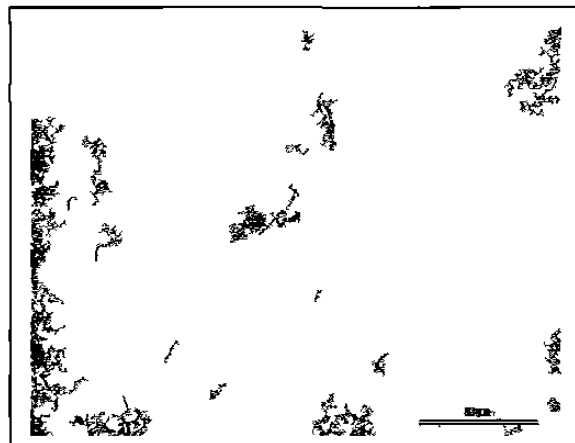
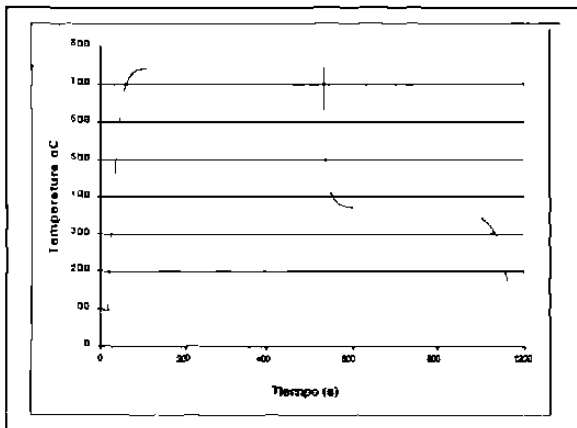


Especímen: TRIPMn1



Condiciones:

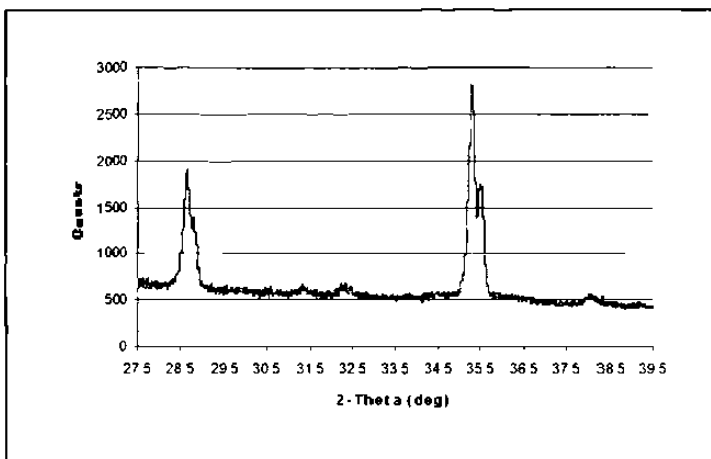
Etapa Intercrítica 760 °C, 5 minutos

Etapa Isotérmica 410 °C, 5 minutos

Microestructura:

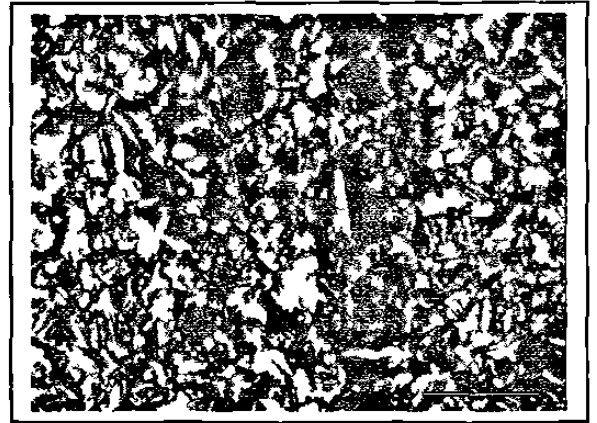
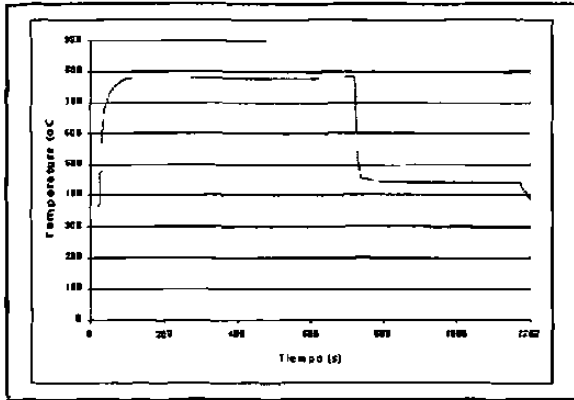
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida Agente LePera

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	231.8
220	32.31	21.43
211	35.3	4.24
311	38.2	12.29
% Residual Austenite		4.84

Especimen: TRIPMn2



Condiciones:

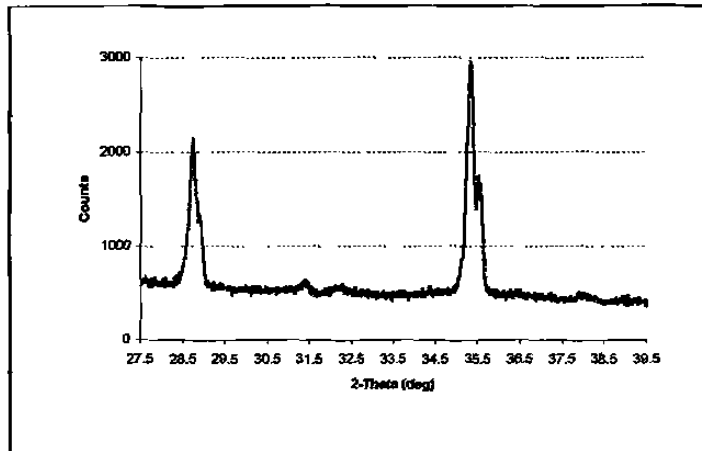
Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 7 minutos

Microestructura:

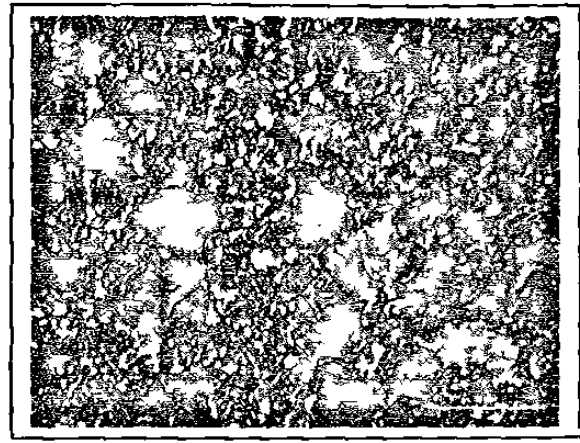
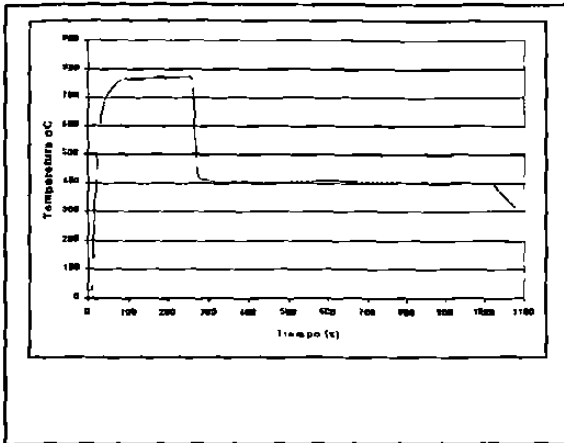
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	308.9
220	32.321	25.39
211	35.3	574.7
311	38.2	20.1
% Residueel Austeniet		4.82

Especímen: TRIPMn3



Condiciones:

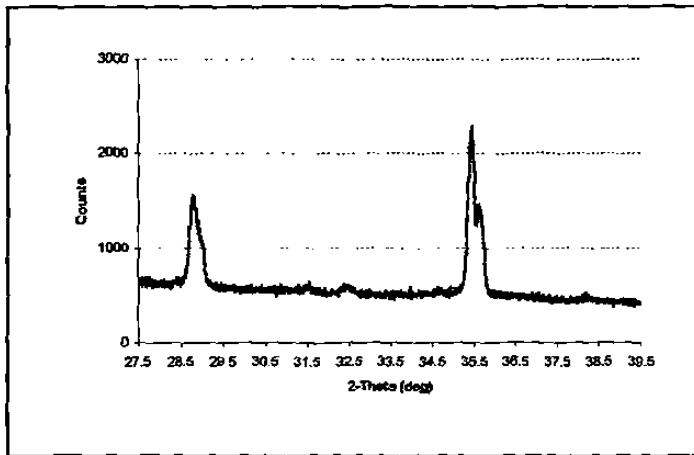
Etapa Intercrítica: 760 °C, 2 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 10 minutos

Microestructura:

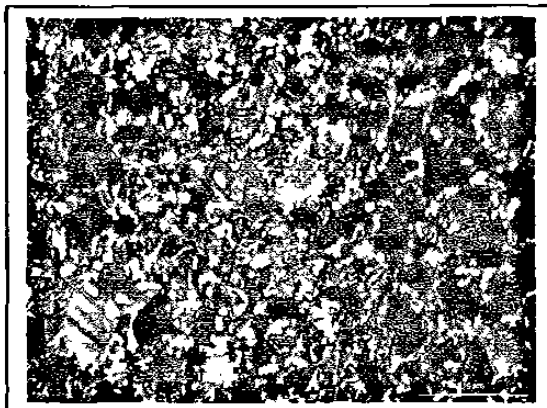
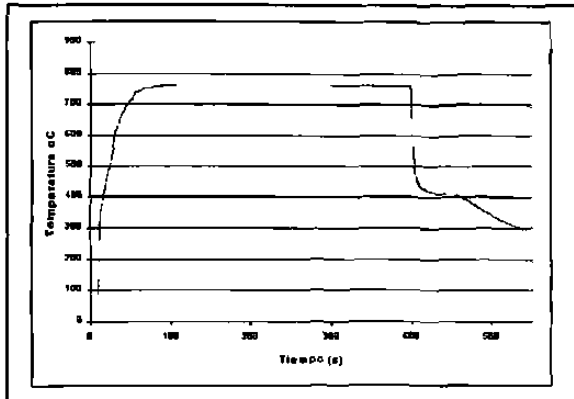
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	173.5
220	32.413	12.22
211	35.3	328.4
311	38.2	8.05
% Residueel Austeniet		3.86

Especímen: TRIPMn4



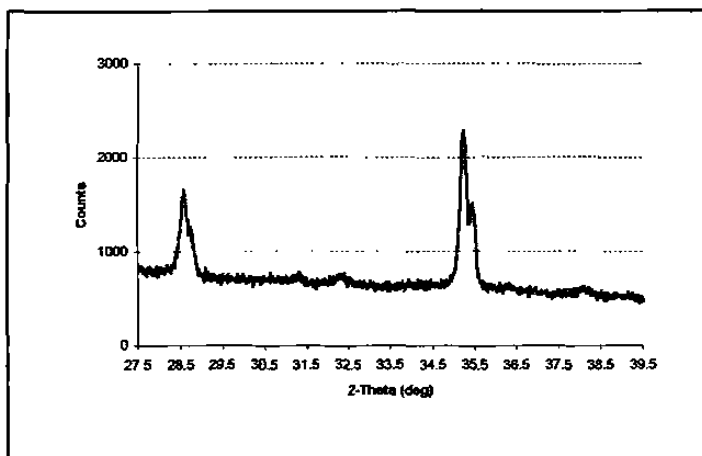
Condiciones:

Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos
 Etapa Isotérmica: 410 °C, 10 segundos

Microestructura:

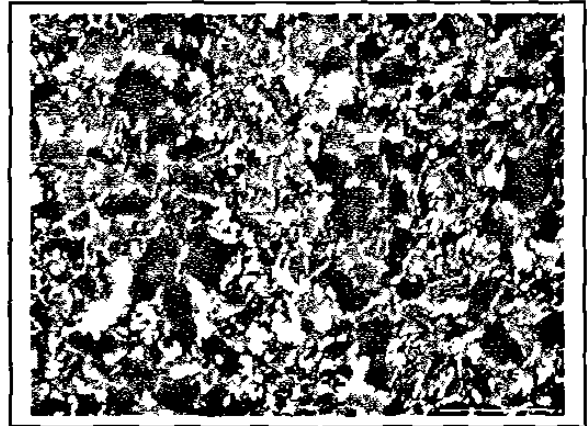
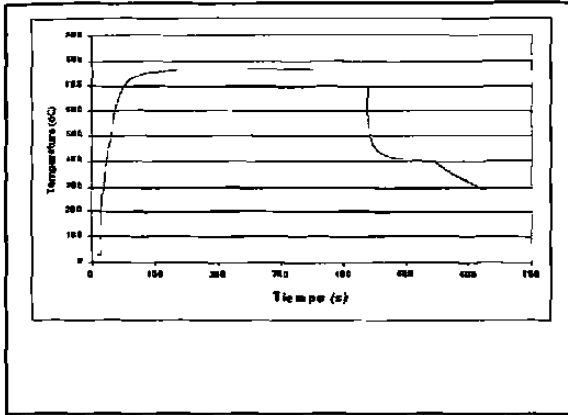
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	143.8
220	32.277	20.99
211	35.3	303.2
311	38.2	16.85
% Residual Austenite		7.84

Especimen: TRIPMn5



Condiciones:

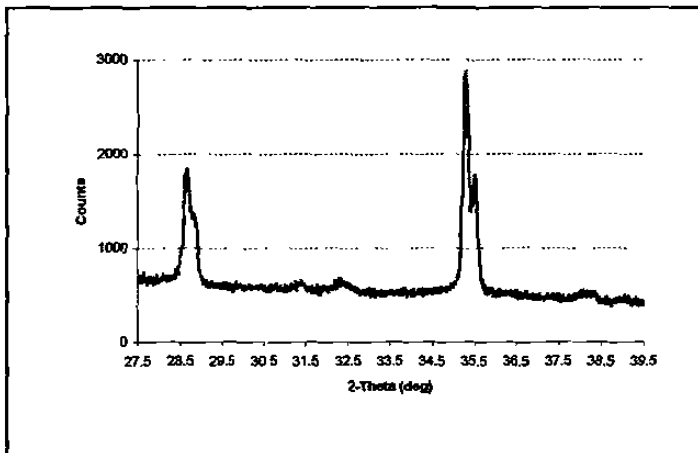
Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 1 minuto

Microestructura:

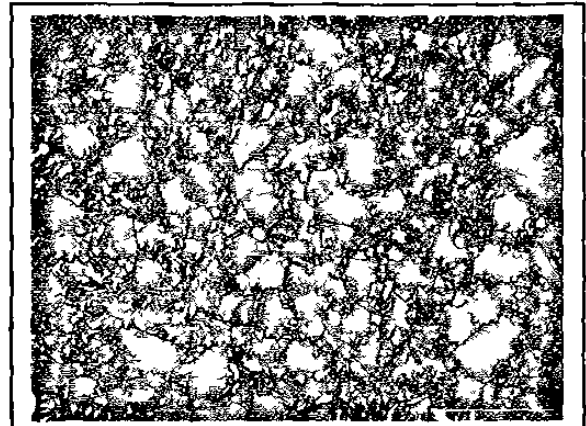
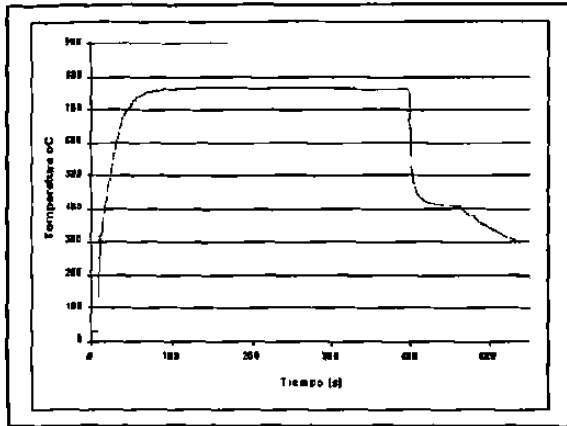
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	215.6
220	32.299	24.61
211	35.3	412.4
311	38.2	52.28
% Residueel Austeniet		7.24

Especímen: TRIPMn6



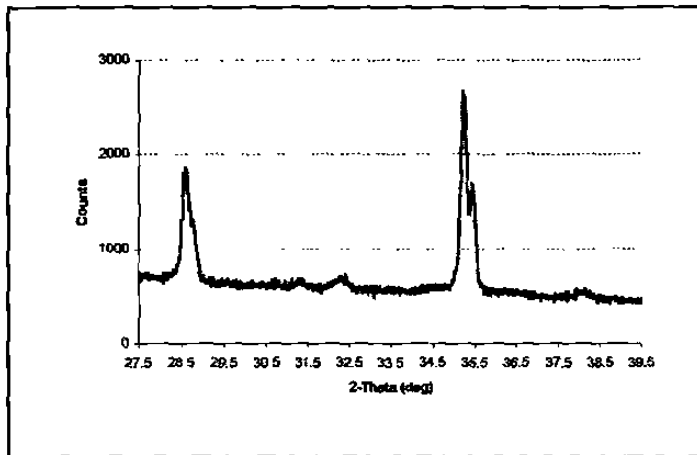
Condiciones:

Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos
 Etapa Isotérmica: 410 °C, 30 segundos

Microestructura:

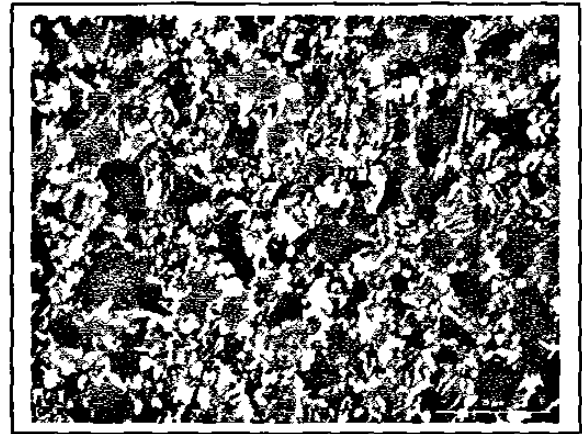
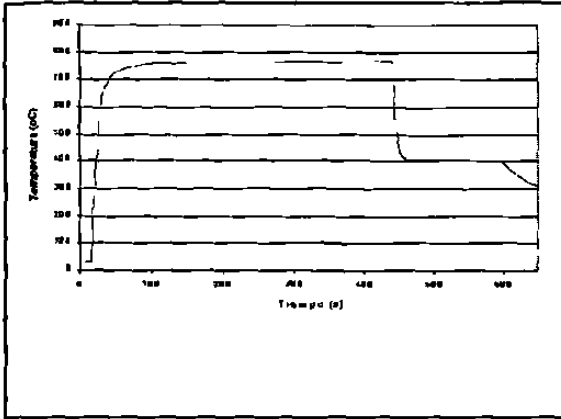
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	203.1
220	32.27	26.83
211	35.3	365.5
311	38.2	19.25
% Residueel Austeniet		7.37

Especímen: TRIPMn7



Condiciones:

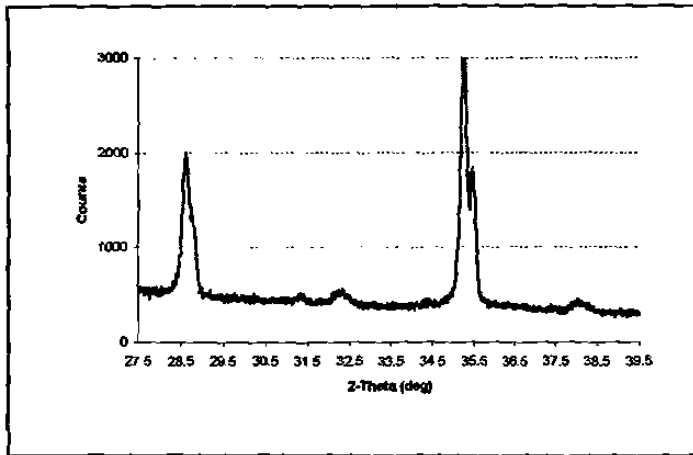
Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

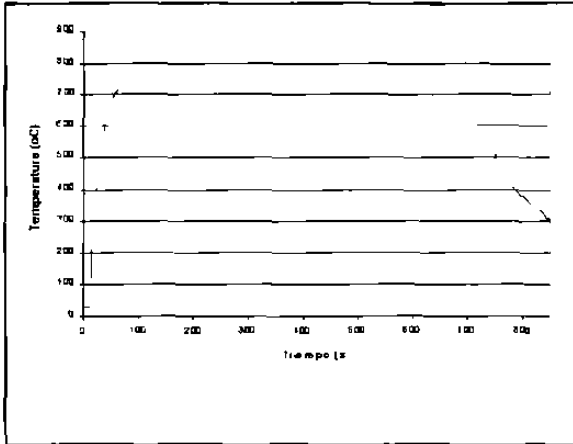
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	277
220	32.242	26.79
211	35.3	494.9
311	38.2	22.92
% Residueel Austeniet		5.93

Espécimen: TRIPMn8



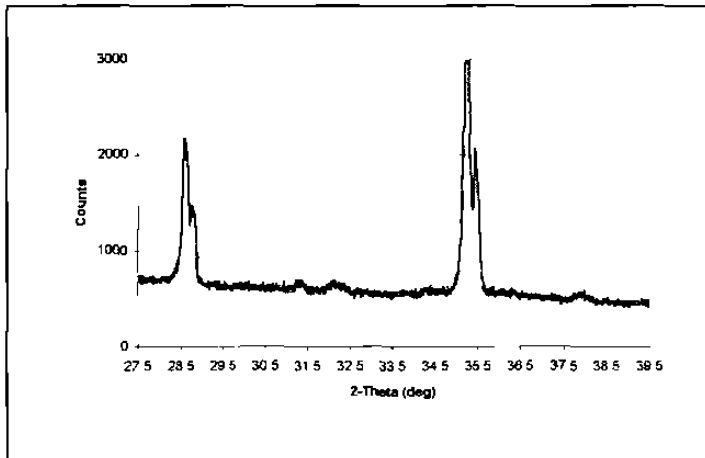
Condiciones:

Etapa Intercritica 760 °C, 10 minutos
 Etapa Isotermica 410 °C, 10 segundos

Microestructura:

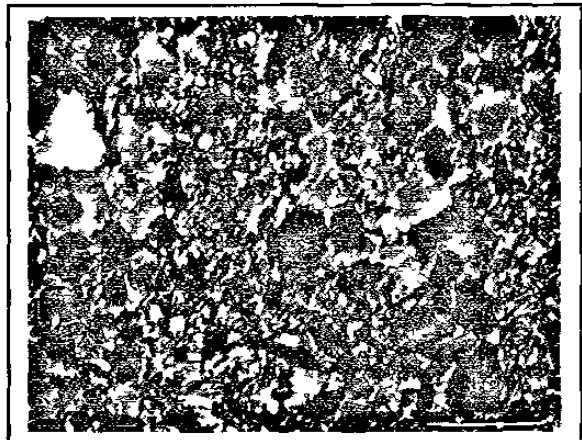
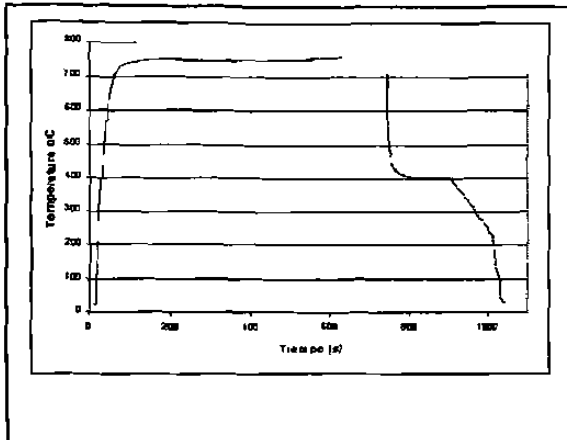
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida Agente LePera

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	304.8
220	32.4	28.32
211	35.3	659.91
311	38.2	28.28
% Residual Austenite		5.57

Espécimen: TRIPMn9



Condiciones:

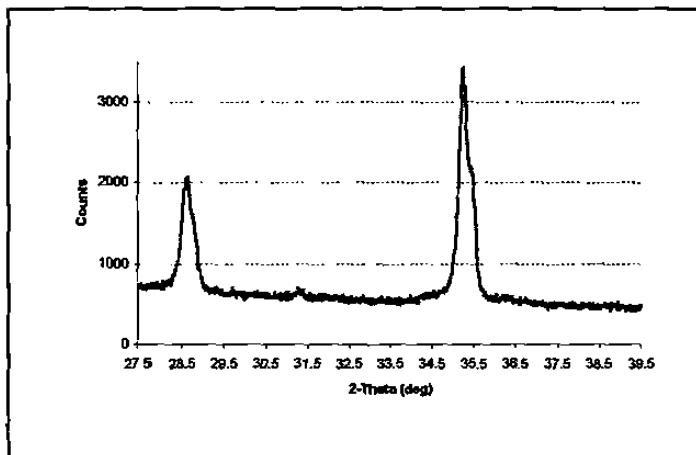
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

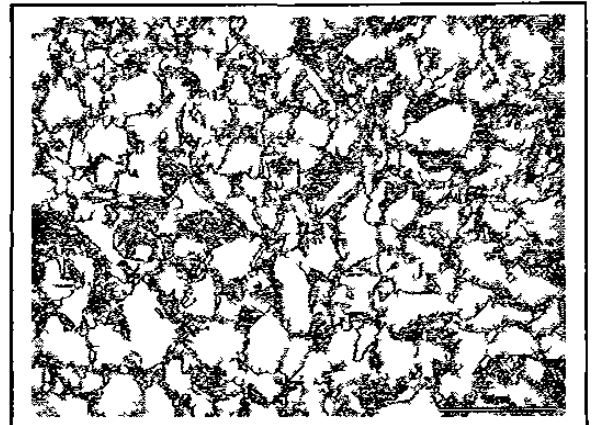
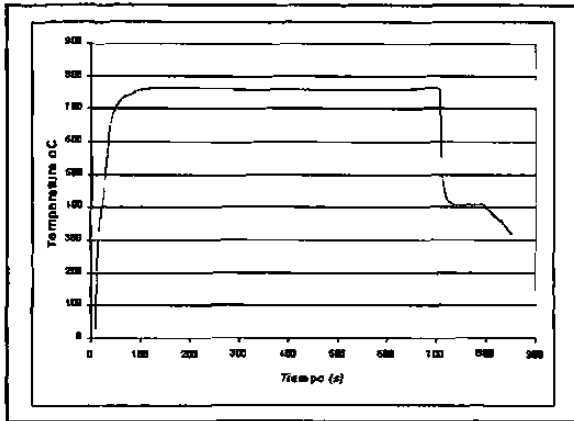
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	264.7
220	32.222	32,34
211	35.3	655.73
311	38.2	34.16
% Residuel Austenit		6.95

Espécimen: TRIPMn10



Condiciones:

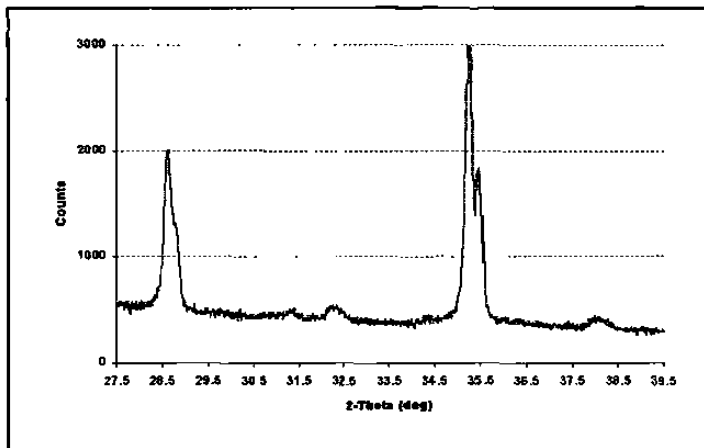
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 1 minuto

Microestructura:

Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

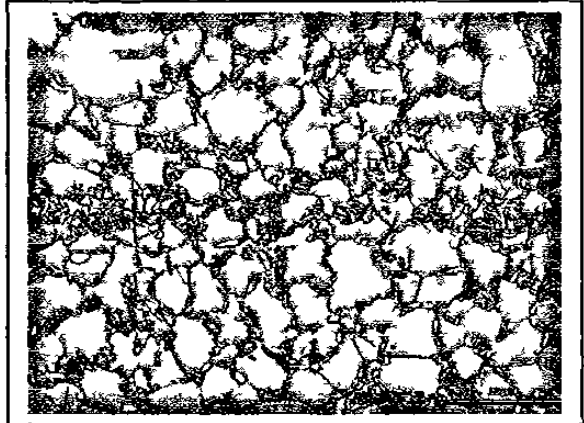
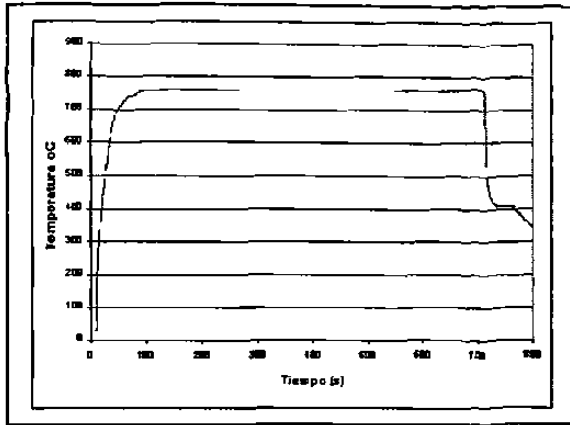
Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	249.3
220	32.201	31.3
211	35.3	645.9
311	38.2	32.12
% Residueel Austeniet		6.36

Apéndice A: Condiciones de Experimentación en los Especímenes

Especímen: TRIPMn11



Condiciones:

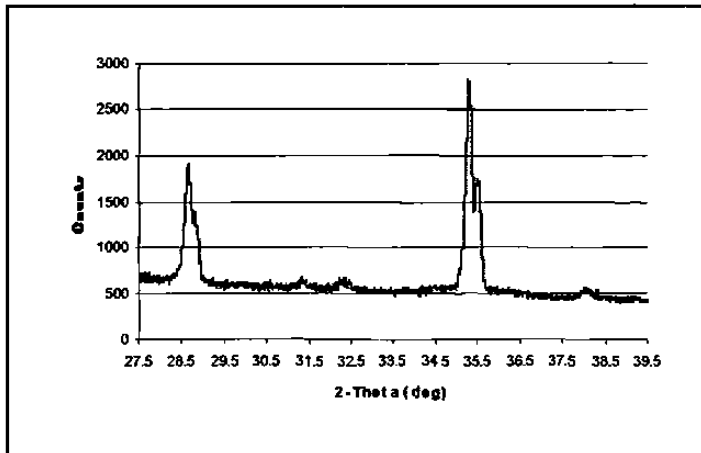
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 30 segundos

Microestructura:

Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

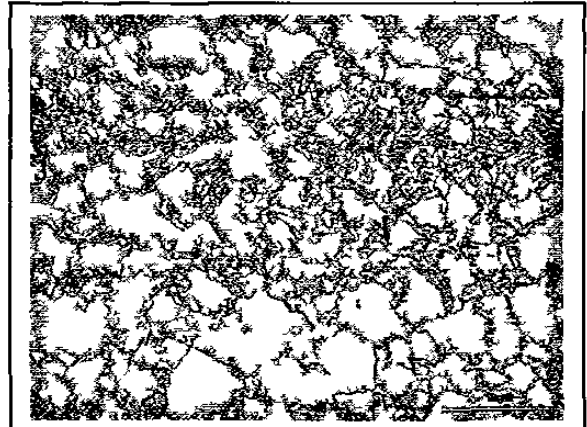
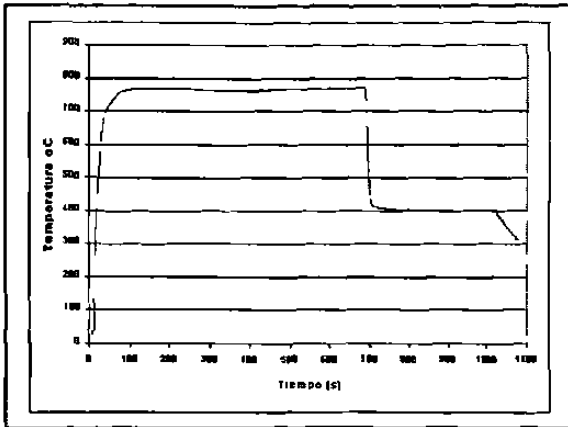
Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	157.7
220	32.196	13.97
211	35.3	282.47
311	38.2	7.33
% Residue of Austenite		4.56

Apéndice A: Condiciones de Experimentación en los Especímenes

Especímen: TRIPMn12



Condiciones:

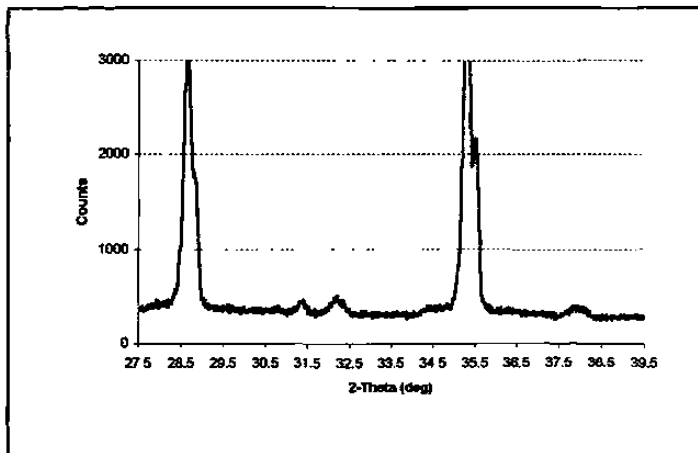
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 5 minutos

Microestructura:

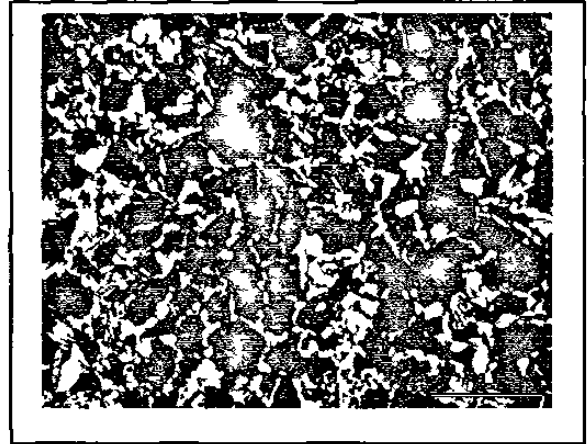
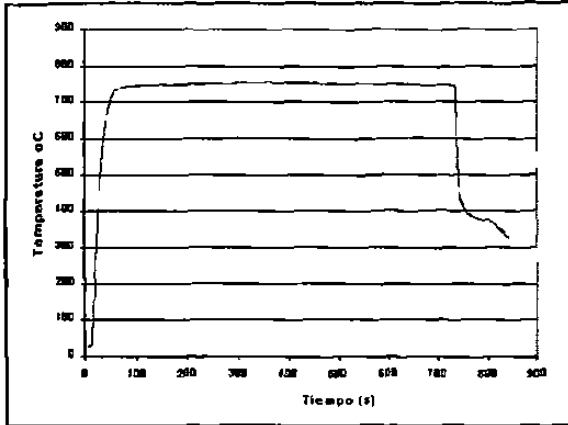
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	273.6
220	32.177	19.5
211	35.3	520
311	38.2	18.75
% Residueel Austeniet		4.51

Especimen: TRIPMn13



Condiciones:

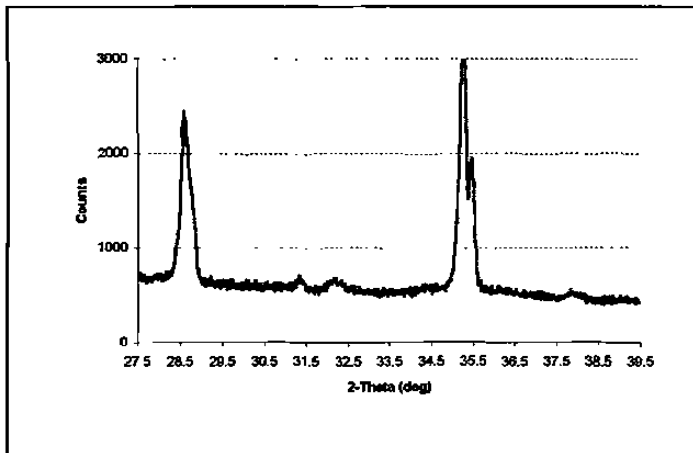
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 10 segundos

Microestructura:

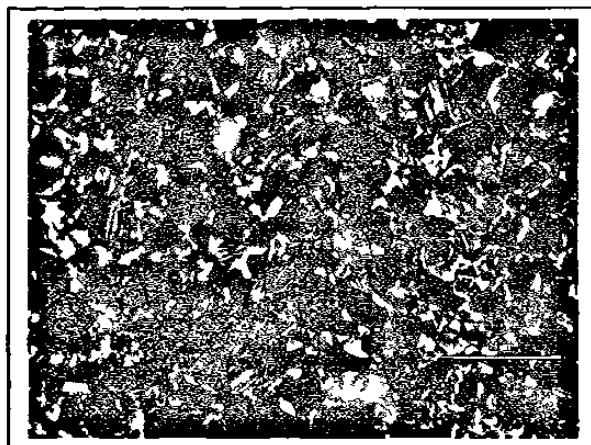
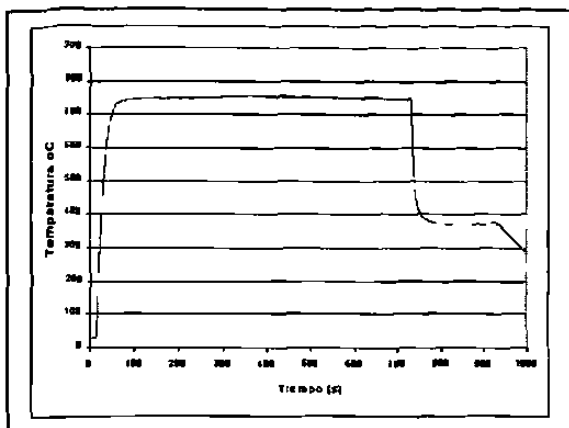
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	219.2
220	32.27	29.17
211	35.3	411
311	38.2	14.95
% Residueel Austeniet		6.50

Especimen: TRIPMn14



Condiciones:

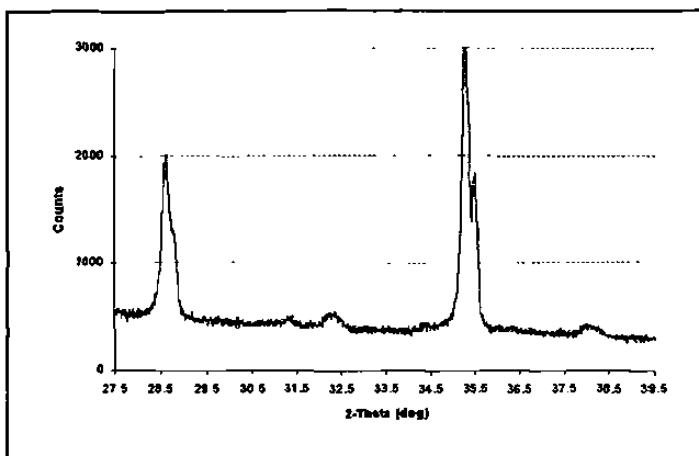
Etapá Inter-crítica: 760 °C, 10 minutos

Etapá Isotérmica: 410 °C, 1 minuto

Microestructura:

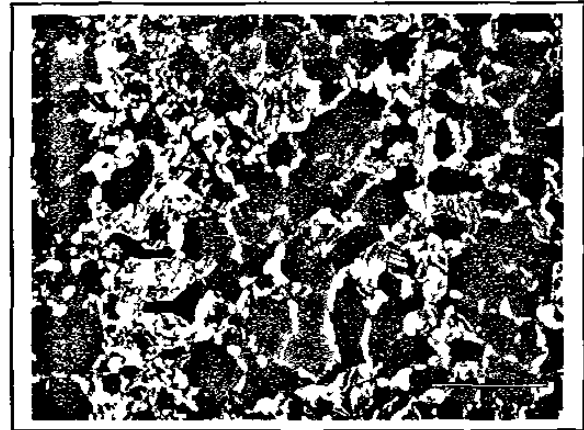
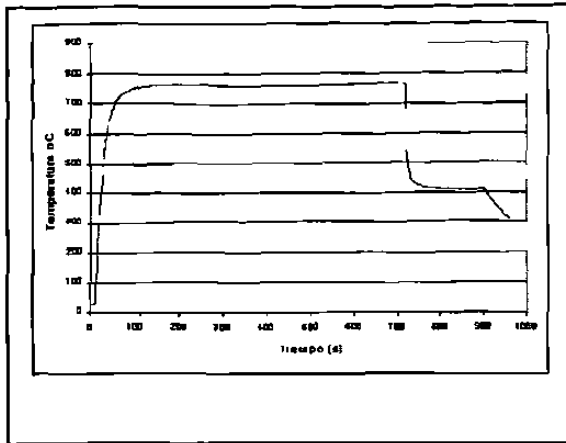
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	271.7
220	32.202	31.08
211	35.3	566.8
311	38.2	27.36
% Residuoel Austeniet		6.52

Especímen: TRIPMn15



Condiciones:

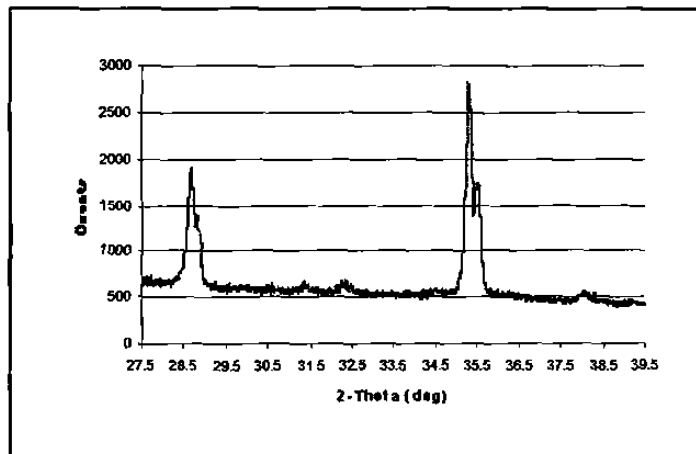
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

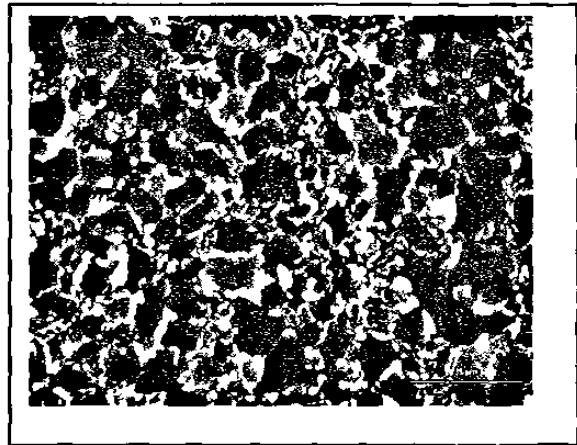
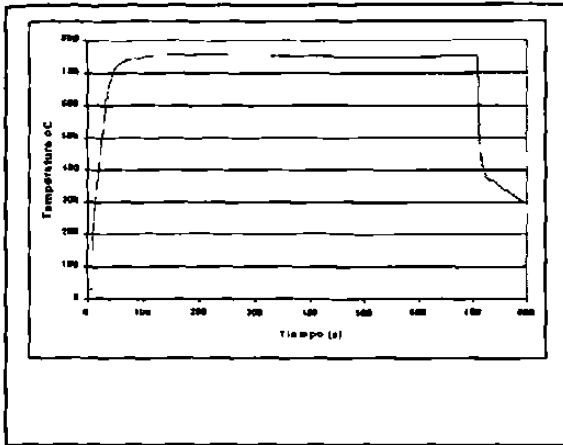
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	303.7
220	32.186	36.13
211	35.3	646.4
311	38.2	39.25
% Residueel Austeniet		7.34

