

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a presentar las curvas de resistividad relativa frente a la porosidad, obtenidas a partir de los datos experimentales de cada polvo. Junto a las curvas experimentales se representarán las obtenidas mediante ajustes de las ecuaciones teóricas propuestas.

4.2 ECUACIONES PROPUESTAS

Una vez finalizada la parte de laboratorio y obtenidos los datos experimentales resistividad relativa frente a porosidad relativa para cada polvo, se está en disposición de realizar el ajuste de la nube de puntos a las tres ecuaciones teóricas propuestas.

$$\text{Teórica 1: } \rho_R = (1 - \Theta_R)^{-2}$$

$$\text{Teórica 2: } \rho_R = (1 - \Theta_R)^{-t}$$

$$\text{Teórica 3: } \rho_R = (1 - \Theta_R)^{-n}$$

Siendo:

ρ_R , resistividad relativa (ρ_E / ρ_0)

Θ_R , porosidad relativa (Θ / Θ_M)

ρ_0 , resistividad del material macizo

ρ_E , resistividad efectiva

Θ , porosidad

Θ_M , porosidad de golpeo

n y Θ_M son parámetros de ajuste y $t = 1 + (1 - \Theta_M)^{0,8}$.

4.3 CURVAS RESISTIVIDAD RELATIVA - POROSIDAD RELATIVA

La finalidad es obtener el comportamiento de la resistividad eléctrica de un material en función de la porosidad del compacto.

4.3.1 Aluminio

Para el cálculo de los resultados además de los datos experimentales como porosidad de golpeo (indicado en el capítulo de procedimiento experimental) y resistencia eléctrica es necesario conocer:

$$\gamma_0 = 2,74 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 2,74 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$$

γ_0 , peso específico del material

ρ_0 , resistividad del material macizo

Los valores de los parámetros ajustables que proporcionan los mejores ajustes se muestran en la tabla 4.1:

TABLA DE AJUSTES		Θ_M	t, n	R^2
AL	TEÓRICA 1 (T1)	0,56	2	0,9391
	TEÓRICA 2 (T2)	0,49	1,58	0,9528
	TEÓRICA 3 (T3)	0,45	1,33	0,9513

Tabla 4.1 Resultado del mejor ajuste para las teóricas 1, 2 y 3

En la figura 4.1 se muestra la representación de la nube de puntos experimentales en color verde. Se han rechazado aquellas parejas de valores que no seguían la tendencia de la mayoría de datos. La curva de color azul muestra el ajuste con la teórica 1, la curva de color rosa muestra el ajuste de la teórica 2 y la curva de color amarillo muestra el ajuste de la teórica 3.

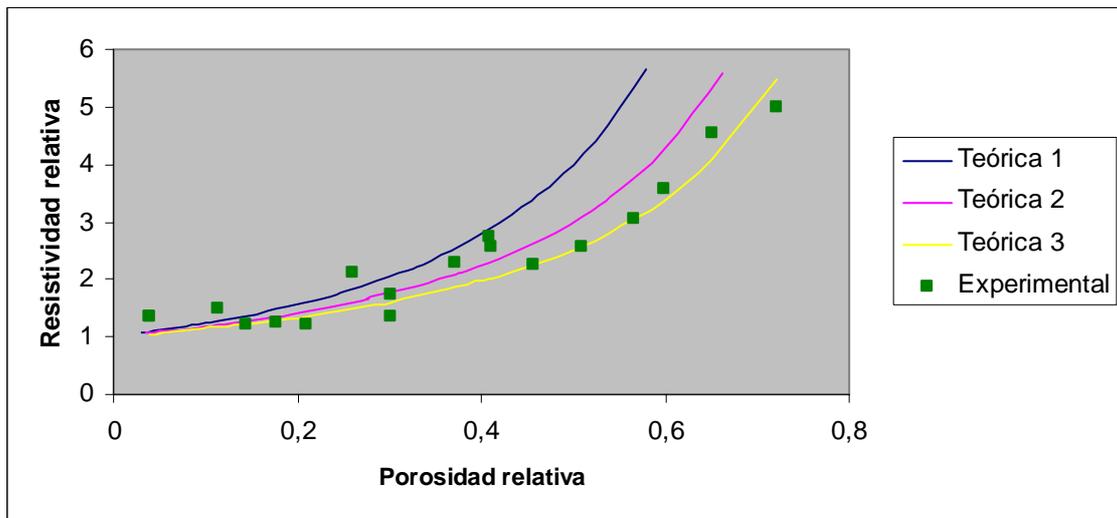


Figura 4.1 Datos experimentales y ajustes realizados para el aluminio con las teóricas 1, 2 y 3

