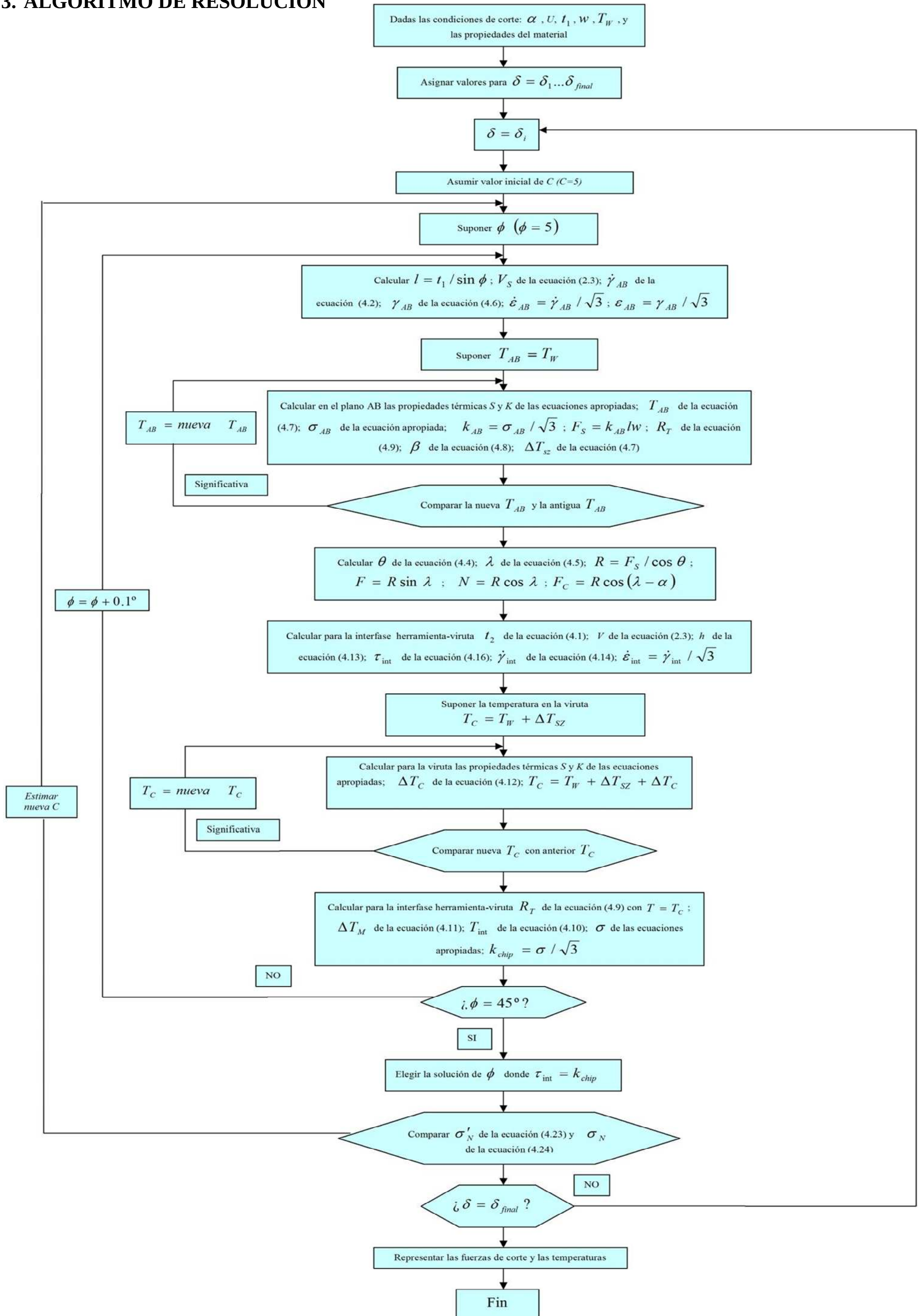


3. ALGORITMO DE RESOLUCIÓN



El algoritmo descrito anteriormente tiene como objetivo obtener los resultados de las fuerzas de corte y las temperaturas, a partir de los parámetros de corte como la velocidad de corte, el espesor de viruta indeformada, la anchura de corte, el ángulo de desprendimiento y la temperatura inicial.

PASO 1

Introducir los parámetros del mecanizado: α , t_1 , w , U y T_w .

PASO 2

Suponer un intervalo para el valor del ratio de espesor de la zona plástica de la interfase herramienta-viruta con respecto al espesor de viruta, δ , teniendo en cuenta que este parámetro tomará en general valores comprendidos entre 0 y 1.

PASO 3

Asumir un valor del coeficiente C , la constante de la velocidad de deformación para la zona de formación de viruta.

PASO 4

Estimar un valor para el ángulo de deslizamiento, ϕ , este valor estará comprendido entre 5 y 45 grados.

