

# Influencia de los datos para el trefilado

## 4. Influencia de los dados para trefilado

-  **Metal Duro**
-  **Diseño de dados y análisis mecánico**

## Metal duro (Carburos cementados)

- **Los metales duros representan junto con los aceros sinterizados, los productos más importantes de la metalurgia de polvos**
  - **Un compuesto duro y un metal de liga o aleación**
  - **Carburos de los grupos metálicos IVb, Vb, y VIb de la tabla periódica. Preferentemente el carburo de tungsteno WC y el carburo de titanio TiC**

# Tabla periódica

Grupos principales

Grupos principales

1A	2A	Metales de transición										3A	4A	5A	6A	7A	8A
1												5	6	7	8	9	2
H												B	C	N	O	F	He
3	4											13	14	15	16	17	18
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
11	12	3B	4B	5B	6B	7B	8B					1B	2B				
Na	Mg																
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
Li	Ra	Ac															

Serie de los lantánidos

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Td	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

Serie de los actínidos

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



## Metal duro (Carburos cementados)

- **El metal que liga es generalmente cobalto en un rango de composición de 5 a 25 % en peso**
- **El carburo de tungsteno representa el grupo más grande del campo de metales duros**

## Metal duro (Carburos cementados)

### Función del metal liga

- ✚ Proveer una fase líquida durante el sinterizado
  - ✚ Alta tasa de densificación (99 – 99.7%)
- ✚ Desarrollar una microestructura binaria o múltiple
  - ✚ Alta resistencia al dobléz y a la fractura

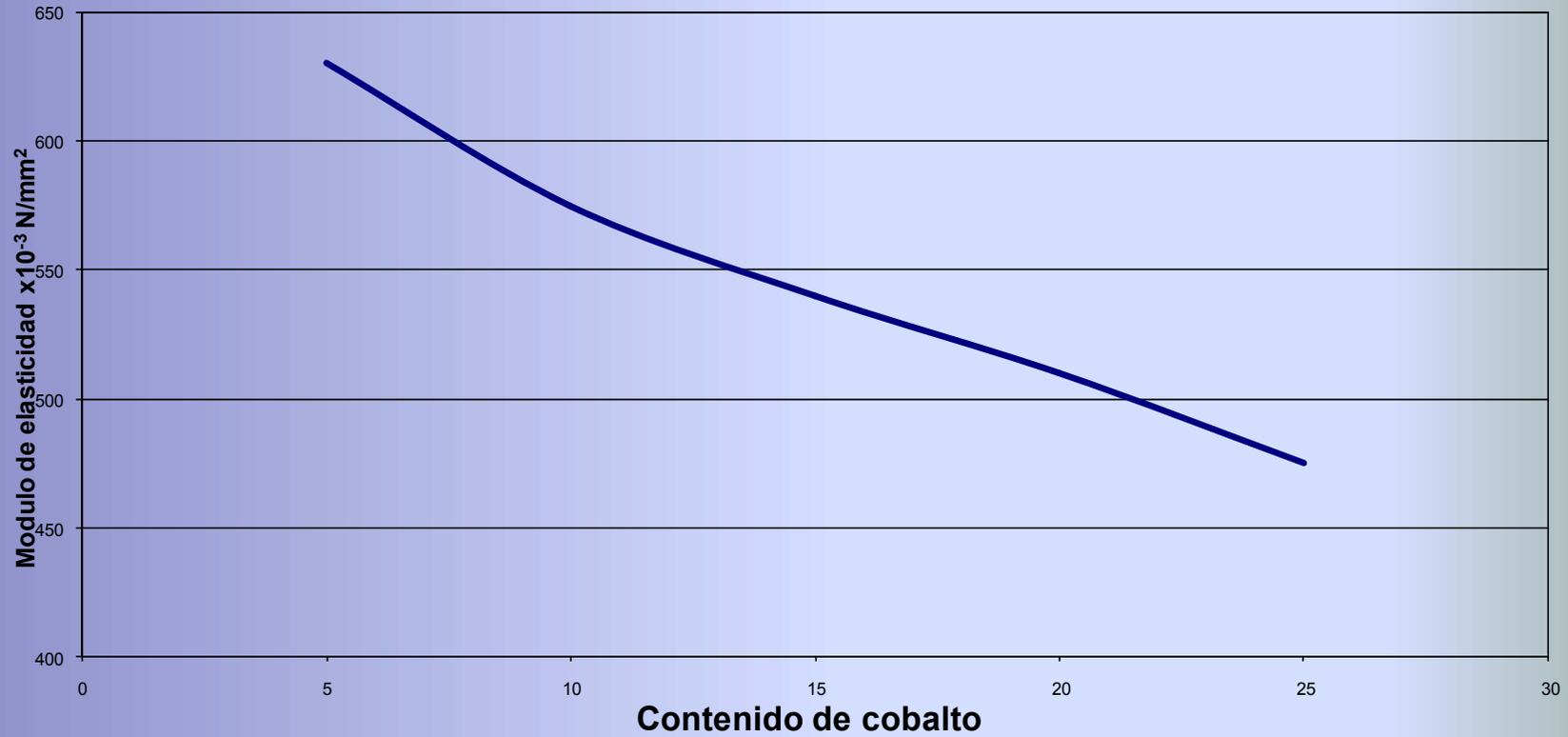
## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades del metal duro

