcto, ya que no incluye todos los puntos del lado derecho de  $\Gamma_w(3)$ . Se puede demostrar que con haciendo  $Factor X=5$  y  $Weight=0.16$  se obtiene el contorno correcto.

En la zona Algorithms Information se pueden leer los siguientes datos relativos a  $\Gamma_w(3)$ . Consta de  $N_t=60$ , su contorno actual está formado por  $N_c=21$ , en consecuencia el rendimiento es  $R=35\%$ . El tiempo que se ha empleado en obtener  $\Gamma_w(3)$  ha sido  $T_t=0$  s (es decir, inferior a  $10^{-2}$ s) y en obtener su contorno  $T_c=0$  s.

Se va a analizar si es necesario aumentar o si es posible reducir el número de puntos de  $\Gamma_w(3)$ . Para ello en primer lugar se va a salvar  $\Gamma_w(3)$  en la zona Saved Templates,

pulsando para ello el botón *Save* ubicado en la parte superior de la zona *Work Template*. A continuación, se pulsa sobre la casilla cuadrada *Saved* ubicada en la parte inferior de esa misma zona. Así en el diagrama de Nichols aparecen representados en color negro los puntos de  $\Gamma(3)$ .

Acto seguido se arrastra hacia la derecha el slider *Nf* ubicado en la zona *Analysis*. Se observa que conforme se va aumentando el valor de *Nf* tanto  $\Gamma_w(3)$  como su contorno constan de más puntos. Sin embargo la forma del contorno tampoco cambia significativamente. Quizás un buen valor sea *Nf*=8, que produce un total de  $N_T=96$  y  $N_C=36$ .

Una vez finalizado este análisis se desactiva la casilla *Saved*. A continuación se deben borrar los puntos interiores de  $\Gamma_w(3)$ , para ello se debe pulsar primero sobre la casilla circular *Select(All)* de *Operate on interior points* en la zona *Analysis* y luego sobre el botón *Remove*. En el diagrama de Nichols únicamente se representa el contorno de  $\Gamma_w(3)$ . Dicho contorno se debe salvar en la zona *Saved Templates* pulsando el botón *Save*.

Se puede comprobar muy fácilmente que el algoritmo de Bailey-Hui genera un contorno conservativo para  $\Gamma_w(3)$  si los parámetros inciertos del numerador son dependientes de los del denominador, como es el caso de la planta (4.5) considerada en este ejemplo. Para ello simplemente hay que pulsar sobre la casilla cuadrada *Bailey* ubicada en la parte inferior de *Work Template*. En el diagrama de Nichols de dicha zona (ver Figura 4.7) se representan en color rojo los puntos de  $\Gamma_w(3)$  calculada con el algoritmo de Bailey-Hui considerado *Nb*=25 y en color verde los puntos del contorno de  $\Gamma_w(3)$  calculada con el algoritmo de Fu con *Nf*=8 y el algoritmo de Montoya.

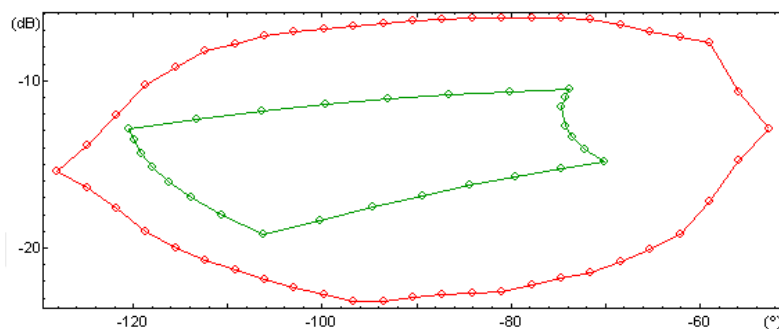


Figura 4.7.  $\Gamma_w(3)$  (color rojo) calculada con el algoritmo de Bailey-Hui con *Nb*=25 y  $\Gamma_w(3)$  (color verde) calculada con el algoritmo de Fu con *Nf*=8 y el algoritmo de Montoya



Se va a cambiar ahora de frecuencia de trabajo, para ello en la zona *Frequencies* se va a pulsar sobre el segmento de color azul. La frecuencia de trabajo pasa a ser  $\omega_w=1$  rad/s. En la zona *Saved Templates* ahora se han dibujado en color negro los puntos de  $\Gamma(1)$ , que recuérdese fue calculada, al pasar al modo de trabajo configuración, con el algoritmo de Bailey-Hui considerando  $N_b=25$ .