PASO 5

Una vez se tienen fijados estos parámetros se pueden calcular las ecuaciones que darán lugar a los resultados. En primer lugar se puede obtener la longitud del plano AB, la velocidad de deformación cortante en AB, la deformación cortante en AB, la velocidad de deformación en AB y la deformación efectiva en AB, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$l = t_1 / \sin \phi$$

$$V_s = \frac{U \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

$$\dot{\gamma}_{AB} = C \frac{V_s}{l}$$

$$\gamma_{AB} = \frac{1}{2} \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)}$$

$$\dot{\epsilon}_{AB} = \dot{\gamma}_{AB} / \sqrt{3}$$

$$\epsilon_{AB} = \gamma_{AB} / \sqrt{3}$$

Tras realizar estos cálculos se supone la temperatura en AB, (T_{AB}). Para la primera iteración se asume que este valor es igual a la temperatura inicial, (T_w) que se considera que es la temperatura ambiente.

PASO 6

Calcular las propiedades térmicas del material de trabajo, el calor específico, S y la conductividad térmica, K que dependen de la temperatura T_{AB} a través de las ecuaciones:

$$S[J/(KgK)] = 420 + 0.504T_{AB}[^{\circ}C]$$

$$K[W/(mK)] = 54.17 - 0.02987T_{AB}[^{\circ}C]$$

Para un acero de composición química 0.20% C, 0.15% Si, 0.015% S, 0.72% Mn, 0.015% Al.

$$K[W/(mK)] = 52.61 - 0.0281T_{AB}[^{\circ}C]$$

Para un acero de composición química 0.38% C, 0.1% Si, 0.77% Mn, 0.015% P.

Calcular la tensión de fluencia en AB, (σ_{AB}) a partir de la ley de Johnson-Cook, que depende de la temperatura en AB, de la temperatura ambiente, de la deformación efectiva en AB, de la velocidad de deformación en AB y además de la temperatura de fusión que es propia del material de trabajo.

En el cálculo de la tensión de fluencia, también intervienen las constantes A , B , C , n y m que vienen dadas para cada material de trabajo en la tabla de la sección 2.4.1 y la velocidad de deformación inicial en AB que se puede considerar de $1s^{-1}$.

$$\sigma_{AB} = [A + B(\epsilon_{AB})^n] \cdot \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_{AB}}{\dot{\epsilon}_{0AB}} \right) \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{T_{AB} - T_w}{T_m - T_w} \right)^m \right]$$

Una vez obtenida la tensión de fluencia se calcula la tensión de fluencia cortante, dividiendo por la raíz cuadrada de tres:

$$k_{AB} = \sigma_{AB} / \sqrt{3}$$

Con este valor se obtienen la fuerza de corte en AB, F_s , el parámetro térmico, R_T , la proporción de calor conducida hacia el interior de la pieza, β y el incremento de temperatura en la zona de formación de viruta, ΔT_{SZ} . Y a partir de estos valores se puede obtener la nueva temperatura en AB, T'_{AB} .

$$R = \frac{F_s}{\cos \theta} = \frac{k_{AB} t_1 w}{\sin \phi \cos \theta}$$

$$R_T = \rho S U t_1 / K$$

$$\beta = 0.5 - 0.35 \lg(R_T \tan \phi)$$

$$\beta = 0.3 - 0.15 \lg(R_T \tan \phi)$$

$$\Delta T_{SZ} = \frac{1 - \beta}{\rho S t_1 w} \frac{F_s \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

$$T'_{AB} = T_w + \eta \Delta T_{SZ}$$

Donde ρ es la densidad del material de trabajo, y η es un coeficiente que puede tomar valores comprendidos entre 0 y 1 y que se utiliza para corregir el hecho de que no todo el trabajo plástico de formación de viruta se ha producido en AB.

Esta nueva temperatura en AB se compara con la temperatura inicialmente supuesta, (T_{AB}). Si la diferencia es significativa se asume como temperatura inicial en AB la temperatura obtenida, se vuelve al PASO 6 y se rehacen todos los cálculos con esta nueva temperatura, $T_{AB} = T'_{AB}$. El proceso se repite hasta que la diferencia de la temperatura supuesta y la temperatura calculada mediante el proceso iterativo sea insignificante (aproximadamente de 0.1 K). Cuando esto sucede se ha encontrado la temperatura T_{AB} y se continua con el PASO 7.

PASO 7

El ángulo θ , que es el ángulo que forma la resultante de las fuerzas de corte con el plano AB se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\tan \theta = 1 + 2\left(\frac{\pi}{4} - \phi\right) - Cn$$

A partir de este ángulo se calcula el ángulo principal de tensión, λ .

$$\theta = \phi + \lambda - \alpha \quad \rightarrow \quad \lambda = \theta - \phi + \alpha$$

Una vez obtenido λ se calculan la fuerza resultante, R , la fuerza de fricción en la interfase herramienta-viruta, F , la fuerza normal en la interfase herramienta-viruta, N , y la fuerza en la dirección del corte, F_C , mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} R &= \frac{F_s}{\cos \theta} \\ F &= R \sin \lambda \\ N &= R \cos \lambda \\ F_C &= R \cos(\lambda - \alpha) \end{aligned}$$

A partir de estos valores se obtienen las variables para la interfase herramienta-viruta.

