

4.5 Caracterización de la superficie de los aceros por medio de perfilometría óptica

Para comparar los datos obtenidos por medio del MFA, se procedió a utilizar un perfilómetro óptico marca Zygo, modelo New View 200 (Fig.4.11) en el cual, al que igual con el microscopio de fuerza atómica, se pueden obtener imágenes en tres dimensiones de las superficies de las muestras analizadas, solo que con el perfilómetro es posible barrer un área máxima de $1431\ \mu\text{m}$ por $1073\ \mu\text{m}$, el barrido se hacen en la modalidad de no contacto empleando el principio de interferometría de luz blanca.



Fig.4.11. Perfilómetro óptico marca Zygo.

El análisis del parámetro de rugosidad R_a , al igual que en el MFA, se efectuó sobre una imagen en dos dimensiones (Fig.4.12) la cual se analiza mediante el paquete computacional Metro Plus™, el cual, al final del análisis otorga el valor R_a

promedio de todos los perfiles de la superficie analizada (Fig.4.13). Los parámetros de barrido se presentan como sigue:

- a) Velocidad de barrido 100 $\mu\text{m}/\text{seg}$.
- b) Área del barrido 1073 μm x 1431 μm .
- c) Tiempo aproximado de barrido 50 segundos.
- d) No contacto.

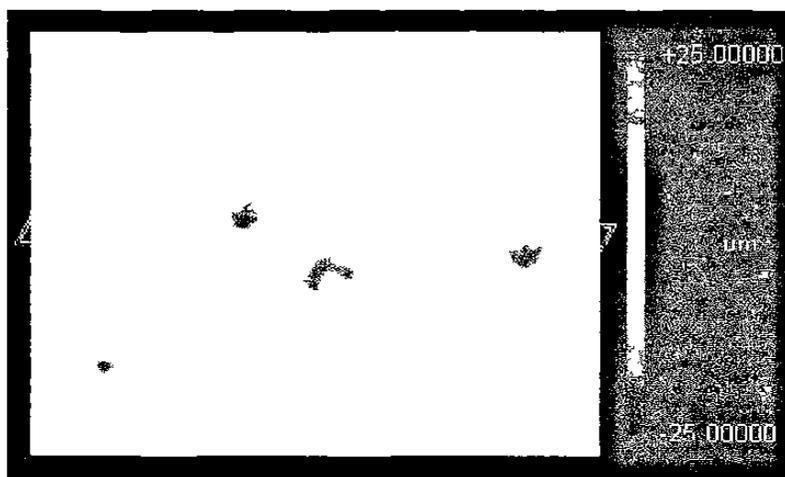


Fig.4.12. Imagen bidimensional empleada para el análisis por perfilometría.

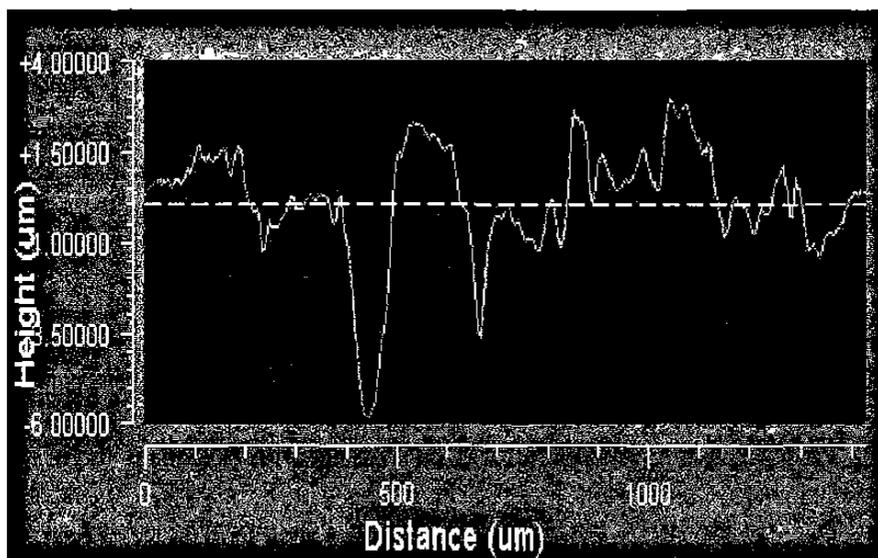


Fig.4.13 Perfil típico de alturas tomado a la mitad del área de barrido, por medio de perfilometría óptica.

4.6 Influencia del proceso de decapado sobre las superficies de los aceros

Se tomaron muestras de acero SAE 1006 con la finalidad de tratar de revisar el efecto del proceso de decapado con ácido clorhídrico (HCl) que sufren los aceros. El experimento consistió en simular las condiciones de este proceso mediante la preparación de una solución que contenía 50 ml de HCl diluidos en 100 ml de agua y que fue llevado hasta un intervalo de temperatura de entre 75 y 85°C. Las muestras fueron pulidas hasta obtener un acabado superficial espejo. Antes de exponer las muestras al medio acuoso, se obtuvo su peso y también después del tiempo de exposición de la muestra en el medio, esto con la finalidad de evaluar la pérdida en peso, $\Delta\omega$, debido al proceso corrosivo. Técnicas de microscopía electrónica de barrido en la región de electrones secundarios y de fuerza atómica en un tamaño de barrido (x,y) de $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ fueron empleadas para evaluar las condiciones de las muestras después del ataque. Los tiempos de exposición para las muestras pulidas fueron de 1,2 y 3 minutos mientras que la muestra con óxido en la superficie estuvo durante 3 minutos en la solución.

Referencias Bibliográficas

[1] De la Garza, M., Ros-Yáñez, Tanya., Colás, R., Houbaert, Y., "Study of precipitates formed in a wrought aluminum alloy by means of atomic force microscopy", Materials characterization 47 pp 397-400, Elsevier Science Inc. Belgica, Enero 2002.

[2] Smith, William., "Principles of materials science and engineering", Mc Graw Hill International, EUA, 1990.

[3] Sanchez, A., Colás, R., Vélez, I., Colás, R., "Grain size and strain distributions within an automotive valve". Journal of materials processing technology 28 pp 355-344, Elsevier Science Inc. Mexico, Enero 1991.

[4] Vander Voort, George.F., "Grain size measurement" Practical applications of quantitative metallography. Mc Call Steele editors. EUA 1982.

CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Análisis químico

Del análisis químico realizado a las muestras se obtuvieron las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 Composición química real de los aceros muestreados.

AISI/SAE	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Nb
1005	0.063	0.162	0.006	0.004	0.022	0.00
1008	0.052	0.25	0.009	0.008	0.014	0.00
1006	0.063	0.171	0.011	0.001	0.015	0.00
1110	0.052	0.556	0.01	0.007	0.606	0.00
1011	0.066	0.821	0.007	0.0060	0.002	0.03

Como se puede apreciar, los porcentajes de carbono en los aceros muestreados se encuentran en el intervalo de 0.05 % a 0.066% lo que en este caso los hace muy similares, la diferencia está en aquellos que presentan un alto porcentaje de Silicio como en caso del acero 1110, así como también en cuanto al contenido de Mn se refiere, en donde se aprecia que el acero 1011 y el acero 1110, tienen un alto contenido. Prácticamente los tres primeros aceros son muy similares y las diferencias se encuentran sólo en las composiciones químicas de los últimos dos aceros de la Tabla 5.1.

5.2 Análisis Metalográfico

Una vez obtenida la composición química real de los aceros muestreados, haciendo uso del contenido de carbono del análisis químico y con la ayuda de un diagrama hierro-carbono se obtuvo el porcentaje de las fases presentes en los aceros y que se muestra en la Tabla 5.2, el cual se comprobó mediante los ensayos metalográficos realizados a las muestras denominadas como banda y que están representadas en las micrografías de las Figs 5.1 a la 5.3.

Tabla 5.2 Resultados de porcentajes de fases presentes en los aceros.

AISI/SAE	%C	% ferrita	% perlita
1005	0.063	94.71	5.29
1008	0.052	96.12	3.88
1006	0.063	94.71	5.29
1110	0.052	96.12	3.88
1011	0.066	94.32	5.68

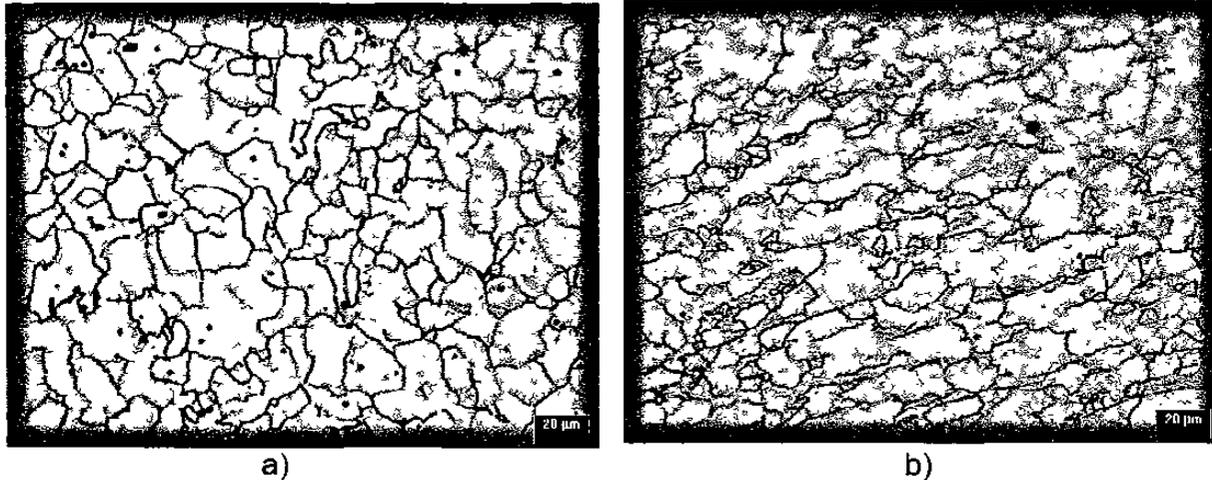
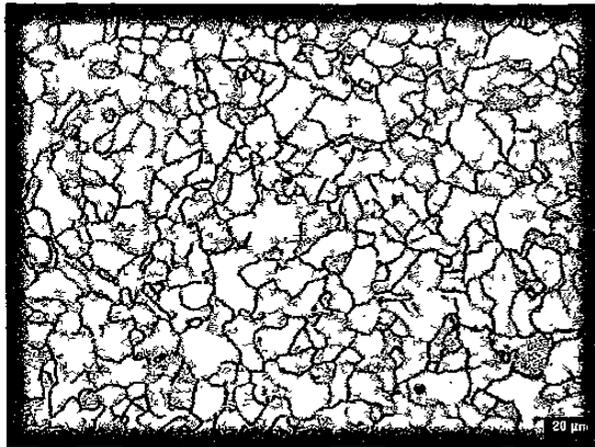
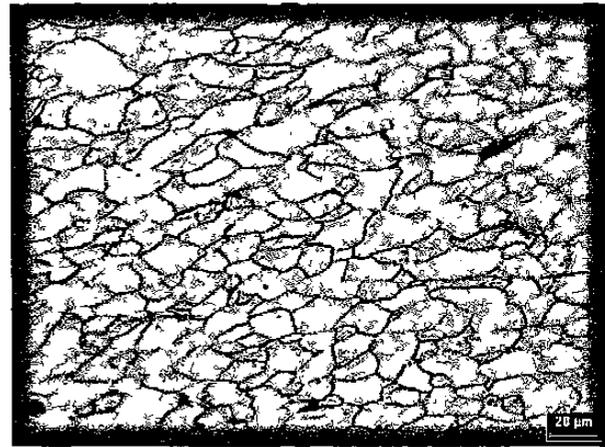


Fig.5.1 Micrografía tomada a 20X Nital 3% en las que se muestra la microestructura del acero 1008: a) proveniente de colada continua y que fue laminado en caliente. Se pueden apreciar las inclusiones no metálicas b) proveniente del laminado en caliente de un lingote normal. Se aprecia la estructura con cierto grado de deformación lo que indica que este último paso de laminado se realizó a una temperatura baja.



a)



b)

Fig.5.2 Micrografía tomada a 20X Nital 3%: a) AISI/SAE 1006 en el último paso de laminación en caliente, b) AISI/SAE 1110 en el último paso de laminación en caliente, en este acero es posible apreciar un cierto grado de deformación igual que en uno de los aceros 1008.

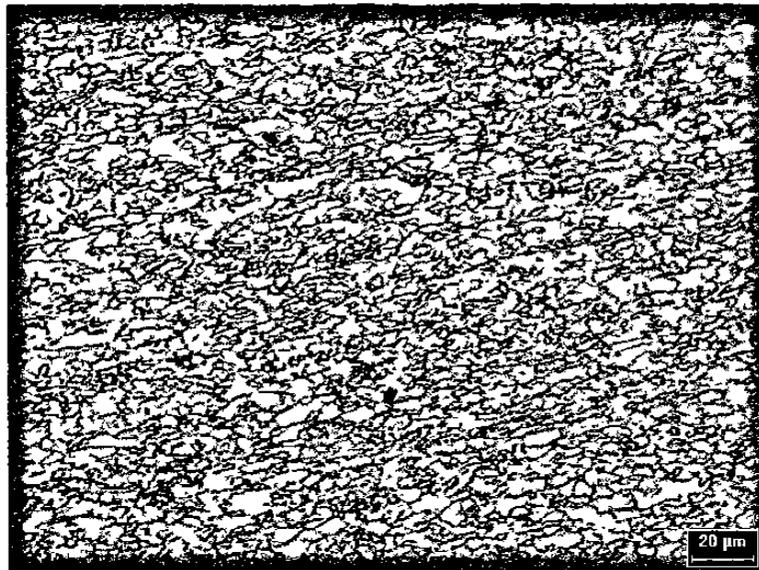


Fig.5.3 Micrografía tomada a 20X Nital 3% : microestructura de un acero AISI/SAE 1011, en donde el tamaño de grano es muy fino en comparación de los aceros analizados anteriormente y que se debe a las temperaturas de acabado en la laminación en caliente así como la adición del elemento Nb.

De las fotografías de las Figs. 5.1 a 5.3 ,analizadas con anterioridad, con facilidad es posible apreciar en mayor cantidad a la fase ferrita y podemos considerar que corresponde a los porcentajes teóricos calculados. En cuanto a la fase perlita en estos campos es muy difícil apreciarla debido a su poco porcentaje y a su alta dispersión en la matriz, es posible apreciarla en el acero 1110 en los límites de grano.

5.2.1 Evolución de la microestructura durante el laminado en frío

Otra de las finalidades del análisis metalográfico fue la de conocer como era el cambio en la microestructura de los aceros de estudio con respecto al porcentaje de reducción que se obtenía de la cinta de acero en cada paso de laminación, a continuación se presenta la evolución de la microestructura del acero AISI/SAE 1005.Fig. 5.4

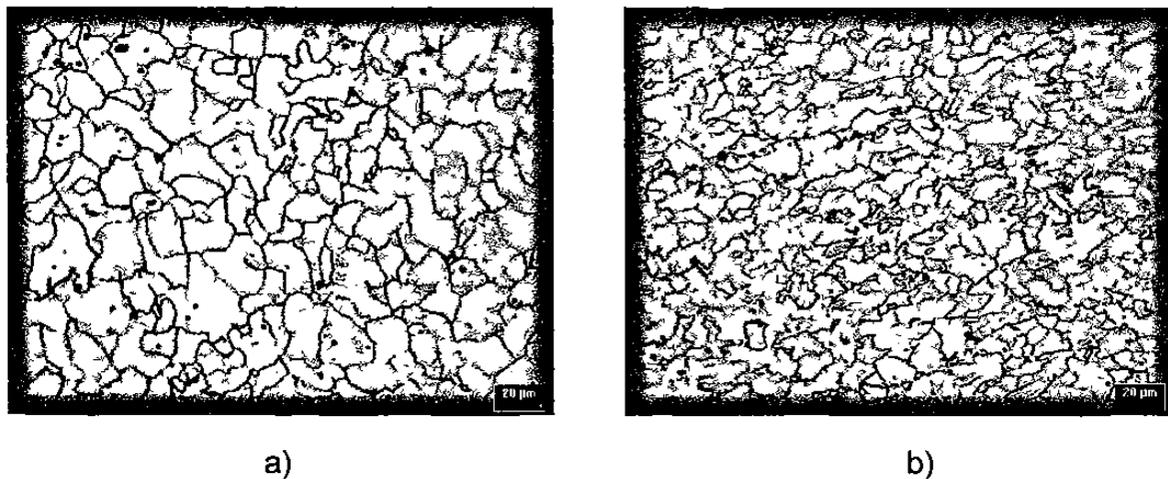


Fig.5.4 Evolución microestructural de una acero AISI / SAE 1005, a) 0% de reducción, b)31.25 % de reducción, c) 57.50 %de reducción, d)71.25 % de reducción. 20X Nital 3%

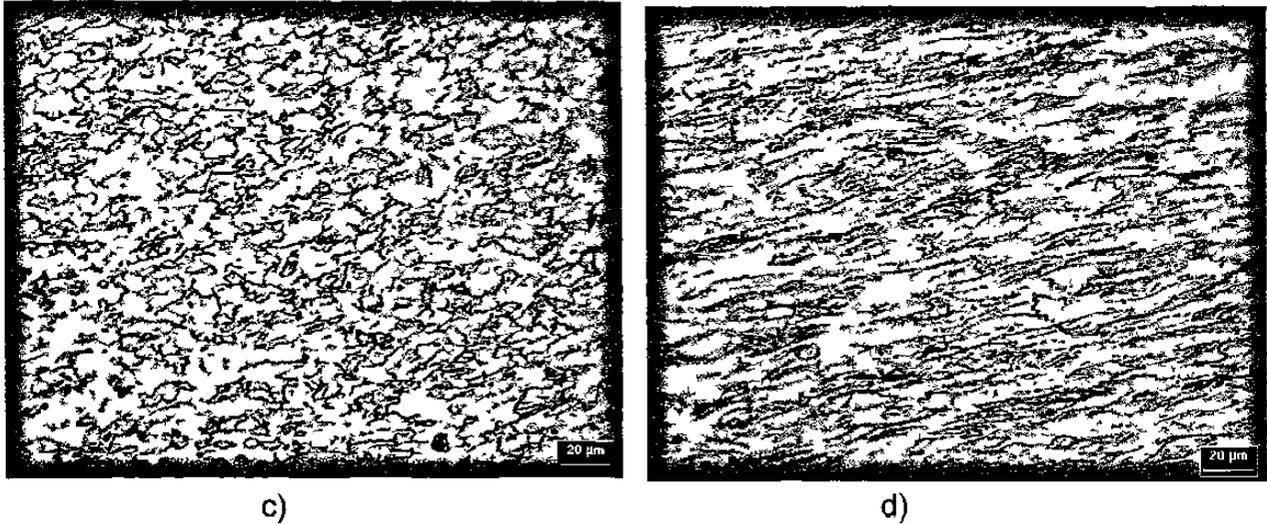


Fig.5.4 Evolución microestructural de una acero AISI / SAE 1005, a) 0% de reducción, b)31.25 % de reducción, c) 57.50 %de reducción, d)71.25 % de reducción. 20X Nital 3%

5.3 Tamaño de grano

Se analizan los datos obtenidos de las mediciones efectuadas para determinar el tamaño de grano promedio de los aceros muestreados, el cual es otro de los parámetros de gran interés en este estudio. Los dos métodos descritos en la sección 4.2.3, fueron utilizados para y calcular el tamaño; los resultados se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla.5.3 Tamaño de grano promedio de los aceros.