Asimismo en la zona *Work Template* se ha representado en color verde los puntos de  $\Gamma_w(1)$  calculada con el algoritmo de Fu con  $N_f=8$  (que es el valor que se había establecido anteriormente). Sin embargo no se ha dibujado el contorno de dicha plantilla, por eso en la zona *Status* el segundo indicador circular se encuentra en color rojo y presenta el mensaje `Boundary: Error!`. Esto significa que con los valores por defecto *Weight*=1, *Factor X* =1 y *Factor Y*=1 el algoritmo de Montoya no ha sido capaz de encontrar el contorno de  $\Gamma_w(1)$ . En consecuencia se deben modificar los valores de dichos parámetros para obtener el contorno.

Por ejemplo, si se desplaza en la zona *Analysis* el slider *Weight* hacia la izquierda se observa que para *Weight*=0.37 se obtiene un contorno para  $\Gamma_w(1)$ . Sin embargo dicho contorno no pasa por todos los puntos del extremo inferior derecho de la plantilla, sino que traza una línea recta entre los dos puntos extremos de dicho lado. Se puede probar a seguir reduciendo el valor de *Weight* pero se observa que no se obtiene el efecto deseado, más bien al contrario se pierde el contorno. Otra opción sería probar a aumentar el parámetro *Factor X*, es decir a “acercar” los puntos en el eje X. Con *Factor X*=4 se obtiene el contorno deseado.

Se puede estudiar si es posible reducir el número de puntos del contorno de  $\Gamma_w(1)$  sin que éste pierda su forma. Para ello se pulsa el botón *Save* y se hace clic sobre la casilla cuadrada *Saved* en la zona *Work Template*, entonces se representan en color negro los puntos de  $\Gamma(1)$ . A continuación se desplaza el slider *Nf* hacia la izquierda para reducir el valor de *Nf*. Se observa que *Nf*=5 puede ser un buen valor.

Se deben borrar los puntos interiores de la plantilla, para ello se debe hacer clic sobre la casilla circular *Select (All) de Operate on interior points* en la zona *Analysis*. En el diagrama de Nichols (ver Figura 4.8) únicamente se representa el contorno de  $\Gamma_w(1)$ . Este contorno debe ser salvado en la zona *Saved Templates* pulsando el botón *Save*.

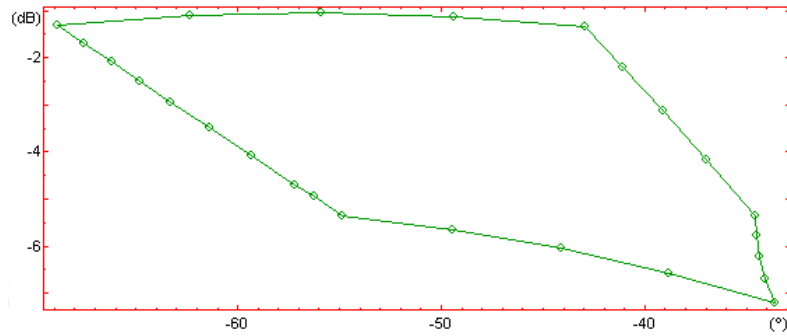


Figura 4.8. Contorno de  $\Gamma_w(1)$  calculada con el algoritmo de Fu con  $Nf=5$  y el algoritmo de Montoya

Falta obtener el contorno de la plantilla para  $\omega_w=0.2$  rad/s, para ello en la zona *Frecuencias* se pulsa sobre el segmento de color gris. La frecuencia de trabajo pasa a ser  $\omega_w=0.2$  rad/s. Procediendo de forma parecida a la descrita en los dos casos anteriores, se puede demostrar que con  $Nf=5$ , *Weight*=1, *Factor X*=1 y *Factor Y*=1 se obtiene el contorno de  $\Gamma_w(0.2)$  (ver Figura 4.9). Se debe salvar dicho contorno en la zona *Saved Templates* pulsando el botón *Save*.

