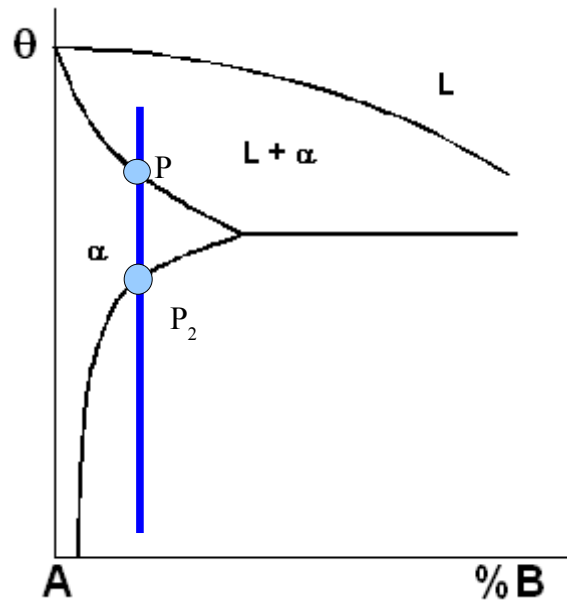


**Endurecimiento por aleación.**  
**Aleaciones con solubilidad parcial**  
**en estado sólido**

**Luis Íñiguez de Onzoño Sanz**

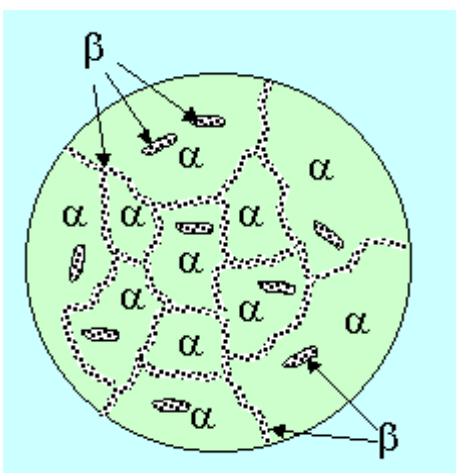
Aleación de solubilidad parcial.

La práctica anterior trabajamos con aleaciones que tenían solubilidad total con o sin eutéctico. En la práctica actual estudiaremos los metales con solubilidad parcial. En la práctica nos encontraremos con zonas donde existen diferencias en la solubilidad. De esta forma surge la posibilidad de realizar un tratamiento térmico en la zona de color azul.



## Tratamiento térmico de envejecimiento.

Las concentraciones donde es posible realizar un tratamiento de envejecimiento son entre el 10 y el 20 % de B. Primero se solidifica  $\alpha$ , después  $\alpha$  con  $\beta$  hasta el punto  $P_2$  momento en el que aparece en el borde de grano la solución  $\beta$  sólida, esta se va envejeciendo quedando al final  $\alpha$  10  $\beta$  en el borde de grano.

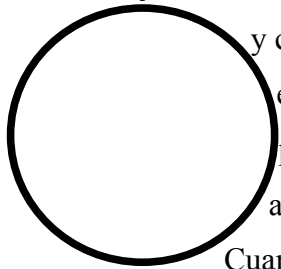


Normalmente la sustancia con mayor punto de fusión es la más resistente siendo en nuestro caso la sustancia A. Así tendríamos bloques de A resistentes unidos por B, mucho más frágil. Esto es muy peligroso debido a que a pesar de tener un material con una posible alta resistencia mecánica esta se queda muy reducido por culpa de la sustancia B, una forma de ver esta problemática es haciendo el símil con una pared, siendo A los ladrillos de un material muy resistente y B el cemento de muy baja calidad.

Para evitar esto usamos el tratamiento de envejecimiento.

Partiendo de la estructura enfriada en equilibrio de la figura anterior con fase  $\beta$  insoluble procederemos de la siguiente manera:

1. Hacemos un calentamiento hasta P obteniendo un estado solubilizado con  $\beta$  disuelto en  $\alpha$ . A partir de esa temperatura realizaremos un enfriamiento rápido de forma que no dejemos tiempo para que se cristalice la fase  $\beta$ .
2. En este estado sus propiedades son muy bajas no viéndose la aleación por lo que procederemos con el envejecimiento del material.
3. El envejecimiento consiste en crear una precipitación uniforme del material por la matriz tal y como aparece en la ilustración adjunta. En si existe una tendencia natural en llegar a ese estado pero tardaría años en producirse por lo que no sería práctico. Para acelerar el proceso lo que haremos será calentar el material a una temperatura elevada más o menos cerca de  $P_2$  pero sin superarlo. Cuanto más cerca esté tardará menos pero precipitará en menor medida y cuando más lejos precipitará más pero mucho más lento.
4. Finalmente la estructura obtenida da unas propiedades mecánicas muy superiores.