Acero AISI/SAE	Tamaño de grano promedio método DDO	Tamaño de grano promedio método Heyn
1005	25.5	20
1008	27.6	26.9
1011	7.6	5
1006	17.4	13.2
1110	23.3	22.7

Estos datos fueron colocados en una grafica estadística de dispersión referida al 96% de confiabilidad la cual se muestra en las Fig. 5.5.

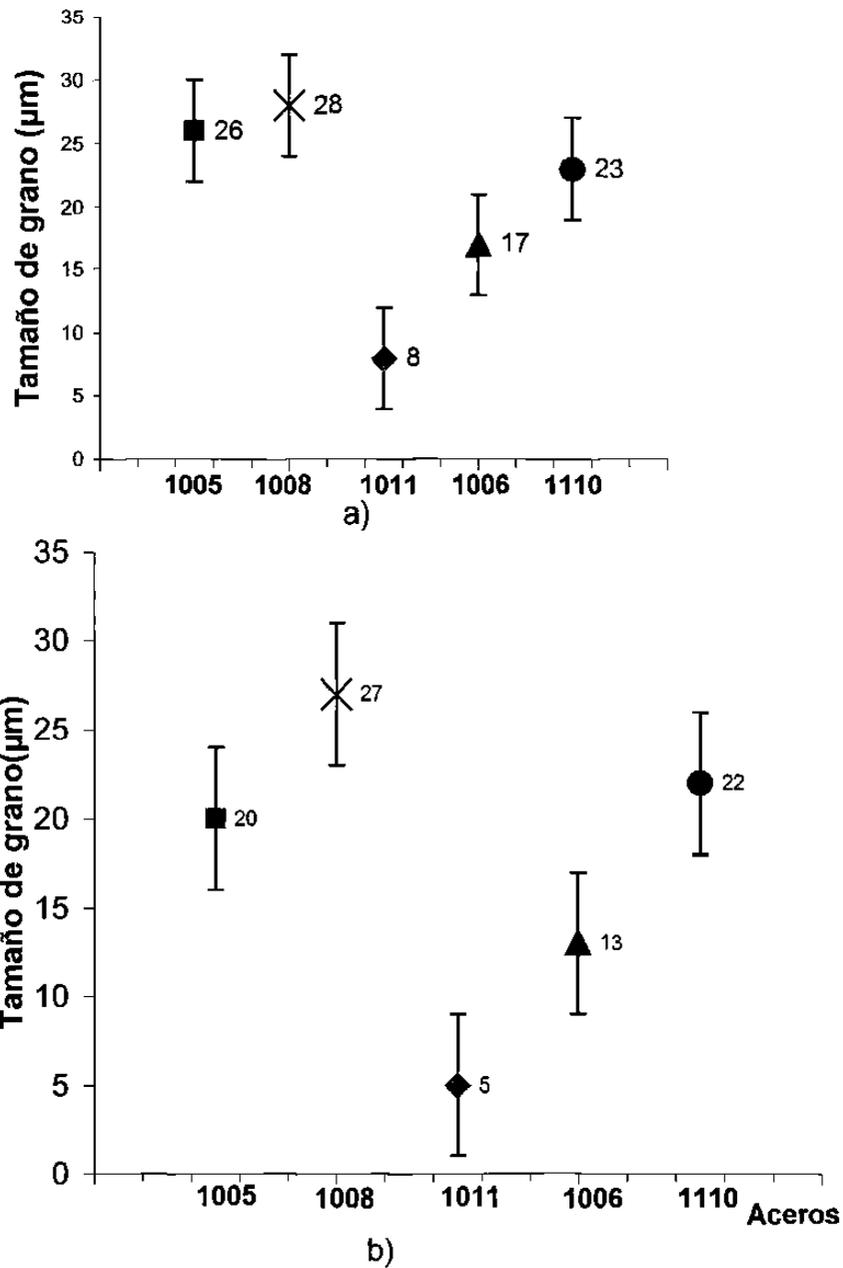


Fig.5.5 Tamaño de grano promedio de los aceros muestreados, a) Método dos direcciones ortogonales, b) Método Heyn.

Analizando los gráficos de la Fig. 5.5 se puede observar que en los dos métodos, aparte que el tamaño de grano promedio directamente obtenido es muy cercano, el intervalo de confianza manejado para los dos métodos indica que los tamaños de grano del método Heyn [1] entran en el intervalo de los tamaños de grano del método de las direcciones ortogonales, y que así mismo el tamaño de grano comparado entre los aceros es muy similar en todos los casos, a excepción del acero 1011 el cual tiene un tamaño de grano más pequeño en comparación a los demás analizados.

Se ha manejado que para que el método Heyn sea válido se deben de analizar como mínimo 5 campos o una cantidad muy grande de granos. Se optó por tomar fotografías a bajos aumentos con la finalidad de tratar de medir tener un número mayor de granos para dos campos analizados, se encuentra que los valores comparados entre si son muy cercanos. Así mismo las mediciones efectuadas en el analizador de imágenes para evaluar el tamaño de grano mediante el método de las dos direcciones ortogonales se consideran más precisas debido a estas son independientes del error humano, ya que se puede trabajar a grandes aumentos (20X y 40X) y no requieren de medir un número tan grande de granos para un obtener un análisis confiable.

5.4 Resultados obtenidos de los ensayos de microdureza Vickers

Los resultados de los ensayos de microdureza vickers practicados a los aceros, en cada uno de los pasos de laminación se presentan a en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Datos obtenidos de los ensayos de microdureza realizados

Acero 1005->	Paso	VHN	Acero 1008->	Paso	VHN	Acero 1011->	Paso	VHN
	Banda	112.38		Banda	148.8		Banda	158.2
	pase 1	144.08		pase 1	162.48		pase 1	236.72
	pase 2	167.34		pase 4	224.4		pase 2	249
	pase 3	168		pase 6	287.25		pase 3	268.53
	pase 4	188.02					pase 4	307.28
Acero 1006->	Paso	VHN	Acero 1110->	Paso	VHN			
	Banda	147.64		Banda	143.74		pase 8	311.06
	pase 1	150.62		pase 1	165			
	pase 3	175.46		pase 2	179.7			
	pase 6	193.2		pase 4	201.02			

Para obtener una idea más precisa de lo que este número de microdureza representa, éste a su vez, fue comparado en el valor promedio de resistencia a la tensión, obtenido de los ensayos mecánicos de tensión practicados a los aceros indispensables para el desarrollo del modelo numérico de laminación en frío, los datos se comparan en la gráfica de la Fig. 5.6.

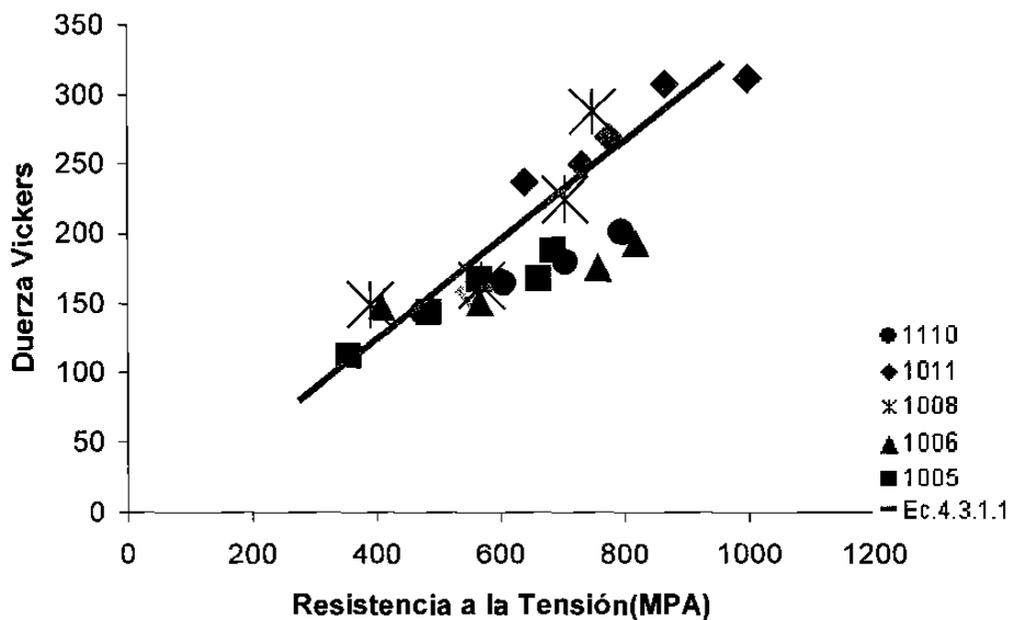


Fig.5.6 Resultados obtenidos del VHN por paso con respecto a la resistencia a la tensión.

Como puede apreciarse, si los datos de la gráfica obtenida mediante la resistencia a la tensión calculada mediante el uso de las tabulaciones existentes para un estándar [1], que relacionan el VHN con este último valor, los datos siguen una tendencia lineal, la cual si fuera graficada en conjunto con la dispersión de los datos de la ecuación 4.3.1.1 de los ensayos de microdureza Vickers, a simple vista es de hacer notar que los datos ecuación antes mencionada, caen dentro de esta dispersión de datos obtenidos a través de los ensayos mecánicos de tensión, lo que indica que las mediciones realizadas para evaluar el trabajo mecánico realizado sobre los materiales por medio del VHN, son correctas. Así mismo se puede apreciar que los aceros más resistentes resultan ser el acero 1110 y 1011 y pudiendo ser esto influenciado por el alto contenido de silicio para el primer acero y al efecto de refinamiento de grano debido al elemento químico niobio (Nb) para el segundo acero, los demás aceros no resultan ser tan resistentes como los dos antes mencionados, estos tamaños de grano pueden ser revisados en las micrográficas de las Figs. 5.2 y 5.3.

5.5 Resultados obtenidos de las relaciones entre los parámetros de rugosidad obtenidos por MFA con respecto a algunas variables del proceso

Para tratar de apreciar posibles cambios en los pasos de laminación se construyeron las gráficas que muestran la evolución del valor de rugosidad (Tabla 5.5), por pase, a través del análisis de los perfiles que fueron obtenidos mediante microscopía de fuerza atómica para cada paso, con respecto a variables obtenidas del proceso, como espesor, velocidad, y fuerza de laminación, así mismo se calculó el estado del espesor de la capa de lubricante en la interfase metal-metal, estos datos pueden ser comparados con las gráficas de la sección 3.7, Figs. 3.16 y 3.17.

Tabla 5.5 Valores Ra promedio obtenidos mediante MFA.

Acero 1005	Ra (μm)	Acero 1008	Ra (μm)	Acero 1011	Ra (μm)	Acero 1006	Ra (μm)	Acero 1110	Ra (μm)
Banda	0.089	Banda	0.162	Banda	0.107	Banda	0.199	Banda	0.416
Paso 1	0.042	Paso 1	0.089	Paso 1	0.044	Paso 1	0.016	Paso 1	0.041
Paso 2	0.021	Paso 4	0.022	Paso 2	0.040	Paso 3	0.025	Paso 2	0.039
Paso 3	0.025	Paso 6	0.023	Paso 3	0.036	Paso 6	0.023	Paso 4	0.049
Paso 4	0.010			Paso 4	0.043				
				Paso 8	0.061				

Imágenes topográficas (Anexo 1) que cubren una área de $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ y que muestran el estado de la superficie de los aceros laminados fueron también obtenidas con el fin de analizar el estado de la superficie debido al proceso y se presentan a la figura 5.7

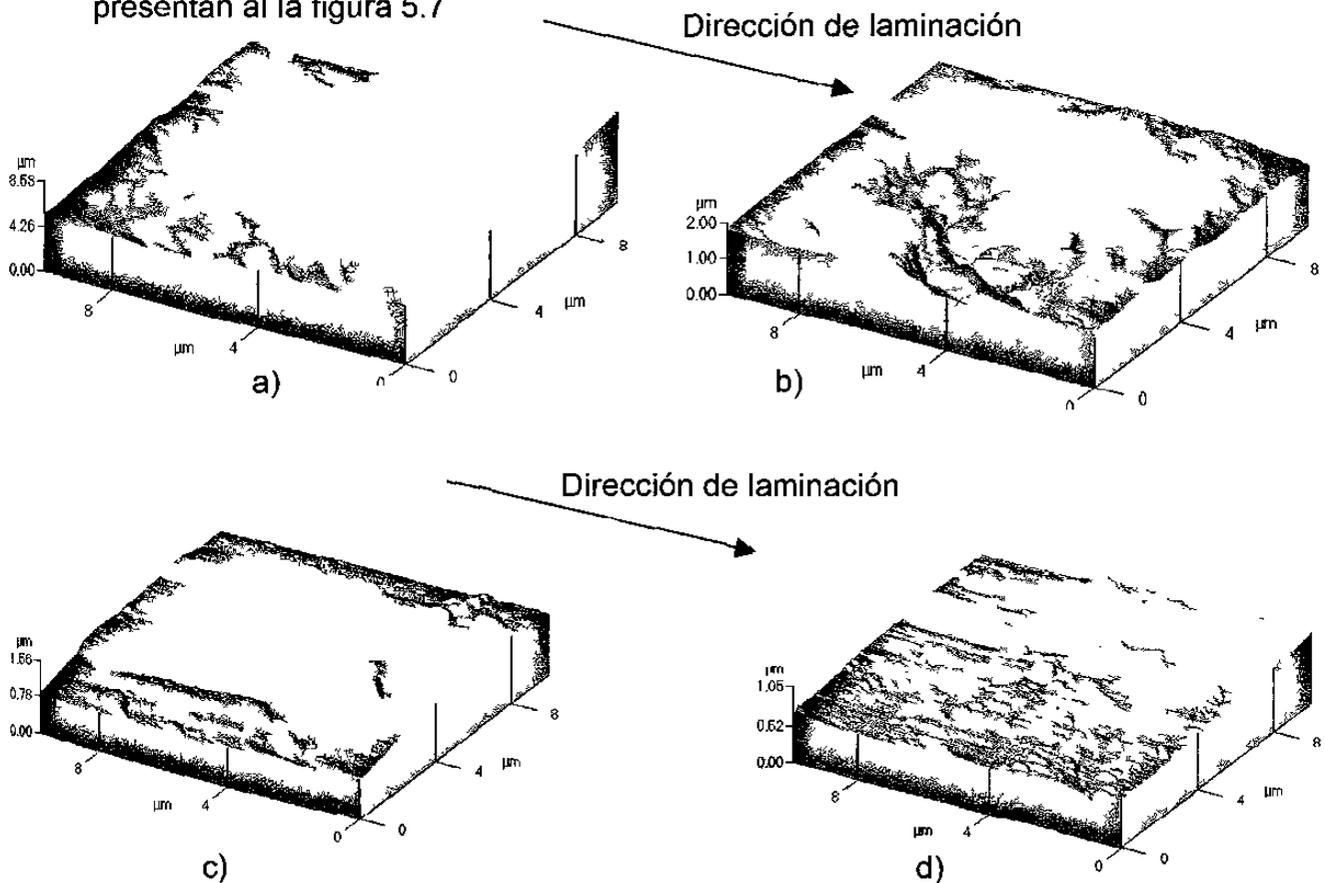


Fig.5.7. Evolución del estado superficial del acero 1008. a) Banda, b) Primer paso de laminación, 27.8 % de trabajo en frío, c) Cuarto paso de laminación 23.4% de trabajo en frío, Sexto paso de laminación, 22.3 % de trabajo en frío.

5.5.1 Evolución de la rugosidad superficial con respecto al tamaño de grano y a la reducción en espesor

Se graficó el valor de rugosidad R_a de la banda, con respecto al valor del tamaño de grano, para cada uno de los aceros, la gráfica que muestra estos comportamientos se presenta en la Fig. 5.8 y en donde se aprecia que no existe para estos aceros una relación entre el tamaño de grano promedio, por que para valores de rugosidad como $0.42 \mu\text{m}$ del acero 1110, el tamaño de grano es muy cercano al valor del acero 1008, el cual registra un valor de R_a de banda del $0.09 \mu\text{m}$.

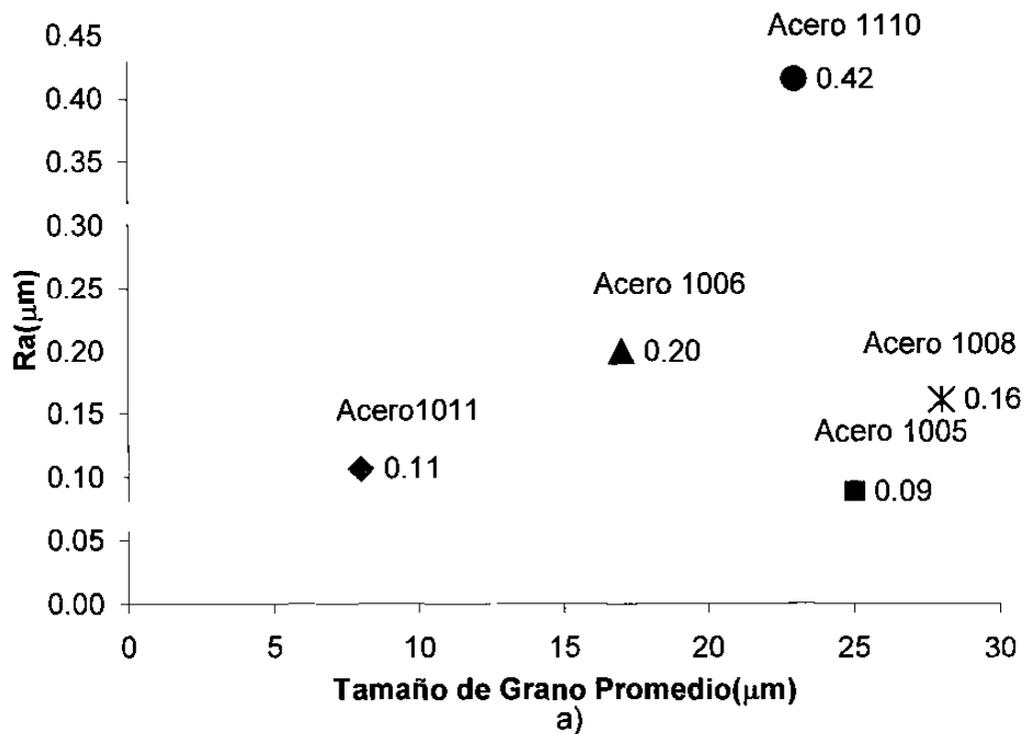


Fig.5.8 a) Rugosidad R_a de la banda con respecto al tamaño de grano.