**El comportamiento de las propiedades del metal duro están en función del contenido de cobalto**

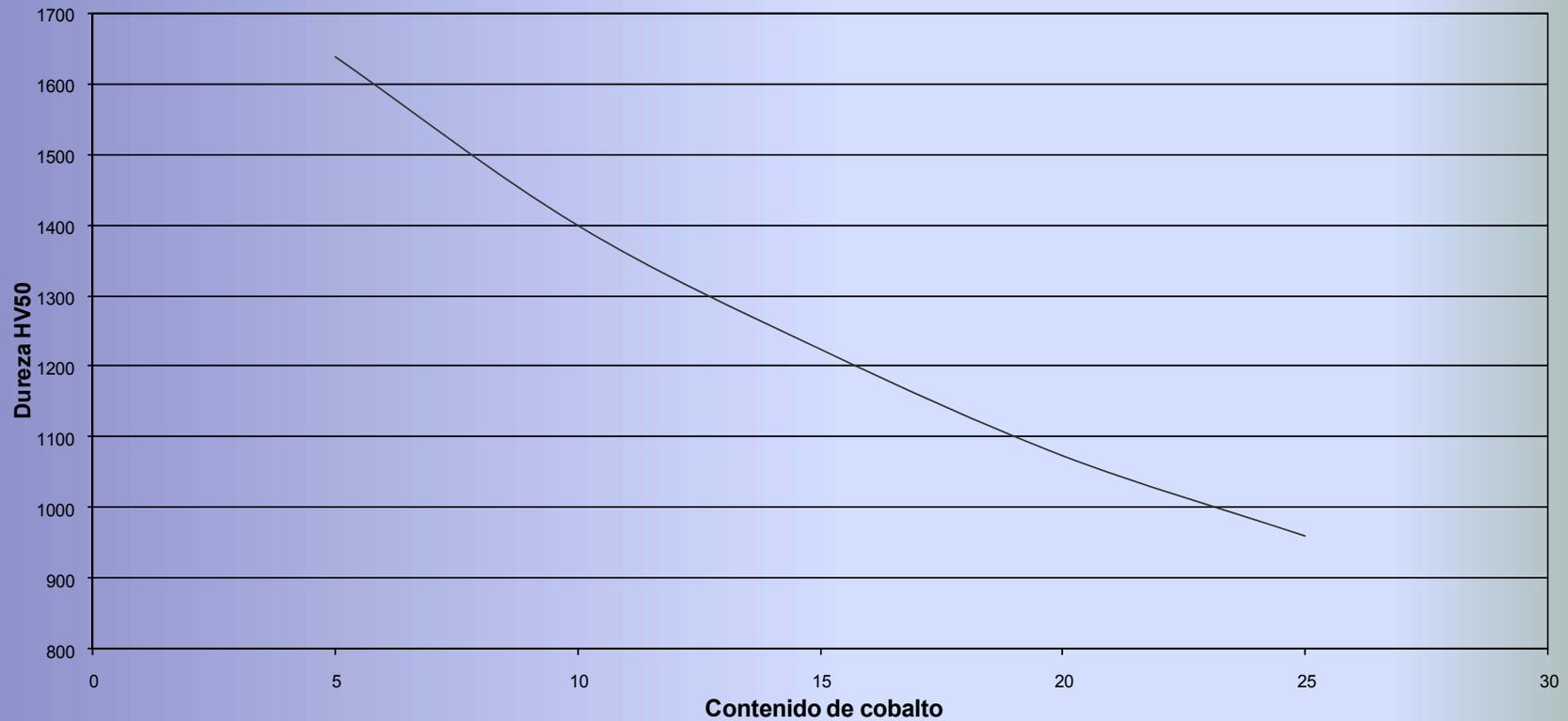
# Propiedades del metal duro

## Modulo de elasticidad en función del contenido de cobalto



# Propiedades del metal duro

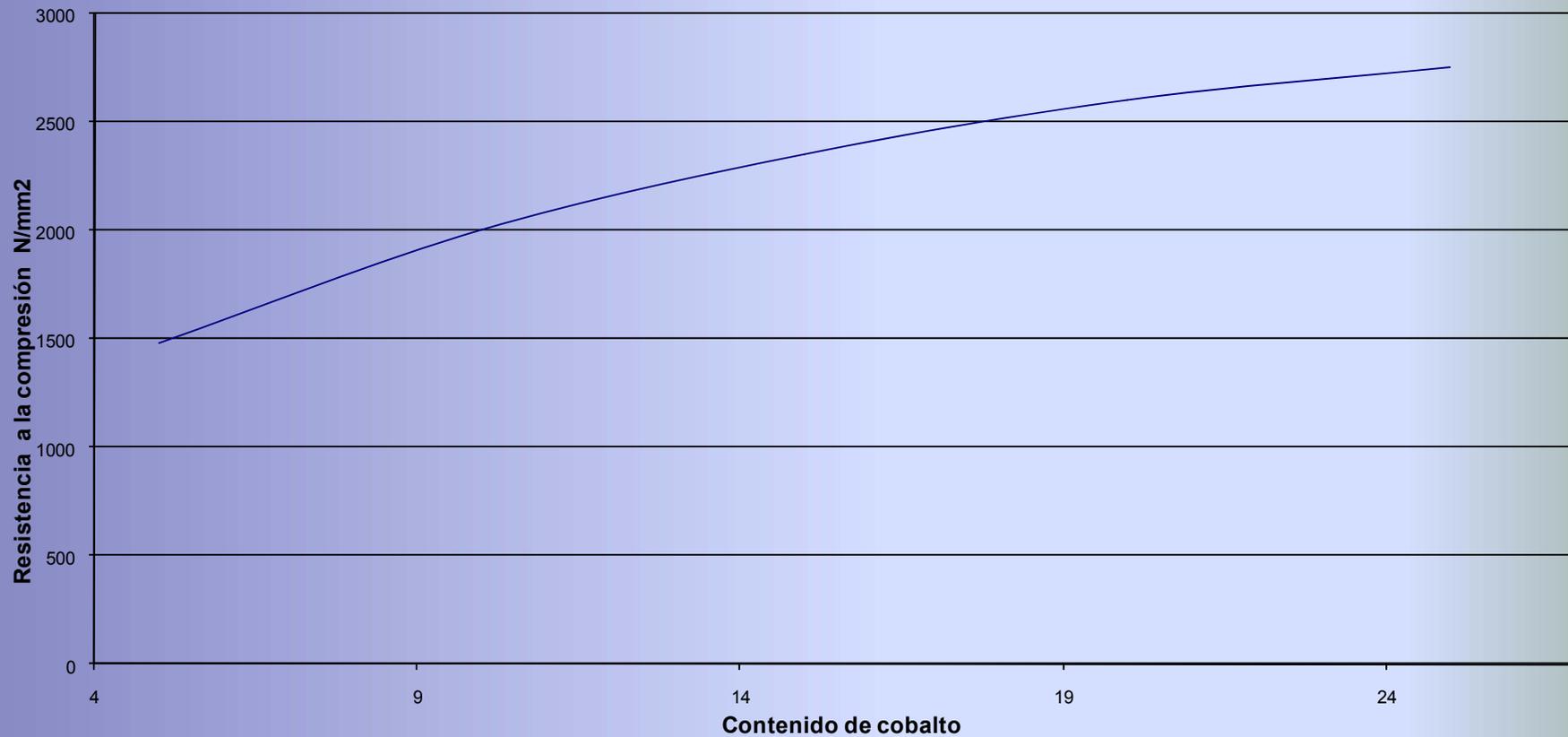
## Dureza HV en función del contenido de cobalto





# Propiedades del metal duro

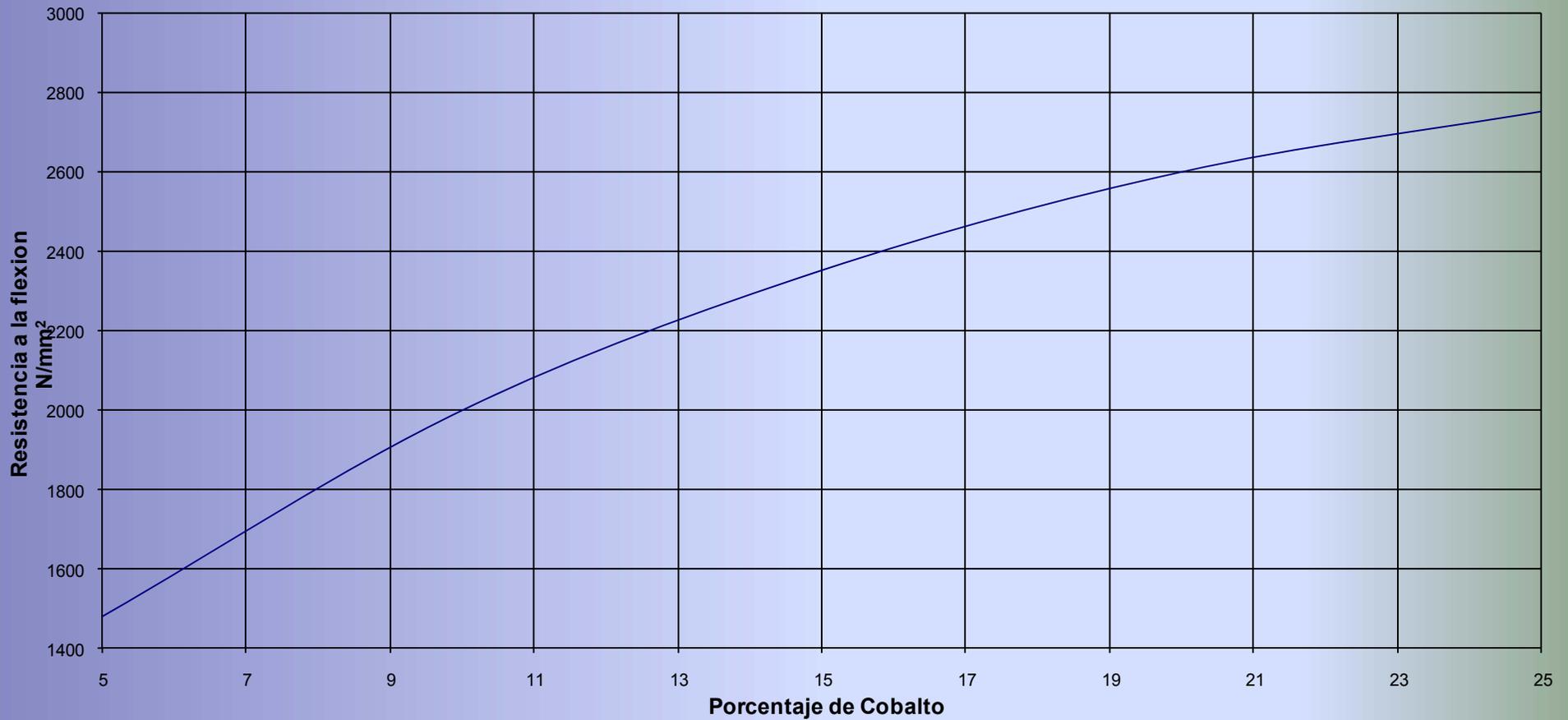
## Resistencia a la compresión del metal duro en función del contenido de Cobalto





# Propiedades del metal duro

**Resistencia a la flexión del metal duro en función del contenido de cobalto.**



## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades del metal duro

#### Granulometría

#### Clasificación:

- **Micrograno** ~ 0.8  $\mu\text{m}$
- **Fino** ~ 1.5  $\mu\text{m}$
- **Medio** ~ 3.0  $\mu\text{m}$
- **Grueso** ~ 5.0  $\mu\text{m}$

## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades del metal duro

**✚ Dureza y resistencia a la compresión:**

**✚ Inversamente proporcionales al tamaño del carburo**

## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades del metal duro

- ✚ Resistencia al choque
- ✚ Directamente proporcionales al tamaño del carburo

## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades Generales del metal duro

**Máxima resistencia al desgaste y trabajos sin golpe (típicos para dados de trefilado):**

-  **Alto contenido de WC**
-  **Grano fino de WC**
-  **Bajo contenido de cobalto**

## Metal duro (Carbuos Cementados)

### Propiedades Generales del metal duro

**Resistencia media al desgaste y trabajo sin golpe**

-  **Medio contenido de WC**
-  **Grano Medio de WC**
-  **Medio contenido de cobalto**

## Metal duro (Carburos Cementados)

### Propiedades Generales del metal duro

**Resistencia menor al desgaste y trabajos con golpe**

-  **Contenido bajo de WC**
-  **Grano grueso de WC**
-  **Contenido alto de Cobalto**