Un ejemplo de este procedimiento muy relevante es el caso del aluminio ya que es el único método existente que permite aumentar sus características mecánicas aparte de la acritud.

#### Experimento

Probetas de aluminio 6063 solubilizadas a 520 °C durante 3 horas (quedando una única fase) más un posterior temple.

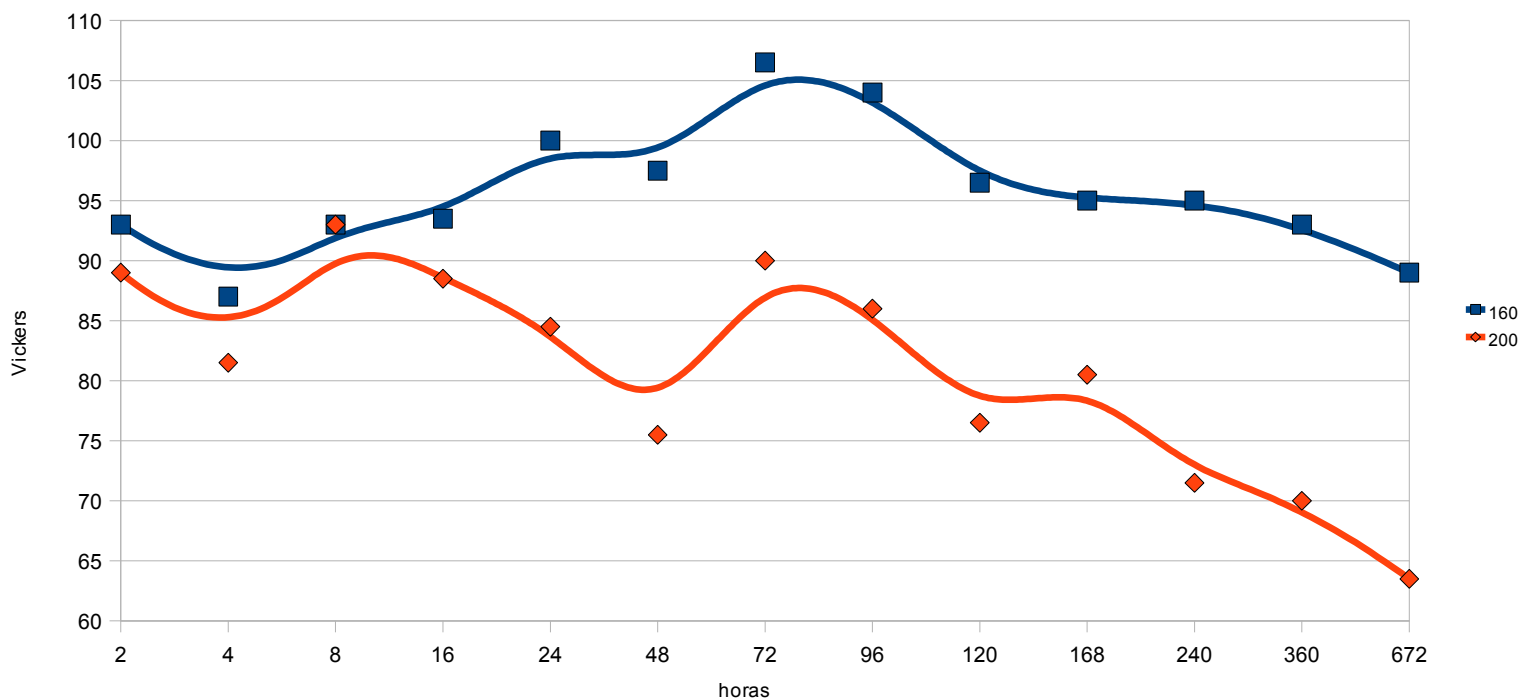
Las probetas han sido sometidas previamente a un envejecimiento de 160°C y 200°C durante 2, 4, 8, 16, 24, 72, 96, 120, 168, 240, 372 horas respectivamente. Estudiaremos la correlación entre la temperatura y el envejecimiento midiendo la dureza del material con el durómetro portátil ya usado en otras experiencias.