Espécimen: TRIPMn16



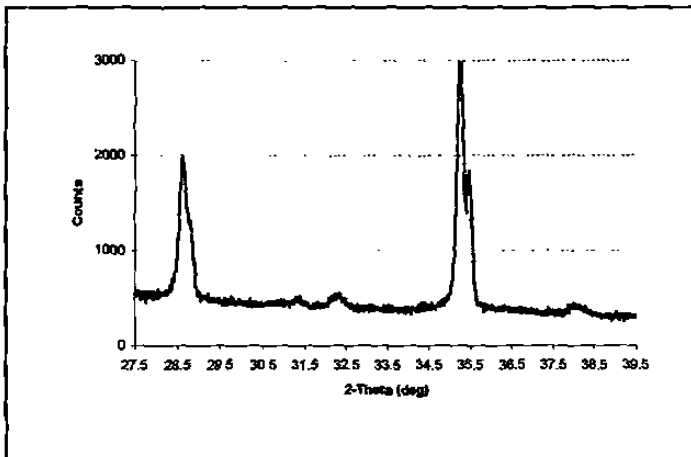
Condiciones:

Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos
 Etapa Isotérmica: 410 °C, 10 segundos

Microestructura:

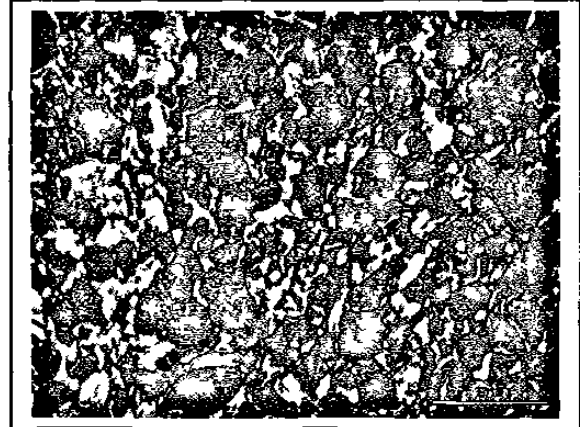
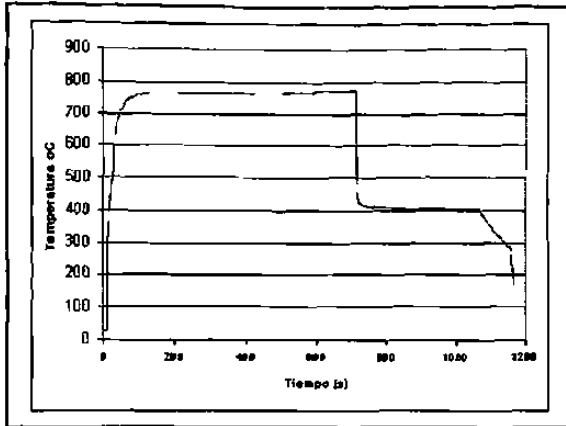
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	304.9
220	32.186	30.19
211	35.3	641.14
311	38.2	28.66
% Residuoel Austeniet		5.86

Especímen: TRIPMn17



Condiciones:

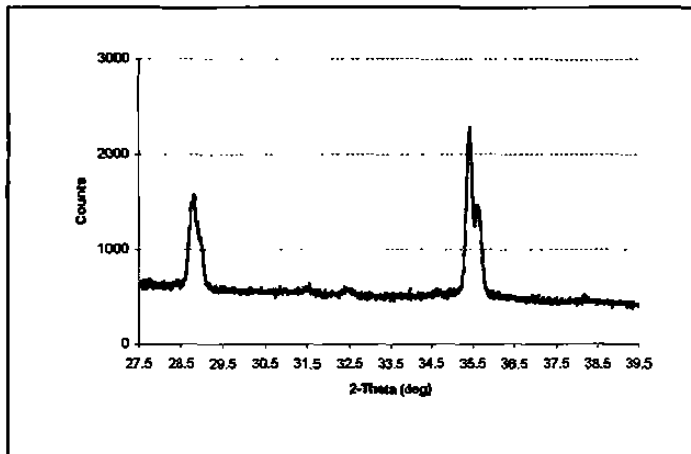
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 5 minutos

Microestructura:

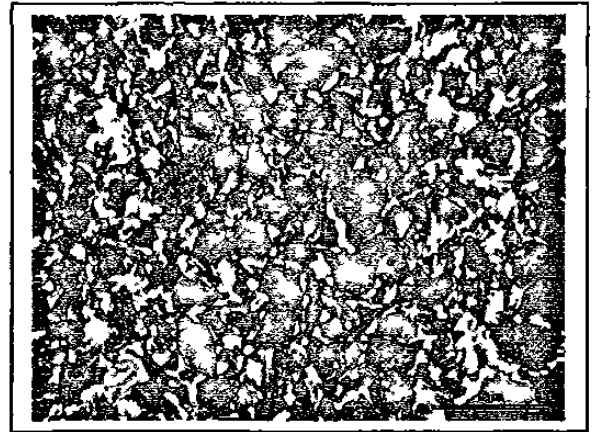
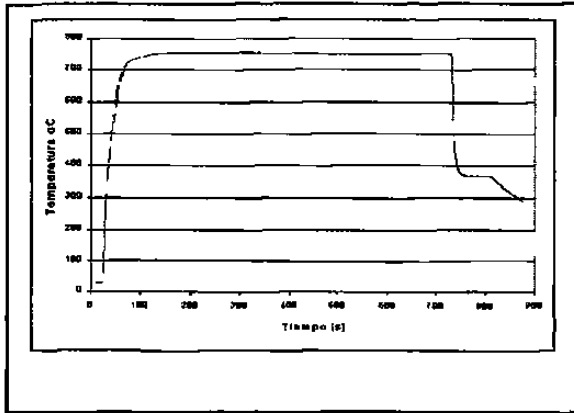
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	274.3
220	32.27	11.28
211	35.3	672.47
311	38.2	10.77
% Residueel Austeniet		2.35

Espécimen: TRIPMn18



Condiciones:

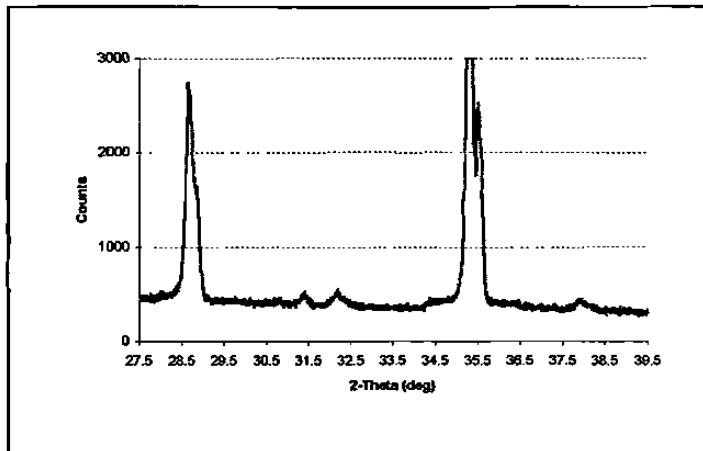
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 1 minuto

Microestructura:

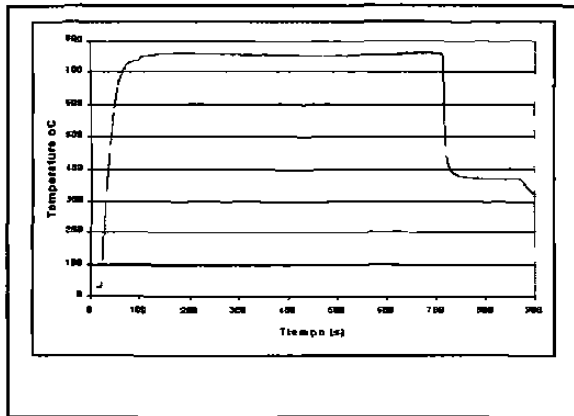
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	241.1
220	32.2	12.41
211	35.3	523.12
311	38.2	15.22
% Residual Austenit		3.48

Espécimen: TRIPMn19



Condiciones:

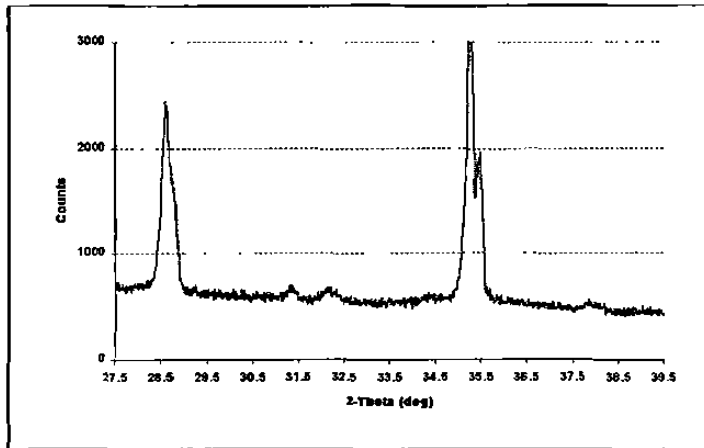
Etapa Intercrítica: 760 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

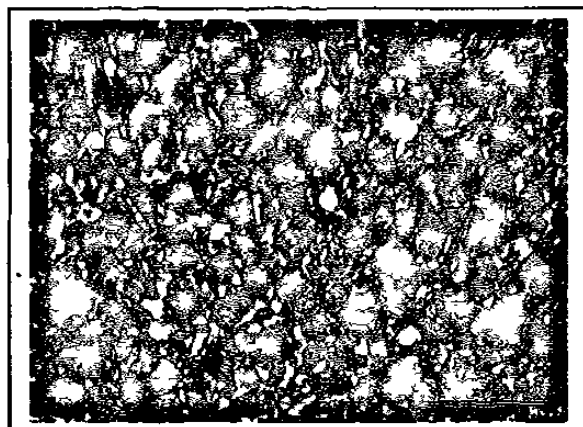
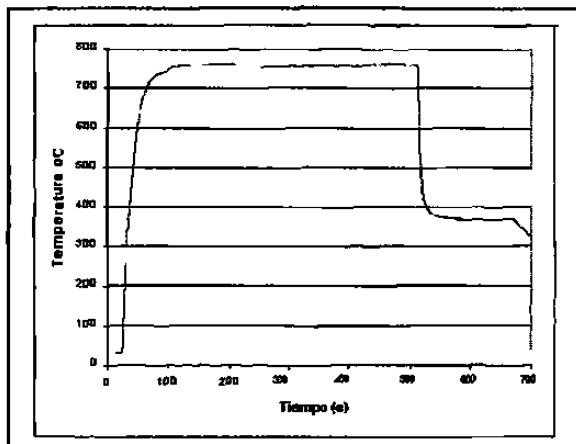
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	282.6
220	32.25	18.3
211	35.3	615.79
311	38.2	22.79
% Residual Austenit		4.37

Especímen: TRIPMn20



Condiciones:

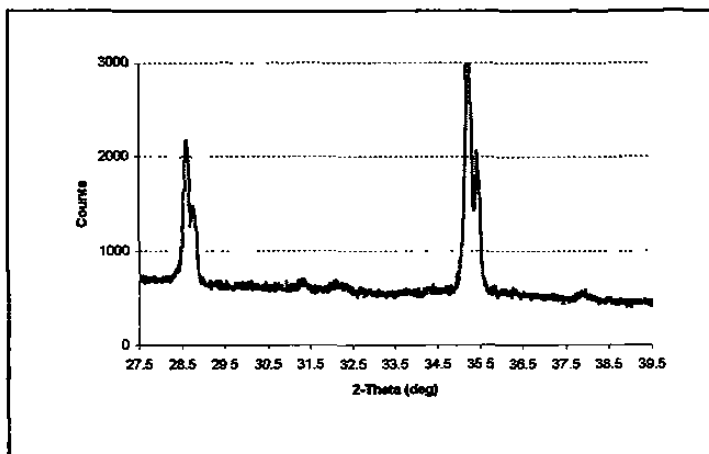
Etapa Intercrítica: 760 °C, 5 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

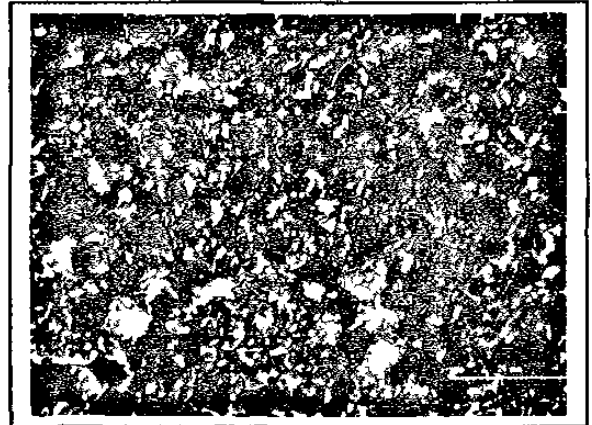
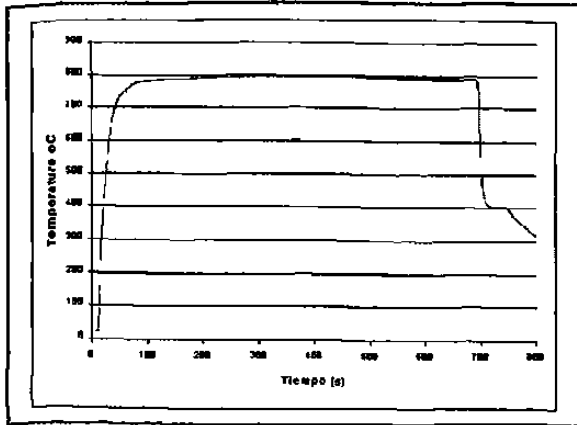
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	302.7
220	32.24	28.28
211	35.3	656.6
311	38.2	28.76
% Residueel Austeniet		5.64

Espécimen: TRIPMn21



Condiciones:

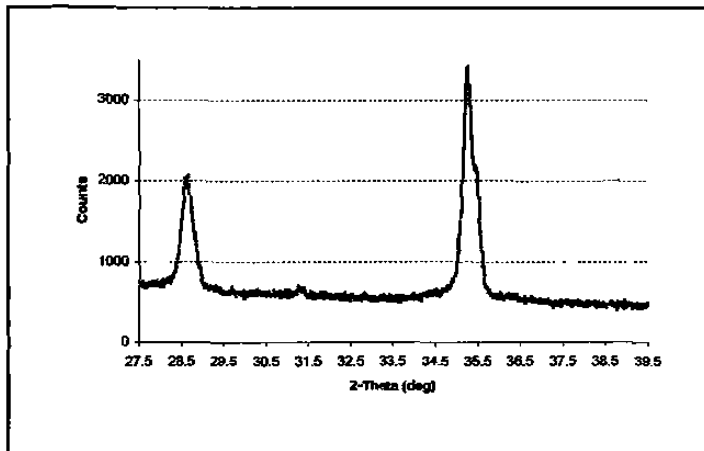
Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 30 segundos

Microestructura:

Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

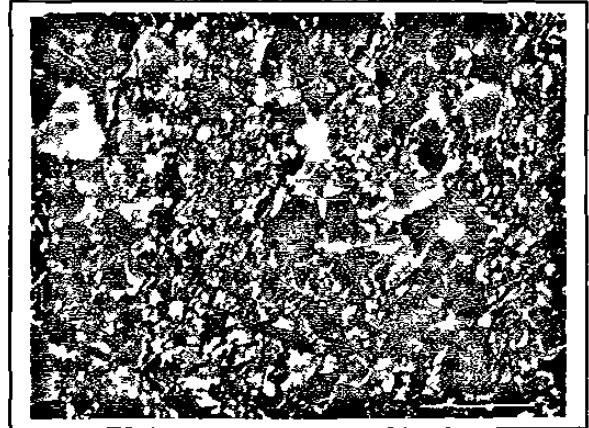
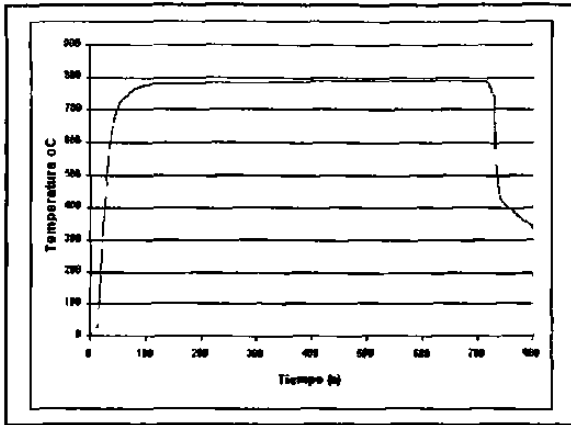
Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	235.7
220	32.224	22.87
211	35.3	467.52
311	38.2	24.56
% Residueel Austeniet		6.24

Apéndice A: Condiciones de Experimentación en los Especímenes

Especímen: TRIPMn22



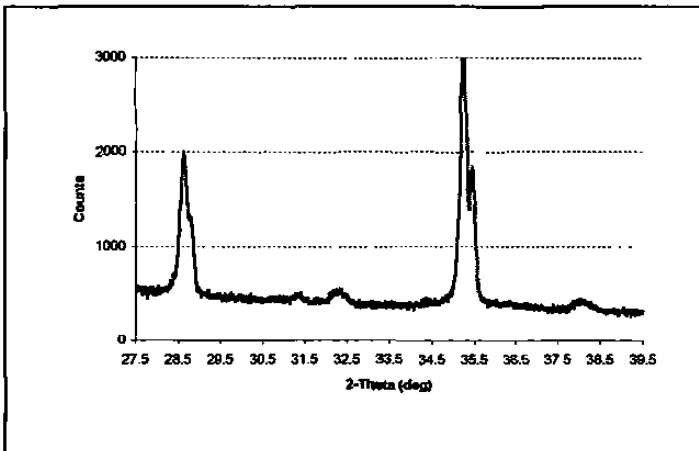
Condiciones:

Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos
 Etapa Isotérmica: 410 °C, 10 segundos

Microestructura:

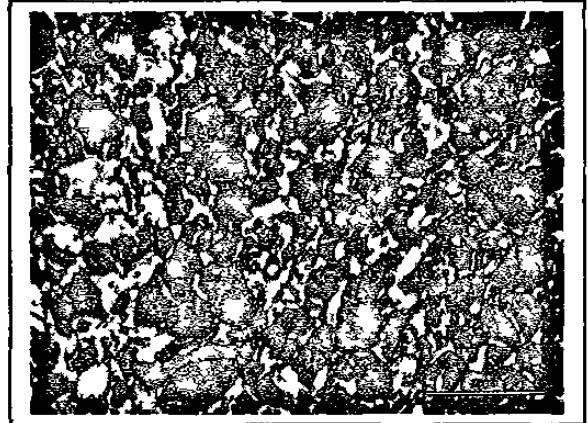
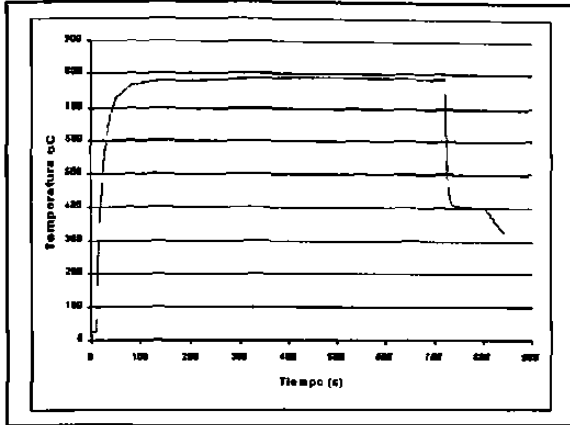
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	252.2
220	32.223	22.49
211	35.3	591.6
311	38.2	30.28
% Residual Austenit		5.95

Especimen: TRIPMn23



Condiciones:

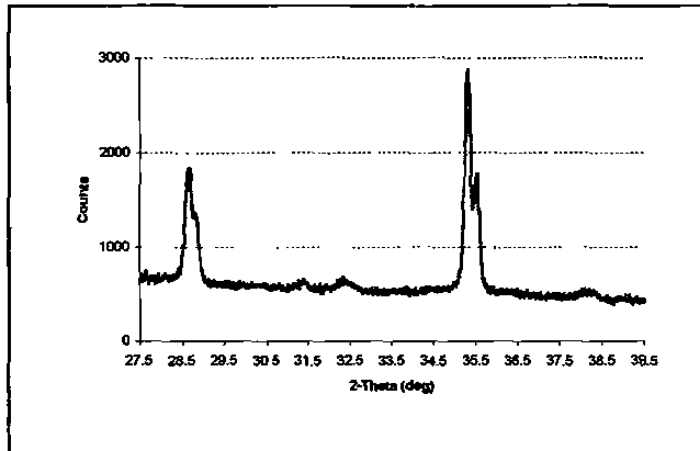
Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 1 minuto

Microestructura:

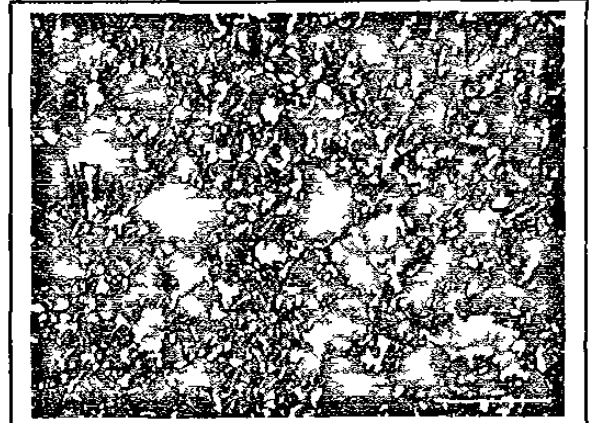
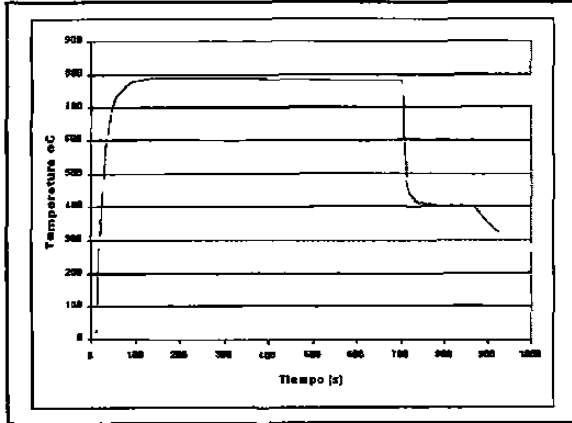
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	235.01
220	32.218	24.31
211	35.3	523.66
311	38.2	31.74
% Residual Austenit		6.89

Especímen: TRIPMn24



Condiciones:

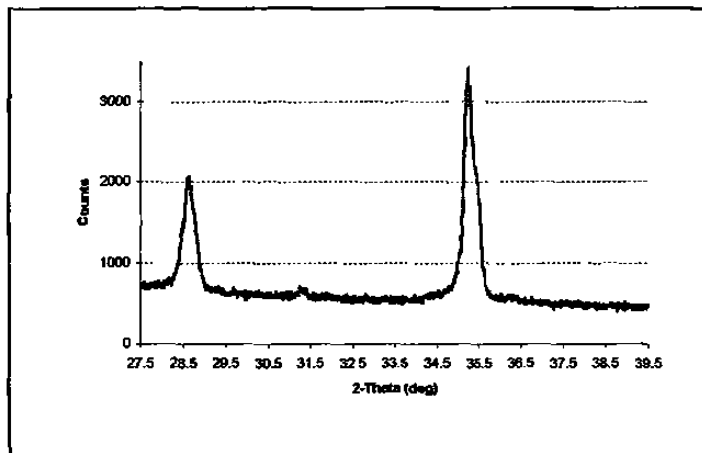
Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 2 minutos

Microestructura:

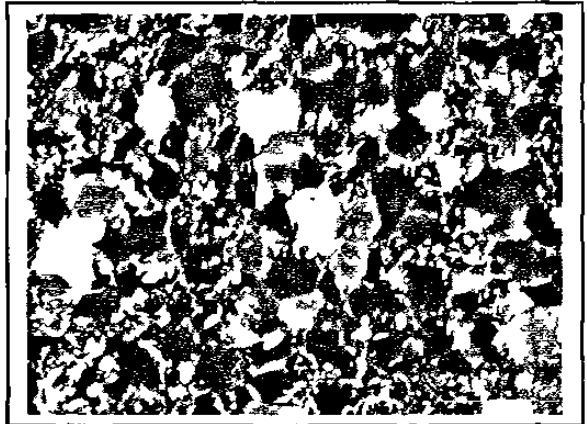
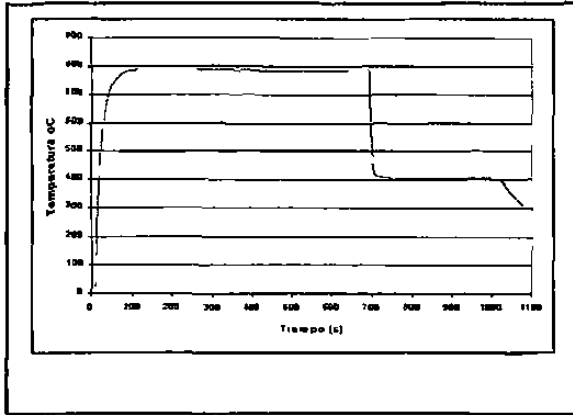
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	274.1
220	32.186	28.24
211	35.3	622.32
311	38.2	37.0
% Residuoel Austeniet		6.83

Espécimen: TRIPMn25



Condiciones:

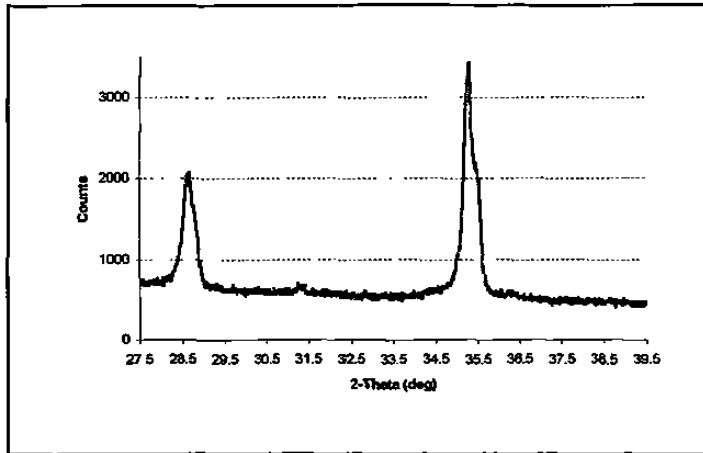
Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 5 minutos

Microestructura:

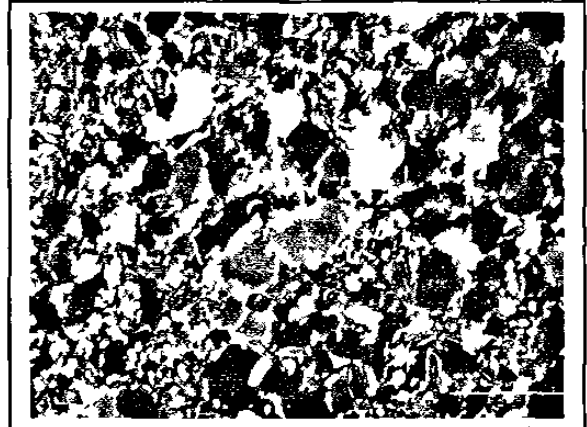
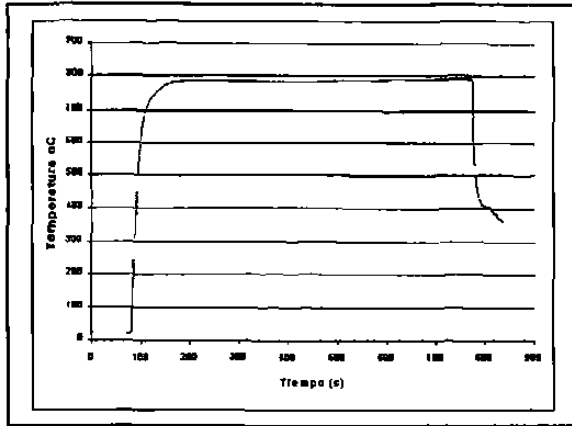
Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 teta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	242.2
220	32.174	21.61
211	35.3	587.3
311	38.2	26.02
% Residuoel Austeniet		5.56

Espécimen: TRIPMn26



Condiciones:

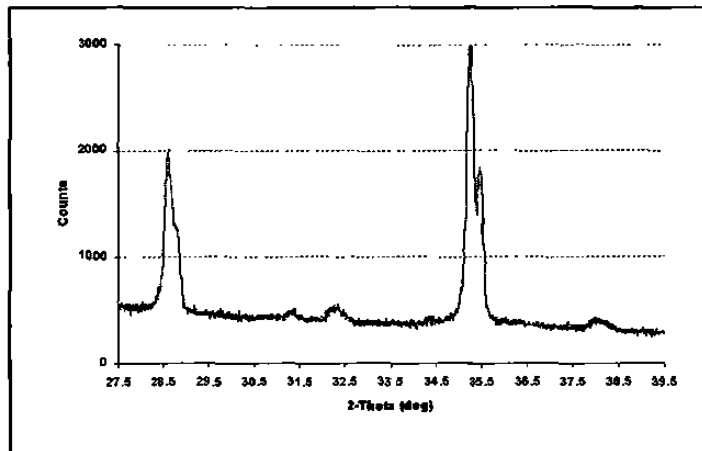
Etapa Intercrítica: 780 °C, 10 minutos

Etapa Isotérmica: 410 °C, 5 segundos

Microestructura:

Matriz de ferrita no transformada y zonas de transformación constituidas por bainita, martensita y austenita retenida. Agente LePera.