## **Metal duro (Carbuos Cementados)**

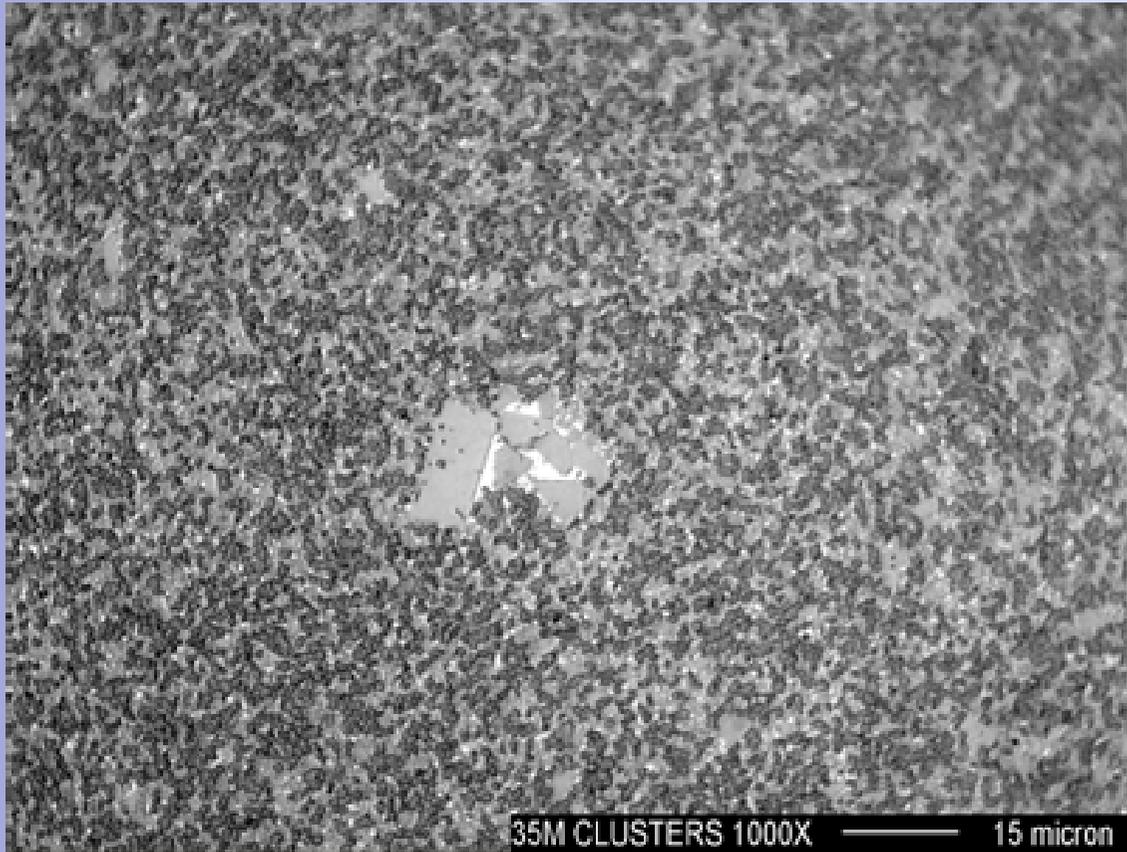
### **Defectos del Carburo**

**Los diferentes defectos del carburo afectan la durabilidad del mismo y esto a su vez afecta en gran medida el costo de las operaciones de trefilado tanto en tiempos perdidos como en acero desperdiciado**



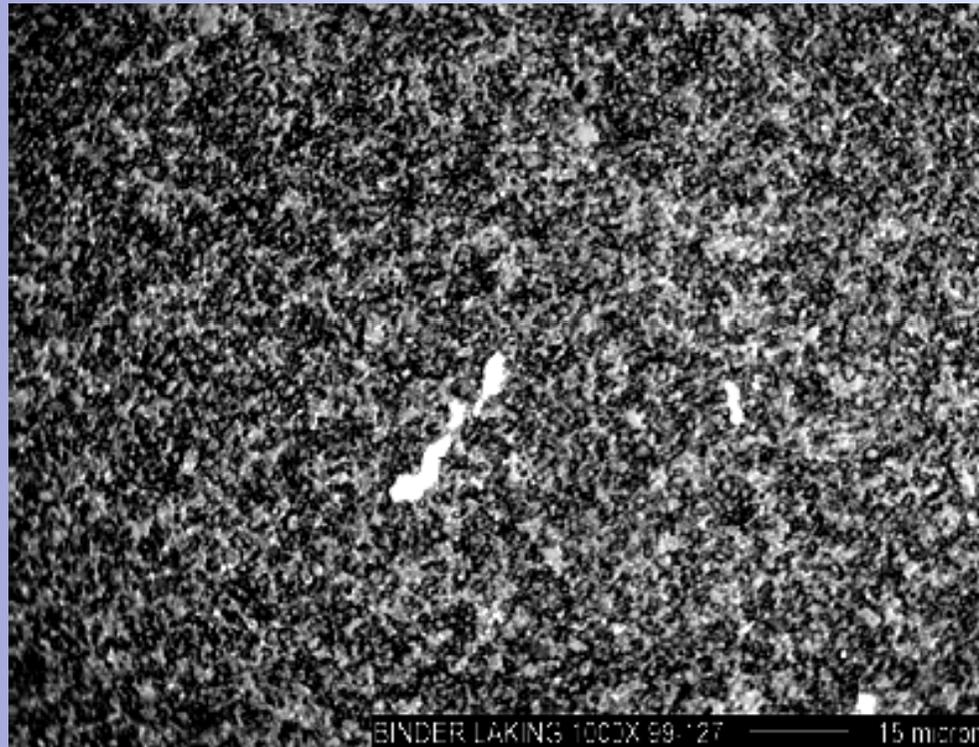
# Defectos del Carburo

## CLUSTERS



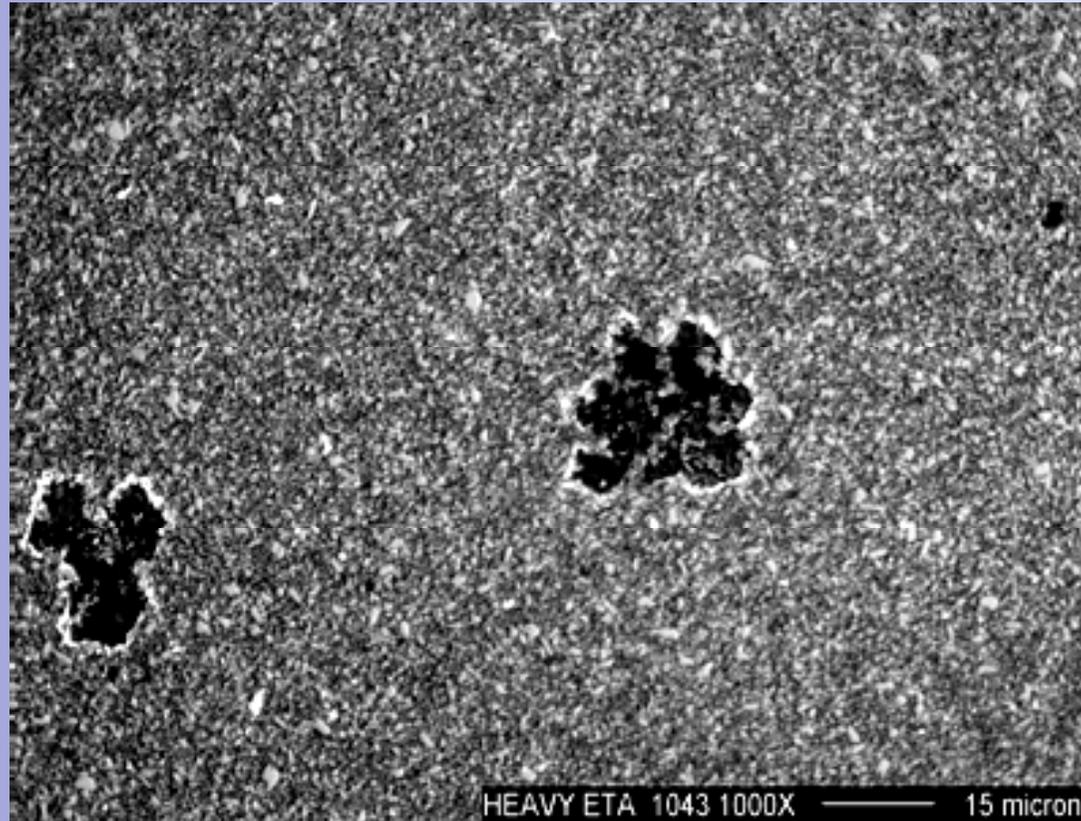
## Defectos del Carburo

### Lagos de liga



**Los lagos de liga son concentraciones de liga de cobalto en la microestructura. Estos se forman cuando las ligas de cobalto o níquel fluyen dentro de poros abiertos durante el sinterizado (1350°C)**

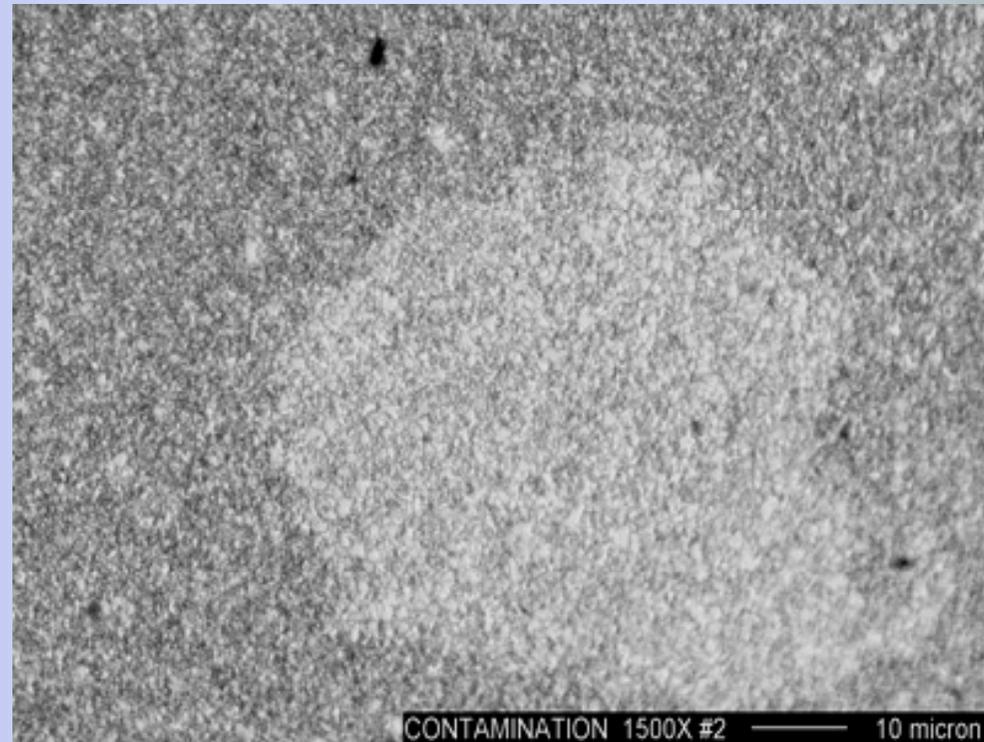
## Defectos del Carburo



**La fase eta es una forma de carburo de tungsteno deficiente en carbono ( $W_2C$ ) que resulta en una pieza más dura y frágil.**