### Datos Obtenidos.

Las mediciones las haremos en la escala Vickers dándonos la probeta en estado original, es decir, sin endurecimiento una dureza de 55-53 Vickers

C\h		2	4	8	16	24	48	72	96	120	168	240	360	672
160	1°	93	87	90	94	98	97	106	105	97	93	97	91	88
	2°			96	93	102	98	107	103	96	97	93	95	90
		<b>93</b>	<b>87</b>	<b>93</b>	<b>93,5</b>	<b>100</b>	<b>97,5</b>	<b>106,5</b>	<b>104</b>	<b>96,5</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>89</b>
200	1°	88	83	93	91	82	76	90	88	78	79	70	70	63
	2°	90	80	93	86	87	75	90	84	75	82	73	70	64
		<b>89</b>	<b>81,5</b>	<b>93</b>	<b>88,5</b>	<b>84,5</b>	<b>75,5</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>76,5</b>	<b>80,5</b>	<b>71,5</b>	<b>70</b>	<b>63,5</b>

Variación de la dureza entre Temperatura y Tiempo



En la gráfica podemos apreciar los datos obtenidos de forma más clara. A esta gráfica la he aplicado un efecto b-spline para intentar evitar los posibles errores de medida y ver lo que es el comportamiento real del experimento.

## Conclusiones

Podemos apreciar en la gráfica como existe en un punto donde se alcanza un máximo envejecimiento y a partir del cual de este la dureza del material baja, esta zona se llama sobre-envejecimiento y se ha de evitar a toda costa. Así mismo se puede ver que a mayor temperatura se consigue la dureza máxima más rápido pero es mucho más reducida que cuando a una temperatura inferior (160°C) aunque esta tarda unas 72 horas en lograr su dureza máxima.

## Envejecimiento realizado en el laboratorio

Ahora con aluminio 7015 solubilizado a 480°C durante 5 horas comprobaremos su tiempo de envejecimiento

Se meten dos piezas de metal en 3 hornos estando estos a 100°C, 180 °C y 220°C. Se dejan las piezas en los hornos durante 1 hora.

Una vez realizado el experimento realizamos las mediciones con el durómetro portátil siendo de 65-66 la del material sin envejecer.

	1		2	
<b>100</b>	106-105-103	<b>104,6</b>	107-105-106	<b>106</b>
<b>180</b>	113-102-165-162	<b>135,5</b>	180-134-145-177	<b>159</b>
<b>220</b>	124-97-90-94-86	<b>98,2</b>	88-90-91	<b>89,6</b>