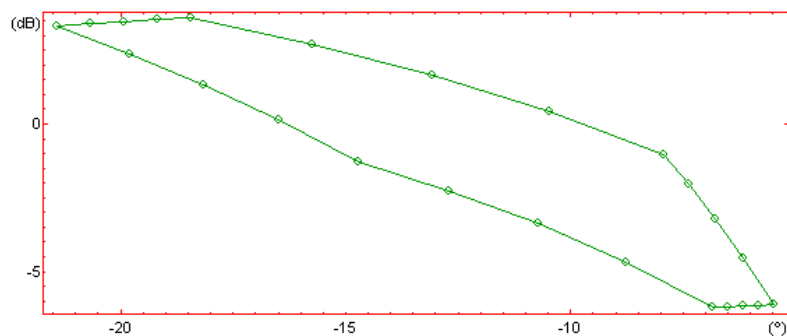


Figura 4.9. Contorno de  $\Gamma_w(0.2)$  calculada con el algoritmo de Fu con  $Nf=5$  y el algoritmo de Montoya

Una vez obtenidos los contornos deseados, se recomienda guardar la sesión de trabajo, usando la entrada *Save work session* del menú *Settings*, por si en el futuro se desea modificar los contornos obtenidos o calcular contornos a otras frecuencias.

Asimismo si se desea exportar los contornos salvados en la zona *Saved Templates* a las herramientas QFTIT o Matlab se pueden usar las entradas correspondientes del menú que se despliega al pinchar la entrada *Load/Save* del menú *Settings*.

### 4.3 EJEMPLO 3

Este ejemplo permite ilustrar como es posible realizar con TIG las siguientes acciones:

- Importar plantillas calculadas en Matlab
- Obtención de los contornos de dichas plantillas.
- Exportar los contornos obtenidos a Matlab.

#### 4.3.1 Importar a TIG plantillas calculadas en Matlab

Supóngase que se ha programado un cierto fichero `.m` para calcular los puntos de algunas plantillas de una cierta planta. Tras ejecutar desde la línea de comandos de Matlab dicho fichero en el entorno de trabajo deben existir, al menos las siguientes variables:

- `P`. Matriz de números complejos (parte real y la parte imaginaria de un punto en el plano complejo), cada columna está asociada a una plantilla.
- `w`. Vector fila con las frecuencias  $\omega_i \in \Omega$  (en rad/s) a las que se han calculado las plantillas.
- `nompt`. Número entero que representa a la fila de la matriz `P` que contiene los puntos de las plantillas asociadas a la planta nominal.

Adicionalmente, si una vez obtenidos los contornos de las plantillas en TIG se desea exportarlos a la herramienta QFTIT, también deberían existir en el entorno de trabajo las siguientes variables:

- `numP0`. Vector fila que contiene los coeficientes del numerador de la planta nominal.
- `denP0`. Vector fila que contiene los coeficientes del denominador de la planta nominal.

Para importar esta información a TIG en primer lugar se debe de crear un fichero `.tmp` que contenga todas estas variables de acuerdo con el formato explicado en la sección 3.2.2. Para generar un archivo de este tipo se debe utilizar la función `mat2tig.m` que se distribuye conjuntamente con la herramienta. El directorio `/tig/fmat` que contiene esta función debe ser añadido al path de Matlab.

Supuesto que la herramienta TIG se encuentra en el disco F: en el directorio `tig` una posible forma de invocar a esta función sería:

```
» mat2tig('F:\\\\tig\\data',P,w,nompt)
```

O

```
» mat2tig('F:\\\\tig\\data',P,w,nompt,numP0,denP0)
```

que crearía el fichero `data.tmp` en el directorio `tig`.