En primer lugar se puede obtener el espesor de viruta deformada, t_2 mediante la ecuación:

$$t_2 = t_1 \cos(\phi - \alpha) / \sin \alpha$$

A continuación se puede obtener la velocidad de la viruta, V .

$$V = \frac{U \sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)}$$

También se puede calcular la longitud de contacto entre la herramienta y la viruta.

$$h = \frac{t_1 \sin \theta}{\cos \lambda \sin \phi} \left\{ 1 + \frac{Cn}{3 \left[1 + 2 \left(\frac{1}{4} \pi - \phi \right) - Cn \right]} \right\}$$

La tensión cortante en la interfase herramienta-viruta, τ_{int} , la velocidad de deformación cortante en la interfase, $\dot{\gamma}_{\text{int}}$ y la velocidad de deformación en la interfase, $\dot{\epsilon}_{\text{int}}$ se calculan a partir de las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{int}} &= \frac{F}{hw} \\ \dot{\gamma}_{\text{int}} &= \frac{v}{\delta_2} \\ \dot{\epsilon}_{\text{int}} &= \dot{\gamma}_{\text{int}} / \sqrt{3} \end{aligned}$$

Finalmente se asume que la temperatura en la viruta, T_C tiene la siguiente forma:

$$T_C = T_w + \Delta T_{SZ}.$$

PASO 8

Con esta nueva temperatura se calculan para la viruta, las propiedades térmicas del calor específico, S y la conductivita térmica, K , teniendo en cuenta en este caso que la temperatura de la que dependen estos parámetros es la temperatura de la viruta, T_C . Para ello se utilizan de nuevo las ecuaciones anteriores:

$$S[J/(KgK)] = 420 + 0.504T_C[^\circ C]$$

$$K[W/(mK)] = 54.17 - 0.02987T_C[^\circ C]$$

Para un acero de composición química 0.20% C, 0.15% Si, 0.015% S, 0.72% Mn, 0.015% Al.

$$K[W/(mK)] = 52.61 - 0.0281T_C[^\circ C]$$

Para un acero de composición química 0.38% C, 0.1% Si, 0.77% Mn, 0.015% P.

El incremento de temperatura medio en la viruta tiene la siguiente forma:

$$\Delta T_C = F \sin \phi / \rho S t_1 w \cos(\phi - \alpha)$$

A partir de este incremento de temperatura en la viruta, de la temperatura inicial, T_w y del incremento de temperatura en la zona de formación de la viruta, ΔT_{sz} , que ya se había obtenido anteriormente, se calcula la nueva temperatura en la viruta a partir de la siguiente ecuación:

$$T'_C = T_w + \Delta T_{sz} + \Delta T_C$$

Este resultado se compara con la temperatura en la viruta inicialmente supuesta, (T_C). Si la diferencia es significativa (mayor que 0.1 K), se toma como temperatura en la viruta esta nueva temperatura, ($T_C = T'_C$), y se vuelve al PASO 8. El proceso se repite hasta que la diferencia entre ambas magnitudes sea menor que 0.1 K. Cuando esto sucede, se ha obtenido la temperatura en la viruta, T_C , y se llevan a cabo los cálculos del PASO 9.

PASO 9

El siguiente paso es realizar los cálculos para la interfase herramienta-viruta. Para ello se vuelve a calcular R_T :

$$R_T = \rho S U t_1 / K$$

En este caso tanto la conductividad como el calor específico son los calculados anteriormente para la temperatura en la viruta, es decir con $T = T_c$ (en ° centígrados).

También se puede calcular la temperatura media a lo largo de la interfase herramienta-viruta:

$$T_{\text{int}} = T_w + \Delta T_{SZ} + \psi \Delta T_M$$

Donde ψ es un factor que puede tomar valores comprendidos entre cero y la unidad y que permite las posibles variaciones de temperatura a lo largo de la interfase.

Con esta temperatura se obtiene la tensión de fluencia cortante en la viruta en la interfase herramienta-viruta, k_{chip} a partir de la ley de Johnson-Cook particularizada en la interfase.

$$k_{chip} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[A + B(\epsilon_{\text{int}})^n \right] \cdot \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_{\text{int}}}{\dot{\epsilon}_{0\text{int}}} \right) \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{T_{\text{int}} - T_w}{T_m - T_w} \right)^m \right]$$

Se puede suponer que $\dot{\epsilon}_{0\text{int}}$ toma el valor de $1s^{-1}$.

Una vez obtenido el valor de k_{chip} se compara con τ_{int} . Si ambos valores no coinciden se modifica el ángulo de deslizamiento ϕ que se supuso al inicio del algoritmo sumándole 0.1° más. Se vuelve al PASO 5 y se vuelven a llevar a cabo todos los pasos con este nuevo ángulo de deslizamiento. El final de este proceso iterativo se produce cuando se han analizado todos los ángulos de corte comprendidos en el intervalo supuesto. De entre todos los ángulos de corte analizados, finalmente se elige el ángulo de deslizamiento máximo que satisface la condición de equilibrio $\tau_{\text{int}} = k_{chip}$.