Es posible además identificar una relación entre el contenido de silicio en los aceros y su rugosidad superficial obtenida mediante el MFA y que puede ser apreciado en la figura 5.8 b)

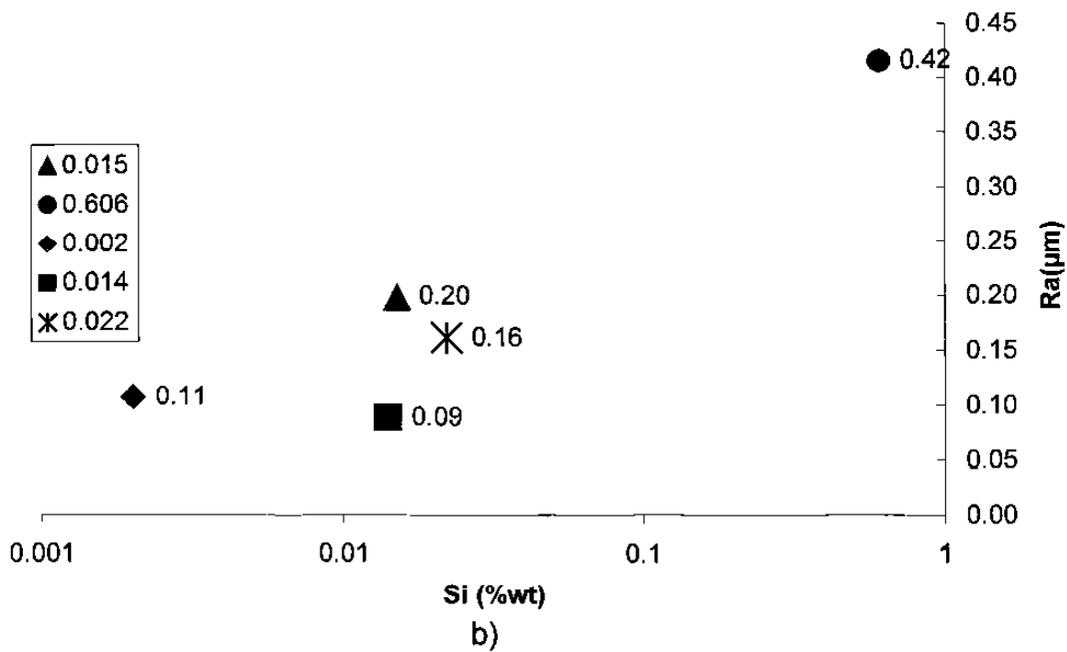


Fig.5.8 b) Rugosidad Ra de la banda con respecto al contenido de silicio

Además se graficó el valor Ra promedio por pase, con respecto al espesor del mismo, para cada uno de los aceros, la gráfica que muestra estos comportamientos se presenta en la figura 5.9

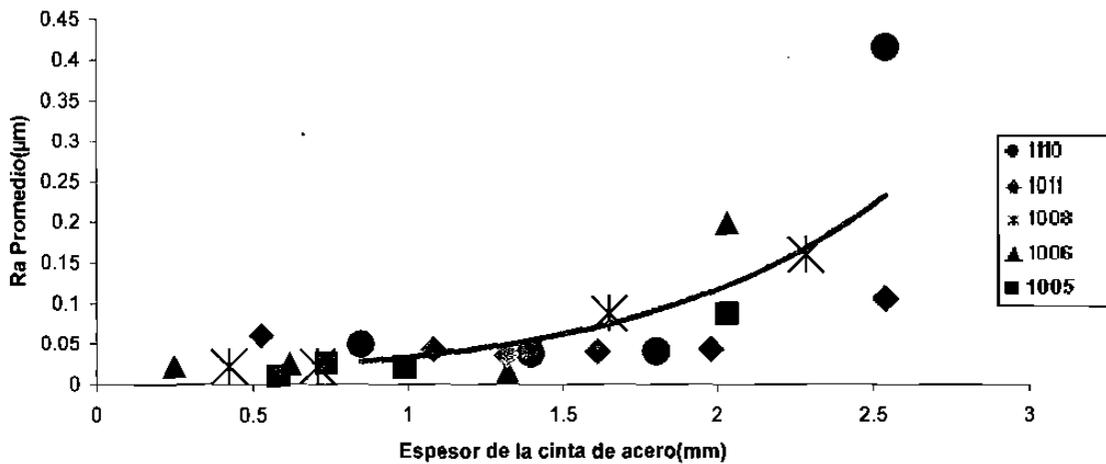


Fig.5.9 Evolución de la rugosidad con respecto a la disminución en espesor.

Para todos los aceros, es posible apreciar que existe una caída en el valor de la rugosidad del paso inicial, el cual no ha recibido trabajo mecánico, hacia el primer paso de la laminación que es donde ya se ha efectuado trabajo, se puede apreciar que los valores de rugosidad superficial tienden a ser constantes durante el desarrollo de la laminación.

5.5.2 Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerza de laminación

Debido a que la fuerza con la que se realizó el trabajo de laminación en frío de los aceros muestreados, resultó ser variable para cada paso de laminación y el intervalo de valores de rugosidad esta entre los 0.001 y 0.1 μm se presentan los datos de la evolución de la rugosidad con respecto a la fuerza de laminación en una gráfica de ordenada logarítmica y por separado para cada acero debido a la variación de las fuerzas antes mencionada (Figs. 5.10 a 5.12).

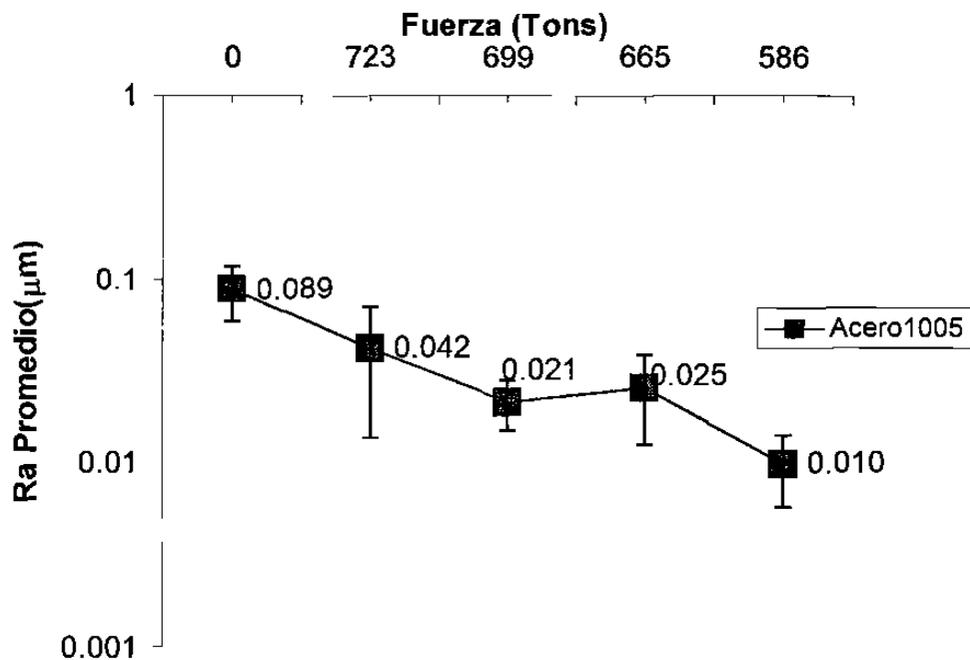


Fig.5.10. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1005.

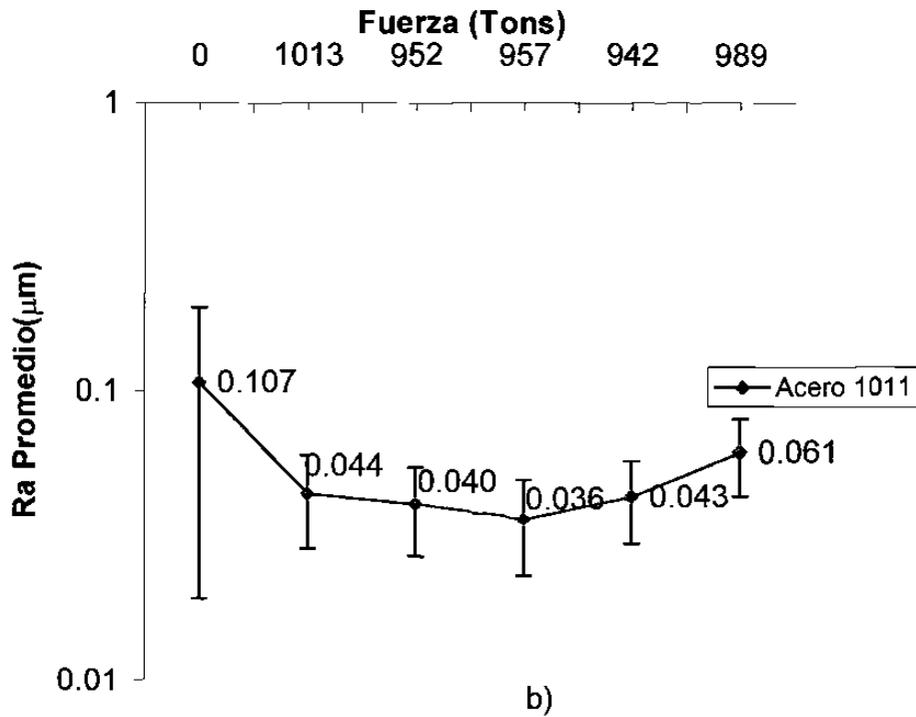
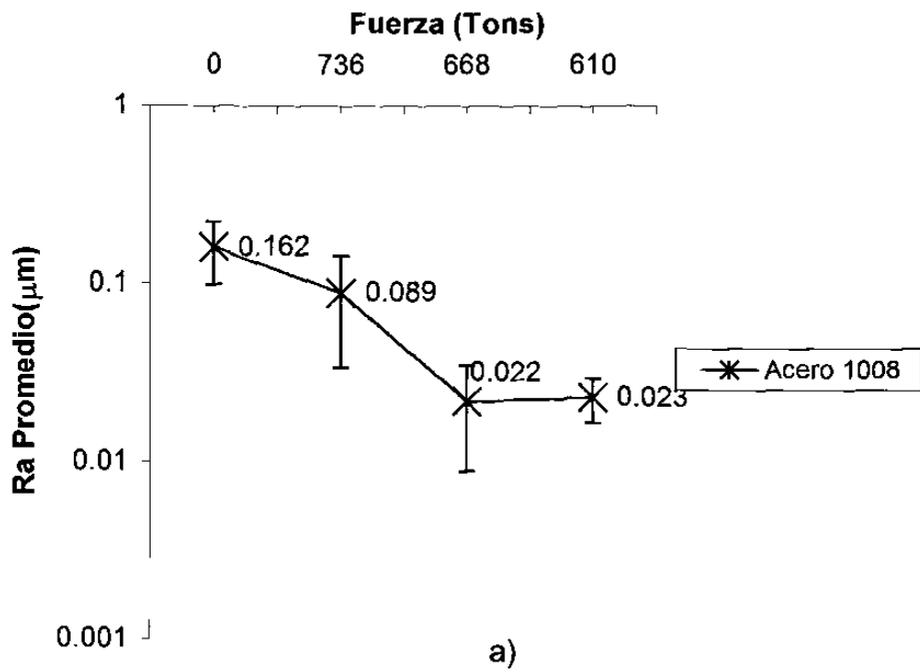


Fig.5.11. Evolución de la rugosidad con respecto a las fuerzas de laminación:
a) Acero 1008, b) Acero 1011.

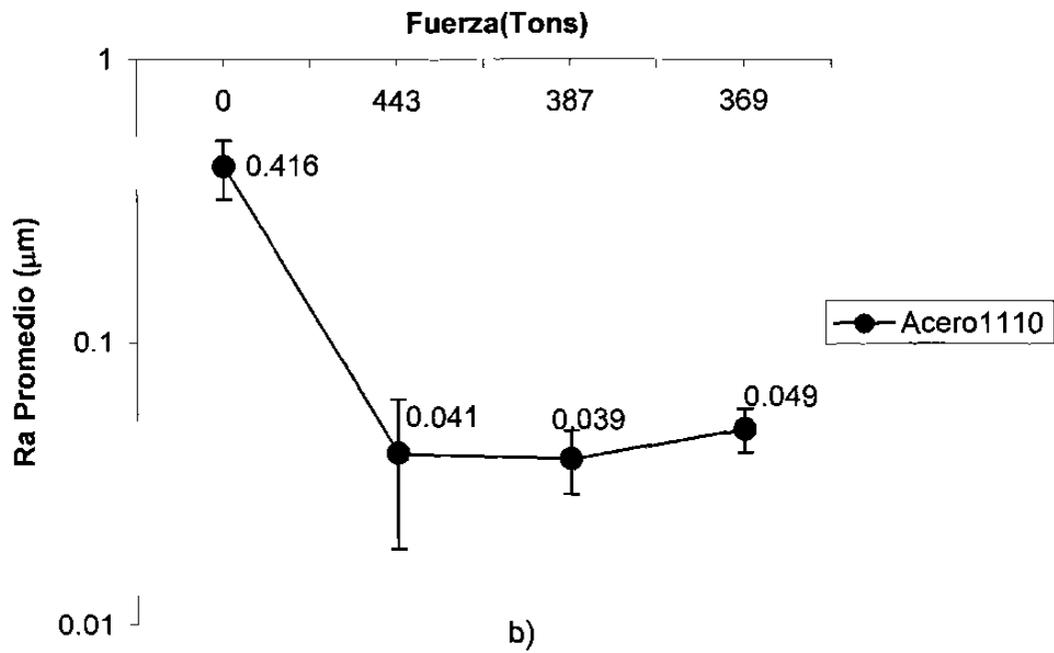
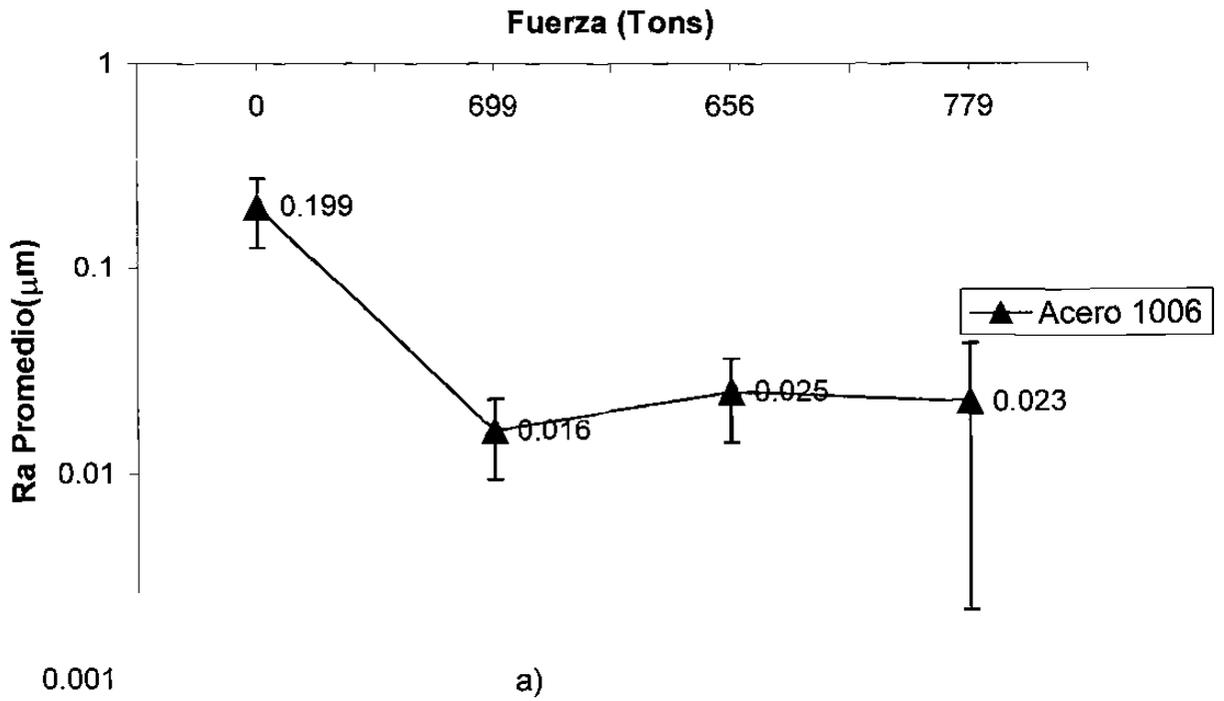


Fig.5.12. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerza de laminación. a)Acero 1006), b) Acero 1110.

Del conjunto de graficas presentadas con anterioridad se puede apreciar que prácticamente, independientemente de la fuerza aplicada, la rugosidad superficial tiende a permanecer estable para cada tipo de acero muestreado, es decir que la rugosidad superficial no se ve afectada por las variaciones en la fuerza de laminación a lo largo del proceso de laminación, aunque en algunos casos como en el acero 1011, el error en la banda se considera grande, este conservaría la misma tendencia.

5.5.3 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la velocidad de laminación

El efecto de la velocidad en m/min. sobre la rugosidad superficial se aprecia en la Fig 5.13.

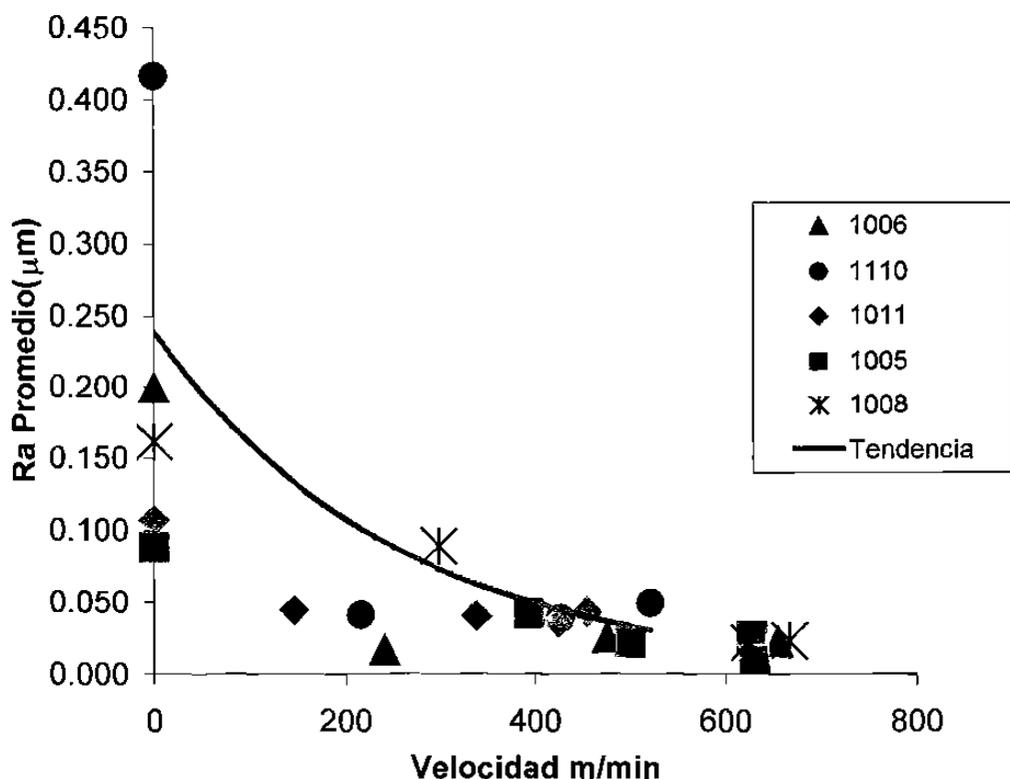


Fig.5.13 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la velocidad de laminación.