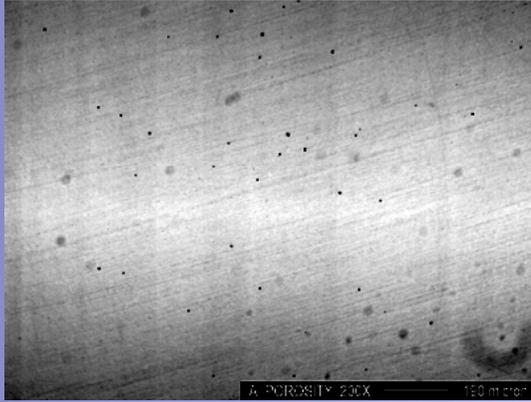
## Contaminación de Grado

**Es un área en la microestructura que se distingue claramente y es redonda u oval cuyo eje mas largo es de 25  $\mu\text{m}$ .**



# Defectos del Carburo

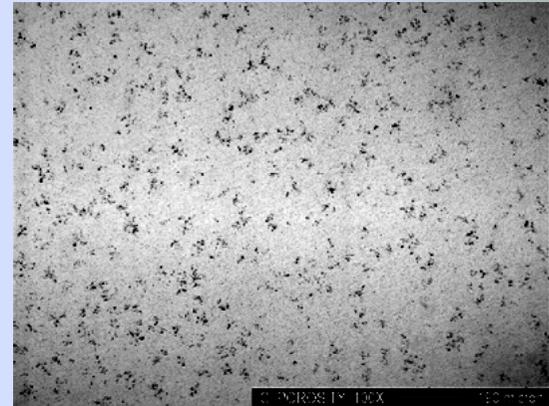
## Porosidad



**Porosidad A**

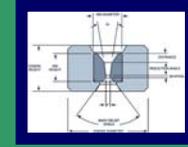


**Porosidad B**



**Porosidad C**

# Dados de trefilado



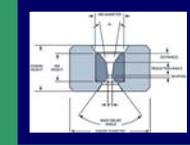
## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**El desempeño de la operación de trefilado depende en extremo de la geometría correcta del dado.**

- ❖ **Se olvida con frecuencia la geometría del núcleo.**
- ❖ **Una gran cantidad de problemas son atribuidas al alambroón, lubricantes u otros insumos, sin estar seguros que el dado se encuentra en condiciones apropiadas.**

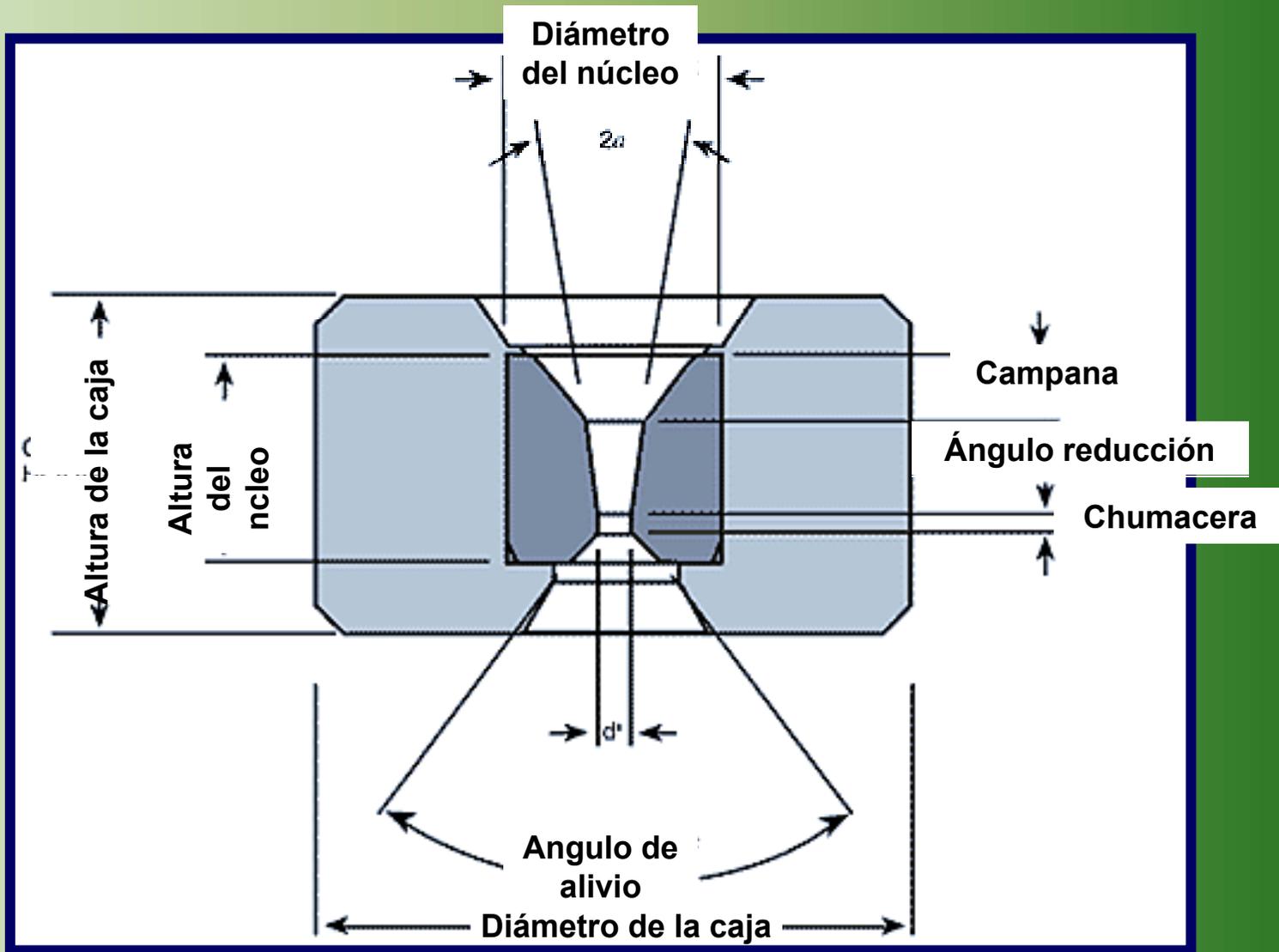


# Dados de trefilado

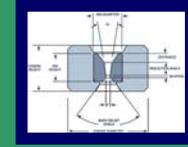


## Diseño de dados y Análisis mecánico<sup>1</sup>

1. Roger N. Wright. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y.



# Dados de trefilado



## Diseño de dados y análisis mecánico

**El angulo del dado y la reduccion determinan la forma de la zona de deformación.**

- **La forma determina:**
- **Esfuerzo de trefilado.**
- **Presion del dado.**
- **Tension en la linea central.**
- **Otros aspectos prácticos del proceso de trefilado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**El diseño de dados puede ser un tema complejo y controversial, considerando los diversos aspectos de detalles geométricos y diferencias en condiciones de operacion.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**La mayoría de los problemas relacionados al diseño de dados son trazables a un solo parámetro de diseño.**

**Llamado parámetro delta**

**$\Delta$**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Esta es la forma de  
deformación plástica  
definida por el dado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

La forma es determinada por dos características familiares:

- Semi-ángulo del dado  $\alpha$
- Reducción por paso  $r$

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

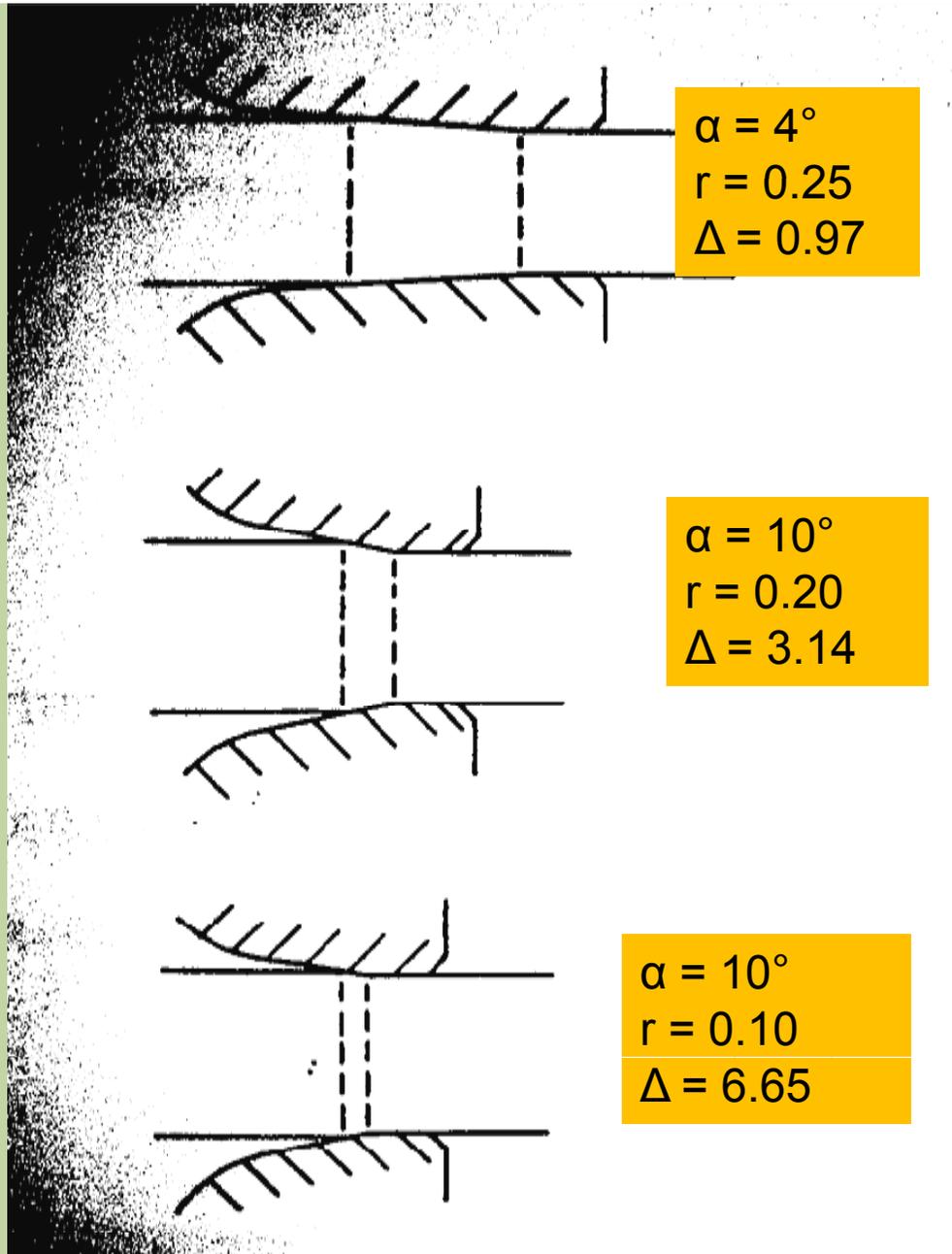
$$\Delta = \frac{\alpha}{r} \left[ 1 + \sqrt{1-r} \right]^2 \quad (1)$$

$$r = 1 - \frac{A_1}{A_0}$$

$A_0$  y  $A_1$  = Area transversal antes y después del paso respectivamente.

$\alpha$  = Semi-ángulo del dado en radianes.





# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**La forma se considera mejor como la relación entre la altura de la zona de deformación a la longitud de la misma.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Esta relación o factor de “forma” se denomina parámetro Delta,  $\Delta$ , y se calcula mediante la ecuación (1)**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Un valor mas bajo de  $\Delta$  implica una zona de deformacion menor y mas larga con mucho contacto con el dado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Un valor mas alto de  $\Delta$  implica una zona de deformacion corta y alta con un contacto limitado con el dado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Para un valor de  $\Delta$  de cerca de 1, la altura de deformación es igual a su longitud.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Es importante hacer énfasis que los efectos del ángulo de reducción del dado y la reducción misma deben considerarse juntos.**

# Dados de trefilado

**Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>**

**Ellos afectan la “forma” de la zona de deformación o parámetro  $\Delta$**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Se puede elaborar un analisis mas eficiente evaluando directamente  $\Delta$ , que evaluando el ángulo y la reducción separadamente.**



# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Bajos valores de  $\Delta$  involucran trabajo de fricción excesivo.**



# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Valores altos de  $\Delta$  involucran  
excesivo trabajo redundante.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**El efecto neto es que se requiere un valor intermedio de  $\Delta$  para alcanzar un mínimo de esfuerzo de trefilado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Del analisis de Siebel's<sup>2</sup>  $\Delta$  para un minimo de esfuerzo de trefilado esta dado por:**

$$\Delta_{\min} \cong 4.9 \sqrt{\frac{\mu}{\ln \frac{1}{1-r}}} \quad (2)$$

$\mu$ =coeficiente de friccion

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Para muchas condiciones comerciales,  $\Delta_{\min}$  es cercano a 3.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**De hecho, los diseños comerciales con frecuencia reflejan un delta de cerca de tres y así, realmente minimizan el esfuerzo de trefilado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Angulo de reduccion	% REDUCCION						
	5	10	15	20	25	30	35
2	2.72	1.33	0.86	0.63	0.49	0.39	0.33
4	5.44	2.65	1.72	1.25	0.97	0.79	0.65
6	8.17	3.98	2.58	1.88	1.46	1.18	0.98
8	10.89	5.30	3.44	2.51	1.94	1.57	1.30
10	13.61	6.63	4.30	3.13	2.43	1.96	1.63
12	16.33	7.95	5.16	3.76	2.92	2.36	1.95
14	19.06	9.28	6.02	4.38	3.40	2.75	2.28
16	21.78	10.60	6.88	5.01	3.89	3.14	2.60



Tabla 1

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Notese que en la tabla 1, que un angulo de 12° y una reduccion de 25% hacen un valor de  $\Delta$  de cerca de 3.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Esfuerzo de trefilado

**Sin embargo, minimizar el esfuerzo de trefilado no debe ser el único criterio para el diseño del dado.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Fricción y calentamiento

**Los valores bajos de  $\Delta$  promueven trabajo de fricción y calentamiento debido a que se incrementa el contacto.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Fricción y calentamiento

**El calor se concentra en la interfase dado-alambre y puede conducir a disminuir la lubricación, mas calentamiento y falla de la lubricación.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Fricción y calentamiento

**También, se asocian problemas tales como superficies pobres del alambre y cambios metalúrgicos cerca de la superficie del alambre.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Fricción y calentamiento

**El uso de valores bajos de  $\Delta$  solo pueden tomarse con lubricación estable y de baja fricción.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Desgaste y presión en el dado.

**El desgaste del dado se puede asociar en general con la presión  $\bar{P}$  en el mismo. La presión en el dado aumenta con el aumento de  $\Delta$**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Desgaste y presión en el dado.

$$\frac{\bar{P}}{\sigma} \approx \frac{\Delta}{4} + 0.6 \quad (3)$$

$\bar{\sigma}$  = Resistencia promedio  
del metal en tensión

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Desgaste y presión en el dado.

**El desgaste del dado se promueve normalmente por un valor alto de  $\Delta$  o reducciones pequeñas o altas y ángulos grandes.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Desgaste y presión en el dado.

**Las presiones mínimas del dado no se alcanzan a menos de que  $\delta$  se reduzca a la unidad o bien por debajo del valor 3 que es el recomendado para el mínimo esfuerzo.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Desgaste y presión en el dado.

**En un valor de  $\Delta$  de tres, el valor de  $\bar{P}$  es aproximadamente un tercio mas alto que para delta en un rango de uno o dos.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**Otro aspecto favorable de un diseño con valor bajo de  $\Delta$  es que promueve un flujo uniforme del metal con trabajo redundante reducido.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**El trabajo redundante es deformación sobre y arriba de aquel trabajo implicado en la reducción de la sección transversal. Normalmente se expresa por el factor de trabajo redundante  $\Phi$**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**$\Phi$  es la relación del trabajo total de deformación implicado en el cambio dimensional.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

Del trabajo de Wistreich's<sup>3</sup> se puede mostrar que:

$$\Phi \approx \frac{\Delta}{4.4} + 0.8 \quad (4)$$

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**$\Phi$  no puede ser menor a 1. Entre mas alto el valor de  $\Phi$  y  $\Delta$  existe mayor cantidad de trabajo redundante.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**El trabajo redundante contribuye a un excesivo endurecimiento por deformación, particularmente en la superficie del alambre y limita el número de pasos y la reducción total que se puede dar antes de que el recocido sea necesario.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**A un nivel de  $\Delta$  de 3 , el cual es típico para muchas operaciones de trefilado, el nivel de deformación plástica es de cerca del 50% mas alto que el implicado por la reduccion de area sola.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Endurecimiento. Trabajo redundante

**Así, reducir el valor de  $\Delta$  deberá ser consistente con la reducción de los recocidos intermedios.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

**Para un buen diseño de dado, el ingeniero de procesos deberá tener en consideración las siguientes reglas generales:**

**Parametro  $\Delta$  : Mantener alrededor de 1.5**

$$\frac{\bar{P}}{\sigma}$$

**Desgaste de dado: tan cerca de uno como sea posible.**

**$\Phi$  Trabajo redundante: Menor a tres.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Agrietamiento central

**Aun otra ventaja de un valor bajo de  $\Delta$  en el diseño de dados y un flujo uniforme del metal es la ausencia o reducción de la tensión hidrostática en el centro del alambre. Tal tensión hidrostática conduce al desarrollo de porosidades y “agrietamiento central” en el centro del alambre.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Agrietamiento central

**Estos defectos conducen a su vez a fallas de tipo “centro de copa (cónicas)” durante el trefilado y ductilidad reducida en el producto terminado, a pesar de un recocido posterior.**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

Agrietamiento central

**Para evitar la tensión en la línea central uno debe tener realmente valores de  $\Delta$  por abajo de 1.5. El esfuerzo de la tensión central hidrostática para valores  $\Delta$  en el rango de tres es muy grande (40% de la resistencia a la tensión del alambre).**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