Los coeficientes de correlación para las tres ecuaciones teóricas son similares. Se observa que el la porosidad de golpeo obtenida para la T1 dista demasiado del valor experimental y además, como se ve en la figura 4.1, es el peor ajuste. Respecto a la T2 y T3, la porosidad de golpeo de la T3 es la que más se acerca a la experimental y se ajusta mejor a la nube de puntos.

Valores de las incertidumbres asociadas:

$$\Delta\theta = 0,853-0,852 \%$$

$$\Delta\rho_R = 2,898-10,275 \%$$

4.3.2 Hierro

En este apartado se van a estudiar dos tipos de hierro, el Fe WPL 200 y el Fe Nc 100.24. Este material tiene un peso específico y resistividad superior al aluminio.

$$\gamma_0 = 7,86 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 9,8 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$$

4.3.2.1 Hierro WPL 200

Este tipo de hierro tiene una porosidad de golpeo ligeramente inferior al hierro Nc 100.24. En la tabla 4.2 se muestran los valores óptimos de los parámetros de ajuste:

TABLA DE AJUSTES		Θ_M	t,n	R^2
FE WPL 200	<i>TEÓRICA 1</i> (T1)	<i>0,88</i>	<i>2</i>	<i>0,9171</i>
	<i>TERÓICA 2</i> (T2)	<i>0,68</i>	<i>1,40</i>	<i>0,9186</i>
	<i>TEÓRICA 3</i> (T3)	<i>0,64</i>	<i>1,22</i>	<i>0,9410</i>

Tabla 4.2 Resultado del mejor ajuste para las teóricas 1, 2 y 3

Representando gráficamente obtenemos la figura 4.2. Los valores finales correspondientes a las porosidades más próximas a la de golpeo, se han descartado por no seguir la tendencia de los demás (marcados con una elipse).

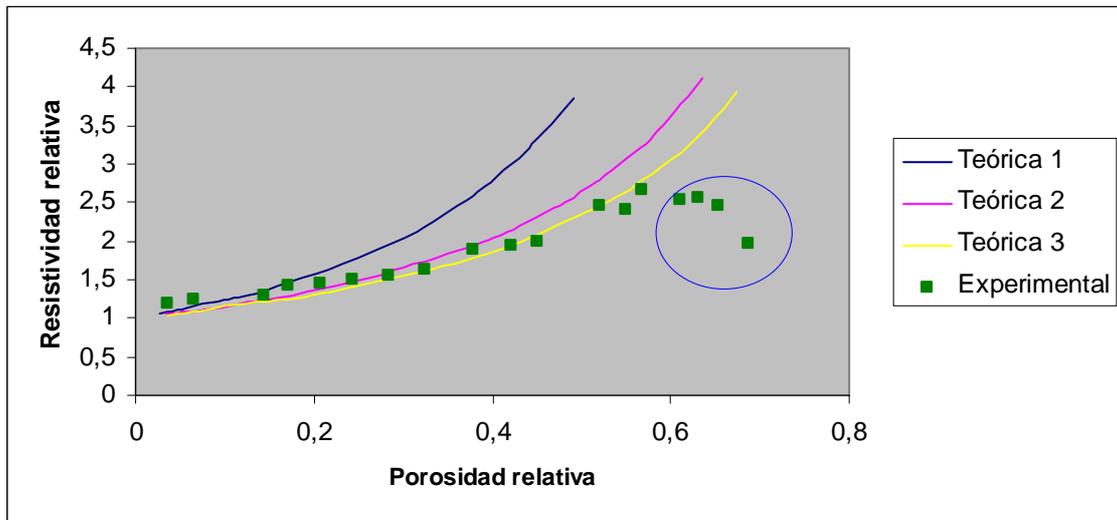


Figura 4.2 Datos experimentales y ajustes realizados para el hierro WPL 200 con las teóricas 1, 2 y 3

El comportamiento de este material presenta una pendiente más suave que la del aluminio, esto hace que el ajuste con la T1 sea peor. Al presentar una nube de puntos poco dispersa se observa un ajuste bueno para la T2 y T3 que no se ve suficientemente reflejado en el coeficiente de correlación, debido a que datos de resistividades eléctricas experimentales para porosidades pequeñas son ligeramente superiores a los teóricos.