A continuación se debe cargar este fichero en TIG, para ello hay que seleccionar la entrada `Import templates from Matlab` del menú que se despliega al pulsar sobre la entrada `Import/Export` del menú `Settings`. Aparece un cuadro de dialogo en el que hay que seleccionar el fichero que se desea cargar en TIG, en este caso `data.tmp` y pulsar en `OK`.

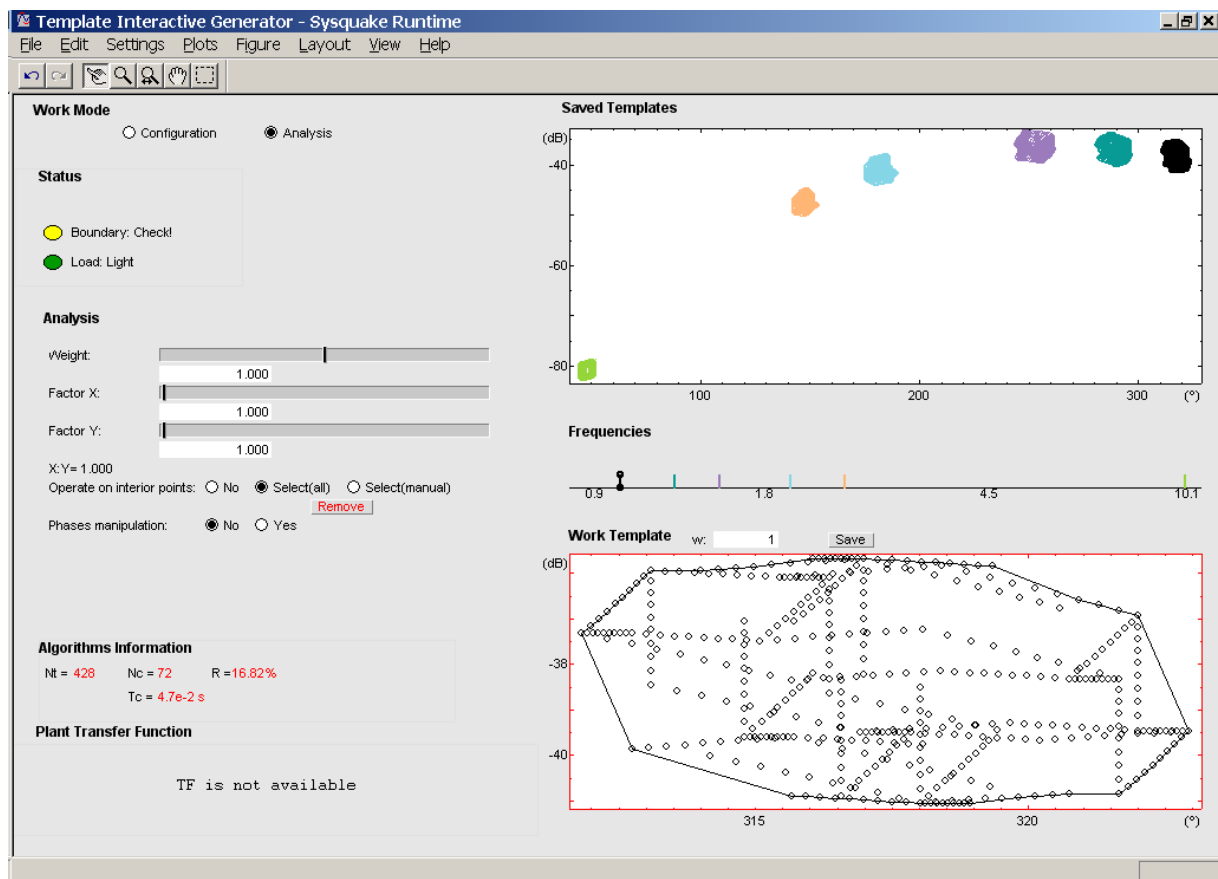


Figura 4.10. Aspecto de la herramienta TIG al importar el fichero `data.tmp`

Supóngase que el fichero `data.tmp` que se ha cargado en TIG es el que se adjunta como ejemplo con esta herramienta. La ventana de la aplicación toma el aspecto que se muestra en la Figura 4.10.