En este gráfico (Fig.5.13) se aprecia que el comportamiento que sigue la rugosidad de las superficies de los aceros laminados es el mismo comportamiento que se muestra con respecto al la reducción en espesor, que se presentó con anterioridad en la Fig. 5.9. A bajas velocidades de laminación se observa la caída de la rugosidad superficial de la cinta de acero, en este paso es de esperar que exista contacto metal-metal entre lámina y rodillos debido a que el fluido lubricante es posible que no adquiriera el espesor adecuado a consecuencia del poco movimiento relativo entre la cinta y el rodillo, lo cual se vería reflejado en un aumento en la rugosidad de la cinta de acero y que se esperaba sería transmitida por los rodillos, aún y cuando estos tengan una cantidad considerable de tiempo de operación, además se sabe que estos aceros fueron laminados a una velocidad intermedia, si estos datos son comparados con los datos obtenidos en los trabajos de Asuzhima y Sakai [3], se encontrará que la velocidad a las que ellos realizaron los experimentos son por mucho mayores, que las de este estudio, esto hace que las condiciones hidrodinámicas de lubricación no sean las adecuadas y el régimen de lubricación en el proceso sea diferente trayendo como consecuencia incrementos en los valores R_a superficiales. La evolución del espesor de la capa de lubricante que se calculó por medio de la ecuación 3.7.1.1 propuesta por Azushima [2] y la cual se presenta en el Capítulo 3, se analiza en la gráfica de la Fig. 5.14, en la cual se aprecia que conforme se efectúa trabajo para reducir el espesor de la cinta de acero, la superficie de la cinta favorece el crecimiento de dicha capa y ésta se mantiene constante a lo largo de todo el proceso de laminado, la rugosidad superficial de los rodillos de trabajo se presenta en la Tabla 5.6, además del números de rollos laminados antes del que se utilizó para la obtención de muestras. En la Fig. 5.15 puede apreciarse que la conforme se llevan a acabo los pasos de laminación, debido a la disminución en el valor R_a de la superficie de la cinta de acero, el espesor de la capa de lubricante, se reduce pudiendo afectar el acabado de la superficie si existieran contactos metal-metal.

Tabla 5.6. Análisis de superficie de los rodillos

Acero	Numero de rollos laminados antes del actual	Ra rodillos(μm)
1006	4	1.55
1110	3	1.35
1011	9	1.51
1005	14	1.63
1008	15	1.64

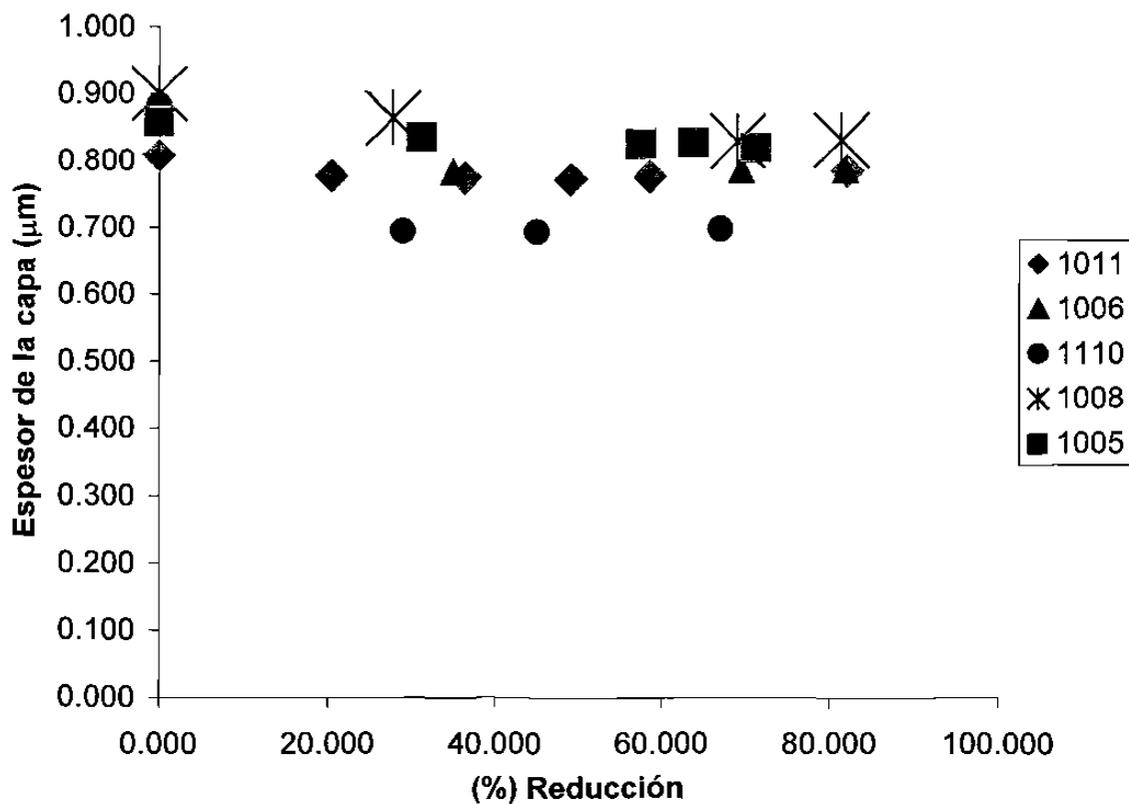


Fig.5.14 Comportamiento de la capa de lubricante con respecto al % de reducción de los aceros muestreados.

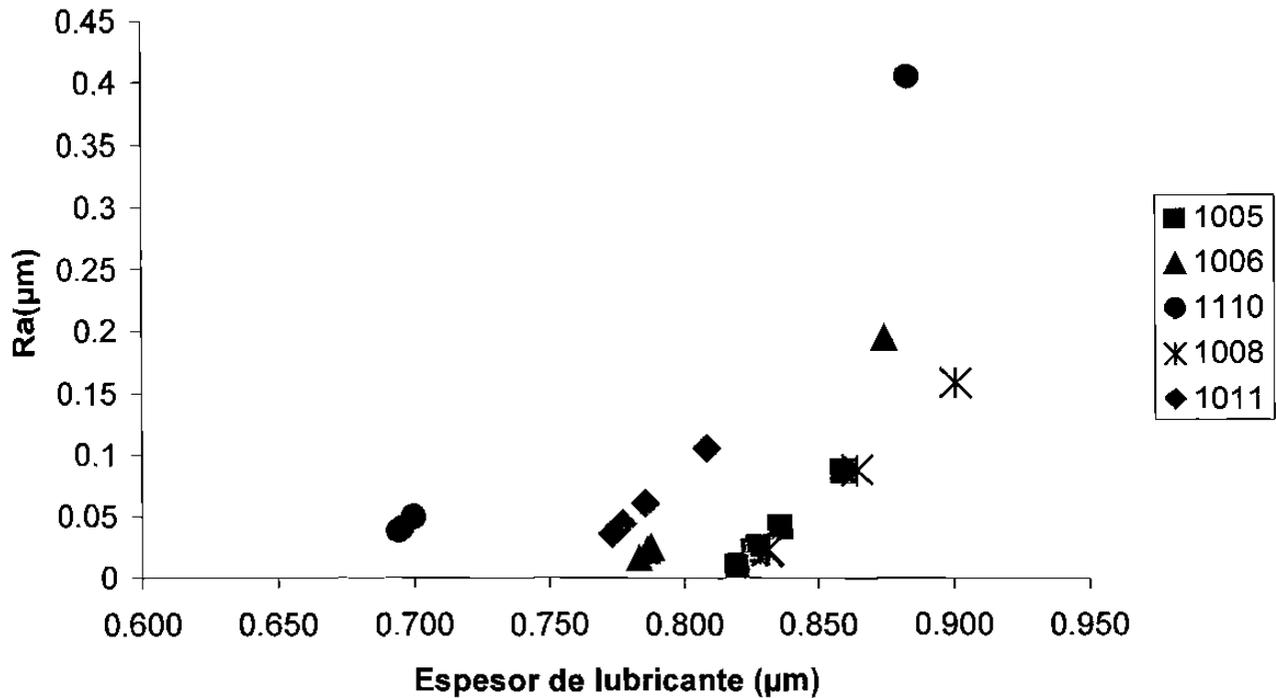


Fig.5.15. Comportamiento de la rugosidad de la superficie en función de la capa de lubricante formada durante el proceso de laminación.

Haciendo uso de todas las graficas presentadas en este Capítulo, es posible decir que la rugosidad superficial no se ve afectada por las reducciones en espesor, las fuerzas de laminación, ni las velocidades, es decir, que mientras las condiciones hidrodinámicas desarrolladas durante el proceso de laminación se mantengan, la rugosidad superficial siempre presentará el mismo comportamiento de mantenerse constante a partir del primer paso de laminación, puede ser posible que al momento de que entra el material como se recibe del proceso de decapado y con combinaciones de velocidades de laminación bajas (menos de 100 m/min.), no se tenga un correcto atrapado mecánico del lubricante y por lo tanto se tengan contactos metal-metal. Esto no fue apreciado en este estudio. Así mismo la diferencia entre los valores de fuerzas para cada paso de laminación no es muy grande, lo que favorece también que la evolución de la rugosidad superficial de la cinta de acero durante el proceso de laminación, se mantenga constante.

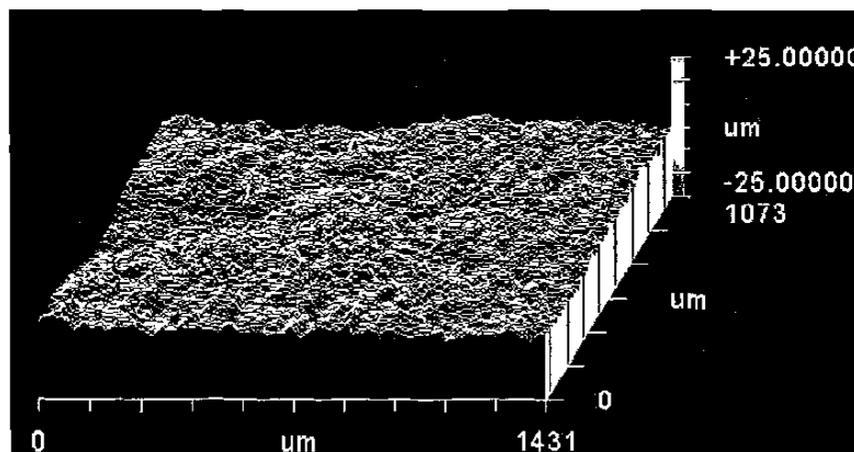
5.6 Resultados obtenidos de las relaciones entre los parámetros de rugosidad obtenidos por Perfilometría Óptica con respecto a algunas variables del proceso

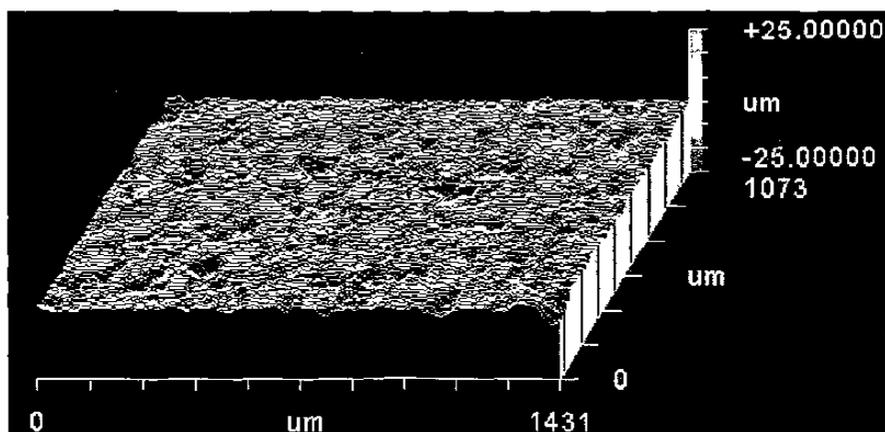
Al igual que para el caso de microscopía de fuerza atómica, el valor de rugosidad Ra que se obtuvo de cada paso de laminación se utilizó para relacionarlo con las variables del proceso de laminación, la colección de datos se presenta en la Tabla 5.7.

Tabla.5.7 Valores Ra promedio obtenidos mediante Perfilometría Óptica .

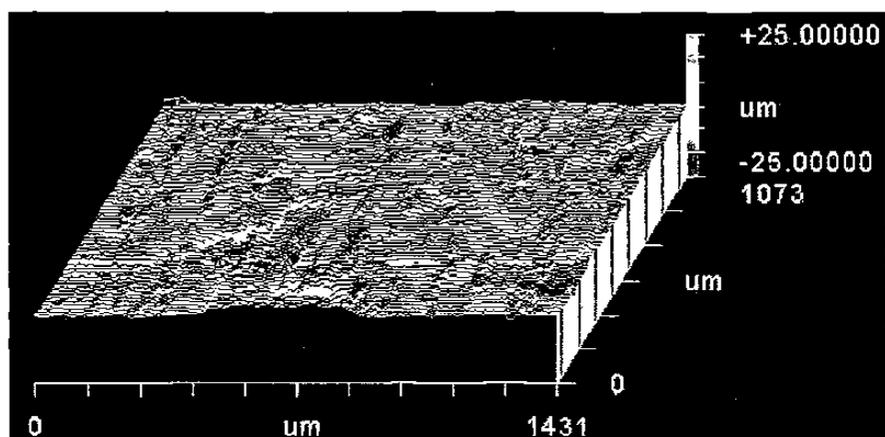
Acero 1005	Ra (μm)	Acero 1008	Ra (μm)	Acero 1011	Ra (μm)	Acero 1006	Ra (μm)	Acero 1110	Ra (μm)
Banda	2.31	Banda	1.92	Banda	2.15	Banda	2.62	Banda	2.39
Paso 1	0.91	Paso 1	0.62	Paso 1	0.64	Paso 1	0.87	Paso 1	1.68
Paso 2	0.60	Paso 4	0.71	Paso 2	0.59	Paso 3	1.14	Paso 2	1.31
Paso 3	0.73	Paso 6	0.49	Paso 3	0.61	Paso 6	0.72	Paso 4	1.07
Paso 4	0.81			Paso 4	0.63				
				Paso 8	0.64				

Las imágenes topográficas en un área de barrido de muestras del acero 1008 se presentan en la figura 5.16, en las que se aprecia la evolución de la superficie a lo largo del proceso de laminación. Las imágenes de los pasos analizados se muestran en el Anexo 3.

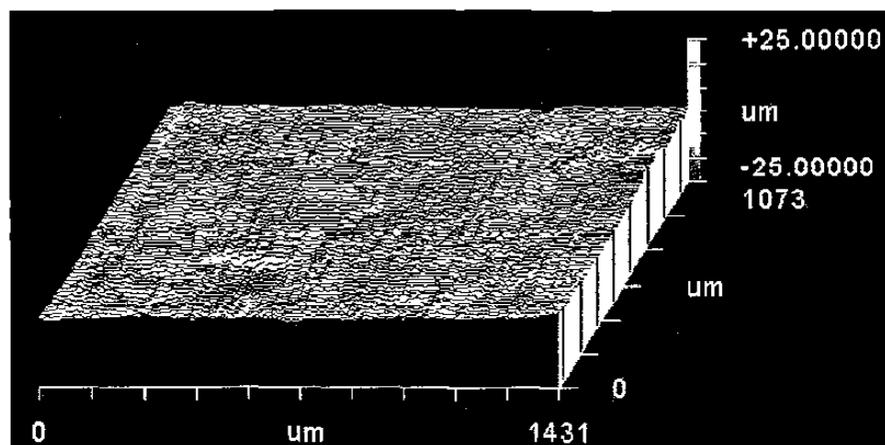




b)



c)



d)

Fig.5.16 Evolución del estado superficial del acero 1008. a) Banda, b) Primer paso de laminación, 27.8 % de trabajo en frío. c) Cuarto paso de laminación, 23.4 % de trabajo en frío. d) Sexto paso de laminación 22.3 % de trabajo en frío.

5.6.1 Evolución de la rugosidad superficial con respecto al tamaño de grano y a la reducción en espesor

La grafica de la figura 5.17 muestra la variación del valor Ra inicial de la muestra con respecto al tamaño de grano promedio.

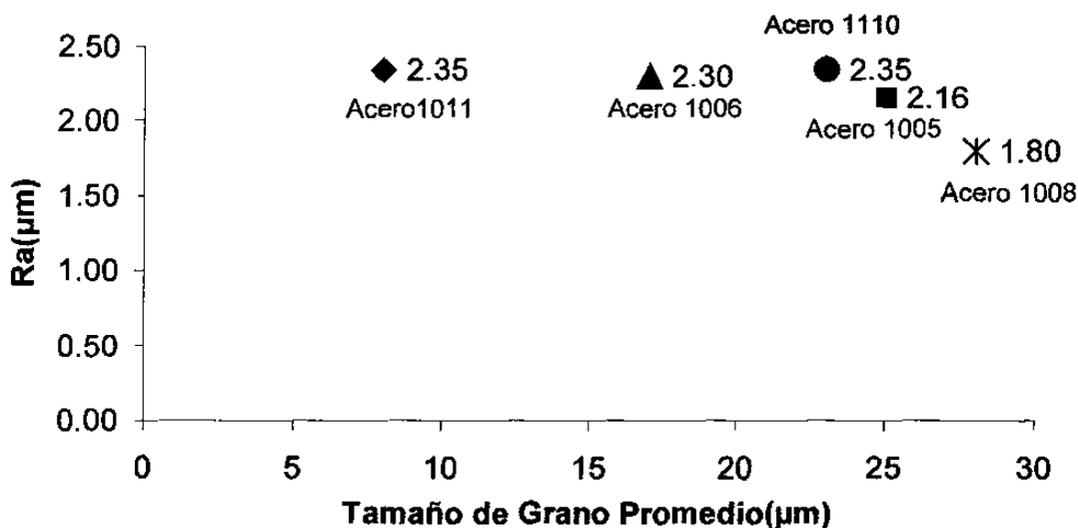


Fig.5.17 Rugosidad Ra de la banda con respecto al tamaño de grano.