### Agrietamiento central

**Se debe esperar el agrietamiento central en muchas “operaciones normales” .**

**Una modesta disminución del valor  $\Delta$  puede ser muy útil en la disminución de éste problema.**

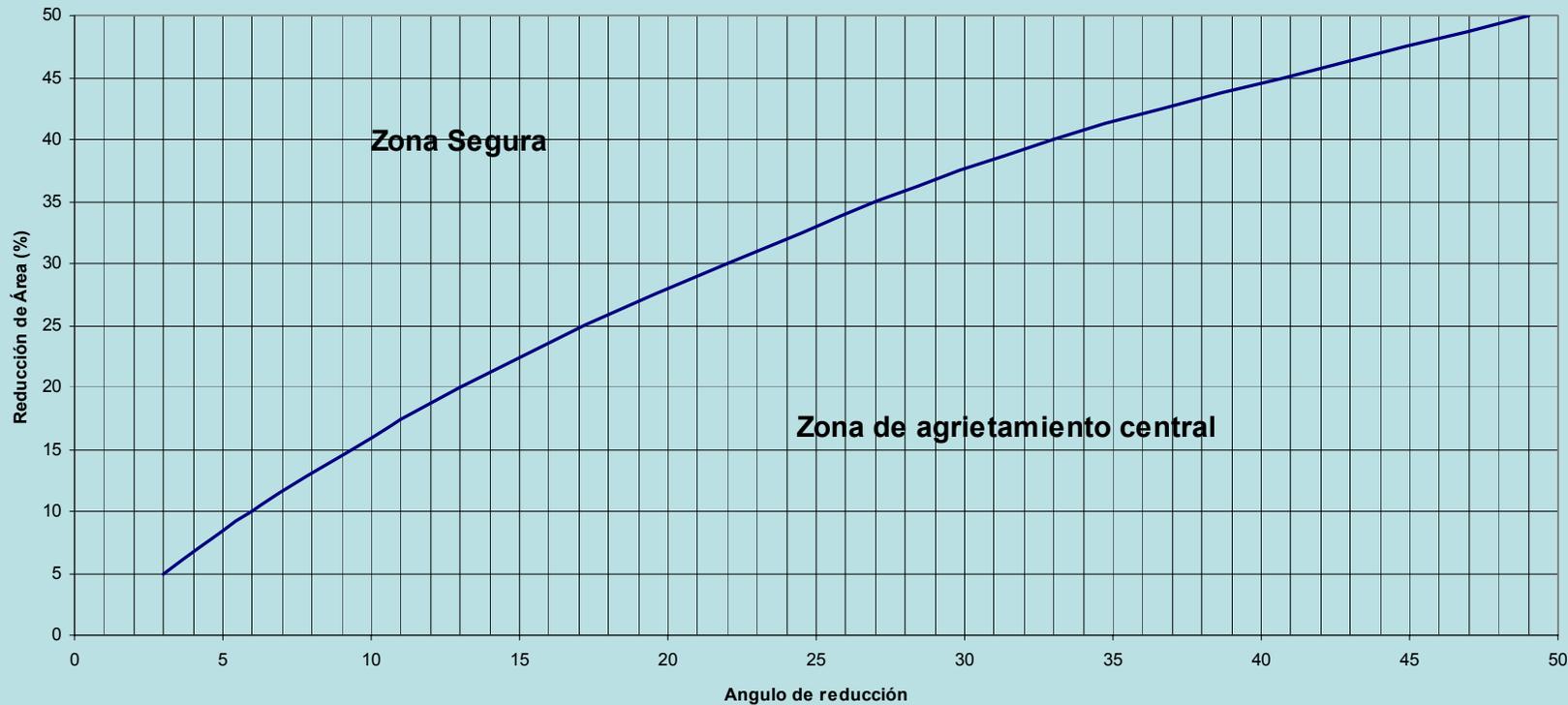
**Una buena guía es comparar el diseño del ingeniero de procesos con la gráfica preparada por Z.Zimmerman**

# Dados de trefilado

## Diseño de dados y análisis mecánico<sup>1</sup>

### Agrietamiento central

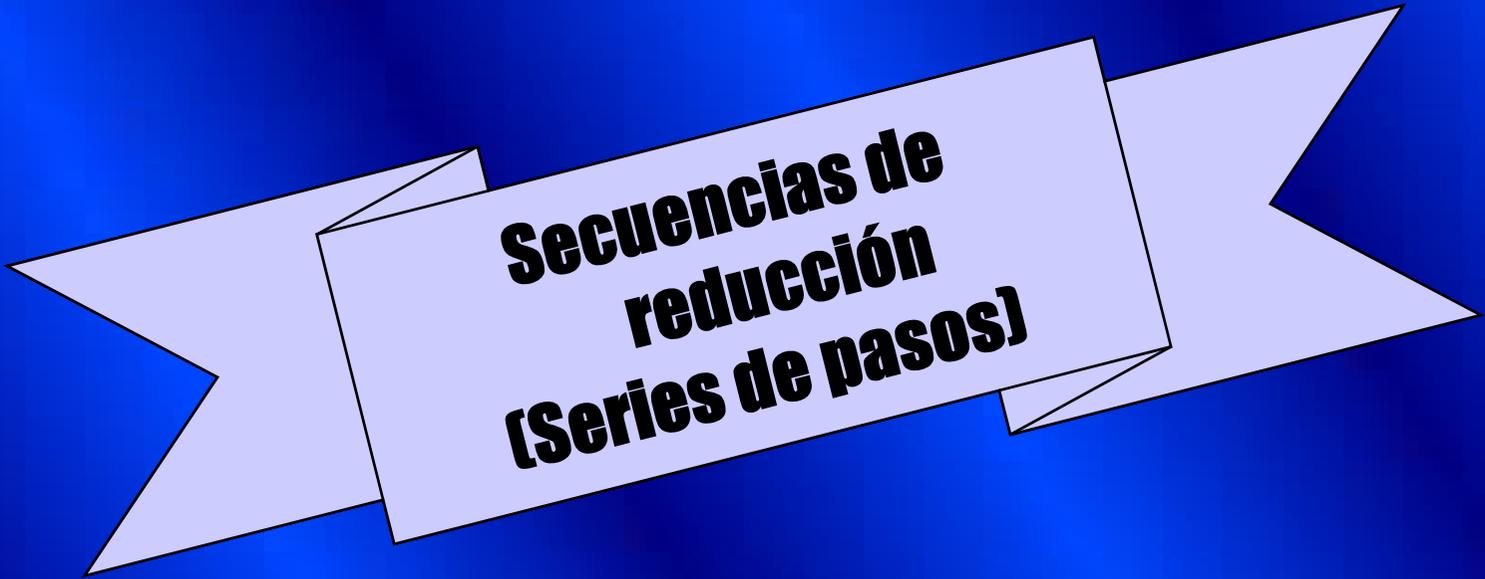
Criterio para evitar el agrietamiento central



# Problemas al trefilar a altas velocidades

## 9. Problemas al trefilar a altas velocidades

- ✚ **Calculo de series descendentes**
- ✚ **Análisis de problemas de trefilado.**

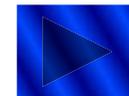
A light blue ribbon graphic with a white outline, tilted diagonally across the center of the slide. The text is written in bold black font on the ribbon.

**Secuencias de  
reducción  
(Series de pasos)**

En lugar de referirse a las áreas iniciales y finales, es frecuente definir las deformaciones como la variación del área dividida por el valor instantáneo del área.

$$\epsilon = \int_{A_f}^{A_0} \frac{dA}{A} = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{D_0^2}{D_f^2} = 2 \ln \frac{D_0}{D_f}$$

La medición por % de reducción de área toma un valor fijo (y no instantáneo) de el área de referencia.



# Secuencias de reducción

## Secuencias de reducciones homogéneas

### FORMULAS

$$\varepsilon = 2 \ln \frac{D_o}{D_f} \quad \text{[1]}$$

$$\% RA = \left(1 - e^{-\varepsilon_p}\right) \cdot 100 \quad \text{[2]}$$

$$\% RA = \left(1 - \frac{D_f^2}{D_o^2}\right) \cdot 100 \quad \text{[3]}$$

$\varepsilon_T$  = Deformación real total

$\varepsilon_p$  = Deformación real parcial

% RA = Reducción de área

$n$  = Número de pasos

$D_o$  = Diámetro inicial o mayor

$D_f$  = Diámetro final o menor



## Secuencias de reducción

### Notas:

- ☀ **La reducción de área no es aditiva.**
- ☀ **La deformación real es aditiva.**

## Secuencias de reducción

### Ejemplo :

#### Calculo de:

- a) Deformación total
- b) Reducción de área de un alambre cuya medida de alambraón es de 0.250" y medida final a calibre 14 (0.080")
- c) Una serie de 8 pasos con deformaciones homogéneas
- d) Una serie de 8 pasos de reducciones descendentes en cuyo último paso se llegue al 16 % RA
- e) La resistencia final que tendría si se utilizara un acero 1022.

