

# Índice.

Agradecimientos	iii
<b>Índice</b>	v
Publicaciones	xi
Abreviaturas y símbolos	xiii

## **Capítulo 1: Introducción.**

### **Conceptos básicos**

1.1.1 Polimorfismo del Fe puro	1
1.1.2 Aleaciones	1
1.1.3 Diagramas de equilibrio	2
1.1.4 Fases metaestables	3
1.1.5 Transformación martensítica	4
1.1.6 Efecto memoria de forma	4
1.1.7 Martensita en aleaciones de Fe	5
1.1.8 Transformaciones martensíticas en aleaciones Fe-Cr-Ni	5

### **Aspectos cristalográficos de la transformación martensítica**

1.2.1 La transformación martensítica fcc $\rightarrow$ bcc	6
1.2.2 La transformación martensítica fcc $\rightarrow$ hcp	9

### **Efecto memoria de forma en aleaciones de Fe**

1.3.1 Antecedentes	12
1.3.2 Efecto memoria en monocristales y policristales de Fe-Mn-Si	13
1.3.3 Aleaciones multicomponentes basadas en el sistema Fe-Mn	14

### **Sistemas binarios y ternarios de interés en el presente estudio**

1.4.1 Equilibrio y transformaciones en el sistema Fe-Mn	15
1.4.2 Equilibrio y transformaciones en el sistema Fe-Mn-Co	18

### **Motivaciones y objetivos del presente trabajo**

1.5.1 Trabajos recientes	19
1.5.2 Objetivo general del presente estudio	20

1.5.3	Objetivos específicos del presente estudio	20
1.5.4	Organización de la tesis	22

## Capítulo 2: Aleaciones, muestras y tratamientos térmicos.

2.1	Preparación de aleaciones	25
2.2	Fundición	26
2.3	Muestras y tratamientos térmicos	27
2.4	Determinación de la velocidad crítica de enfriamiento	30
2.5	Determinación de la composición química	31
2.6	Estudios con microscopía óptica y electrónica de barrido	33
2.6.1	Morfología de la fase austenítica $\gamma$	33
2.6.2	Morfología de la martensita $\alpha'$	35
2.6.3	Morfología de la martensita $\epsilon$	35

## Capítulo 3: Propiedades estructurales de fases estables y metaestables.

3.1	Objetivo general	41
3.2	Objetivos específicos	41
3.2.1	Propiedades de aleaciones Fe-Mn	41
3.2.2	Propiedades de aleaciones Fe-Mn-Co	43
3.3	Métodos experimentales	43
3.3.1	Preparación de muestras	43
3.3.2	Obtención de los difractogramas	43
3.3.3	Procesamiento de datos	44
3.4	Resultados	44
3.4.1	Parámetro de celda de la fase $\eta$	44
3.4.2	Parámetro de celda de la fase $\alpha'$	47
3.4.3	Parámetros de celda de la fase $\epsilon$	51
3.5	Sistemática de cambios estructurales en las transformaciones martensíticas	54
3.5.1	Cambio de volumen por átomo en la transformación martensítica $\gamma \rightarrow \alpha'$	54
3.5.2	Cambio de volumen por átomo en la transformación martensítica $\gamma \rightarrow \epsilon$	55
3.5.3	Análisis de las distancias interatómicas	58
3.6	Discusión de propiedades estructurales	60
3.6.1	Efecto del agregado de Co sobre los parámetros de celda	60
3.6.2	Efecto magnético sobre los parámetros de celda	61
3.7	Síntesis de los principales resultados de este capítulo	62

## Capítulo 4: Efectos magnéticos en fases estables y metaestables.

<b>Introducción</b>	67
<b>Estudios previos</b>	69
4.2.1 Variación de $T_N$ con la composición de las fases fcc y hcp	69
4.2.2 Calor específico de la fase fcc	72
4.2.3 Cambio de entropía de la transformación magnética en fcc	73
<b>Técnica experimental</b>	76
4.3.1 Preparación de muestras	76
4.3.2 Determinación de las curvas calorimétricas	76
4.3.3 Procesamientos de datos	77
<b>Resultados</b>	79
4.4.1 Temperatura de Neél $T_N$ de la fase y	79
4.4.2 Calor específico	80
4.4.3 Entropía magnética asociada a la transformación antiferromagnética $\rightarrow$ paramagnética	84
<b>Discusión</b>	86
<b>Síntesis de los principales resultados de este capítulo</b>	88