Difracción de Rayos X:



<i>hkl</i>	<i>2 theta</i>	<i>Absolute Intens</i>
200	28.6	271.45
220	32.221	27.89
211	35.3	588.22
311	38.2	30.83
% Residueel Austeniet		6.4

APÉNDICE B

Glosario

Agente LePera:	Agente químico de ataque metalográfico. Es una mezcla 1:1 de dos soluciones, Picral 4 y metabisulfito de sodio al 1% en agua destilada.
Alotropía:	Es la propiedad que exhiben algunos materiales sólidos, de existir en distintas redes espaciales, cuyos cambios de estructura cristalian, sean reversibles.
Átomo intersticial:	Defecto cristalino que se presenta cuando un átomo se aloja en el espacio que se presenta entre dos átomos de la estructura de un cristal. Un átomo intersticial puede generar esfuerzos de compresión y tensión en la zona inmediata de la red cristalina.
Átomo sustitucional:	Defecto cristalino que se presenta cuando un átomo diferente a los que forman una red cristalina, ocupa el espacio atómico de cualquiera de los segundos. Esto lleva a un desorden local que puede generar esfuerzos de tensión y compresión en la red cristalina.
Austenita:	Una de las fases del hierro, la cual se caracteriza por presentar una estructura cúbica centrada en las caras. Puede considerarse como una solución sólida de uno o más elementos en hierro. En general, se supone que el carbono es el soluble.
Austenitizado:	Tratamiento térmico que consiste en elevar la temperatura de una aleación ferrosa por encima de la línea AC1 del diagrama Fe-Fe ₃ C. El objetivo es transformar parte de la microestructura o toda la microestructura de la aleación a austenita.
Bainita:	Producto de descomposición de la austenita que consiste en un agregado de ferrita y carburos, principalmente Fe ₂ C. Su apariencia al microscopio puede ser plumosa (bainita superior) o acicular (bainita inferior).
Cementita:	Fase que puede presentarse en las aleaciones ferrosas, que es un compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro (Fe ₃ C). Se caracteriza por presentar una estructura cristalina ortorrómbica.
Coherencia:	Razón de correspondencia atómica en la interfase entre dos zonas cristalográficas con diferente celda unidad.

- Choque elástico:** Fenómeno físico que se presenta cuando dos partículas chocan y no hay pérdidas de energía en dicha interacción.
- Diagrama CCT:** (Continuous Cooling Transformation) Diagramas que muestran el efecto de las velocidades de enfriamiento en el inicio y término de las transformaciones de fase de una aleación metálica.
- Diagrama TTT:** En esencia, son mapas que muestran las relaciones tiempo – temperatura – transformación durante los fenómenos de transformación de la austenita a una temperatura constante.
- Difusión:** Fenómeno físico que se presenta cuando una sustancia actúa como soluto y puede viajar a través del solvente. En las soluciones sólidas se presenta el mismo fenómeno bajo condiciones termodinámicas apropiadas.
- Dilatometría:** Técnica que permite detectar los cambios microestructurales de los materiales en función del cambio en las dimensiones de un espécimen apropiado (generalmente longitud) y de la temperatura a la cual es sujeto dicho espécimen.
- Dilatómetro:** Instrumento científico que mide de manera precisa el cambio en longitud de un espécimen adecuado durante su calentamiento, enfriamiento o mantenimiento isotérmico.
- Dislocación:** Defecto lineal en la estructura de un cristal, puede ser de borde o de tornillo.
- Epitaxial:** Fenómeno de orientación mutua de los cristales de dos sustancias diferentes, debido a las estrechas analogías de la distribución de los átomos de las caras comunes.
- Etapa Intercrítica:** Dentro de un tratamiento térmico TRIP, consiste en elevar la temperatura de la aleación por encima de Ac_1 , pero por debajo de Ac_3 a fin de generar una cantidad significativa de austenita en una matriz de ferrita.
- Etapa Isotérmica:** Es la segunda etapa en un tratamiento térmico TRIP, consiste en llevar a la aleación a la zona de transformación bainítica al enfriarla bruscamente desde la temperatura de la etapa intercrítica. En esta etapa se estabiliza a la austenita generada.
- Fase:** En un material, es una porción de materia con propiedades características que le permiten diferenciarle del medio que le rodea.

Ferrita:	Fase metalográfica que puede presentarse en las aleaciones ferrosas. Es una solución sólida de uno o más elementos en hierro con una estructura cúbica centrada en el cuerpo.
Histéresis:	Retraso en la evolución de un fenómeno físico en relación a otro, del que depende.
Interfase:	Límite común que separa dos regiones o sistemas y que permite intercambios entre ellas.
Martensita:	Fase metaestable del hierro formada desde una transformación de austenita. Su estructura es de tipo tetragonal centrada en el cuerpo.
Nital:	Agente químico de ataque metalográfico. Es una solución de alcohol metílico o alcohol etílico y ácido nítrico. La relación del Nital 2 es 98 ml de alcohol a 2 ml de ácido nítrico.
Perlita:	Fase metalográfica que puede presentarse en las aleaciones ferrosas, está constituida como un agregado laminar de ferrita y cementita.
Picral:	Agente químico de ataque metalográfico. Es una solución de alcohol metílico o alcohol etílico y ácido picrico. La solución de Picral 4 consta de 96 ml de alcohol y 4 gramos de ácido picrico.
Reacción adifusional:	Fenómeno de transformación de fase que se presenta en las transformaciones martensíticas. Se caracteriza por ser un mecanismo sin difusión, en el que se presenta un componente cortante que causa un movimiento ordenado de los átomos de la red cristalina. De esta manera, existe correspondencia atómica entre la fase inicial y la fase producida o final.
Reacción reconstructiva:	Fenómeno que se presenta en las aleaciones ferrosas cuando se presenta un cambio de fase en el que los átomos de la fase inicial presentan difusión, rompiendo cualquier correspondencia atómica de la fase producto con la fase inicial.

Templabilidad:	Capacidad de una aleación ferrosa para transformar su microestructura a martensita cuando es sujeto a un tratamiento térmico de temple.
Temple:	Tratamiento térmico que permite endurecer una aleación ferrosa que ha sido austenitizada y luego enfriada rápidamente de tal forma que alguna parte o toda la austenita se transforma a martensita.
Transformación de fase:	En los materiales cristalinos, es un cambio de la estructura cristalina en una fase determinada, que conlleva a un cambio en las propiedades de dicha fase.
Transformación displasiva:	Transformación de fase sin difusión que involucra el movimiento de átomos mediante fenómenos de esfuerzos de corte. No requiere de activación térmica y la fase producto guarda relaciones de redes cristalinas con la fase previa.
Transformación reconstructiva:	Transformación de fase mediante difusión y activación térmica de los átomos. Este tipo de transformación cualquier correspondencia entre las relaciones de las redes cristalinas de la fase previa y la fase producto.
Tratamiento Térmico:	Es el calentamiento, sostenimiento a una temperatura determinada y enfriamiento, de una aleación metálica o solución sólida bajo condiciones controladas, que permitan modificar su microestructura y obtener así propiedades deseadas.
Tratamiento térmico TRIP:	Tratamiento térmico que permite modificar la microestructura de una aleación ferrosa para obtener propiedades TRIP. Este tratamiento térmico se conforma de dos etapas, la primera intercrítica en la zona de transformación de austenita y ferrita; la segunda isotérmica, mediante un temple interrumpido en la zona de transformación bainítica.
TRIP	Acrónimo de las palabras <i>Transformation Induced Plasticity</i> , o Plasticidad Inducida por Transformación. En este fenómeno, la austenita retenida de una aleación ferrosa, puede transformar en martensita debido a la aplicación de un esfuerzo mecánico que cause la deformación plástica de la austenita. Durante la deformación se presenta una alta plasticidad debida a esta transformación.

APÉNDICE C

Ataques Químicos Utilizados

A continuación se hace una descripción más detallada de los ataques químicos efectuados para caracterizar metalográficamente las microestructuras obtenidas en el acero evaluado después de los *tratamientos térmicos*.

1. Procedimiento de pulido y ataque.

Es importante considerar que el espécimen a atacar tiene que presentar una condición reciente de pulido para evitar la formación de capas de óxido. En todas las preparaciones metalográficas se siguió un procedimiento de preparación metalográfica convencional:

- Desbaste grueso con lija 120
- Desbaste con lija 320
- Desbaste con lija 600
- Desbaste fino con lija 1200
- Desbaste final con lija 2400
- Pulido grueso con polvo de alúmina de 0.3 μm .
- Pulido fino con polvo de alúmina de 0.05 μm .

2. Agente Nital.

Para los ataques químicos con Nital, se preparó una solución de 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) y 98 ml de alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$). El procedimiento de ataque consiste en sumergir el espécimen en la solución, la cual se haya a temperatura ambiente. El periodo de inmersión puede variar de 5 a 15 segundos, para luego enjuagar con un chorro de alcohol etílico y secar con aire caliente o un papel absorbente suave.

Para un acero hipoeutectoide que haya sido sometido a un tratamiento térmico TRIP, la microestructura revelada consiste de una matriz de ferrita no transformada en color blanco. Las zonas de transformación se presentan como una mezcla de bainita, martensita y austenita retenida en colores que van del café claro al gris oscuro. Sin embargo no es posible diferenciar claramente la austenita retenida de la martensita o de la ferrita no transformada.

3. Agente LePera.

Este reactivo se utiliza principalmente para la caracterización metalográfica de aceros Doble Fase, cuya microestructura está constituida por una matriz de ferrita no transformada y por zonas de martensita como segunda fase. Esta martensita es producto de transformar colonias previas de perlita.

El agente LePera es una mezcla de dos soluciones químicas diferentes: 1) una formada por metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) disuelto al 1% en agua destilada (1 gramo de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ disuelto en 99 gramos de agua destilada) y 2) otra formada por ácido pícrico [$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO})_3\text{OH}$] disuelto al 4% en alcohol etílico.

Cada una de estas soluciones se prepara por separado y se almacena en contenedores apropiados (matraces de vidrio por ejemplo). Las dos soluciones se mezclan antes del ataque químico en una razón 1:1. El ataque consiste en sumergir la superficie a observar en el agente químico y agitar ligeramente. La duración del ataque puede ser desde 5 segundos hasta 25 segundos, dependiendo de la aleación del acero a observar. El ataque se realiza a temperatura ambiente.

La superficie atacada presenta un color azul oscuro que puede apreciarse a simple vista. Una vez transcurrido el tiempo de ataque, el espécimen es inmediatamente enjuagado con un flujo alcohol etílico y secado

con aire a presión. No debe utilizarse ningún medio de secado similar a un paño, papel o tela suave, ya que el agente LePera “entinta” la superficie del espécimen y cualquier contacto con una superficie ocasiona que el ataque se desprenda.

Una vez que se mezclan las dos soluciones, el agente LePera tiene una vida útil de unos 5 minutos, y cada porción del agente sólo puede ser utilizada para el ataque de un espécimen. Hecho el ataque químico, el agente químico utilizado restante debe ser desechado.

Al observar la microestructura de un acero sujeto a un tratamiento térmico TRIP, la matriz de ferrita no transformada se presenta en color amarillo oscuro a ocre. Las zonas de transformación se presentan en un color amarillo o blanco brillante.

En un acero TRIP, estas zonas claras se consideran como austenita retenida. Sin embargo, la martensita presenta un color similar, aunque mate. La bainita se presenta en un color café oscuro. Este agente no permite diferenciar la austenita retenida de la martensita fácilmente, además de que en aceros hipoeutectoides no revela la presencia de ferrita epitaxial. Por otro lado, cuando hay contenidos de martensita superiores a un 30%, el contraste entre esta fase y la ferrita no transformada comienza a degradarse.

4. Solución de metabisulfito de sodio concentrada.

Este agente químico es similar al agente LePera. Es una solución de 10 gramos de metabisulfito de sodio disueltos en 100 ml de agua destilada. Este ataque químico se lleva a cabo en dos etapas. La primer etapa consiste en sumergir el espécimen en Nital al 2% y efectuar un ataque químico como el descrito en la sección de este apartado.

Después se sumerge la superficie en la solución de metabisulfito de sodio concentrada y se agita suavemente mientras se efectúa el ataque. La duración del mismo debe ser entre 10 y 30 segundos, dependiendo de la composición química de la aleación evaluada.

Una vez efectuado el ataque, el espécimen debe enjuagarse con un flujo suave de agua destilada y ser secado rápidamente con aire. La superficie adquiere un color gris opaco que se percibe a simple vista.

Al observar la microestructura de un acero hipoeutectoide sujeto a un tratamiento térmico TRIP al microscopio, se observa la matriz de ferrita no transformada en colores que van del violeta al verde olivo. Las zonas transformadas se presentan como austenita retenida en color blanco brillante y martensita en gris oscuro. El ataque químico se efectúa a temperatura ambiente.

5. Ataque con cromatos en ebullición.

Este ataque químico se efectúa con una solución en ebullición de cromatos e hidróxido de sodio disueltos en agua destilada.

La solución consta de 72 ml de agua destilada (H_2O) en la que se disuelven sucesivamente 8 gramos de óxido cromoso (CrO_3) y 40 gramos de hidróxido de sodio o sosa cáustica ($NaOH$). Debe tenerse cuidado de agregarse lentamente el hidróxido de sodio, ya que su reacción con el agua es fuertemente exotérmica. La temperatura de la solución al momento del ataque debe ser alrededor de los 120 °C.

El espécimen previamente es sujeto a un ataque químico con Nital 2, similar al descrito en el punto 2 de este apéndice. Una vez efectuado el ataque

químico con Nital, el espécimen es sumergido en la solución en ebullición de cromatos, y se efectúa una ligera agitación. El tiempo de inmersión es de unos 25 segundos.

Una vez concluida la inmersión, debe enjuagarse la superficie del espécimen con un flujo suave de agua destilada. Como el espécimen se calienta por la temperatura a la cual se efectúa el ataque químico, el flujo de agua aplicado para enjuagar la superficie del espécimen es evaporado.

A simple vista se aprecia una superficie en color azul oscuro. Un acero hipoeutectoide sometido a un tratamiento térmico TRIP presentará la siguiente microestructura: la matriz de ferrita no transformada se presenta en colores café oscuro a azul oscuro; la martensita se presenta en color negro, mientras que la martensita se oscurece a negro. No hay referencias para la bainita o la austenita retenida.

APÉNDICE D

Curvas de Enfriamiento Continuo

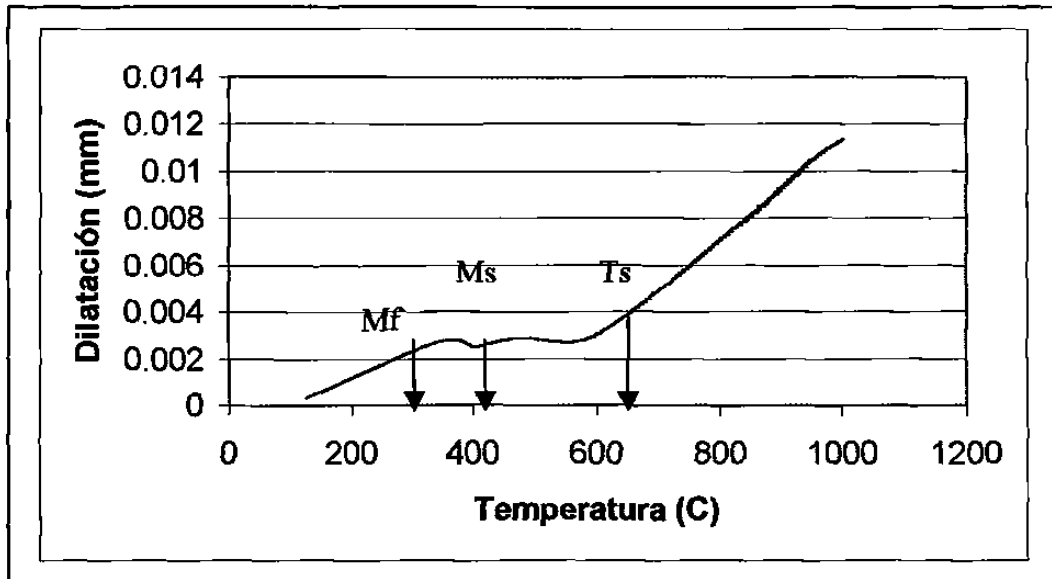


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 20 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a martensita (Ms) y fin de la transformación (Mf).