Valores de las incertidumbres asociadas:

$$\Delta\theta = 0,347-0,475 \%$$

$$\Delta\rho_R = 1,429-2,897 \%$$

4.3.2.2 Hierro Nc 100.24

La tabla 4.3 muestra los mejores ajustes para el hierro Nc 100.24.

TABLA DE AJUSTES		Θ_M	t,n	R^2
FE Nc 100.24	TEÓRICA 1 (T1)	0,80	2	0,8824
	TEÓRICA 2 (T2)	0,64	1,44	0,8476
	TEÓRICA 3 (T3)	0,67	1,56	0,8573

Tabla 4.3 Resultado del mejor ajuste para las teóricas 1, 2 y 3

Este tipo de hierro Nc 100.24 presenta unos coeficientes de correlación por debajo del los del hierro WPL 200, la figura 4.3 muestra las diferentes curvas.

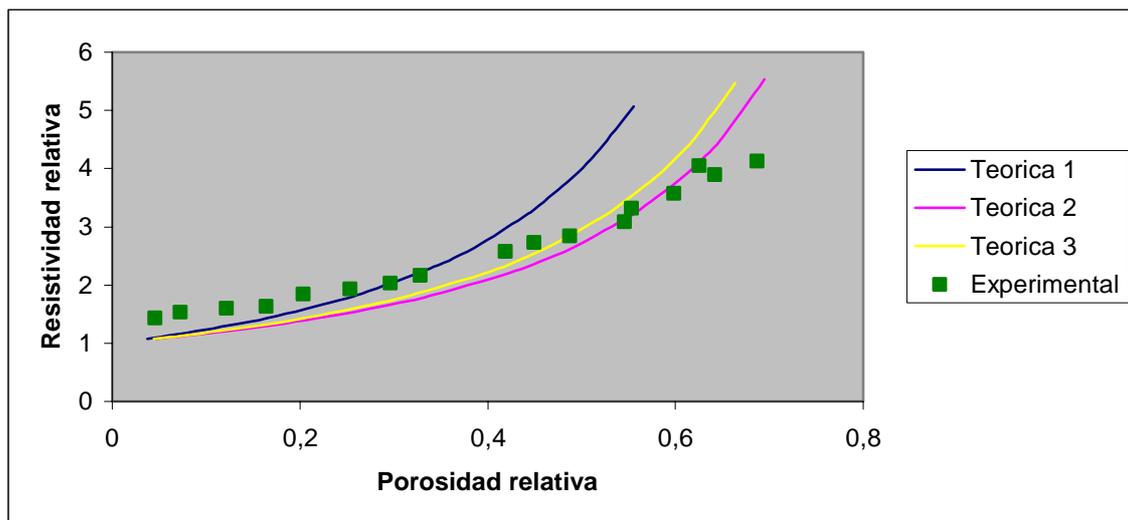


Figura 4.3 Datos experimentales y ajustes realizados para el hierro Nc 100.24 con las teóricas 1, 2 y 3

En este tipo de hierro se observa más acentuado el mal ajuste de los datos experimentales para porosidades bajas. Para porosidades más altas se observa un buen ajuste con las T2 y T3.

Valores de las incertidumbres asociadas:

$$\Delta\Theta = 0,343-0,460 \%$$

$$\Delta\rho_R = 1,007-2,398 \%$$

4.3.3 Bronce

Del bronce 89/11 no se ha encontrado la resistividad del material macizo en la bibliografía, se ha empleado la de un material similar.

$$\gamma_0 = 8,82 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 2 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$$

Este material presenta una resistividad superior a los demás materiales estudiados. En la tabla 4.4 se muestra los ajustes realizados.