PASO 10

Con las variables calculadas a partir de este ángulo de deslizamiento solución se comparan σ'_N y σ_N que son las tensiones normales actuando en la interfase herramienta-viruta en B, calculadas de dos formas diferentes tal como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\sigma'_N}{k_{AB}} = 1 + \frac{\pi}{2} - 2\alpha - 2Cn$$

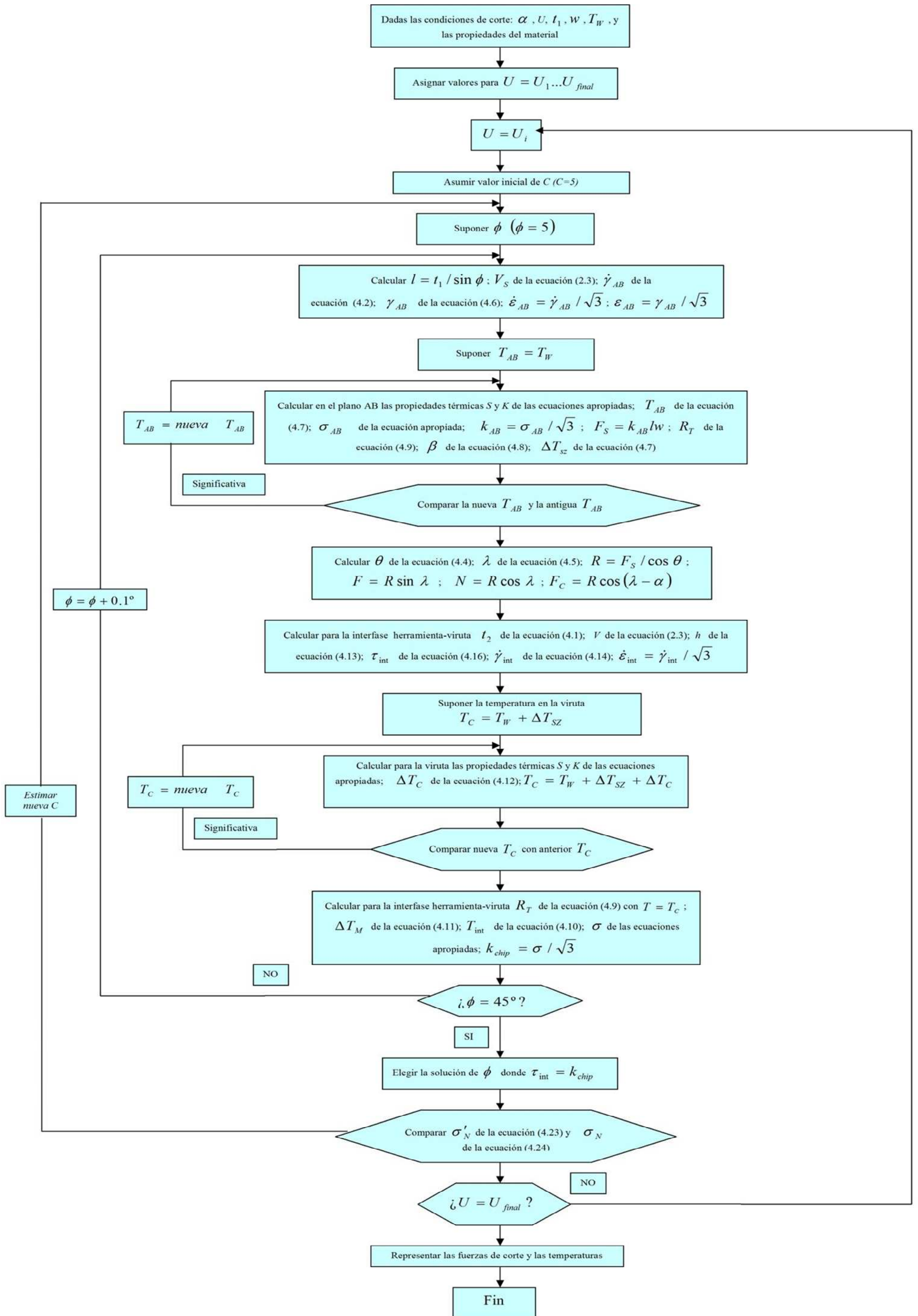
$$\sigma_N = \frac{N}{hw}$$

Si la diferencia entre ambos valores es insignificante se puede dar por bueno el valor de C supuesto inicialmente. Si por el contrario esta diferencia no es insignificante se debe volver al principio para suponer otro valor de C y realizar todos los cálculos desde el PASO 4. El proceso iterativo se repite hasta que los valores de σ'_N y σ_N coinciden. Cuando esto sucede se ha obtenido la solución para el valor de δ supuesto al principio.

PASO 11

Los pasos anteriores se realizan para cada valor de δ que pertenece al intervalo supuesto y finalmente se representarán las soluciones para cada δ de dicho intervalo.