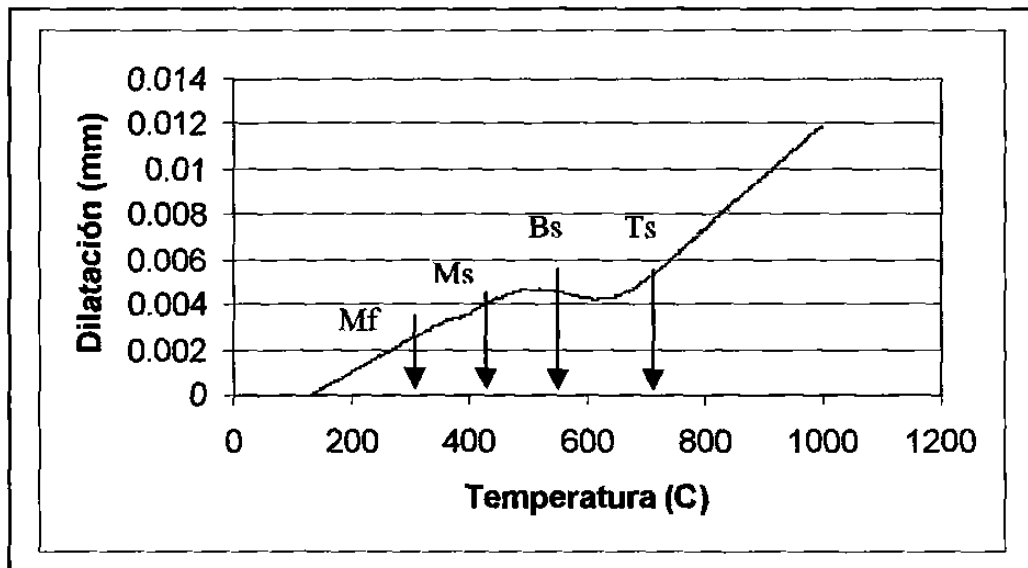


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 10 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a bainita (Bs), transformación a martensita (Ms) y fin de la transformación (Mf).

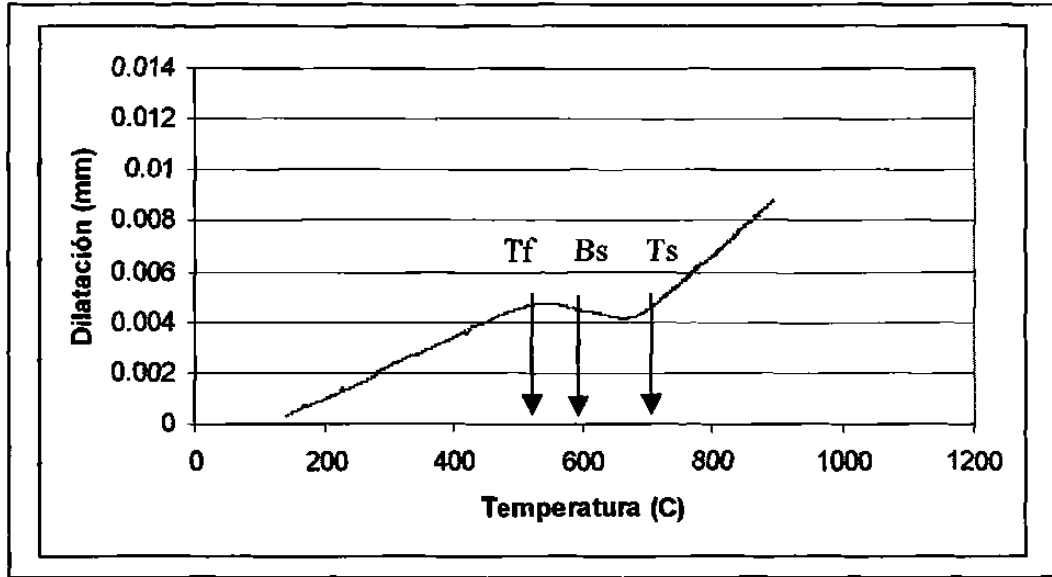


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 5 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a bainita (Bs) y fin de la transformación (Tf).

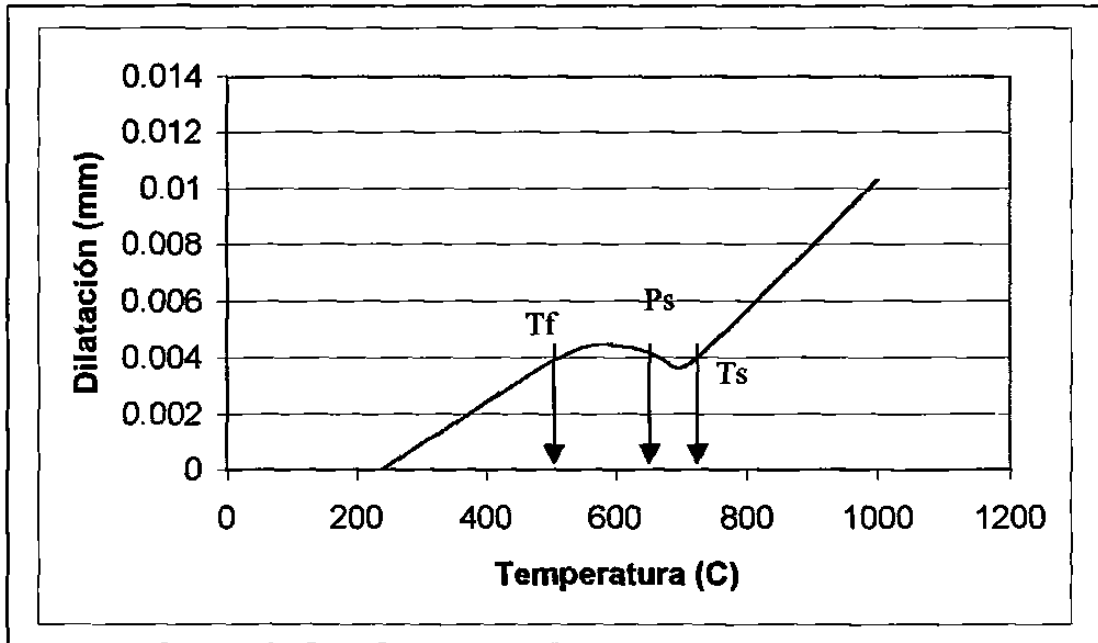


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 2 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a perlita (Ps) y fin de la transformación (Tf).

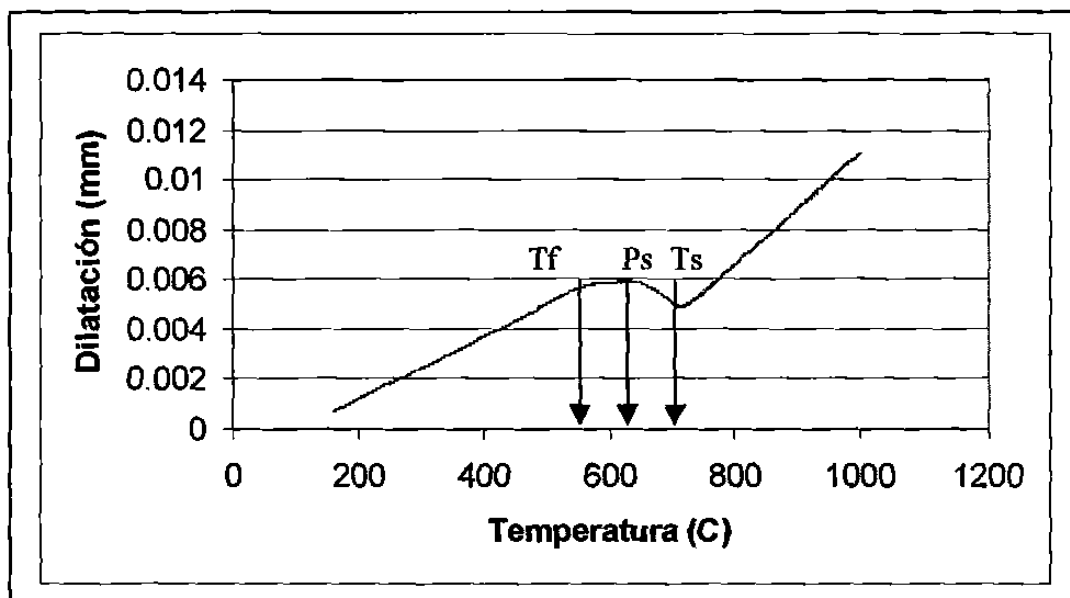


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 1 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a perlita (Ps) y fin de la transformación (Tf).

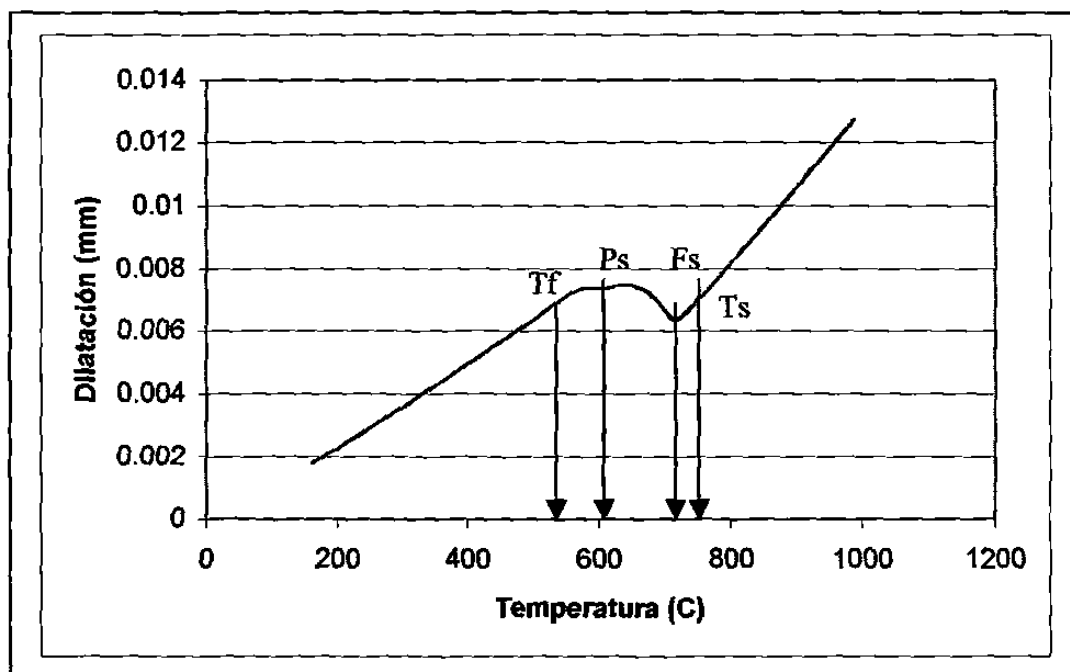


Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) a una velocidad de 0.5 °C por segundo. Se observa el inicio de la transformación (Ts), transformación a ferrita (Fs), transformación a perlita (Ps) y fin de la transformación (Tf).

APÉNDICE E

Nomenclatura

Ac1	Temperatura en la que la austenita comienza a aparecer durante el calentamiento.
Ae1	Temperatura de equilibrio que corresponde al límite inferior de la zona donde coexisten la ferrita y la austenita.
Ar1	Temperatura en la que la austenita desaparece durante el enfriamiento.
Ac3	Temperatura a la cual un espécimen se ha transformado completamente a austenita.
Ae3	Temperatura de equilibrio que separa la zona de ferrita y austenita de la zona de austenita en una aleación ferrosa.
Ar3	Temperatura en la que un espécimen austenítico comienza a transformarse a ferrita durante el enfriamiento.
B	Bainita
Bs	Temperatura de inicio para transformar austenita en bainita.
Md	Temperatura máxima en la que la martensita transforma bajo la influencia de un esfuerzo externo aplicado.
Ms	Temperatura de inicio de transformación de la martensita.
M_s^σ	Temperatura que define el límite entre la transformación martensítica asistida por esfuerzo y la transformación martensítica inducida por deformación.
Mf	Temperatura de fin de transformación de la martensita.
T	Temperatura.
T0	Temperatura en la que la energía libre de la austenita es igual a la energía libre de la martensita
T1	Temperatura de Etapa Intercrítica de un tratamiento térmico TRIP.
t1	Tiempo de mantenimiento en Etapa Intercrítica de un tratamiento térmico TRIP.
T2	Temperatura de Etapa Isotérmica de un tratamiento térmico TRIP.
t2	Tiempo de mantenimiento en la Etapa Isotérmica de un tratamiento térmico TRIP.