TABLA DE AJUSTES		Θ_M	t,n	R^2
Br 89/11	<i>TEÓRICA 1</i> (T1)	<i>0,56</i>	<i>2</i>	<i>0,8937</i>
	<i>TEÓRICA 2</i> (T2)	<i>0,46</i>	<i>1,61</i>	<i>0,8988</i>
	<i>TEÓRICA 3</i> (T3)	<i>0,44</i>	<i>1,74</i>	<i>0,9147</i>

Tabla 4.4 Resultado del mejor ajuste para las teóricas 1, 2 y 3

Para este material se dispone de menos datos experimentales debido a su baja resistencia en verde. Esto hace que al trabajar con menos datos estos tengan más peso a la hora de realizar el ajuste, en la figura 4.4 se muestran los ajustes realizados.

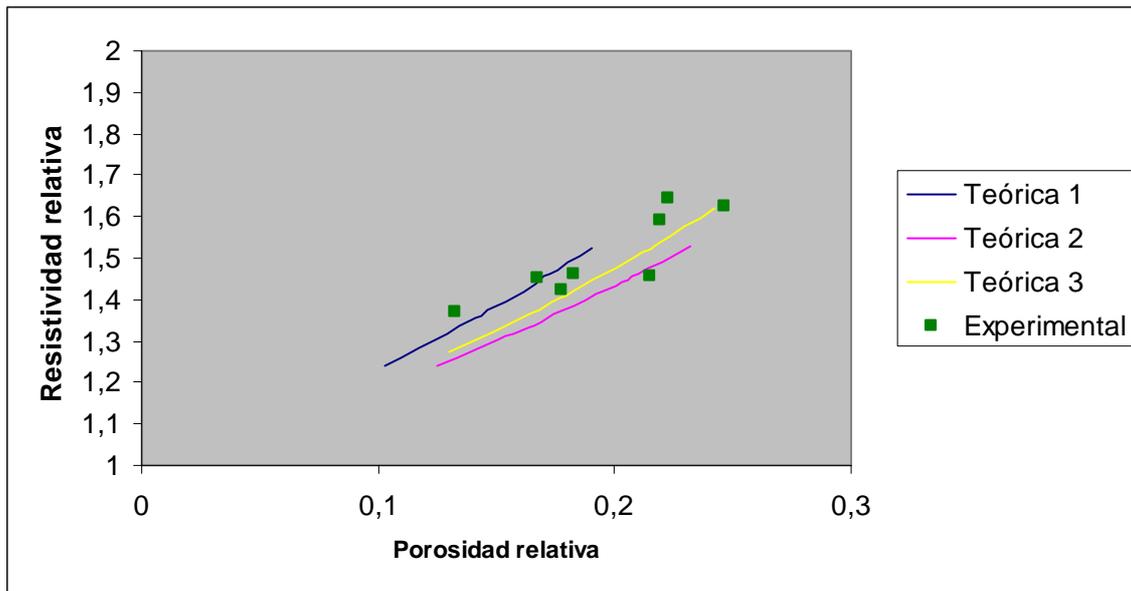


Figura 4.4 Datos experimentales y ajustes realizados para el Bronce 89/11 con las teóricas 1, 2 y 3

El coeficiente de correlación para las 3 ecuaciones teóricas es similar. Como se ve en la gráfica, el ajuste con la T1 es mejor que para los demás materiales, pero hay que tener en cuenta que la porosidad de golpeo dista mucho de la experimental.

Valores de las incertidumbres asociadas:

$$\Delta\Theta = 0,331-0,362 \%$$

$$\Delta\rho_R = 1,118-1,343 \%$$

4.3.4 Níquel

En este apartado se van a estudiar el níquel 4SP 400 y el níquel T 255.

4.3.4.1 Níquel 4SP 400

Este material presenta una resistividad intermedia respecto a los demás materiales empleados.

$$\gamma_0 = 8,9 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 7 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$$

Los ajustes realizados se presentan en la tabla 4.5.