Existen diversas modificaciones de este algoritmo en función de la representación de la distribución de fuerzas y temperaturas que se pretende obtener. Así, si por ejemplo se quiere obtener la representación de las magnitudes frente a la velocidad, basta con fijar el valor de δ y establecer un intervalo de velocidades, de forma que el algoritmo en este caso quedaría de la siguiente forma:



3.1. EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO DEL PROGRAMA LLEVADO A CABO EN MATLAB

Se ha utilizado Matlab para codificar este algoritmo y obtener los resultados requeridos. Dicho código se explicará a continuación.

En primer lugar es necesario introducir las siguientes constantes:

A = Deformación equivalente plástica en el modelo de Johnson-Cook en Mpa.

B =Constante de deformación relativa en el modelo de Johnson-Cook en Mpa.

C = Constante del índice de sensibilidad a la deformación en el modelo de Johnson- Cook en Mpa.

n = Parámetro de endurecimiento por deformación en el modelo de Johnson-Cook.

m = Parámetro de reblandecimiento térmico en el modelo de Johnson-Cook.

T_m = Temperatura de fusión del material de trabajo en $^{\circ}\text{C}$.

T_0 = Temperatura de referencia del material de trabajo en $^{\circ}\text{C}$.

V = Velocidad de corte en mm/s .

t_1 =Espesor de viruta indeformada en mm .

α = Ángulo de desprendimiento de la herramienta en grados.

$V_{\text{def_ab0}}$ = Velocidad de deformación de referencia en AB en S^{-1} .

$V_{\text{def_int0}}$ = Velocidad de deformación de referencia en la interfase en S^{-1} .

$V_{\text{def_0}}$ = Velocidad de deformación de referencia en S^{-1} .

ρ = Densidad del material de trabajo en Kg / m^3 .

Existen varios bucles for anidados, uno de ellos realiza el barrido para el parámetro δ (delta), dentro de éste hay otro bucle que realiza el barrido para el parámetro C (C_0) y el último para el ángulo de deslizamiento ϕ (fideg) que se introduce en grados.

```

e=1;
for delta=0.1:0.05:0.8
    g=1;
    for C0=1:0.01:3
        t=1;
        for fideg=5:0.1:45
            fi=fideg*pi/180;

```

Dentro de este último bucle se llevan a cabo los cálculos del espesor de viruta deformada, t_2 (t_2), la discontinuidad de la velocidad, V_s (V_s), la longitud del plano de corte, l_{AB} (l_{ab}), la velocidad de deformación cortante en AB, $\dot{\gamma}_{AB}$ (γ_{abp}), la velocidad de deformación en AB, $\dot{\epsilon}_{AB}$ (V_{def_ab}), la deformación efectiva en AB, ϵ_{AB} (def_ab) y la deformación cortante en AB, γ_{AB} (γ_{ab}).

```

%%CALCULO DE TC,VS,VDEFab,DEFab,Lab
t2=t1*cos(fi-alfa)/sin(fi);
Vs=V*cos(alfa)/cos(fi-alfa);
lab=t1/sin(fi);
gamma_abp=C0*Vs/lab;
Vdef_ab=gamma_abp/sqrt(3);
def_ab=cos(alfa)/(2*sqrt(3)*sin(fi)*cos(fi-alfa));
gamma_ab=def_ab*sqrt(3);

```

Posteriormente se realiza el cálculo de la temperatura en AB, T_{AB} (T_{ab}). Para calcular esta temperatura es necesario conocer los parámetros S (calor específico) y K (conductividad térmica), ya que el valor de la temperatura depende de ΔT_{SZ} (ΔT_{sz}) por la ecuación:

$$T_{AB} = T_w + \eta \Delta T_{SZ}$$

Además ΔT_{SZ} como puede verse en la ecuación que la define depende de β (β):

$$\Delta T_{SZ} = \frac{1-\beta}{\rho S t_1 w} \frac{F_s \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

y β depende a su vez del parámetro térmico R_T (R_T), que depende de S y K .

Por lo tanto, se puede obtener la temperatura T_{AB} suponiendo que la temperatura inicial para estimar los parámetros a calcular es la temperatura $T_w = T_0$, es decir, la temperatura de referencia del material de trabajo. Se calculan todos los parámetros que dependen de la temperatura como S , K , σ_{AB} (sigma_ab), R_T (RT), etc y a través de ellos se obtiene la temperatura con la siguiente fórmula:

$$T_{AB} = T_w + \eta \Delta T_{SZ}.$$

La temperatura calculada de esta forma en el código toma el nombre de Tabp, mientras que la temperatura que se utiliza para estimar los valores dentro del bucle se denomina Tab. Mediante la función if se comparan ambas temperaturas, si la diferencia es menor que 0.1K se produce la salida del bucle for y se asume que se ha obtenido la temperatura T_{AB} .

```
if abs(y1)<0.1,break
```