Al igual que en el gráfico de la Fig.5.8 a), en este gráfico no es posible apreciar alguna relación entre el tamaño de grano y el valor Ra de rugosidad inicial de la cinta de acero (Banda).

No fue posible encontrar alguna tendencia en el gráfico de la figura 5.18 entre el valor Ra inicial y el contenido de Si de los aceros, a diferencia de la tendencia observada en el gráfico de la Fig.5.8 b) en donde se aprecia que existe un relación entre los valores de rugosidad obtenidos por MFA y el contenido de Silicio.

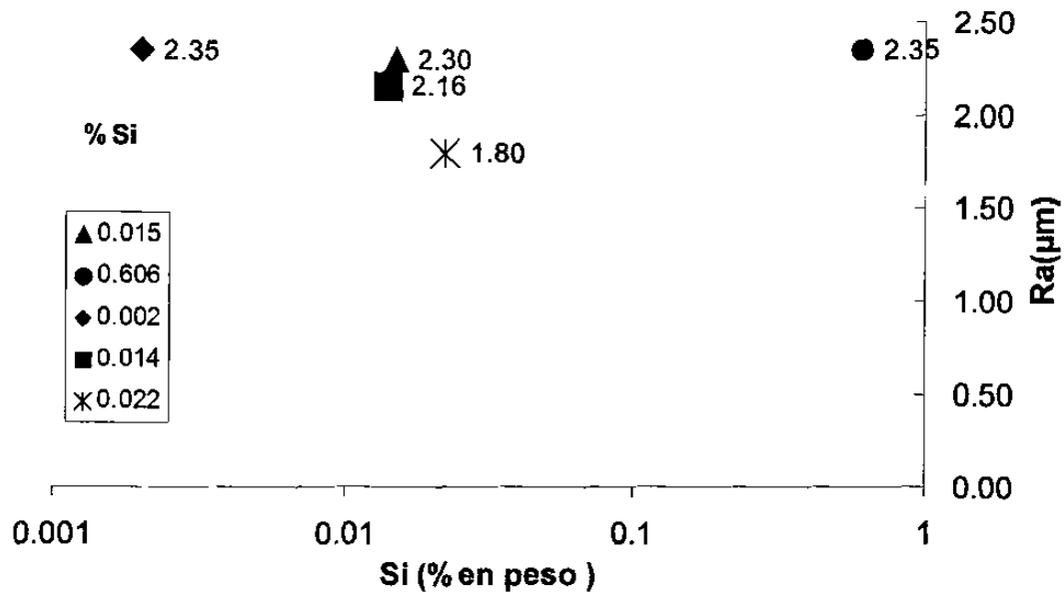


Fig.5.18 Rugosidad Ra de la banda con respecto al contenido de Silicio.

La evolución de la rugosidad superficial de la cinta de acero, conforme el espesor es reducido, se presenta en el gráfico de la Fig.5.19. Igual que en el caso de los datos obtenidos por MFA, es posible apreciar, una caída desde el paso de entrada a la laminación, hacia el primer paso y a partir de ahí, se tiene la tendencia de la rugosidad de la superficie de la cinta de acero a mantenerse constante. Sólo en el caso del acero 1110, es posible apreciar que se tiene una tendencia de disminución del valor Ra promedio, conforme el material es reducido en espesor.

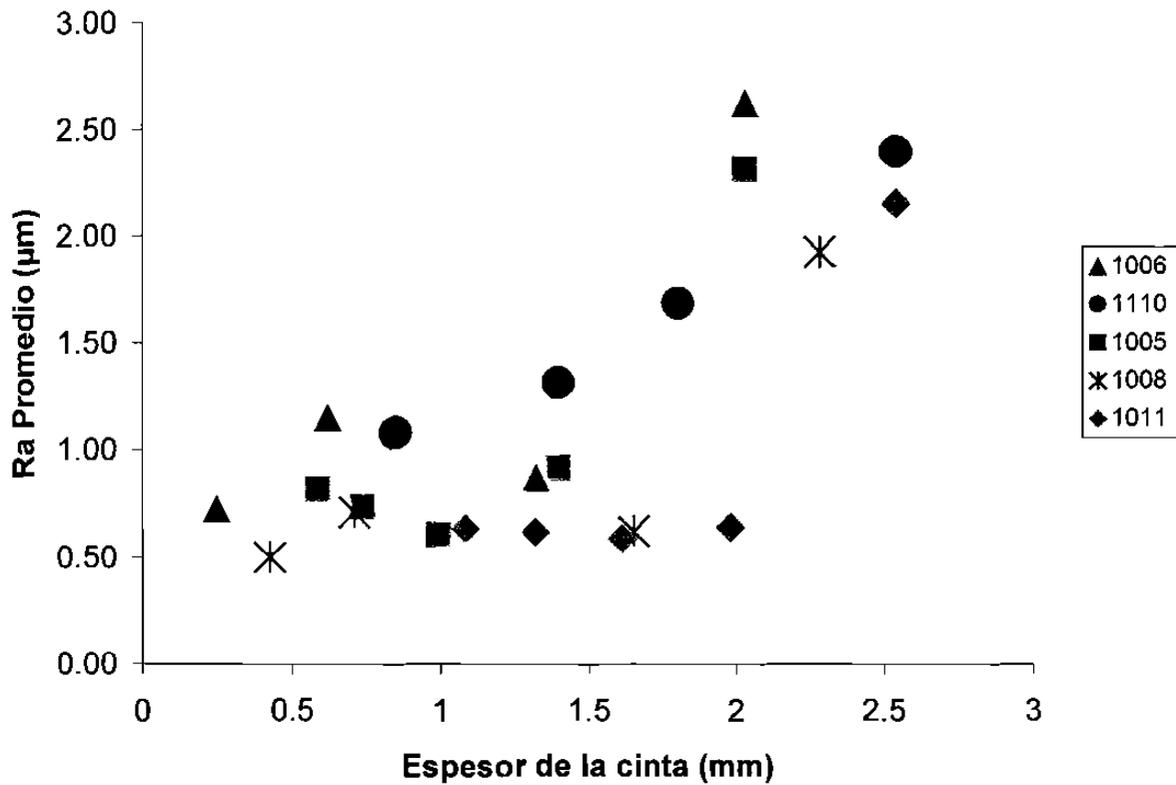


Fig.5.19 Evolución de la rugosidad con respecto a la disminución en espesor.

5.6.2 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la fuerza de laminación.

A continuación se presentan las graficas de ordenada logarítmica de los valores de rugosidad obtenidos por perfilometría óptica, con respecto a las fuerzas de laminación empleadas durante el proceso.

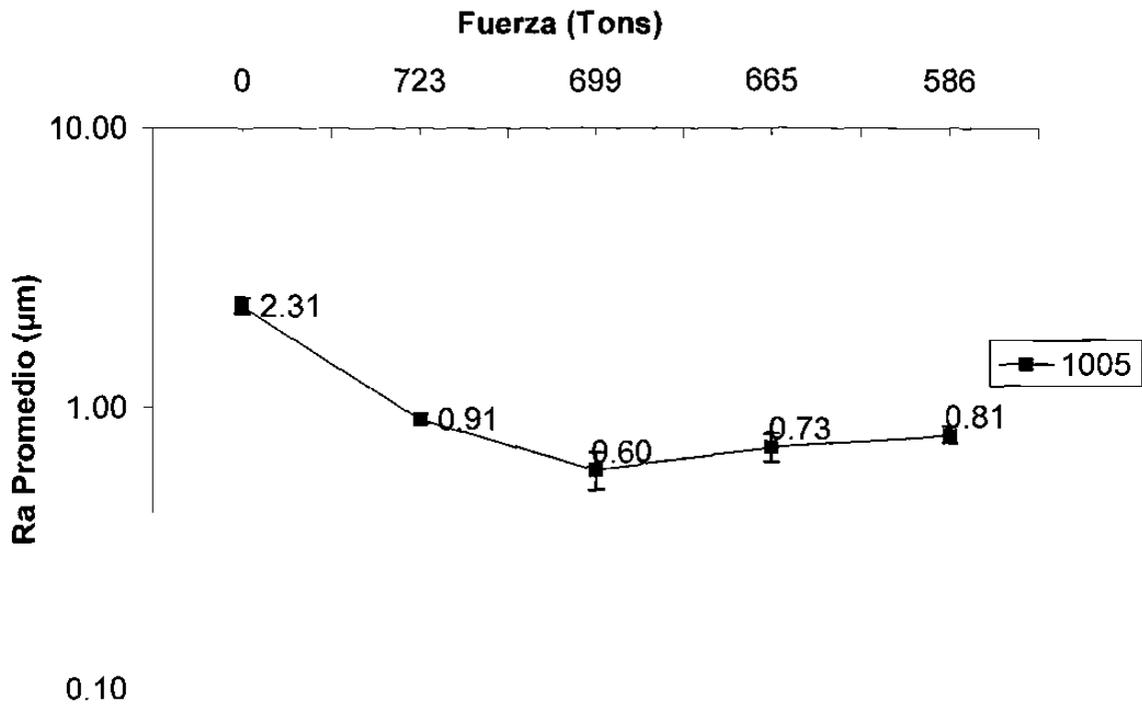


Fig.5.20. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1005.

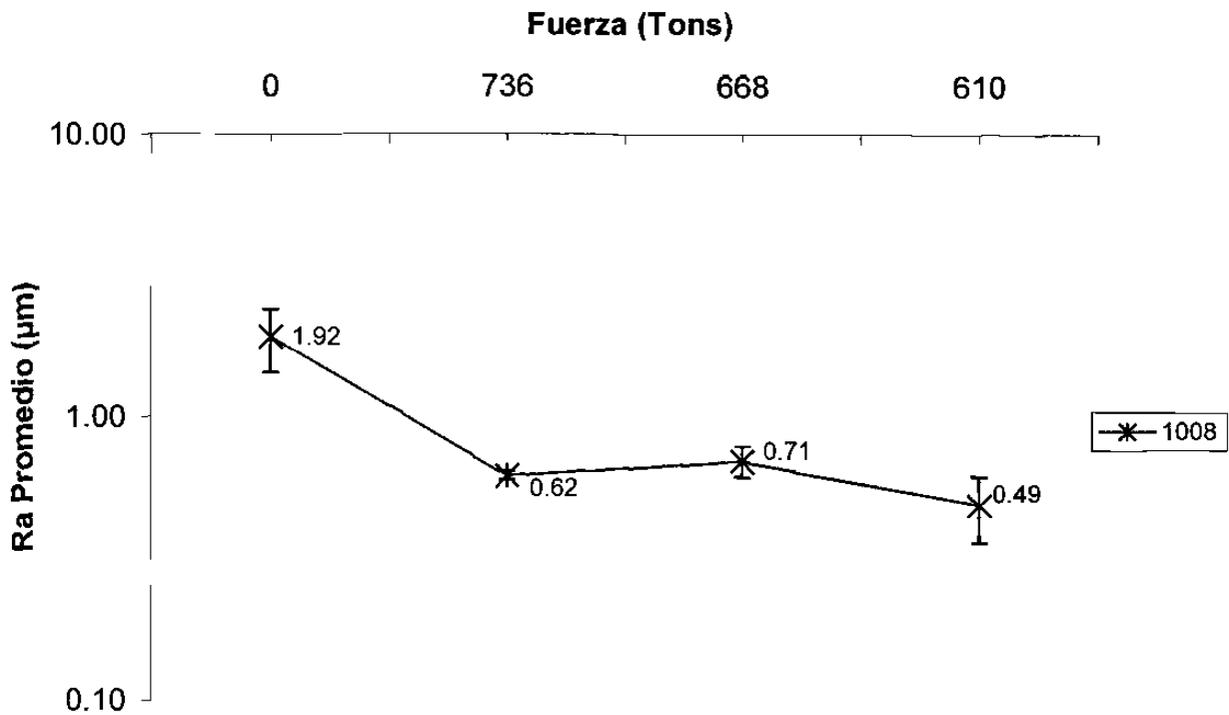


Fig.5.21. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1008.

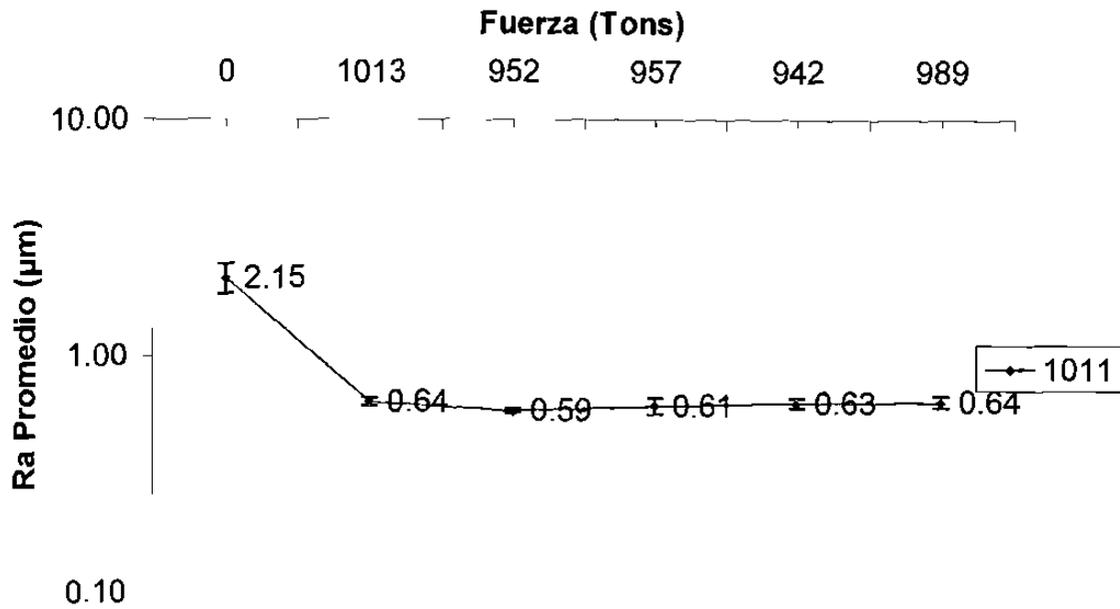


Fig.5.22. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1011.

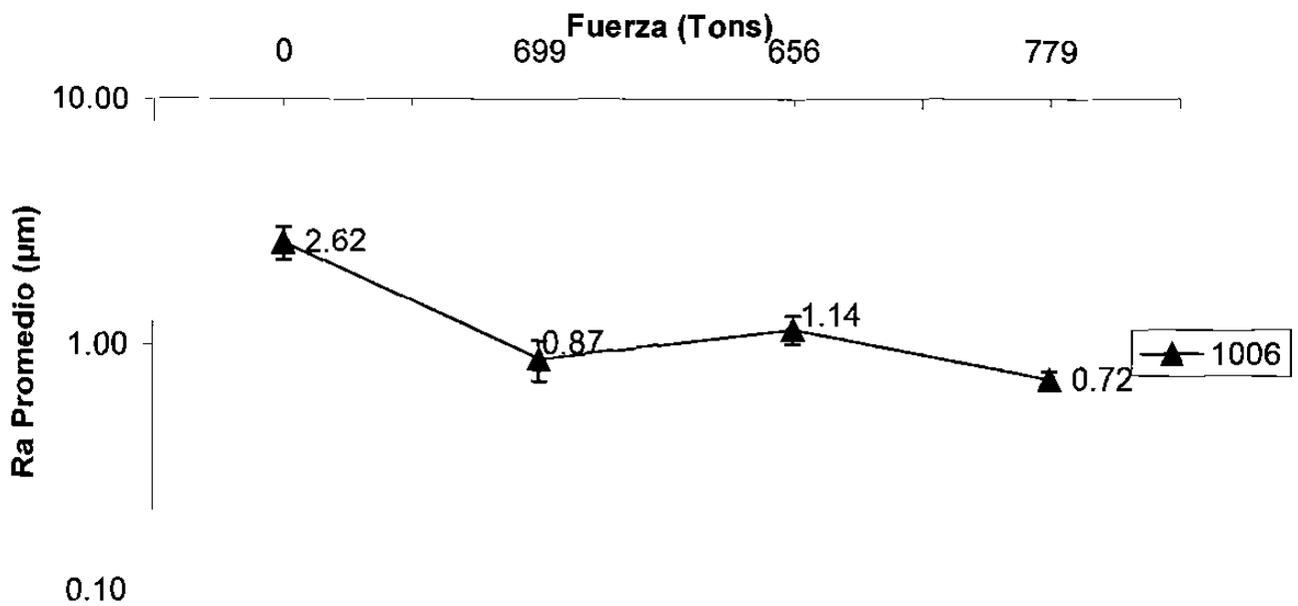


Fig.5.23. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1006.

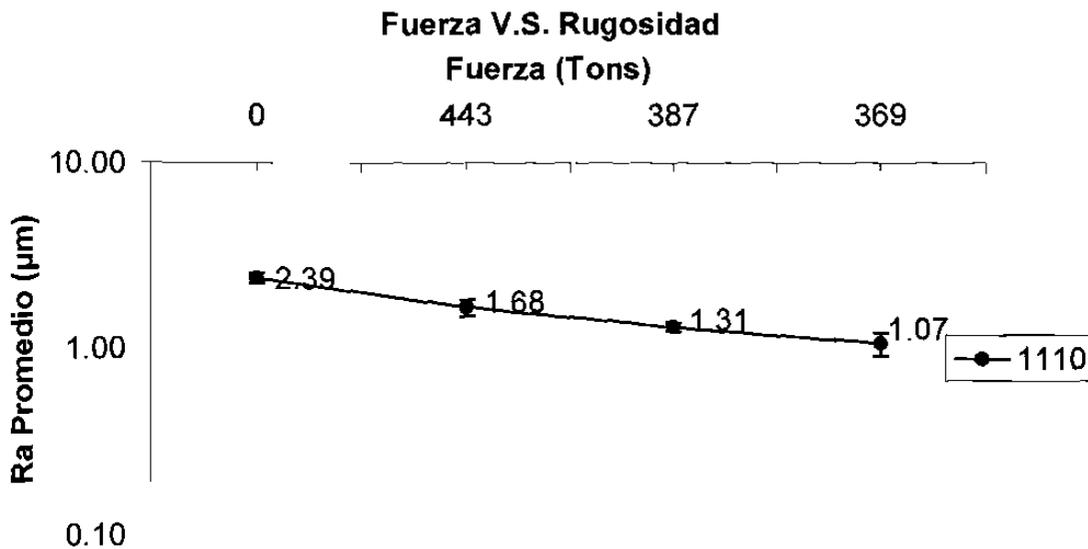


Fig.5.24. Evolución de la rugosidad con respecto a la fuerzas de laminación en el acero 1110.