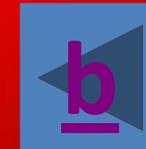
## Secuencias de reducción

Cálculos a) y b)

$$\varepsilon_T = 2 \ln \frac{0.250}{0.080} = 2.28$$



$$\% RA = \left(1 - e^{-2.2789}\right) \cdot 100 = 89.76\%$$



## Secuencias de reducción

**Cálculo c)**

**Número de pasos:  $n=8$**

**La deformación en cada paso es**

$$\varepsilon_p = \frac{2.2789}{8} = 0.2849$$

## Secuencias de reducción

Despejando de (1)  $D_f$  y sustituyendo en (4) tenemos:

$$D_f = D_o \cdot e^{-\frac{\varepsilon}{2}}$$



$$D_f = 0.250'' \cdot e^{-\frac{0.2849}{2}} = 0.250 \cdot 0.8672 = 0.217''$$

(Primer paso de 8)

## Secuencias de reducción

Como la deformación parcial en cada paso es la misma, la expresión

$$\left[ e^{-\frac{0.2849}{2}} = 0.8672 \right]$$

Se convierte en una constante, sólo basta multiplicar el paso previo por la constante obtenida

# Secuencias de reducción

Paso 1	0.250	x	0.8672	0.217
Paso 2	0.217	x	0.8672	0.188
Paso 3	0.188	x	0.8672	0.163
Paso 4	0.163	x	0.8672	0.141
Paso 5	0.141	x	0.8672	0.123
Paso 6	0.123	x	0.8672	0.106
Paso 7	0.106	x	0.8672	0.092
Paso 8	0.092	x	0.8672	0.080

**La reducción de área por paso es:**

$$\% RA = \left(1 - e^{-0.2849}\right) \cdot 100 = 24.79\%$$

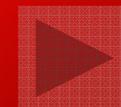


# Secuencias de reducción (Taper drafting)

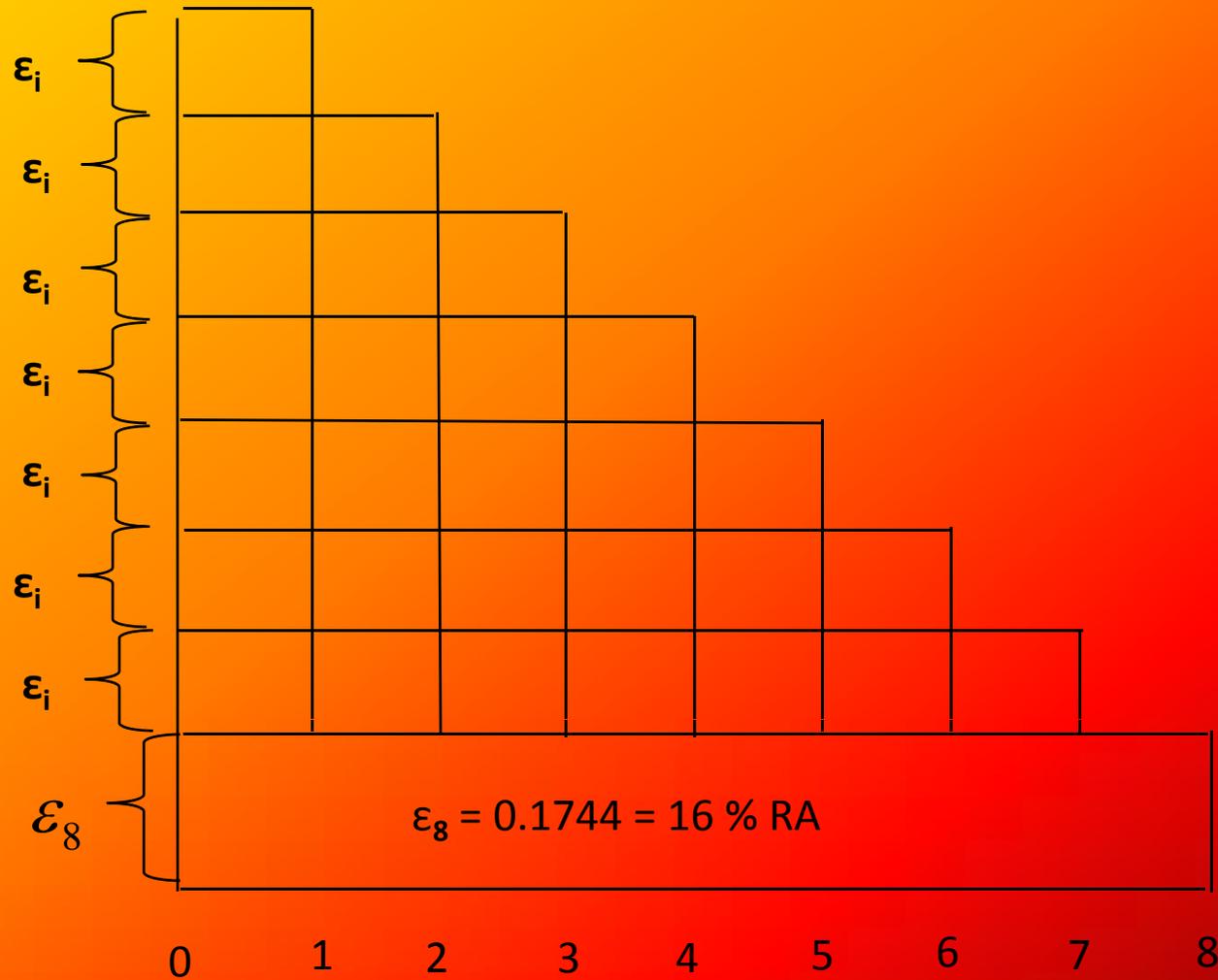
Si consideramos que el penúltimo paso de la serie es la deformación definida para el último paso *más* un incremento individual, tendremos la ecuación (5):

$$\varepsilon_T = \varepsilon_8 + (\varepsilon_8 + \varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 2\varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 3\varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 4\varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 5\varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 6\varepsilon_i) + (\varepsilon_8 + 7\varepsilon_i)$$

Diagram illustrating the sequence of steps (Paso 1 to Paso 8) corresponding to the terms in the equation above. Callouts for Paso 8, Paso 6, Paso 4, and Paso 2 point to the 1st, 2nd, 3rd, and 4th terms respectively. Callouts for Paso 7, Paso 5, Paso 3, and Paso 1 point to the 5th, 6th, 7th, and 8th terms respectively.



# Secuencias de reducción (Taper drafting)



## Secuencias de reducción

**Definiendo  $\epsilon_i$  como la deformación que se irá sumando retroactivamente desde el penúltimo paso, y despejando para  $\epsilon_i$  tendremos:**

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_T - 8\epsilon_8}{28} \quad (6)$$



## Secuencias de reducción

Despejando y sustituyendo  $\epsilon_p$  de  tendremos (16 % RA para  $\epsilon_8$ ):

$$\epsilon_p = \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{\%RA}{100} \right)} \right] \quad (7)$$
$$\epsilon_8 = \ln \left[ \frac{1}{\left( 1 - \frac{16}{100} \right)} \right] = \mathbf{0.1744}$$

## Secuencias de reducción

Sustituyendo en **6**

$$\varepsilon_i = \frac{2.2789 - 8(0.1744)}{28} = \mathbf{0.0316}$$

## Secuencias de reducción

Sustituyendo valores en **5** obtendremos los valores de deformación para cada paso:

Paso N°	Expresión	Deformación para el paso
1er	$\epsilon_8 + 7 \epsilon_i$	0.3954
2°	$\epsilon_8 + 6 \epsilon_i$	0.3638
3°	$\epsilon_8 + 5 \epsilon_i$	0.3323
4°	$\epsilon_8 + 4 \epsilon_i$	0.3007
5°	$\epsilon_8 + 3 \epsilon_i$	0.2691
6°	$\epsilon_8 + 2 \epsilon_i$	0.2691
7°	$\epsilon_8 + \epsilon_i$	0.2060
8°	$\epsilon_8$	0.1744

## Secuencias de reducción

Aplicando éstas deformaciones a la fórmula (4)

$$D_f = D_o \bullet e^{-\frac{\varepsilon}{2}}$$

tendremos los valores de la serie descendente:

## Secuencias de reducción

$$D_1 = 0.250" \cdot e^{\frac{0.3954}{2}} = 0.250" \cdot 0.8206 = 0.205"$$

RA=32.66 %

$$D_2 = 0.205" \cdot e^{\frac{0.3638}{2}} = 0.205" \cdot 0.838 = 0.171"$$

RA=30.50%

$$D_3 = 0.171" \cdot e^{\frac{0.3323}{2}} = 0.171" \cdot 0.847 = 0.145"$$

RA=28.27 %

$$D_4 = 0.145" \cdot e^{\frac{0.3007}{2}} = 0.145" \cdot 0.860 = 0.125"$$

RA=25.97 %

$$D_5 = 0.125" \cdot e^{\frac{0.2691}{2}} = 0.125" \cdot 0.874 = 0.109"$$

RA=23.59 %

$$D_6 = 0.109" \cdot e^{\frac{0.2375}{2}} = 0.109" \cdot 0.888 = 0.097"$$

RA=21.14%

$$D_7 = 0.097" \cdot e^{\frac{0.2060}{2}} = 0.097" \cdot 0.902 = 0.087"$$

RA=18.61 %

$$D_8 = 0.087" \cdot e^{\frac{0.1744}{2}} = 0.087" \cdot 0.916 = 0.080"$$

RA=16.00 %

## Secuencias de reducción

**Calculo e):  
La resistencia última a la tracción tiene un  
comportamiento de la forma:**

$$RT_{al} = RT_{AL} + K \bullet \mathcal{E} \quad \left[ 7 \right]$$

$RT_{al}$  = Resistencia del alambre (KSI)

$RT_{AL}$  = Resistencia del alambrón (KSI)

$K$  = Factor de endurecimiento (KSI/puntos de deformación)

$\mathcal{E}$  = deformación real





## Secuencias de reducción

Aplicando los valores en **7**

**ALAMBRE 1022**

$$RT_{al1022} = 77.17 + 42.05 \bullet 2.28 = 173.04 KSI$$

# Problemas al trefilar a altas velocidades



# Análisis de defectos de trefilado



# Análisis de defectos de trefilado

## *Rayado y Ovalado*

Causa

Solución

Dado defectuoso

Cambiar Dado.

Agua en la caja  
porta lubricante  
y/o dado

Secar caja y reemplazar lubricante  
mojado o húmedo.

Restos de cascarilla en  
la primera cabeza.