TABLA DE AJUSTES		Θ_M	t, n	R^2
Ni 4 SP 400	<i>TEÓRICA 1 (T1)</i>	<i>0,80</i>	<i>2</i>	<i>0,9204</i>
	<i>TEÓRICA 2 (T2)</i>	<i>0,64</i>	<i>1,44</i>	<i>0,8928</i>
	<i>TEÓRICA 3 (T3)</i>	<i>0,60</i>	<i>1,26</i>	<i>0,8936</i>

Tabla 4.4 Resultado del mejor ajuste para las teóricas 1, 2 y 3

En la tabla se observa un coeficiente de correlación muy similar para la T2 y T3, pero la porosidad de golpeo de la T3 coincide con la calculada experimentalmente. En la figura 4.5 se muestran todos los ajustes.

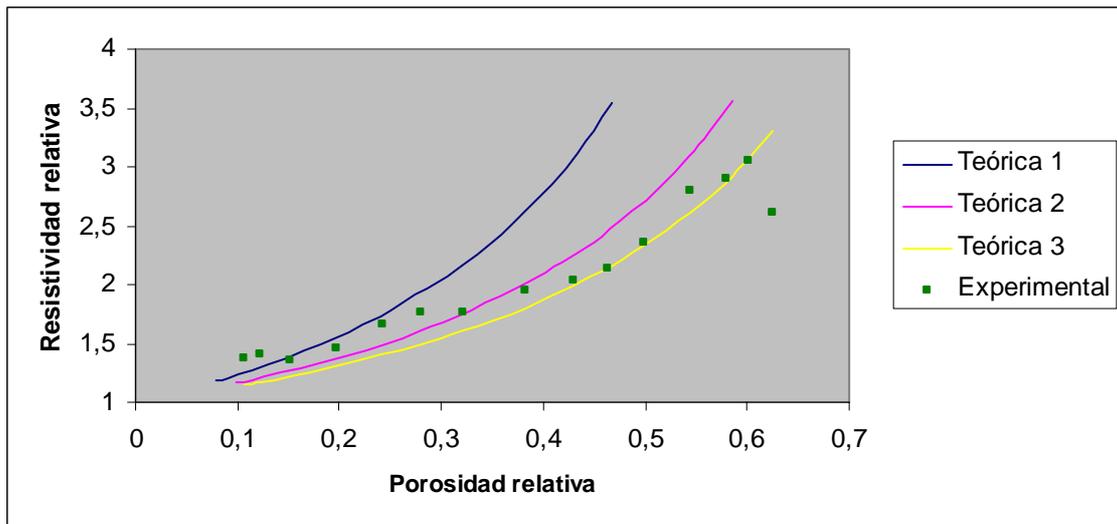


Figura 4.5 Datos experimentales y ajustes realizados para el níquel 4SP 400 con las teóricas 1, 2 y 3

Se observa un mejor ajuste para la T2 para porosidades bajas y un mejor ajuste con la T3 para porosidades más elevadas.

Valores de las incertidumbres asociadas:

$$\Delta\Theta = 0,348-0,478 \%$$

$$\Delta\rho_R = 1,621-3,481 \%$$

4.3.4.2 Níquel Type 255

Este material presenta la resistividad más pequeña respecto a los demás materiales estudiados.

$$\gamma_0 = 8,9 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_0 = 2,68 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$$

En este material se ha tenido que recurrir a fabricar compactos porosos de 5-6 mm de altura, porque para fabricar el compacto de 10

mm el volumen necesario de polvo es mayor que el volumen de la matriz. Los datos experimentales se han visto influenciados por efectos de borde, por tanto se decidió descartarlos.

4.4 DISCUSIÓN:

Para la elección del ajuste óptimo de cada teórica en los diferentes materiales, se ha tomado $\pm 0,05$ como incertidumbre máxima de la porosidad de golpeo obtenida para cada ajuste, respecto del valor de la porosidad de golpeo experimental.

Concluyendo:

En general para todos los materiales la ecuación denominada como T1 es con la que peor coeficiente de correlación se obtiene. En los casos en el que dicho coeficiente es elevado, la porosidad de golpeo obtenida dista mucho de la experimental.

La T2 y T3 proporcionan coeficientes de correlación elevados y similares, por tanto, se ajustan bien a las expresiones teóricas. Exceptuando el caso del Fe Nc 100.24 las porosidades de golpeo obtenidas en los ajustes para la T3 se acercan más a las obtenidas experimentalmente, esto es debido a que en la T3 contamos con un grado de libertad más.