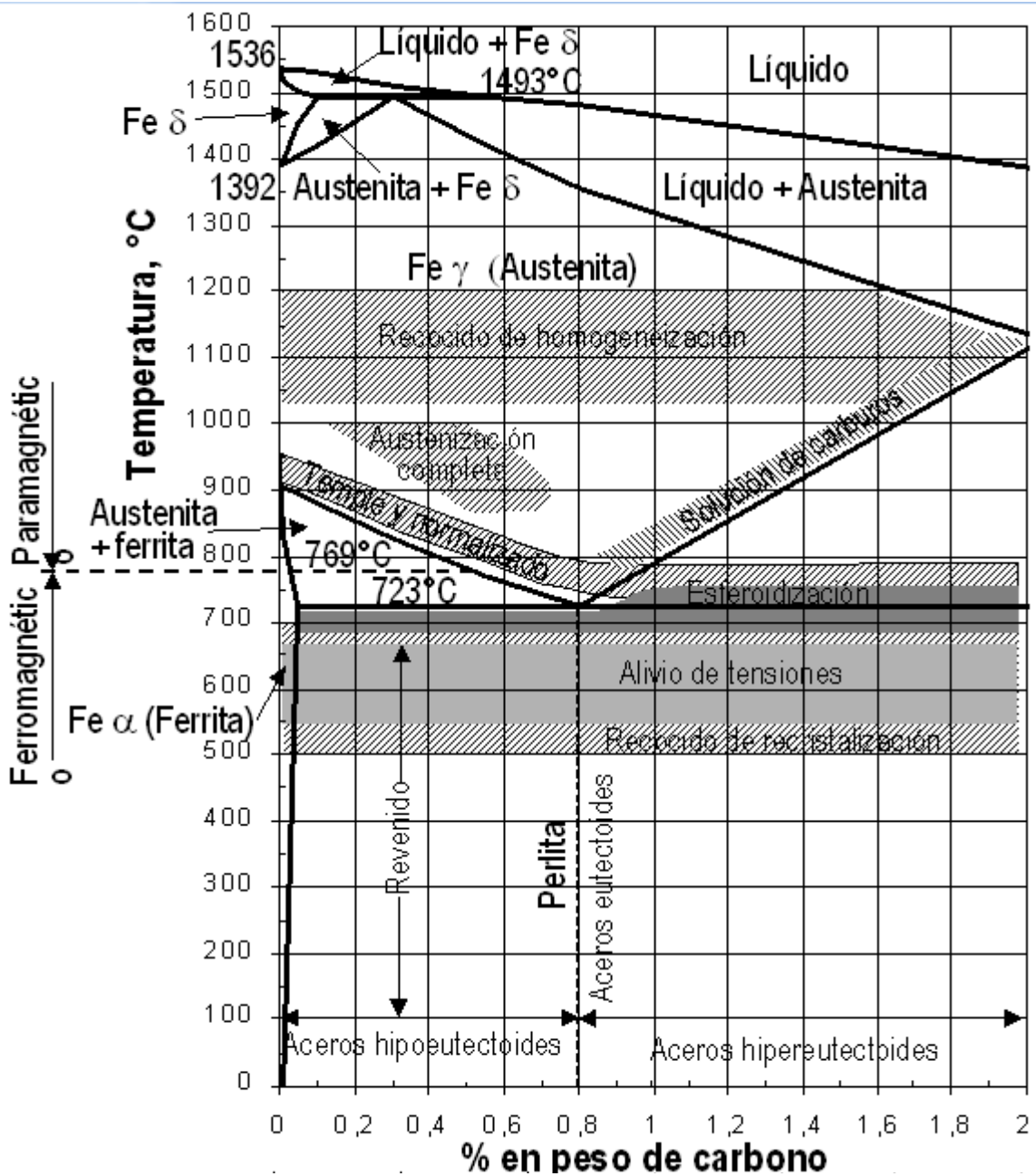
Viendo los datos obtenidos se puede concluir que la dureza máxima se alcanza a una temperatura de 180 °C siendo 100 °C insuficiente para una hora y 220°C se le queda grande 1 hora.

## **Observación metalográfica**

Por metalografía no se puede apreciar la fase  $\beta$  pero si que se puede comparar.

- Solubilizado: Estructura monofásica. Grandes diferencias por orientación del ataque químico
- Precipitado: Ya no se ve esa estructura uniforme si no muchos granos y en las zonas oscuras se verán los precipitados.
- Sobreenvjecimiento: Se parece más a la primera que a la segunda con algún precipitado blanco

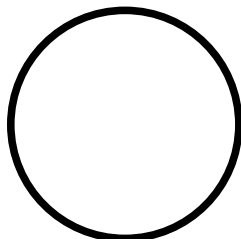
# Diagrama hierro-carbono



Eutética y eutectoide.

Existen dos grandes grupos dentro de los aceros, por una parte los aceros que contienen entre un 0 y 2% de C llamados hierros fundidos o fundiciones y por otra parte los que se encuentran entre el 0 y el 0.8% de C formados por Perlita+Ferrita.

- 0,1% Existe una parte blanca y otra más oscura siendo la parte blanca la ferrita. No se aprecia estructura laminar



- 0,2% Se ven más zonas oscuras, más abundantes, un 25% de Perlita
- 0,4% Justo la mitad de perlita y ferrita
- 0,7% Minoría de ferrita ante perlita. Se ven las bandas, es decir, la estructura laminar formada por Ferrita que es blanda y elástica y Cementita que es más dura pero menos elástica. La unión de ambas en la estructura laminar consigue una sustancia muy resistente.
- 0,8% Estructura eutectoide, es decir, todos sus granos son laminares.

Si lo recueces se globaliza la cementita estando la perlita en borde de grano fragilizando la estructura en gran medida por lo que es algo ha evitar.