Como puede apreciarse en estas gráficas, la rugosidad superficial de la cinta de acero prácticamente presenta el mismo comportamiento que se muestra en las graficas elaborados con los valores obtenidos por medio de microscopía de fuerza atómica, en las que, la rugosidad superficial, permanece estable después del primer paso de laminación.

5.6.3 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la velocidad de laminación

En la grafica que se presenta a continuación se observa el comportamiento de la rugosidad superficial de la cinta de acero conforme se aumenta la velocidad de laminación en m/min

Variación del Ra con respecto a la Velocidad de Laminación

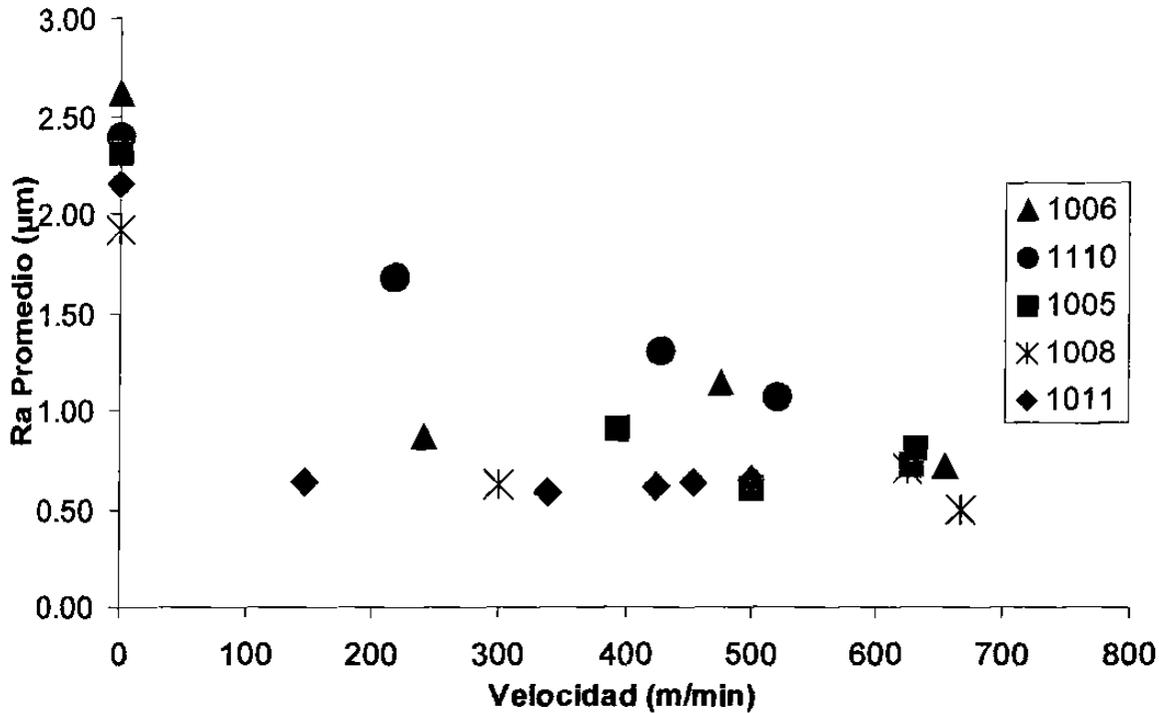


Fig.5.25.Variación del Ra en función de la velocidad de laminación.

Como se había apreciado para el caso de las mediciones realizadas por MFA, la rugosidad de la cinta de acero, permanece constante conforme se incrementa la velocidad.

El efecto de la capa de lubricante formada entre los rodillos de trabajo y la cinta de acero fue también analizado, utilizando los valores de rugosidad obtenidos por perfilometría óptica, la grafica de la Fig. 5.26 muestra que para todos los aceros, la capa de lubricante formada a lo largo de las reducciones, se mantiene.

Evolución del espesor de la capa de lubricante con respecto al % de reducción

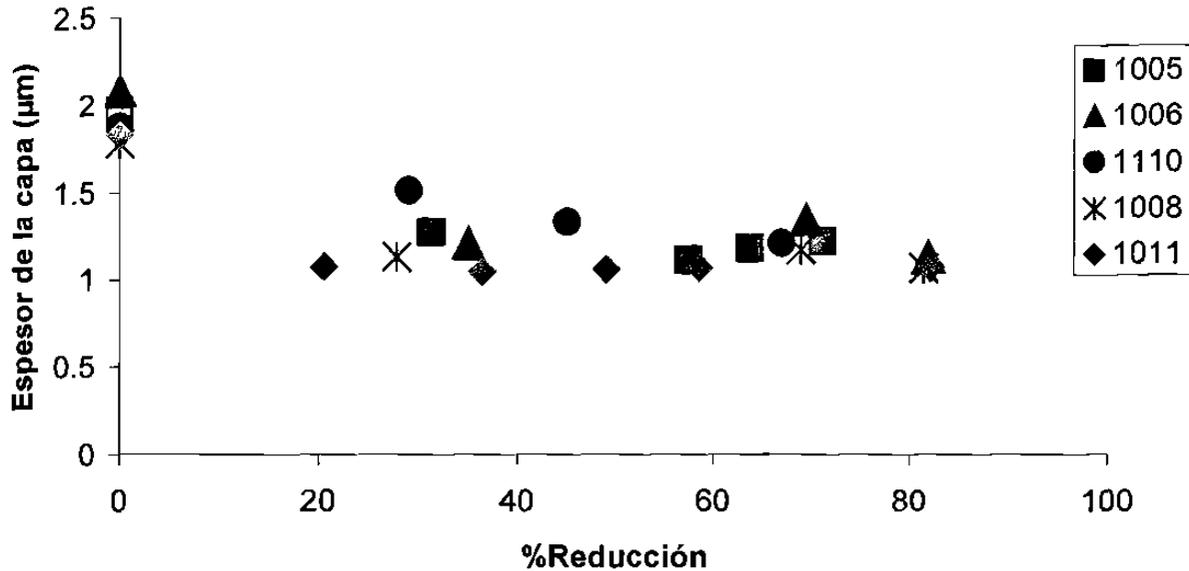


Fig.5.26.Evolución de la capa de lubricante en función del % de reducción.

5.7 Efecto del decapado de acero laminado en caliente, sobre la rugosidad superficial de la cinta de acero

Las imágenes obtenidas por MFA, de las superficies del acero 1006 de experimentos realizados y que se comentaron en la última sección del Capítulo cuatro, se muestran en la Fig. 5.27 en la cual se puede apreciar la evolución de la rugosidad de la superficie con respecto al tiempo de exposición en la solución de HCl y a una temperatura de 85 °C. En la Tabla 5.8.

Tabla.5.8 Resultados de las variables controladas en el experimento.

Tiempo (seg.)	$\Delta\phi$ (mg)	Ra Promedio(μm)	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
0	0	0.013	85
60	0.8	0.075	85
120	1.7	0.105	85
180	5.7	0.222	85

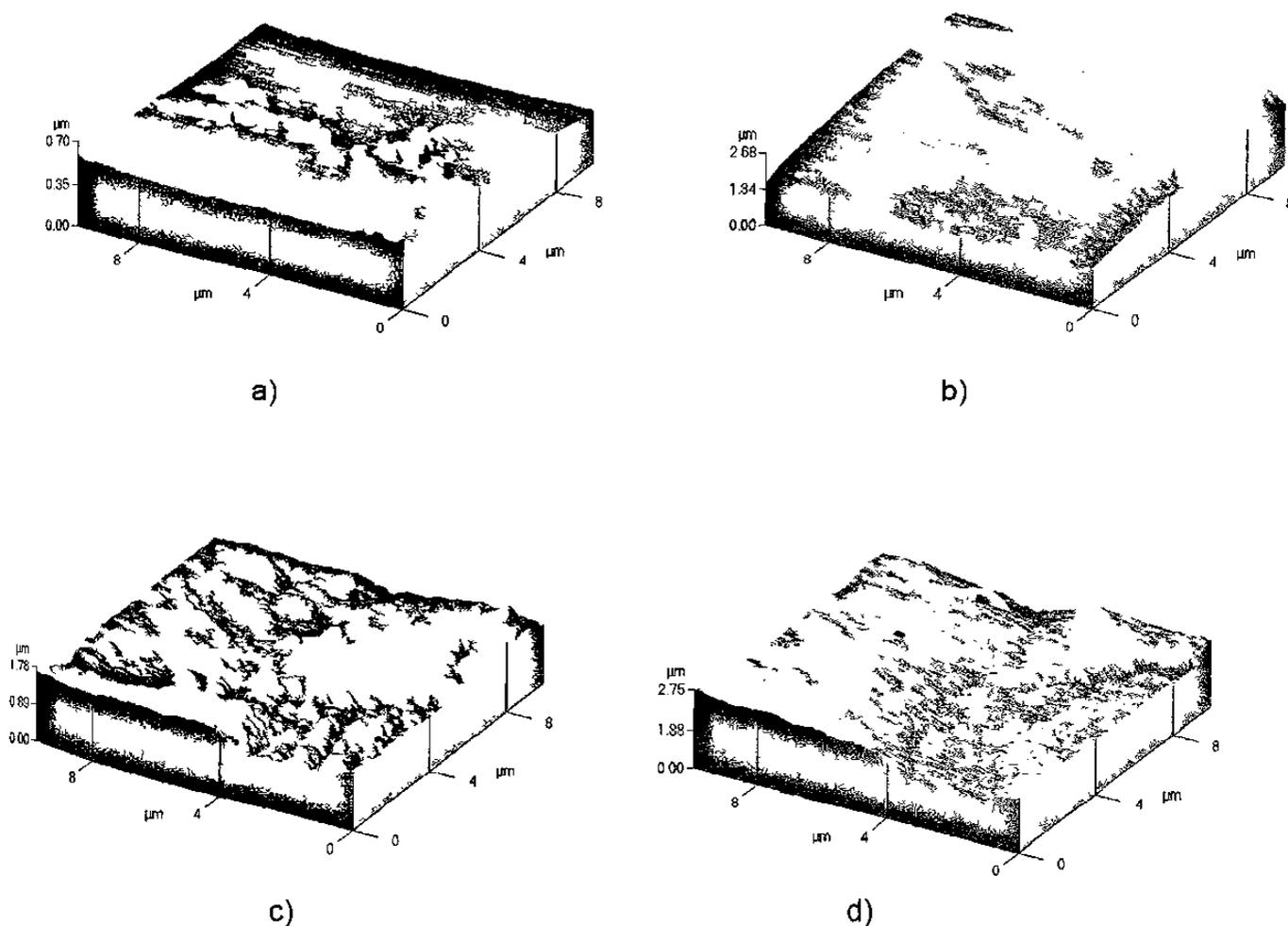
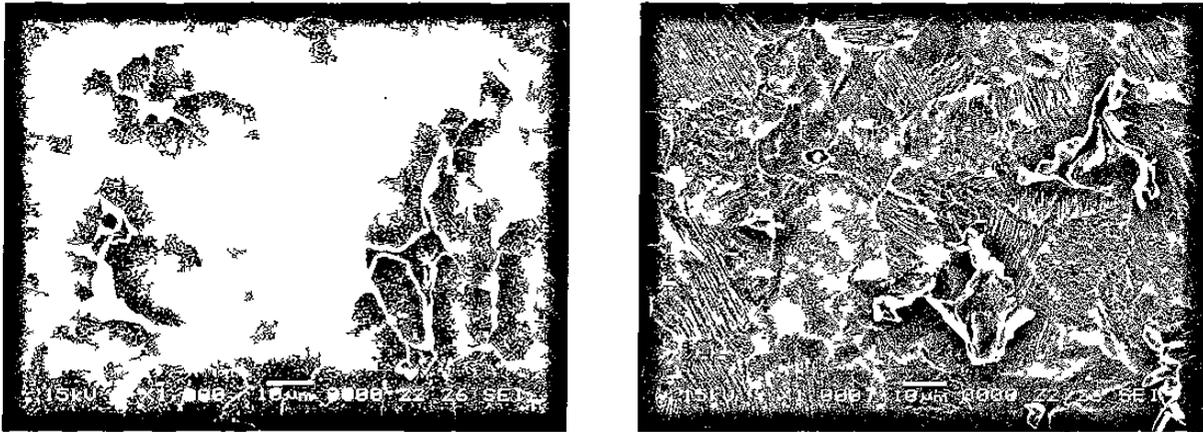


Fig.5.27 Imágenes de MFA mostrando la superficie de las muestras expuestas al medio de ácido clorhídrico a 85 °C, a) 0 segundos, b) 60 segundos, c)120 segundos d) 180 segundos.

Imágenes de microscopía electrónica de barrido (Fig. 5.28), se muestran sólo con el fin de analizar el estado de la muestra y su microestructura y donde se puede apreciar el grado de deterioro en la muestra expuesta durante 180 segundos en la cual aparece una picadura (Fig.5.28 b) en el material en los límites de grano que las cuales pudieran existir como producto de un proceso de decapado severo. Sorprendentemente esta muestra cuenta con una valor de rugosidad Ra promedio de $0.222\ \mu\text{m}$ que es muy cercano al valor que se registró para cuando se realizó la medición inicial del material que provenía del proceso real de decapado, pero que según datos operacionales, sólo estuvo expuesto un tiempo de 18 segundos, además de estar sujeta al proceso de laminación en caliente donde existieron óxidos como resultado del mismo proceso y que fueron removidos mediante el decapado, donde las condiciones de operación son más adecuadas para la remoción de estos óxidos.



a)

b)

Fig.5.28 Imágenes de MEB de electrones secundarios en donde se puede apreciar la microestructura del material (granos ferríticos) y hojuelas de óxido a) 60 segundos de exposición al medio corrosivo, b) 180 segundos de exposición al medio corrosivo, en esta imagen es posible apreciar una picadura en los límites de grano.

La gráfica de la evolución de la rugosidad superficial conforme el material se desprende se muestra en la figura 5.29.

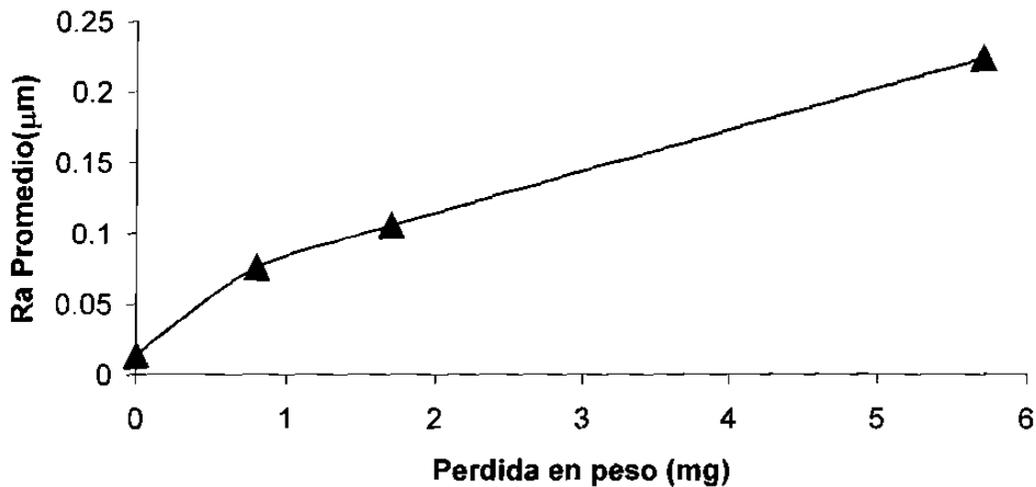


Fig.5.29 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la pérdida en peso.

Conforme el material se va desprendiendo, la superficie tiende a tener una mayor rugosidad, el último valor de rugosidad presentado en la Fig.5.29, como se había mencionado con anterioridad, es muy cercano al valor de la rugosidad inicial del acero 1006 antes de entrar al primer paso de laminación. Si el material no se encuentra protegido por los óxidos superficiales formados debido al proceso de laminación en caliente al momento de ser decapado, el incremento en la rugosidad superficial pudiera afectar el coeficiente de fricción en el intervalo banda-primer paso de laminación, siendo esto reflejado en una calidad deficiente de los productos laminados.

Referencias Bibliográficas

[1] Vander Voort, George.F., "Grain size measurement" Practical applications of quantitative metallography. Mc Call Steele editors. EUA 1982.

[2] Sakai, T., Saito, Y., Kato, K., "Estimation of Lubrication State by Observation of Rolled Strip Surface in High Speed Cold Rolling Of Mild Steel", International Conference on Steel Rolling, The Iron and Steel Institute of Japan, September 1980, Tokio Japón.

[3] Azushima, A., Kihara, J., Miyagawa, M., "Determination of Lubrication Mechanism by means of Surface Qualification of Cold Rolled Steel", International Conference on Steel Rolling, The Iron and Steel Institute of Japan, September 1980, Tokio Japón.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones

- Los métodos empleados para la caracterización metalográfica de los cinco tipos de aceros analizados, en particular los empleados para determinar el tamaño de grano, arrojan resultados muy similares. El método que emplea el análisis computacional de imágenes determina con mayor exactitud y rapidez el tamaño de grano de las muestras, pero para referencias rápidas cuando no se cuente con equipo de análisis de imágenes, el método Heyn es muy útil y confiable siempre y cuando el material no haya recibido trabajo mecánico.
- El valor de resistencia a la tensión obtenido a través de las pruebas de microdureza Vickers realizadas a los pasos de laminación seleccionados, muestra concordancia con los ensayos de tensión realizados para determinar las propiedades mecánicas para el desarrollo del modelo numérico de laminación en frío, del cual este trabajo es parte, estos son confiables y se obtienen con relativa facilidad por lo tanto pueden ser una opción más para el aporte de datos con fines de modelación numérica.
- La relación entre el tamaño de grano y la rugosidad superficial en el material proveniente del proceso de decapado no parece tener una relación directa, pero tiene la tendencia a corresponder con estudios previos realizados en donde se menciona que en aceros de tamaño de grano grueso se tiende a incrementar la rugosidad superficial y aceros de tamaños de grano fino favorecen superficies no tan rugosas, lo que pudiera estar más relacionado con las condiciones de laminación en caliente.
- Se observó que el comportamiento que sigue la rugosidad superficial de los aceros durante el proceso de laminación en frío es prácticamente el

mismo cuando este valor se relaciona con respecto a las variables de operación del proceso tales como disminución en espesor, fuerza, velocidad, etc. Es decir la tendencia es de bajar en el intervalo de banda a primer paso de laminación y en las etapas siguientes del proceso el valor de rugosidad superficial se mantiene prácticamente constante, esto indica que no existe contacto metal-metal entre los rodillos de laminación y cinta de acero durante el proceso y que las condiciones de lubricación durante todas las etapas del mismo se cumplieron satisfactoriamente. Esto marca la pauta para considerar que con respecto a los aspectos superficiales de la cinta de acero, el coeficiente de fricción para fines de modelación matemática y numérica puede considerarse constante y que las variaciones en el valor del mismo sólo se deberán a las propiedades de los lubricantes empleados. Así mismo, el desarrollo de modelos de laminación considerando a los rodillos como sólidos rígidos y a la cinta de acero como sólido deformable es favorable debido a que no existe contacto entre ellos debido a las condiciones de lubricación satisfactorias.