Si la diferencia no es menor que 0.1K se toma como nueva temperatura T_{AB} la temperatura calculada con la ecuación anterior y se da un paso más dentro del bucle for estimando los parámetros con esta nueva temperatura. Este proceso se repite mientras no se logre la convergencia entre temperaturas.

```
else Tab=Tabp;
end
i=i+1;

i=1;
Tab=T0;
for i=1:100
nu=1;
Tabdeg=Tab-273;
S=420+0.504*Tabdeg;
K=54.17-0.0298*Tabdeg;
sigma_ab=[A+B*def_ab^n]*[1+C*log(Vdef_ab/Vdef_ab0)]*[1-((Tab-T0)/(Tm-T0))^m];
k_ab=sigma_ab/sqrt(3);
Fs=k_ab*t1*w/(sin(fi));
RT=ro*S*V*t1/(K*1000^2);
x=RT*tan(fi);
```

```

if x>10
beta=0.3-0.15*log10(RT*tan(fi));
else
beta=0.5-0.35*log10(RT*tan(fi));
end

deltaTsz=(1-beta)/(ro*S*t1*w)*(Fs*cos(alfa))/(cos(fi-alfa)*1/1000^2);
Tabp=T0+nu*deltaTsz;
Tabpdeg=Tabp-273;
y1=Tabpdeg-Tabdeg;
if abs(y1)<0.1,break
else
Tab=Tabp;
end
i=i+1;
end

```

Una vez se produce la convergencia de ambas temperaturas, con la temperatura obtenida se continúa calculando el ángulo θ (thita), la resultante de las fuerzas R y las fuerzas de corte F_c , F_t , N y F . Además también se puede obtener la presión hidrostática en A y en B, (P_a y P_b), y con esto las longitudes h y l_p . Posteriormente se pueden calcular la velocidad de deformación cortante, $\dot{\gamma}_{int}$ (gamma_intp), la deformación cortante, γ_{int} (gamma_int), la deformación efectiva, ε_{int} (def_int), la velocidad de deformación, $\dot{\varepsilon}_{int}$ (Vdef_int) y la tensión cortante en la interfase τ_{int} (Tau_int) que es un vector que almacena los valores de la tensión cortante en la interfase para cada valor del ángulo de deslizamiento dentro del intervalo.

```

thita=atan(1+2*(pi/4-fi)-n*C0);
R=Fs/cos(thita);
N=R*cos(thita-fi+alfa);
F=R*sin(thita-fi+alfa);
Fc=R*cos(thita-fi);
Ft=R*sin(thita-fi);
Pa=k_ab*[1+2*(pi/4-fi)];
Pb=k_ab*[2*tan(thita)-(1+2*(pi/4-fi))];
M=t1*sin(thita)/(cos(thita-fi+alfa)*sin(fi));
Nx=3*[1+2*(pi/4-fi)-C0*n];

```

```

lc=M*(1+C0*n/Nx);
lp=(delta*t2)/[sin(fi-alfa)];

Vc=V*sin(fi)/cos(fi-alfa);
gamma_intp=Vc/(delta*t2);
gamma_int=lp/(delta*t2);
def_int=gamma_int/sqrt(3);
Vdef_int=gamma_intp/sqrt(3);

```

```

Tau_int(t)=F/(lc*w);

```

Se calcula la temperatura en la viruta T_C a partir de la ecuación:

$$T_C = T_w + \Delta T_{sz}$$

Donde ΔT_{sz} es el valor calculado anteriormente en el bucle de obtención de la temperatura T_{AB} y T_w (T_0) es la temperatura de referencia del material de trabajo.

Se toma este valor de la temperatura en la viruta como valor inicial para estimar las variables que dependen de la temperatura como S y K . Se calculan todos los parámetros que dependen de la temperatura como S , K , ΔT_C (ΔT_c), ΔT_{sz} (ΔT_{sz}), etc., y a través de ellos se obtiene la temperatura con la siguiente ecuación:

$$T_C = T_w + \Delta T_{sz} + \Delta T_C .$$

La temperatura calculada de esta forma en el código toma el nombre de T_{cp} la temperatura que se utiliza para estimar los parámetros dentro del bucle se denomina T_c . Mediante la función `if` se comparan ambas temperaturas, si la diferencia es menor que 0.1K se produce la salida del bucle `for` y se asume que se ha obtenido la temperatura T_C .

```

if abs(z1)<0.1,break

```

Si la diferencia no es menor que 0.1K se toma como nueva temperatura T_C la temperatura calculada con la ecuación anterior y se da un paso más dentro del bucle `for` estimando los parámetros con esta nueva temperatura. Este proceso se repite mientras no se logre la convergencia entre temperaturas.

```

else Tc=Tcp;
end
j=j+1;

Tc=T0+deltaTsz;
for j=1:100
nu=1;
Tcdeg=Tc-273;
S=420+0.504*Tcdeg;
K=54.17-0.0298*Tcdeg;
deltaTc=F*sin(fi)/(ro*S*t1*w*cos(fi-alfa)*1/1000^2);
deltaTsz=(1-beta)/(ro*S*t1*w*1/1000^2)*(Fs*cos(alfa))/cos(fi-alfa);
Tcp=T0+deltaTsz+deltaTc;
Tcdeg=Tcp-273;
z1=Tcdeg-Tcpdeg;
if abs(z1)<0.1,break,
else Tc=Tcp;
end
j=j+1;
end