Se observa que cuando se importa un fichero de plantillas en las zonas de la ventana de TIG ya no aparecen algunos elementos. Así, en la zona *Status* no aparece el indicador circular superior asociado al cálculo de las plantillas. En la zona *Analysis* tampoco aparecen las casillas circulares *Work Algorithm*, así como el slider y el campo asociados a sus parámetros de configuración. Tampoco en la zona *Algorithm Information* se muestra el tiempo de cálculo de la plantilla de trabajo  $T_t$ . Asimismo en la zona *Plant Transfer Function* aparece el mensaje “TF is not available”. Obviamente, estos elementos ya no son necesarios puesto que las plantillas ya han sido calculadas en Matlab.

El usuario también debe tener presente que cuando se importan plantillas desde Matlab no es posible desplazar las frecuencias en el eje de la zona *Frequencies*. Asimismo tampoco es posible introducir valores en el campo  $w$  ubicado en la parte superior de la zona *Work Template*.

### 4.3.2 Obtención de los contornos de las plantillas importadas

Se observa en la zona *Saved Templates* que se han importado seis plantillas. En la zona *Work Template* se representan en color negro los puntos de  $\Gamma_w(1)$ . También se representa en línea negra continua el contorno de  $\Gamma_w(1)$  que ha sido obtenido por el algoritmo de Montoya con los valores por defecto. En la zona *Algorithm Information* se muestra la siguiente información  $N_t=428$ ,  $N_c=72$ ,  $R=16.82\%$  y  $T_c=4.7 \cdot 10^{-2}$  s.

Puesto que el contorno obtenido por TIG parece adecuado no es necesario modificar los parámetros de configuración del algoritmo de Montoya. Se puede proceder a eliminar los puntos interiores de  $\Gamma_w(1)$ . Para ello se debe primero seleccionar la opción `Select(all)` de *Operate on interior points* de la zona *Analysis*, y después pulsar el botón *Remove*. En la zona *Work Template* únicamente se representa los puntos del contorno de  $\Gamma_w(1)$ .

Se observa que dicho contorno no posee una distribución de puntos uniforme y que algunos lados podrían quedar igualmente definidos considerando menos puntos. TIG ofrece al usuario la posibilidad de eliminar manualmente los puntos de la plantilla. Para ello debe primero seleccionar la opción `Select(manual)` de *Operate on interior points* de la zona *Analysis*. En segundo lugar manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón debe

trazar en la zona *Work Template* un cuadrado que contenga los puntos que desea eliminar. Finalmente, debe pulsar el botón *Remove*. Procediendo de esta forma se puede llegar a obtener el contorno con  $N_c=18$  que se muestra en la Figura 4.11.

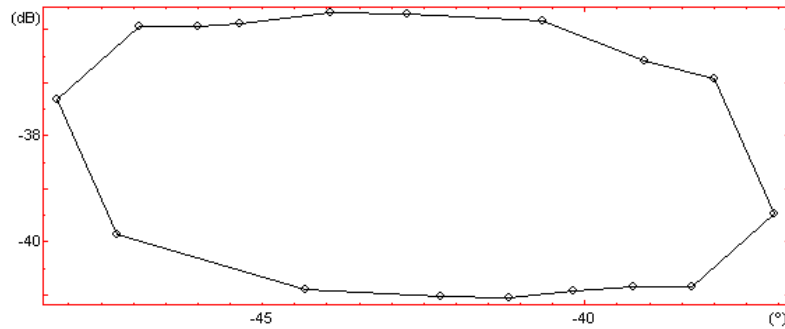


Figura 4.11. Contorno de  $\Gamma_w(1)$

Se observa que el rango de fase del contorno de la plantilla  $[310^\circ, 325^\circ]$  está fuera del habitual de un diagrama de Nichols, es decir,  $[-360^\circ, 0^\circ]$ . TIG ofrece la posibilidad de sumar o restar  $360^\circ$  a los puntos de una plantilla. Para ello se debe hacer clic sobre la opción *Yes* de *Phases manipulation* de la zona *Analysis* y pulsar, en este caso, una vez el botón  $-360^\circ$ . El rango de fases del contorno pasa a ser  $[-50^\circ, -35^\circ]$ .