- El contenido de silicio en los aceros de muestra no parece tener un efecto en la rugosidad superficial de la lámina de acero al ser procesada, esto es cuando las mediciones son realizadas por medio de perfilometría óptica, en cambio, cuando las muestras son analizadas por medio de microscopía de fuerza atómica, se tiene una tendencia, en la que se observó que el contenido de silicio tiene relación con la rugosidad de la superficie.
- Se observó que existe una relación entre la pérdida en peso de la cinta de acero y a la rugosidad superficial, pero este efecto fue estudiado para condiciones de tiempo de exposición al medio corrosivo mayores que las del proceso real, con estas pruebas puede ser posible predecir el valor de la rugosidad de la lámina al término del proceso de decapado.
- En este estudio se utilizaron dos técnicas para caracterizar la evolución de la rugosidad de aceros laminados en frío. La técnica de MFA se concluye que no puede ser utilizada para determinar un valor preciso de

rugosidad, debido a que la escala de análisis, es muy pequeña, sin embargo, puede ser de mucha ayuda para relacionar aspectos superficiales en escala micrométrica tales como tamaño de grano, relación de rugosidad con elementos de aleación. Con la técnica de perfilometría óptica, se tiene una resolución en escala milimétrica, en la cual es posible relacionar la rugosidad de la superficie con los parámetros de rugosidad de rodillos, lubricantes, etc. Es decir la técnica de perfilometría óptica, es la más adecuada para caracterizar los aceros que sean laminados en frío y se establece que, la tendencia de la rugosidad superficial de los aceros al ser laminados en frío se mantiene conforme se desarrolla el proceso y es independiente de los valores de fuerza y velocidad de laminación.

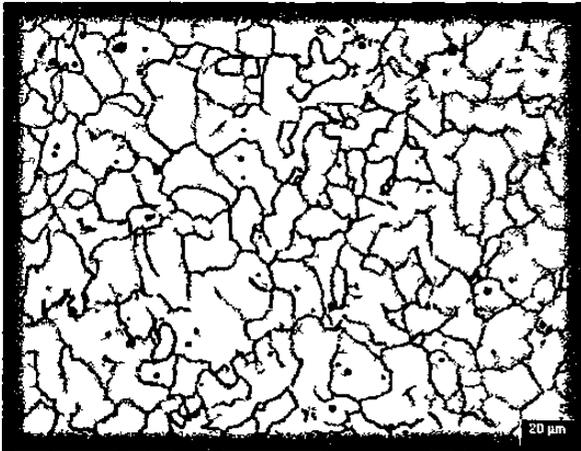
6.2 Recomendaciones

- Analizar el comportamiento de la rugosidad superficial para más aceros laminados en frío incluyendo aceros inoxidables ya, que estos últimos sirven como base para el desarrollo de nuevas técnicas de lubricación en la laminación en frío.
- Estudiar más a fondo el efecto del proceso de decapado de cinta de acero, variando composiciones químicas y porcentaje de fases para tratar de determinar que efectos puede tener este proceso sobre los valores de rugosidad superficial y, por lo tanto, cual sería su impacto al momento de la laminación en frío.
- Estudiar el comportamiento y las propiedades de los lubricantes empleados en la laminación en frío con la finalidad de determinar la influencia que tienen en conjunto con los aspectos superficiales sobre el valor del coeficiente de fricción en el proceso.
- Sería conveniente hacer estudios para tratar de observar el comportamiento caótico de las superficies de acero mediante el uso de geometría de fractales.

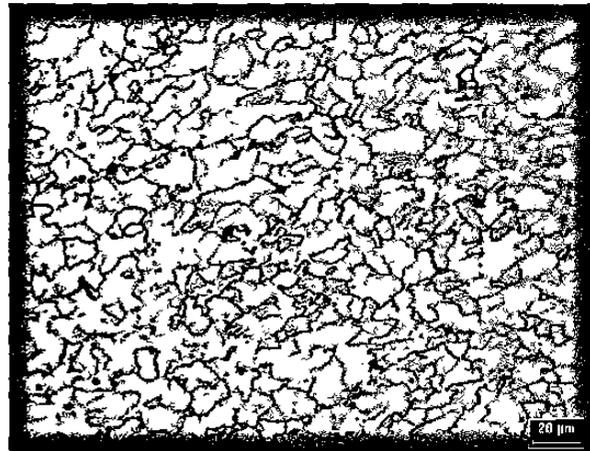
ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA.

%Reducción Local = valor de la reducción con respecto a su pase anterior.
%Reducción Acumulado = valor de la reducción con respecto a la banda.

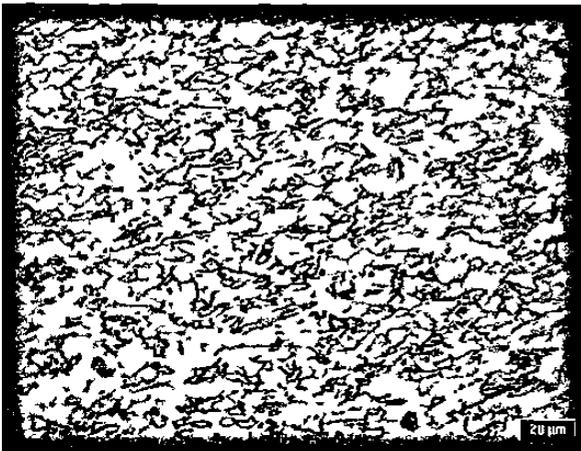
Acero 1005



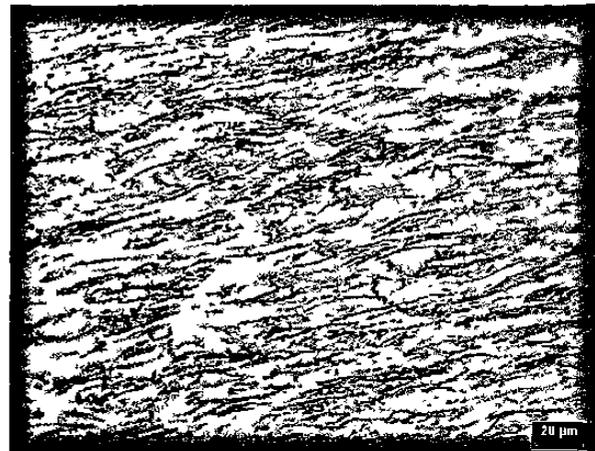
Banda
%Reducción local =0
%Reducción Acumulado =0
20X, Nital 3%



Paso 1
%Reducción local =31.25
%Reducción Acumulado =31.25
20X, Nital 3%



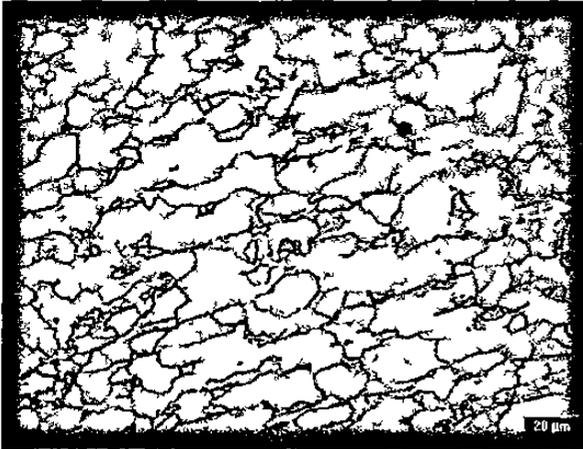
Paso 2
%Reducción local =38.18
%Reducción Acumulado =57.50
20X, Nital 3%



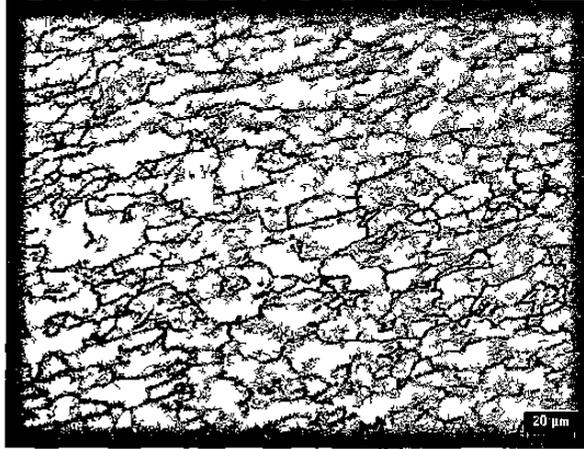
Paso 4
%Reducción local =20.64
%Reducción Acumulado =71.25
20X, Nital 3%

ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA.

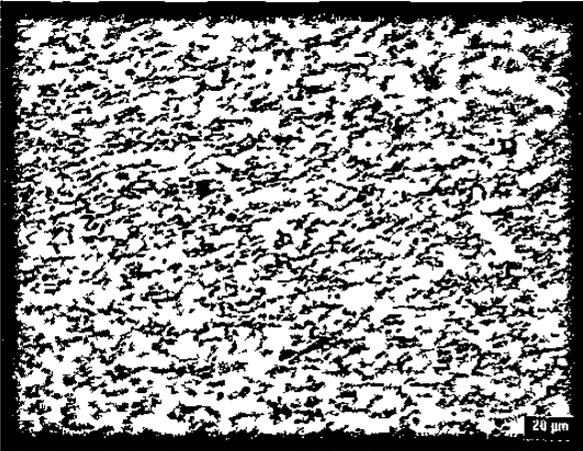
Acero 1008.



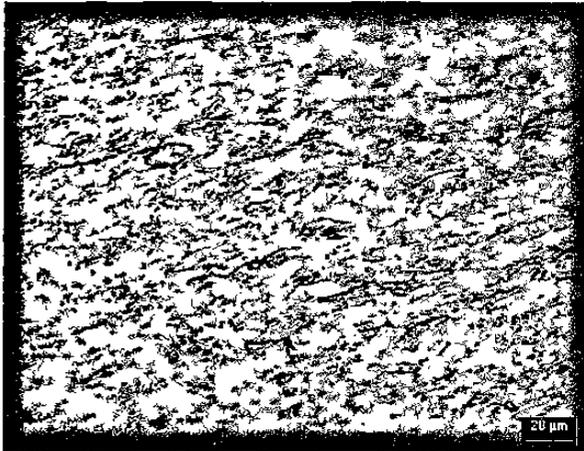
Banda
%Reducción local =0
%Reducción Acumulado =0
20X, Nital 3%



Paso 1
%Reducción local =27.78
%Reducción Acumulado =27.78
20X, Nital 3%



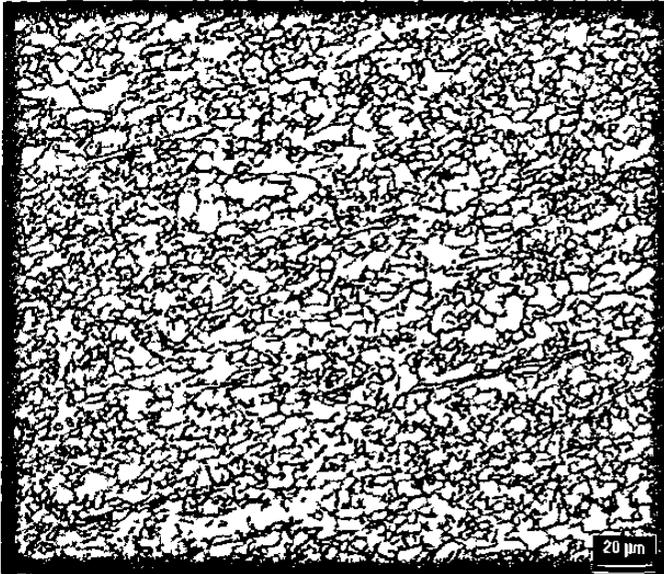
Paso 2
%Reducción local =24.92
%Reducción Acumulado=45.78
20X, Nital 3%



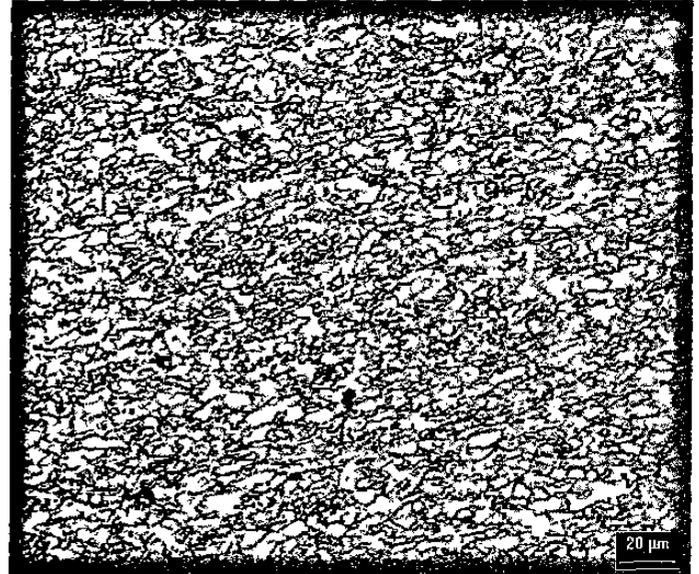
Paso 4
%Reducción local =23.98
%Reducción Acumulado =69.0
20X, Nital 3%

ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS
DE PRUEBA.

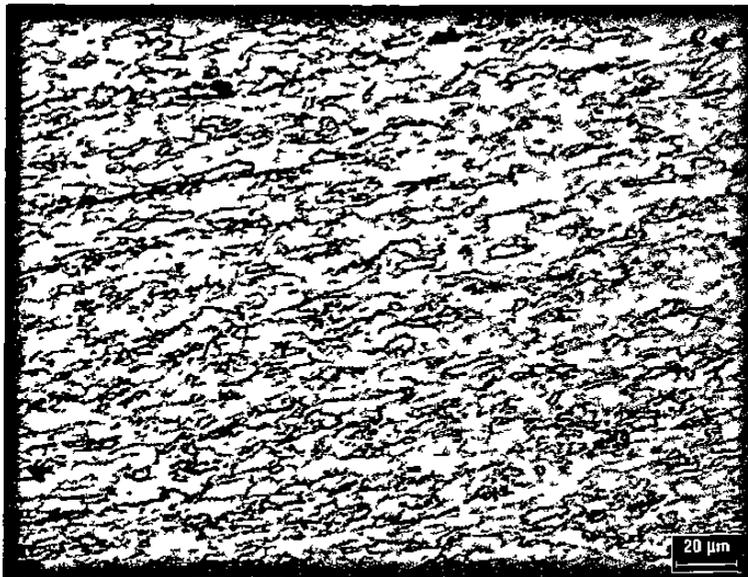
Acero 1011.



Banda
%Reducción local =0
%Reducción Acumulado =0
20X, Nital 3%



Paso 1
%Reducción local =20.5
%Reducción Acumulado =20.5
20X, Nital 3%



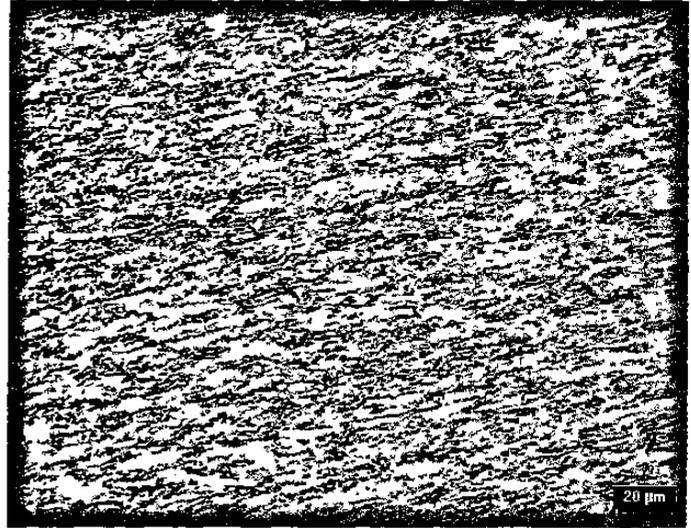
Paso 2
%Reducción local =20.0
%Reducción Acumulado =36.4
20X, Nital 3%

ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS
DE PRUEBA.

Acero 1011.



Paso 3
%Reducción local =19.81
%Reducción Acumulado =49.0
20X, Nital 3%



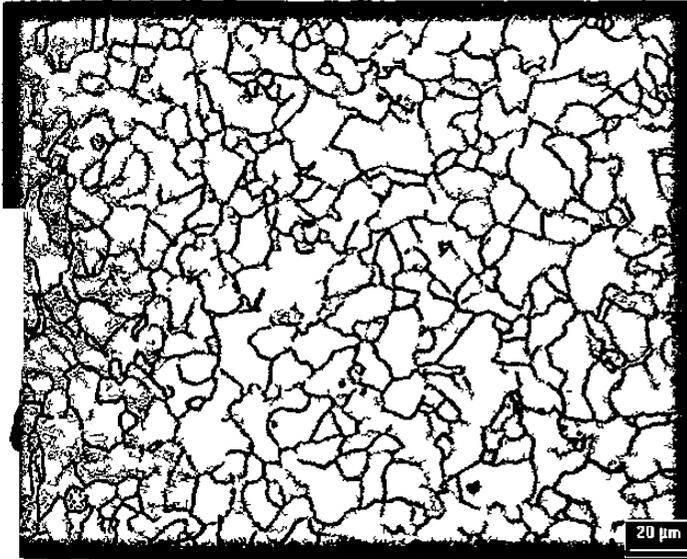
Paso 4
%Reducción local =18.63
%Reducción Acumulado =58.5
20X, Nital 3%



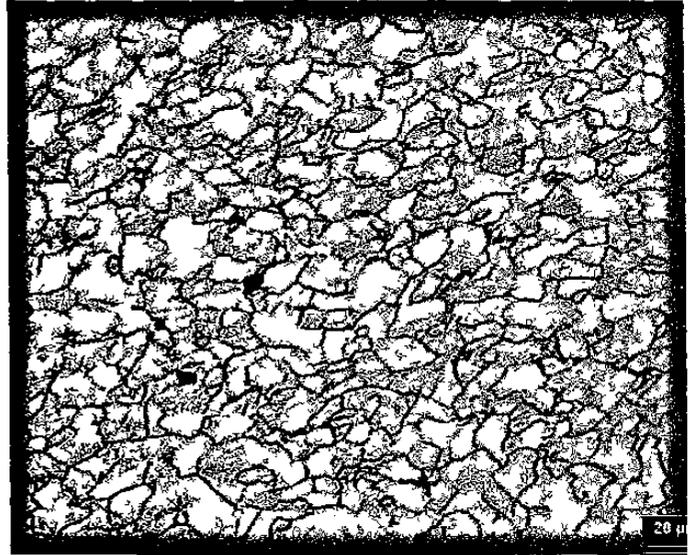
Paso 8
%Reducción local =18.86
%Reducción Acumulado =78.1
20X, Nital 3%

ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS
DE PRUEBA.