T_H	Temperatura máxima a la cual una transformación displasiva es posible.
V_1	Velocidad de enfriamiento intermedia en un tratamiento térmico TRIP.
V_2	Velocidad de enfriamiento final en un tratamiento térmico TRIP.
W_s	Temperatura de inicio para transformar austenita en ferrita Widmanstätten.
U	Fuerza mecánica directriz aplicada en un esfuerzo.
α	Ferrita.
γ	Austenita.
γ_r	Austenita retenida.
γ_{res}	Austenita residual.
ΔG	Cambio de energía libre.
σ	Esfuerzo a tensión o compresión
τ	Esfuerzo cortante
bcc	Cristal cúbico centrado en el cuerpo.
CCT	Diagramas de Transformación por Enfriamiento Continuo.
fcc	Cristal cúbico centrado en las caras.
TRIP	Transformación Inducida por Plasticidad.
TTT	Diagramas de Tiempo-Temperatura-Transformación.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1.1	Desarrollo de aceros de alta resistencia laminados en frío para aplicaciones automotrices.	2
1.2	Esquema de un tratamiento térmico TRIP y su efecto en la microestructura de un acero sujeto al mismo.	6
1.3	Parámetros de proceso para un tratamiento térmico TRIP.	6
1.4	Ilustración esquemática que muestra la transformación de la austenita después la etapa intercrítica (a), seguido de la etapa isotérmica (b) en un tratamiento térmico TRIP.	11
1.5	Variación del contenido de fases durante etapa isotérmica de un tratamiento térmico TRIP para una aleación con 0.4C – 1.5Si – 0.8Mn.	12
2.1	Diagrama hierro – carburo de hierro.	18
2.2	Fotomicrografía de la microestructura de un acero 1010.	20
2.3	Representación de la transformación de una colonia de perlita a austenita.	22
2.4	Esquema que representa el crecimiento de un grano de austenita sobre granos de ferrita circundantes.	24
2.5	Diagrama del proceso de crecimiento de grano de austenita en granos de ferrita circundantes durante la intercrítica de un tratamiento térmico TRIP.	25
2.6	Diagrama TTT para una aleación que permite distinguir la reacción displasiva de la reacción reconstructiva.	28
2.7	Representación esquemática de fases en forma de placas o láminas y tiras, productos de transformaciones displasivas.	30
2.8	Esquema de las transformaciones que ocurren en la austenita durante su enfriamiento.	33
2.9	Acero SAE 4350. Las zonas oscuras corresponden a	35

	bainita superior con algunas partículas de carburo alineadas.	
2.10	Bainita inferior en un acero SAE 1045. Las zonas oscuras son bainita inferior en una matriz de martensita.	37
2.11	Esquema del origen para la temperatura T_0 sobre un diagrama Fe-C.	39
2.12	Ilustración para un fenómeno de transformación incompleta.	40
2.13	Esquema de la cinética de transformación para la bainita.	42
2.14	Representación de la transición de bainita superior a bainita inferior.	44
2.15	Fotomicrografía de placas de ferrita acicular en una matriz de martensita.	46
2.16	Formación de un anillo de ferrita epitaxial (color blanco) alrededor de martensita (negro) en una matriz ferrítica (gris).	47
2.17	Diagrama del efecto de la velocidad de enfriamiento en la transformación de un grano de austenita durante su enfriamiento desde la temperatura de tratamiento térmico intercrítica.	48
2.18	Martensita en un acero al medio de carbono.	50
2.19	Representación esquemática de un plano invariante de deformación característico de una transformación martensítica.	52
2.20	Efectos distintos tipos de deformación en un cristal.	53
2.21	El plano hábitat de la martensita (α') bajo condiciones de transformación sin restricción (a) y con restricción (b).	56
2.22	Ilustración que presenta los mecanismos de transformación por difusión y martensítica.	57
2.23	Efecto del carbono en los parámetros de las estructuras de la austenita (fcc) y de la martensita (bct).	59
2.24	Correspondencia de estructuras para la formación de	60

	martensita a partir de austenita.	
2.25	Formación de una placa de martensita mediante dos tipos de deformación de red.	62
2.26	Diagrama que ilustra el cambio de energía libre para una reacción martensítica.	63
2.27	Detalle de la Figura 2.26 que ilustra el efecto de un esfuerzo mecánico en el cambio de energía interna de la austenita en una transformación martensítica.	65
2.28	Diagrama que esquematiza un esfuerzo aplicado a lo largo del eje A y que induce una transformación martensítica sobre el plano hábitat P con normal N.	68
2.29	Diagrama esfuerzo-temperatura que esquematiza el esfuerzo crítico necesario para iniciar la transformación de austenita martensita.	68
3.1	Diagrama TTT para un acero eutéctico. A, austenita, F, ferrita; C, carburo.	74
3.2	Diagrama que muestra cómo una contracción causada por un cambio de fase puede modificar la expansión térmica de una aleación ferrosa durante su calentamiento.	78
3.3	Curva esquemática típica de un dilatómetro para una aleación ferrosa en la que se muestran los efectos de calentamiento y enfriamiento.	80
3.4	Esquema del circuito eléctrico de un transformador diferencial linear variable (LVDT).	81
3.5	Imagen que muestra el arreglo del LVDT de un dilatómetro.	82
3.6	Curva dilatación / temperatura de una aleación ferrosa.	86
3.7	Curva dilatación / temperatura en enfriamiento, que muestra la extrapolación utilizada para determinar las temperaturas de inicio y fin de transformación de fase.	88

3.8	Fracción de la curva dilatación / temperatura mostrada en la Figura 3.7 en la que se muestra la manera en la que se determina la cantidad de fase transformada.	89
3.9	Diagrama de enfriamiento continuo (CCT) para un acero aleado al manganeso.	91
3.10	Diagrama CCT esquemático para un acero eutéctico.	92
3.11	Diagrama CCT esquemático para un acero hipoeutéctico.	93
4.1	Espectro de difracción para un acero al 0.4%C.	97
4.2	Esquema para un haz incidente que es difractado por los átomos de un plano cristalino.	98
4.3	Esquema de un haz de radiación que es difractado por un cristal de acuerdo a la Ley de Bragg.	99
4.4	Un haz de electrones de alta energía al golpear un sólido genera un espectro continuo de radiación blanca.	103
4.5	Esquemas de monocromadores para equipos de difracción de Rayos X.	105
4.6	Patrón de difracción para un acero TRIP.	114
5.1	Fotomicrografía de la microestructura presente en la aleación evaluada.	119
5.2	Inclusión no metálica típica observada en la microestructura del acero evaluado.	119
5.3	Dilatómetro Theta Dilatronic III.	120
5.4	Curva dilatación/temperatura característica para el acero evaluado.	121
5.5	Hornos eléctricos de baños de sales utilizados en la experimentación.	124
5.6	Equipo computacional utilizado para la captura de datos en los experimentos de tratamientos térmicos.	125
5.7	Datos Temperatura – Tiempo de monitoreo para un tratamiento térmico TRIP de un de los especímenes en los hornos de baño de sales fundidas.	126

5.8	Diferenciación al utilizar distintas técnicas metalográficas para observar la microestructura de un acero sujeto a un tratamiento térmico TRIP.	129
5.9	Microestructura de un acero AISI 1018 sujeto a un tratamiento térmico de temple.	131
5.10	Patrón de difracción Kikuchi de un cristal de aluminio.	134
5.11	Mapa de Kikuchi de un cristal de silicio.	135
6.1	Porciones de un diagrama de enfriamiento continuo- (CCT) que indican los las transformaciones de una aleación durante el calentamiento y el enfriamiento.	139
6.2	Diagrama de enfriamiento continuo para un acero 0.1C – 1.80Mn – 0.83Si.	140
6.3	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 20 °C/s hasta temperatura ambiente.	141
6.4	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 10 °C/s hasta temperatura ambiente.	142
6.5	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 5 °C/s hasta temperatura ambiente.	142
6.6	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 2 °C/s hasta temperatura ambiente.	142
6.7	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 1 °C/s hasta temperatura ambiente.	143
6.8	Fotomicrografía de espécimen austenitizado a 1000 °C y enfriado a 5 °C/s hasta temperatura ambiente.	143
6.9	Fracción de austenita transformada en función del tiempo para una temperatura de 760 °C para la aleación evaluada.	144
6.10	Fracción de austenita transformada en función del tiempo para una temperatura de 780 °C para la aleación evaluada.	145
6.11	Especimen austenitizado a 760 °C durante 30 segundos.	146

6.12	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 1 minuto.	147
6.13	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 5 minutos.	147
6.14	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 10 minutos.	147
6.15	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 30 minutos.	148
6.16	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 1 hora.	148
6.17	Espécimen austenitizado a 760 °C durante 5 horas.	148
6.18	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 30 segundos.	149
6.19	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 1 minuto .	149
6.20	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 5 minutos.	149
6.21	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 10 minutos.	150
6.22	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 30 minutos.	150
6.23	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 1 hora.	150
6.24	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 5 horas.	151
6.25	Espécimen austenitizado a 780 °C durante 8 horas.	151
6.26	Gráfica de contenido de austenita retenida en los especímenes sujetos a diferentes condiciones para tratamiento térmico TRIP.	152
6.27	Contenido de Carbono en Austenita Retenida para especímenes sujetos a Tratamiento Térmico TRIP, Serie 1.	154
6.28	Contenido de Carbono en Austenita Retenida para especímenes sujetos a Tratamiento Térmico TRIP, Serie 2.	154
6.29	Contenido de Carbono en Austenita Retenida para especímenes sujetos a Tratamiento Térmico TRIP, Serie 3.	155
6.30	Microestructura de acero sujeto a tratamiento térmico TRIP, ataque con Nital.	156

6.31	Microestructura de acero sujeto a tratamiento térmico TRIP, ataque con agente LePera.	157
6.32	Microestructura de acero sujeto a tratamiento térmico TRIP, ataque con agente de metabisulfito concentrado.	158
6.33	Microestructura de acero sujeto a tratamiento térmico TRIP, ataque con solución de cromatos en ebullición.	159
6.34	Comparación de ataques químicos en la microestructura de un acero sujeto a tratamiento térmico TRIP.	160
6.35	Espécimen TRIPMn6 atacado con agente de solución de cromatos en ebullición.	161
6.36	Espécimen TRIPMn6 atacado con agente de solución de cromatos en ebullición.	161
6.37	Espécimen TRIPMn6 atacado con agente de solución de cromatos en ebullición.	161
6.38	Comparación de ataque químicos en la microestructura de un acero AISI 1018 sujeto a tratamiento térmico de temple desde 760°C.	162
6.39	Imagen de SEM de espécimen TRIPMn4 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 10 segundos.	164
6.40	Imagen de SEM de espécimen TRIPMn7 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 2 minutos.	164
6.41	Imagen de SEM de espécimen TRIPMn1 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 5 minutos.	165
6.42	Imagen de SEM de espécimen TRIPMn8 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 10 segundos.	167
6.43	Imagen de SEM de Especimen TRIPMn11 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 1 minuto.	167
6.44	Imagen de SEM de Especimen TRIPMn12 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 5 minutos.	168
6.45	Imagen de SEM de Especimen TRIPMn21 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 10 segundos.	169

6.46	Imagen de SEM de Espécimen TRIPMn24 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 2 minutos.	169
6.47	Imagen de SEM de Espécimen TRIPMn4 sujeto a Etapa Isotérmica a 410 °C durante 5 minutos.	170
6.48	Identificación de fases por medio de OIM en un acero tratado térmicamente siguiendo proceso TRIP.	171
6.49	Identificación de fases por medio de OIM en un acero tratado térmicamente siguiendo proceso TRIP.	172
6.50	Identificación de fases por medio de OIM en un acero tratado térmicamente siguiendo proceso TRIP.	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
3.1	Comparación de coeficientes de expansión térmica (α) para diferentes materiales.	77
4.1	Reflexiones permitidas y prohibidas en cristales cúbicos	101
4.2	Cambios de parámetros de la red de martensita y de la de austenita en función del contenido de C.	112
5.1	Composición química para acero involucrado (% en peso).	118
5.2	Condiciones de experimentación para los tratamientos térmicos TRIP efectuados en la experimentación.	129
5.3	Técnicas metalográficas utilizadas para diferenciar diferentes fases en aceros Doble-Fase y aceros TRIP.	130
6.1	Temperaturas críticas de transformación para el acero evaluado.	138
6.2	Comparación de resultados para cálculo de temperatura Ms utilizando diferentes ecuaciones.	141

ÍNDICE ANALÍTICO

- Aceros
 - hipoeutectoides, 18, 20, 122
 - generalidades, 2
- Ángulos de difracción, 100
- Austenita
 - crecimiento, 24
 - definición, 18, 212
 - descomposición, 27
 - detección mediante Rayos X, 105
 - enriquecimiento de carbono, 10, 37
 - propiedades, 18
 - residual, 11
 - retenida, 28, 117
 - templabilidad, 25
- Bainita
 - cinética de transformación, 43
 - generalidades, 32, 35, 212
 - formación, 40
 - inferior, 13, 28, 35, 38, 46
 - microestructuras, 36, 39
 - superior, 12, 28, 35
- Carbono
 - en austenita, 10
 - en austenita retenida, 131
 - en bainita, 40, 43
 - en martensita, 62
- Cementita, 31, 38, 212
- Carburos, 43, 46, 119
- Coefficiente de expansión lineal, 76
- Coherencia, 24, 59, 62, 212
- Deformación de plano invariante, 65
- Diagrama
 - De enfriamiento continuo (CCT), 79, 94
 - de transformación, 77
 - Fe-Fe₃C, 19
 - isotérmico (TTT), 78
- Difracción de Rayos X, 95, 106, 126, 151
- Difractómetro de Rayos X, 95, 102, 109
- Difusión, 30, 213
- Dilatometría, 72, 76, 120, 139 - 145, 209
- Dilatómetro
 - principio de operación, 76, 82, 120
 - procedimiento de experimentación, 84
- construcción de diagramas, 90
- Ecuaciones de Laue, 98
- Efecto TRIP, 69
- Energía libre, 67
- Energía libre de transformación, 70
- Espectro de difracción, 100
- Etapa Intercrítica, 8, 21, 26, 148 - 156
- Etapa Isotérmica, 10, 35
- Fenómeno de reacción incompleta, 42
- Ferrita
 - acicular, 32, 34, 47
 - alotriomórfica, 30
 - bainítica, 37
 - epitaxial, 26, 49
 - idiomórfica, 30
 - microestructura, 119
 - no transformada, 24, 28
 - perlítica, 31
 - supersaturada, 45
 - Widmanstätten, 32
- Goniómetro, 108
- Interfase, 29, 57, 214
- Kikuchi
 - Mapa, 140
 - patrón de difracción, 139
- Ley de Bragg, 98
- Maclaje, 65
- Martensita
 - cristalografía, 62
 - generalidades, 12, 28, 32, 51
 - microestructura, 53
- Metalografía, 132
- Microscopía
 - electrónica, 163
 - de imagen de orientación, 132, 171
 - óptica, 128, 156
- Monocromador, 104

Perlita laminar, 28, 31, 119
Plano hábitat, 60, 65
Plano invariante de transformación, 54
Plasticidad inducida por deformación, 3

Radiación blanca, 107
Rayos X, 99, 101, 110
Reacción
 bainítica, 5, 12, 37, 44
 displasiva, 28, 31, 37, 52, 60
 incompleta, 42
 reconstructiva, 28, 29
Reflexiones de Rayos X en hierro, 101
Semi-coherencia, 58

Temperatura
 de transformación de fase, 79
Textura, 111, 138
TRIP
 efecto TRIP, 3, 69
 tratamiento térmico, 5
Transformación
 austenítica, 8, 19
 bainítica, 5, 12, 37, 44
 de perlita a austenita, 22
 displasiva, 28, 31, 37, 52
 martensítica, 28, 31, 36, 52, 54, 60
 sin difusión, 60
Transformador diferencial linear variable, 84
Transición de bainita superior a bainita inferior, 45

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Octavio Covarrubias Alvarado

Candidato para obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la
Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales

Octavio Covarrubias Alvarado nació en la Ciudad de México, D. F., el 29 de enero de 1975. Hijo de Octavio Covarrubias García y de Adela Alvarado Muñoz. Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (UANL), obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Metalúrgico en septiembre de 1997.

Posteriormente efectuó estudios de postgrado en el Plan Doctoral en Ingeniería de Materiales de la División de Estudios de Postgrado (FIME-UANL) becado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en junio de 1999. En ese mismo año inicia estudios de doctorado, también becado por el CONACYT, los cuales incluyeron una estancia técnica en el Laboratorio para Hierro y Acero de la Universidad de Gent, Bélgica.

Desde 1998 es catedrático de tiempo parcial de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, en 2002 imparte cátedra como catedrático de tiempo completo e investigador en la División de Estudios de Postgrado de la misma escuela. Además se ha desempeñado como catedrático de tiempo parcial de la Universidad Tecnológica Unidad Santa Catarina desde 2000. Ha participado en 6 congresos internacionales y en la publicación de 5 artículos en revistas de arbitraje nacional e internacional. También ha realizado actividades como Ingeniero de Calidad y consultoría en el área de la fundición de hierro gris para la empresa Hayes Lemmerz International Frenos S. A.