Se debe salvar en la zona *Saved Templates* el contorno obtenido para ello se debe pulsar el botón *Save*.

El mismo esquema de trabajo se debe aplicar para calcular los contornos de las cinco plantillas restantes.

Una vez obtenidos los contornos deseados, se recomienda guardar la sesión de trabajo, usando la entrada *Save work session* del menú *Settings*, por si en el futuro se desea modificar los contornos obtenidos.

### 4.3.3 Exportar los contornos de las plantillas obtenidos con TIG a Matlab

Para exportar los contornos a Matlab se deben seguir los siguientes pasos. En primer lugar, se debe generar un fichero *.tmo* con los contornos obtenidos con TIG y que se encuentran salvados en la zona *Saved Templates*. Para ello se debe seleccionar la entrada *Export templates to Matlab* del menú que se despliega al hacer clic sobre la entrada *Import/Export* del menú *Settings*. Aparece un cuadrado de diálogo donde se debe

introducir el nombre que se le desea dar al fichero, por ejemplo, `templates.tmo`, seleccionar el directorio donde se va a introducir y pulsar `OK`.

A continuación se debe utilizar la función `tig2mat.m`, que se distribuye conjuntamente con la herramienta, para cargar en el espacio de trabajo de Matlab los contornos que se encuentran almacenados en el fichero `templates.tmo`.

Supuesto que dicho fichero se encuentra en el disco `F`: en el directorio `tig` una posible forma de invocar a esta función desde la línea de comandos sería:

```
>>[P,w,nompt]=tig2mat('F:\\tig\\templates');
```

El significado de las variables `P`, `w` y `nompt` es el mismo que el explicado en la sección 4.3.1.

# REFERENCIAS

- Bailey FN, Hui CH. A fast algorithm for computing parametric rational functions. *IEEE transactions on automatic control*, 34 (11), 1209-1212, 1989.
- Bartlett AC, Tesi A, Vicino A. Frequency response of uncertain systems with interval plants. *IEEE transactions on automatic control*, 38 (6), 929-933, 1993.
- Borghesani C., Chait Y, Yaniv O.. Quantitative Feedback Theory Toolbox - for use with MATLAB. The MathWorks Inc, Natick, MA, 1995.
- Díaz JM, Dormido S, Aranda J. *QFT Robust Control Design by Interactive Approach*. 44th IEEE Conference on Decision and Control, and European Control Conference. 2005. Pp. 1301-1006.
- Fu M. Computing the frequency response of linear systems with parametric perturbation. *Systems & Control Letters*. 15; 45-52, 1990.
- Gutman PO, Baril C, Neumann L. An algorithm for computing value sets of uncertain transfer functions in factored real form. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1995. 29(6), 1268-1273.
- Horowitz IM. *Synthesis of feedback systems*. Academic Press: New York, 1963.
- Horowitz IM. *Quantitative feedback design theory (QFT)*. QFT Publishers 660 South Monaco Dorkway Denver, Colorado. 80224-1229. Ph. 303-321-2839, 1992.
- Horowitz IM. Survey of Quantitative Feedback Theory (QFT). *International Journal of Robust and Non-linear Control*, 2001; 11(10), 887-921.
- Houpis CH, Sating RR, Rasmussen S, Sheldon S. Quantitative Feedback theory technique and applications. *International Journal of Control*, 1992; 59: 39-70.
- Houpis CH, Rasmussen SJ, García-Sanz M. *Quantitative Feedback Theory: fundamentals and applications*. 2<sup>nd</sup> Edición. CRC Taylor & Francis: Boca Ralen, 2006.



Montoya, FJ. *Diseño de sistemas de control no lineales mediante QFT: Análisis computacional y desarrollo de una herramienta CACSD*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Departamento de Informática y Sistemas Informáticos. 1998.

Piguet Y. *Sysquake user manual, version 1.0*. Calerga: Lausanne, Switzerland, 1999.

Yaniv O. *Quantitative feedback design of linear and nonlinear control systems*. Kluwer Academic Publishers: Norwell, Massachusetts, 1999.