```

Una vez que se ha logrado la convergencia de ambas temperaturas, con la temperatura obtenida se continúa calculando los parámetros que dependen de esta temperatura como R_T (RT), ΔT_M (deltaTM) y a partir de ellas se puede obtener la temperatura en la interfase, T_{int} (Tint).

```

RT=ro*S*V*t1/(K*1000^2);
deltaTM=deltaTc*exp(0.06-0.195*delta*(RT*t2/lc)^(1/2))*0.5*(RT*t2/lc);
psi=0.5;
Tint=T0+deltaTsz+psi*deltaTM;

```

Con esta temperatura y la ley de Johnson-Cook, se obtiene la tensión de fluencia cortante en la interfase herramienta-viruta, k_{chip} (k_{chip}). Esta variable es un vector que almacena los valores de la tensión cortante en la interfase para cada valor del ángulo de deslizamiento, ϕ (fi).

```

k_chip(t)=1/sqrt(3)*[A+B*(def_int)^n]*[1+C*log(Vdef_int/Vdef_int0)]*[1-((Tint-T0)/(Tm-T0))^m];

```

El ángulo de deslizamiento se obtiene cuando las variables τ_{int} y k_{chip} se igualan. Por lo tanto comparando ambos vectores cuando la diferencia entre ellos es pequeña el valor del ángulo de deslizamiento se almacena en un vector llamado vectorfi. Cuando la diferencia no es pequeña este vector toma valor cero.

```

r(t)=Tau_int(t)-k_chip(t);
if abs(r(t))<10
vectorfi(t)=fi;
else
vectorfi(t)=0;

end

```

Con la siguiente ecuación se pretende que el valor $\theta - \phi + \alpha$ no se haga negativo para que no se obtengan fuerzas negativas. Cuando este valor es cercano a cero el barrido del ángulo de deslizamiento, ϕ (fi) finaliza, si por el contrario este valor no es negativo se vuelven a realizar los cálculos hasta este punto con el siguiente valor del ángulo de deslizamiento dentro del intervalo propuesto. De manera que cuando se desarrolla el barrido del ángulo de deslizamiento se obtiene un vector, (vectorfi) que continene todos los valores de ϕ del intervalo, que hacen que τ_{int} y k_{chip} sean iguales.

```

q=thita-fi+alfa;
if q<0.01,break,end
t=t+1;
end

```

La siguiente función busca el máximo del vector (vectorfi), que como se señaló anteriormente almacena los valores del ángulo de deslizamiento que hacen que las componentes τ_{int} y k_{chip} sean iguales, de forma que da como resultado el valor máximo del ángulo de deslizamiento que hace que dichas componentes estén en equilibrio.

```

d=length(vectorfi);
fimax=vectorfi(1);
for l=1:d-1

```



```

if fimax<vectorfi(l+1);
fimax=vectorfi(l+1);
end
end

```

```

fimaxdeg=fimax*180/pi;

```

Una vez obtenido este ángulo se recalculan todas las variables anteriores para dicho ángulo que se denomina fimax.

```

t2=t1*cos(fimax-alfa)/sin(fimax);
Vs=V*cos(alfa)/cos(fimax-alfa);
lab=t1/sin(fimax);
gamma_abp=C0*Vs/lab;
Vdef_ab=gamma_abp/sqrt(3);
def_ab=cos(alfa)/(2*sqrt(3)*sin(fimax)*cos(fimax-alfa));
gamma_ab=def_ab*sqrt(3);
i=1;
Tab=T0;
for i=1:100
nu=1;
abdeg=Tab-273;
S=420+0.504*Tabdeg;
K=54.17-0.0298*Tabdeg;
sigma_ab=[A+B*def_ab^n]*[1+C*log(Vdef_ab/Vdef_ab0)]*[1-((Tab-T0)/(Tm-T0))^m];
/sqrt(3);
Fs=k_ab*t1*w/(sin(fimax));
RT=ro*S*V*t1/(K*1000^2);
x=RT*tan(fimax);
if x>10
beta=0.3-0.15*log10(RT*tan(fimax));
else
beta=0.5-0.35*log10(RT*tan(fimax));
end

deltaTsz=(1-beta)/(ro*S*t1*w)*(Fs*cos(alfa))/(cos(fimax-alfa)*1/1000^2);
Tabp=T0+nu*deltaTsz;
Tabpdeg=Tabp-273;
y2=Tabpdeg-Tabdeg;
if abs(y2)<0.1,break

```

else

Tab=Tabp;

end

i=i+1;

end

thita=atan(1+2*(pi/4-fimax)-n*C0);

R=Fs/cos(thita);

N=R*cos(thita-fimax+alfa);

F=R*sin(thita-fimax+alfa);

Fc=R*cos(thita-fimax);

Ft=R*sin(thita-fimax);

Pa=k_ab*[1+2*(pi/4-fimax)];

Pb=k_ab*[2*tan(thita)-(1+2*(pi/4-fimax))];

M=t1*sin(thita)/(cos(thita-fimax+alfa)*sin(fimax));

Nx=3*[1+2*(pi/4-fimax)-C0*n];

h=M*(1+C0*n/Nx);

lp=(delta*t2)/[sin(fimax-alfa)];