## Capítulo 5: Transformación martensítica $\gamma/\alpha'$ .

<b>Introducción</b>	91
<b>Técnica experimental</b>	91
5.2.1 Preparación de muestras	91
5.2.2 Medición y adquisición de datos	92
5.2.3 Procedimiento experimental	92
<b>Resultados experimentales</b>	92
<b>Discusión</b>	96
5.4.1 Análisis termodinámico	96
5.4.2 Aspectos sistemáticos de la ERCT	97
<b>Síntesis de los principales resultados de este capítulo</b>	99

## Capítulo 6: Transformación martensítica $\gamma/\epsilon$ .

<b>Introducción</b>	101
<b>Antecedentes</b>	102
<b>Técnica experimental</b>	102
6.3.1 Preparación de muestras	102
6.3.2 Medición y adquisición de datos	102

6.3.3	Procedimiento experimental	103
6.3.4	Procesamientos de datos	104
<b>6.4</b>	<b>Resultados</b>	107
6.4.1	Temperatura de transformación martensítica	107
6.4.2	Fracción en volumen de material transformado	109
6.4.3	Flujo de calor y cambio de entalpía en la transformación martensítica $\gamma \rightarrow \epsilon$	109
<b>6.5</b>	<b>Discusión</b>	116
<b>6.6</b>	<b>Síntesis de los resultados obtenidos en este capítulo</b>	119

## **Capítulo 7: Síntesis, conclusiones e ideas para trabajos futuros.**

<b>7.1</b>	<b>Resultados generales</b>	121
<b>7.2</b>	<b>Conclusiones sobre problemas específicos</b>	122
7.2.1	Propiedades estructurales de fases estables y metaestables	122
7.2.2	Comportamiento termodinámico y magnético	124
<b>7.3</b>	<b>Ideas para trabajos futuros</b>	125

<b>Referencias.</b>	129
---------------------	-----

## **Apéndice A: Difracción de rayos X.**

<b>A.1</b>	<b>Introducción</b>	135
<b>A.2</b>	<b>Nociones básicas de difracción de rayos X</b>	135
A.2.1	Ley de Bragg y goniómetro $\theta - 2\theta$	135
A.2.2	Absorción	137
<b>A.3</b>	<b>Calibración</b>	139
<b>A.4</b>	<b>Preparación de las muestras para ser analizadas por difracción de rayos X</b>	140

## **Apéndice B: Dilatometría.**

<b>B.1</b>	<b>Nociones básicas de dilatometría</b>	145
<b>B.2</b>	<b>Calibraciones</b>	148
<b>B.3</b>	<b>Conociendo al Adamel Lhomargy LK02</b>	149

## **Apéndice C: Calorimetría diferencial de barrido convencional y modulada.**

<b>C.1</b>	<b>Nociones básicas de calorimetría diferencial</b>	153
<b>C.2</b>	<b>Modulación en calorimetría diferencial</b>	154

C.2.1	Calor específico	159
C.2.2	Flujo de-calor reversible	161
C.2.3	Flujo de calor total	162
C.2.4	Flujo irreversible	162
<b>3</b>	<b>Calibración</b>	163
C.3.1	DSC convencional	164
C.3.2	DSC modulada	164
<b>4</b>	<b>Conociendo al DSC TA Instrument 2910</b>	164
C.4.1	Purgas	164
C.4.2	Influencia de la velocidad de calentamiento	166
C.4.3	Reproducibilidad de curvas	167
<b>5</b>	<b>Calibración del DSC TA Instrument 2910</b>	168
C.5.1	Línea de base	168
C.5.2	Calores de transformación	168
C.5.3	Calibración de la escala de temperatura	169
C.5.4	Calibración del calor específico	170
C.5.5	Efecto posicional de la muestra	172
C.5.6	Optimización de resultados	174
C.5.7	Conclusiones del proceso de calibración	177
<b>Apéndice D: Modelos termodinámicos.</b>		
<b>.1</b>	<b>Termodinámica de la transformación martensítica</b>	179
<b>.2</b>	<b>Modelos fenomenológicos para la energía de Gibbs</b>	185
<b>3</b>	<b>Análisis termodinámico de la transformación martensítica <math>\gamma/\alpha'</math></b>	1 8 7
<b>.4</b>	<b>Análisis termodinámico de la transformación martensítica <math>\gamma/\epsilon</math></b>	187
<b>Publicaciones.</b>		189