Corregir cepillos, lija y reducción mínima  
en decapador mecánico



# Análisis de defectos de trefilado

## *Rayado y Ovalado*

Causa

Solución

Alambrón con costilla

- Descartar espiras defectuosas.
- Desechar rollo si tiene la costilla a todo lo largo del rollo.

Acarreo pobre de lubricante.

- Datos de presión colocados incorrectamente o mal calculados.
- Lubricante inadecuado.
- Alta reducción de área por serie mal calculada o no hay suficientes cabezas para las reducciones adecuadas.
- No tiene acarreador (cal, borax o fosfato).



# Análisis de defectos de trefilado

## *Rayado y Ovalado*

### Causa

### Solución

Caja portadados caliente. Quema el lubricante y deja residuos color negro

- Revisar el libre flujo de agua evitando bloqueo de mangueras.
- Agua de enfriamiento muy caliente.
- Bloque anterior muy caliente.

Guías ranuradas, poleas que no giran o golpes o ambas.

Rectificar guías y poleas, reemplazar baleros y revisar cualquier roce del alambre con partes fijas de la máquina que le desprenda la película del lubricante.



# Análisis de defectos de trefilado

## *Rayado y Ovalado*

Causa

Solución

Dados usados sin  
rectificar.

- Administración adecuada de datos e insertos

Diseño inadecuado de  
hileras

- Revisar valores del parámetro delta. Demasiada fricción en el dado.
- Cambiar ángulo de ataque.
- Cambiar longitud de la chumacera.
- Cambiar reducción de área.



# Análisis de defectos de trefilado

## *Rayado y Ovalado*

Causa

Solución

Grasa en alambión.

- Limpiar si está en áreas limitadas. Si se presenta en áreas más amplias, rechazar el rollo completo.

Lubricante no resiste la presión

- Cambiar el tipo de lubricante y/o proveedor de lubricante.

# Análisis de defectos de trefilado

## *Reventones de alambre*

### Causa

### Solución

Defectos de alambrón

- Grietas y traslapes.
- Segregación excesiva
- Rechupes.
- Costilla.
- Ovalamiento fuera de estándares
- Inclusiones no metálicas 4 y mayores
- Hojeaduras.
- Golpes mecánicos en general.
- Grano duplex (alto carbono)

Demasiada reducción de área por paso o total.

- Valor delta inadecuado.
- Demasiado trabajo redundante.
- Alta presión central hidrostática
- Cambiar secuencia de dados.

# Análisis de defectos de trefilado

## *Reventones de alambre*

### Causa

### Solución

Traslape de vueltas en el bloque.

- Cabeza acanalada.
- Bloques muy fríos. El suministro de agua no se detiene en paros temporales de la máquina.

Sensores (Tuner roll) descalibrados

Calibrar.

Paros y arranques frecuentes de cabezas.

- Calibrar curvas de arranque y de paros
- Calcular adecuadamente la serie de dados



# Análisis de defectos de trefilado

## *Resistencia Alta o baja.*

### Causa

### Solución

Dispersión de análisis en la colada

- Tomar muestras, realizar prueba de resistencia y clasificar.

Revoltura de coladas.

- El proveedor deberá enviar coladas completas.
- Muchas coladas diferentes.

Revoltura de grado

- Puede haber diferentes rollos con diferentes grados en una sola entrega del proveedor.



# Análisis de defectos de trefilado

*Resistencia Alta o baja.*

Causa

Solución

Grado de acero inadecuado.

- Se solicitó acero del grado inapropiado para la aplicación.
- El grado de acero es el correcto, pero las especificaciones del mismo son inadecuadas para el producto.

Secuencia de dados incorrecta.

- Mayor o menor número de reducciones en el trefilado.



# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre Ondulado

Causa

Solución



Excesiva vibración en el paso final o pasos anteriores,

- **Determinar el o los pasos en donde se esta presentando la vibración y eliminar con el dispositivo apropiado. La reducción entre el recogedor y el último tambor debe ser de 0.006" mínimo.**



# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre Ondulado

### Causa

■ Excesiva vibración en el paso final o pasos anteriores, inclusive desde el primer paso.

### Solución

- El cast del tambor antes del recogedor debe ser perfecto. También se puede utilizar alineación a 90
- Poner 2 vueltas al primer labio. En caso de escuchar que el alambre se resbala, aumentar una vuelta y revisar diámetro del alambre.
- A los últimos blocks colocar madera sobre el alambre con la idea de evitar que el alambre se vibre o salga jaspeado.
- En caso de usar el rodillo salida caja portadados, tratar de que sólo toque el alambre. Más cerca de la caja vibra menos.

# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre sucio

### Causa

### Solución

✚ Uso inapropiado del lubricante.

✚ Probar con estearato de calcio rico en primeros pasos y estearato de sodio rico en últimos pasos.

✚ Proveedor con mala calidad de estearato.

✚ Utilizar proveedor confiable de lubricantes.

✚ No se usa estearato de sodio.

✚ Utilizar estearato de sodio en últimos pasos, combinar con estearatos de aluminio y grasas hidrosolubles.

✚ Mala selección del ángulo de ataque y/o reducción de área

✚ Revisar serie de dados: reducción de área y ángulo de ataque.



# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre Brillante

### Causa

### Solución

✚ Agua en la caja portadados o lubricante húmedo o mojado.

✚ Eliminar fuente de la humedad.  
✚ Secar lubricante.

✚ Dado muy caliente y por lo tanto, se quema el lubricante

✚ Revisar sistema de enfriamiento de la caja portadados y reparar.

✚ El lubricante no resiste la presión

✚ Cambiar el tipo de lubricante

✚ Caja portadados excesivamente fría.

✚ Permitir que el dado se caliente un poco más para que el lubricante alcance la viscosidad apropiada.

# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre frágil Alto carbono

### Causa

### Solución

Alambre caliente (máximo 145C) en cada cabeza.

- Revisar sistema de enfriamiento (Volumen, presión y temperatura del agua recirculada) y llevar a los niveles correctos.
- Bajar velocidad final de trefilado hasta alcanzar las temperaturas adecuadas.
- Llenar las cabezas de alambre a su máximo posible.

Análisis químico del alambrón fuera de especificación

- Revisar certificados de calidad el contenido de Nitrógeno y elementos residuales.

# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre frágil Alto carbono

Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"><li>Limpieza del acero</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar nivel de inclusiones no metálicas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Grietas y traslapes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar al microscopio la profundidad de grietas, no deberá ser mayor a 2% del diámetro del alambrón.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Diseño del proceso de trefilado inadecuado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar serie de dados, parámetro delta, parámetros de fricción y calentamiento, trabajo redundante y presión central hidrostática</li></ul>
Hidrógeno en el alambre	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar concentración de ácido y sales de fierro en tinas de decapado.</li><li>Secar a una temperatura mínima de 150°C por un mínimo de 10 minutos.</li></ul>



# Análisis de defectos de trefilado

## Alambre frágil Bajo carbono

Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"><li>Grietas y traslapes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar al microscopio la profundidad de grietas, no deberá ser mayor a 2% del diámetro del alambrón.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Limpieza del acero</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar nivel de inclusiones no metálicas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Diseño del proceso de trefilado inadecuado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Revisar serie de dados, parámetro delta, parámetros de fricción y calentamiento, trabajo redundante y presión central hidrostática</li></ul>

# Análisis de defectos de trefilado

## Fallas de cast

Causa

Solución

+ Cruzado

- + Rodajas de enderezado. La rodaja N° 1 es la de salida del alambre y la N° 2 es la de entrada del alambre. Si esta cruzado apretar la rodaja N° 1, El tornillo N° 2 ligeramente apretado para garantizar que las vueltas no se ondulen.
- + Con la caja portadados únicamente lograremos obtener ligeramente el cast. El ajuste final se hace con las rodajas, por lo tanto es en esta medida que deben tocar al alambre. Para calibres mayores se recomienda sacar el cast con la caja y usar lo menos posible las rodajas.

# Análisis de defectos de trefilado

## Fallas de cast

Causa	Solución
✚ Abierto	✚ Hacer la forma inversa al punto N 1 del alambre cruzado. De ser necesario sólo mover los tornillos superiores de la caja portadados. Hacia fuera se abre el alambre y hacia fuera se cruza.
✚ Alambre jaspeado	✚ Indispensable aumentar la reducción de área, principalmente en el recogedor y de ser necesario a los 3 pasos anteriores. ✚ Colocar maderas de sujeción a las últimas 4 cajas portadados, para evitar que vibre.
✚ Diámetro chico y grande	✚ La polea entrada 2do. Labio si se mete el diámetro se hace grande, mientras más se saque el diámetro se hace chico.

# Análisis de defectos de trefilado

## Fallas de cast

Causa

Solución

✚ Espira grande y otra chica

- ✚ Quitar acumulación del lubricante (Alambre) a la salida del dado del recogedor y/o cambiar el alambre.
- ✚ A la entrada del recogedor, ajustar las rodajas de modo que aprieten el alambre.
- ✚ Alinear caja del block previo entrada al recogedor. Que el cast este bien.
- ✚ De continuar, mover la caja del block de entrada al recogedor hacia arriba.



## **CONCLUSIONES:**

- + La garantía del éxito en alcanzar altas velocidades y productividades en fabricación de alambre radica en el compromiso de la Dirección para lograrlo.**
- + Las altas velocidades de trefilado no son un fin en si mismo, son un medio para ser mucho mas competitivos y poder entregar al cliente en forma oportuna sus pedidos, incluyendo sus urgencias.**
- + Las altas productividades que actualmente se llegan a alcanzar en el mundo facilitan la construcción de plantas con un número reducido de equipos de trefilado y altas producciones.**