Vc=V*sin(fimax)/cos(fimax-alfa);

gamma_intp=Vc/(delta*t2);

gamma_int=lp/(delta*t2);

def_int=gamma_int/sqrt(3);

Vdef_int=gamma_intp/sqrt(3);

Tau_int1=F/(lc*w);

Tc=T0+deltaTsz;

for j=1:100

nu=1;

Tcdeg=Tc-273;

S=420+0.504*Tcdeg;

K=54.17-0.0298*Tcdeg;

deltaTc=F*sin(fimax)/(ro*S*t1*w*cos(fimax-alfa)*1/1000^2);

deltaTsz=(1-beta)/(ro*S*t1*w*1/1000^2)*(Fs*cos(alfa))/cos(fimax-alfa);

Tcp=T0+deltaTsz+deltaTc;

Tcpdeg=Tcp-273;

z2=Tcdeg-Tcpdeg;

if abs(z2)<0.1,break,

else Tc=Tcp;

```

end
j=j+1;
end

RT=ro*S*V*t1/(K*1000^2);
deltaTM=deltaTc*exp(0.06-0.195*delta*(RT*t2/lc)^(1/2))*0.5*(RT*t2/lc);
psi=0.5;
Tint=T0+deltaTsz+psi*deltaTM;
k_chip1=1/sqrt(3)*[A+B*(def_int)^n]*[1+C*log(Vdef_int/Vdef_int0)]*[1-((Tint-T0)/(Tm-
T0))^m];

```

Para obtener el valor de la constante $C(C_0)$ se calcula la tensión normal actuando en la interfase herramienta-viruta en B, σ_N (sn) a través de la ecuación:

$$\sigma_N = \frac{N}{hw}$$

y σ'_N (snp) a través de la ecuación :

$$\frac{\sigma'_N}{k_{AB}} = 1 + \frac{\pi}{2} - 2\alpha - 2Cn$$

Ambas variables son vectores que almacenan valores de la tensión normal para cada valor de C .

```

sn(g)=N/(lc*w);
snp(g)=(1+pi/2-2*alfa-2*C0*n)*k_ab;
v(g)=sn(g)-snp(g);

```

A continuación se impone la condición:

$$\sigma_N = \sigma'_N$$

Para ello se comparan las dos variables y cuando el valor es cercano a cero se produce la salida del bucle for que realiza el barrido para el valor de C y se almacenan las variables de las fuerzas y las temperaturas en vectores. En caso contrario se produce un paso más dentro de dicho bucle hasta que los valores de las tensiones normales

coincidan. Una vez obtenido el valor de la variable C se rompe el bucle y se da un paso más en el bucle que realiza el barrido para la variable δ (delta). Se lleva a cabo de nuevo todo el programa para el siguiente valor de δ mientras no se haya alcanzado el final del intervalo propuesto.

Para cada valor de δ al final del intervalo habrá un valor de las fuerzas y de las temperaturas.

```
if abs(v(g))<1.1,break,end
VFc(e)=Fc;
VN(e)=N;
VFt(e)=Ft;
VF(e)=F;
VTab(e)=Tab;
VTint(e)=Tint;
VTc(e)=Tc;
Vfimax(e)=fimax;
g=g+1;
end
e=e+1;
end
```

Los valores de las fuerzas y las temperaturas para cada valor de δ se almacenan en vectores. Cuando se llega al final del intervalo de δ se representan los resultados mediante la función Plot.

```
delta=[0.1:0.05:0.8];
figure(1)
plot(delta,VFc,'b-',delta,VFc,'bx','LineWidth',2)
title('Fc')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Fc [N]')
figure(2)
plot(delta,VFt,'r-',delta,VFt,'rx','LineWidth',2)
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Ft [N]')
title('Ft')
figure(3)
plot(delta,VN,'g-',delta,VN,'gx','LineWidth',2)
```

```

title('N')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('N [N]')
figure(4)
plot(delta,VF,'k-',delta,VF,'kx','LineWidth',2)
title('F')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('F [N]')
figure(5)
plot(delta,VTab,'b-',delta,VTab,'bx','LineWidth',2)
title('Tab')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Tab [K]')
figure(6)
plot(delta,Vfimax,'c-',delta,Vfimax,'cx','LineWidth',2)
title('fimax')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('fimax [rad]')
figure(7)
plot(delta,VTint,'r-',delta,VTint,'rx','LineWidth',2)
title('Tint')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Tint [K]')
figure(8)
plot(delta,VTc,'g-',delta,VTc,'gx','LineWidth',2)
title('Tc')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Tc [K]')
figure(9)
plot(delta,VFc,'b-',delta,VFt,'r-',delta,VN,'g-',delta,VF,'k-
',delta,VFc,'bx',delta,VFt,'rx',delta,VN,'gx',delta,VF,'kx')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Fc,Ft,N,F [N]')
figure(10)
plot(delta,VTab,'b-',delta,VTint,'r-',delta,VTc,'g-',delta,VTab,'bx',delta,VTint,'rx',delta,VTc,'gx')
xlabel('delta [rad]')
ylabel('Tab, Tint, Tc [K]')

```