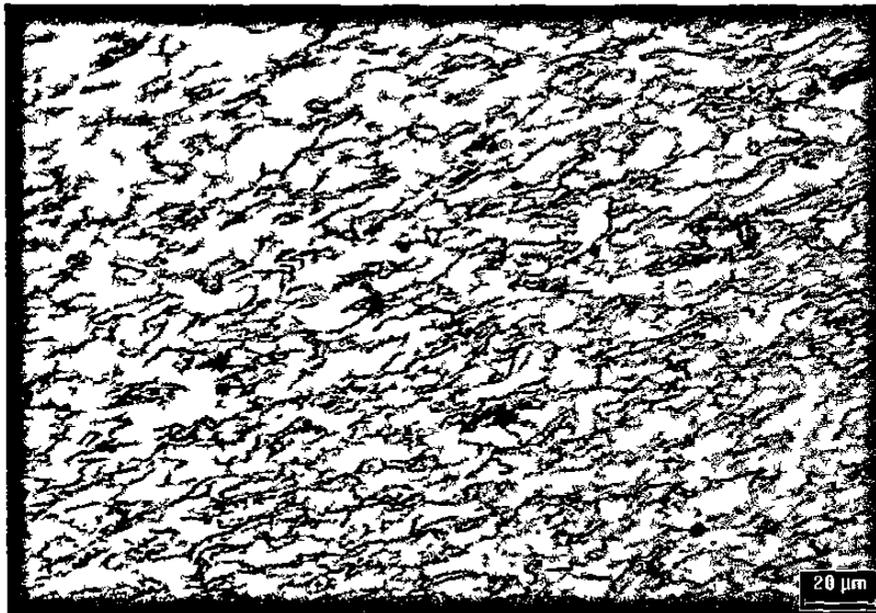
Acero 1006.



Banda
%Reducción local =0
%Reducción Acumulado =0
20X, Nital 3%



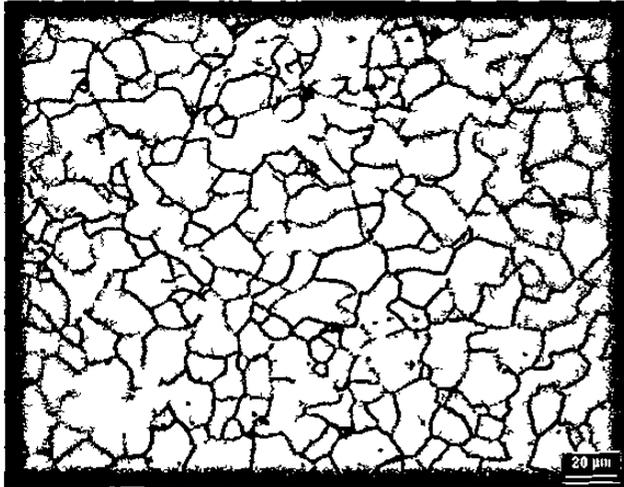
Paso 1
%Reducción local =35.00
%Reducción Acumulado =35.00
20X, Nital 3%



Paso 4
%Reducción local =29.92
%Reducción Acumulado =78.62
20X, Nital 3%

ANEXO 1
EVOLUCION MICROESTRUCTURAL DE LAS MUESTRAS DE LOS ACEROS
DE PRUEBA.

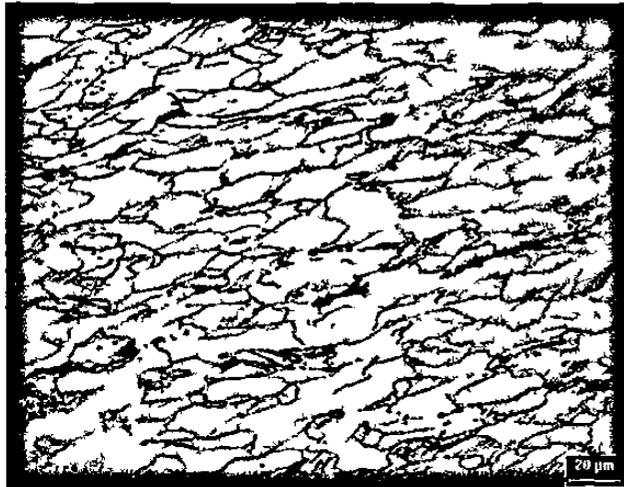
Acero 1110.



Banda
%Reducción local =0
%Reducción Acumulado =0
20X, Nital 3%



Paso 1
%Reducción local =29.0
%Reducción Acumulado =29.0
20X, Nital 3%



Pase 2
%Reducción local =22.54
%Reducción Acumulado =45.0
20X, Nital 3%

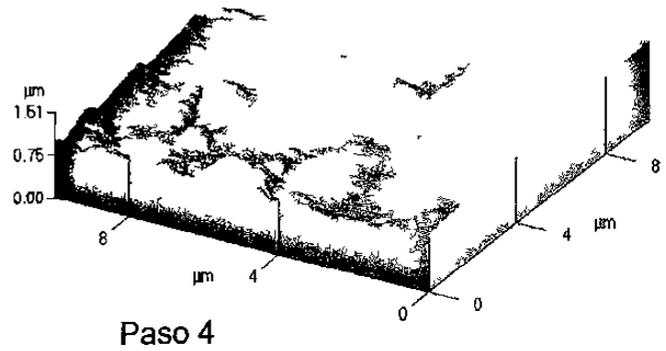
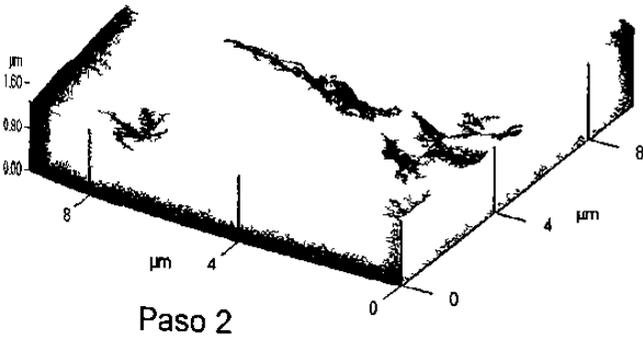
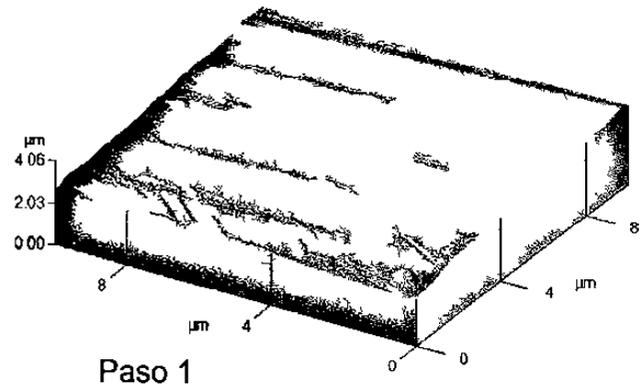
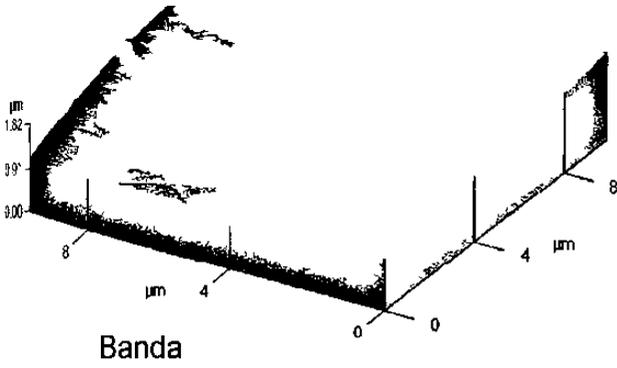


Paso 4
%Reducción local =22.35
%Reducción Acumulado =67.0
20X, Nital 3%

ANEXO 2
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR MFA.

Acero 1005

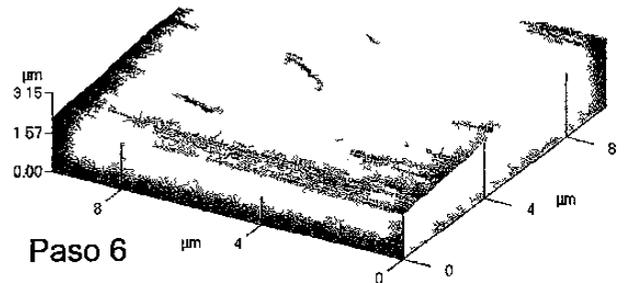
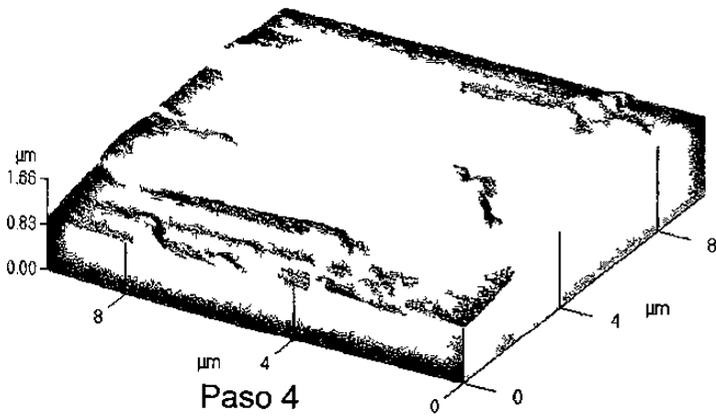
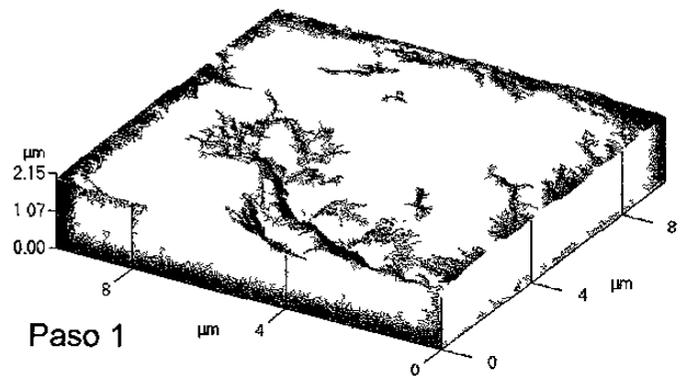
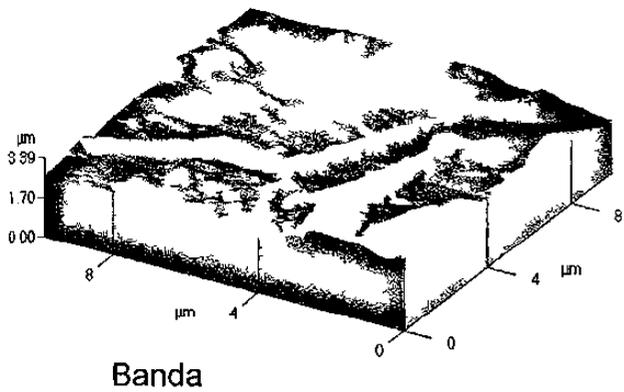
Dirección de laminación.



ANEXO 2
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR MFA.

Acero 1008

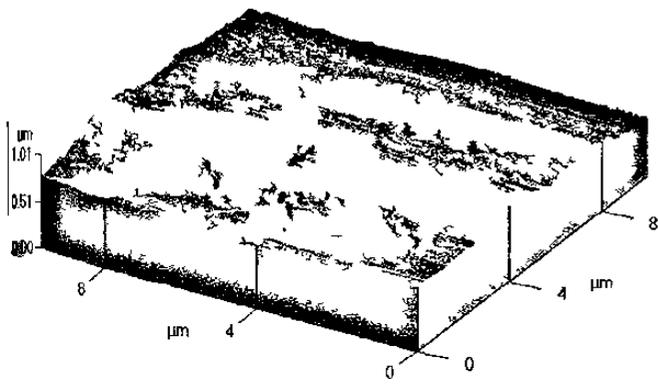
→ Dirección de laminación.



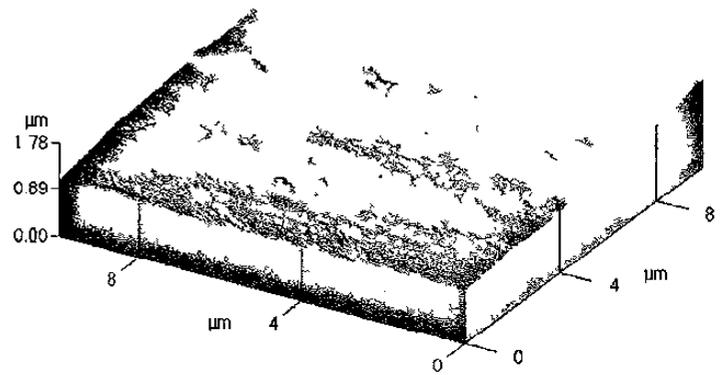
ANEXO 2
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR MFA.

Acero 1011

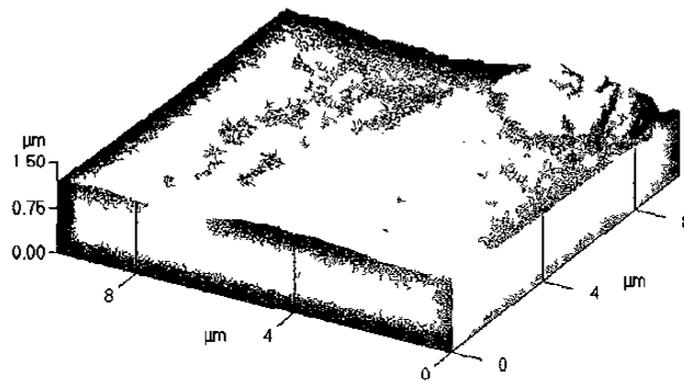
→ Dirección de laminación.



Banda



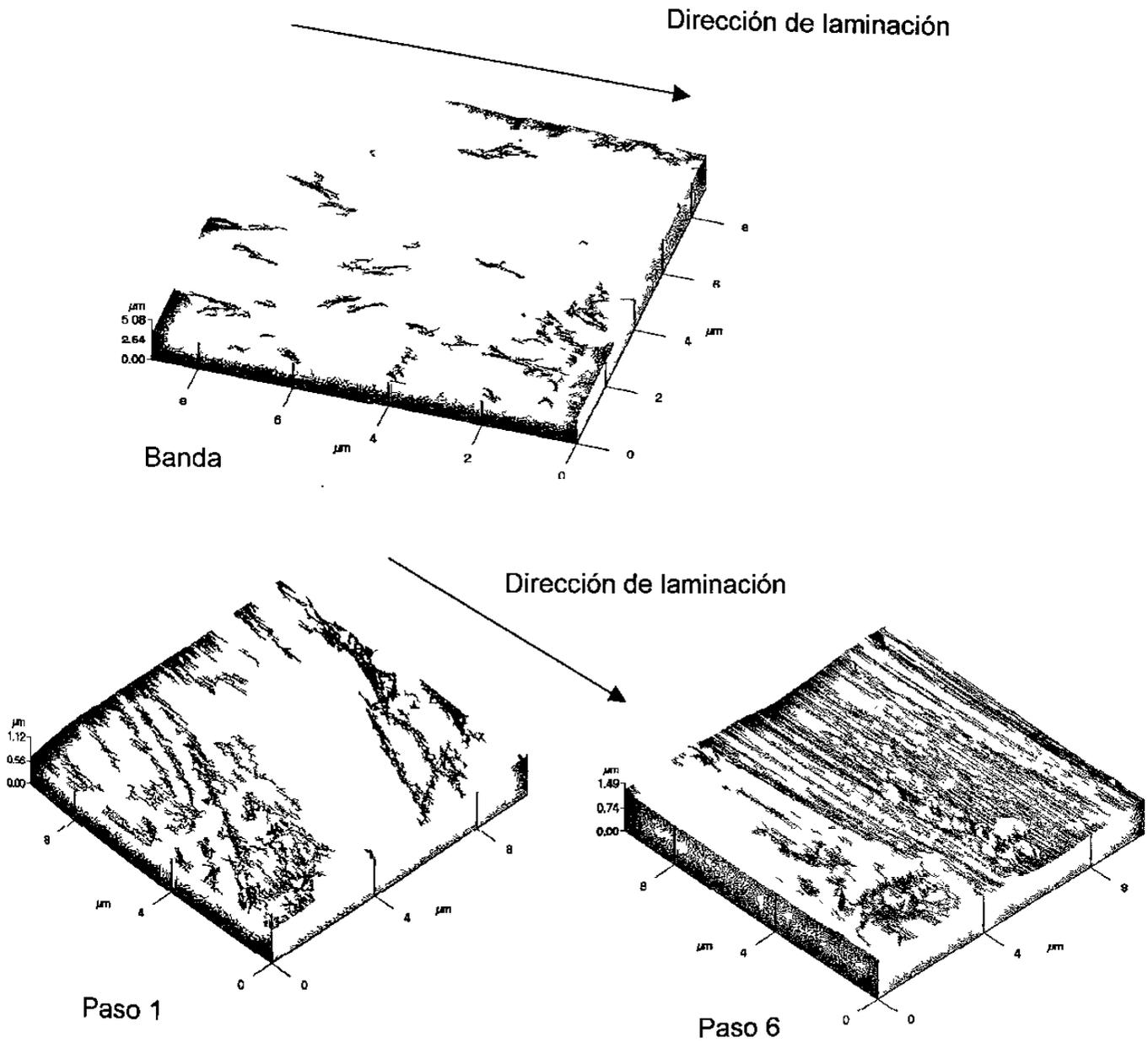
Paso 1



Paso 2

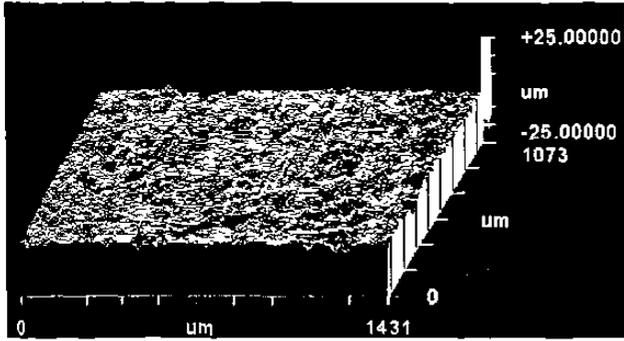
ANEXO 2 IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS POR MFA.

Acero 1006

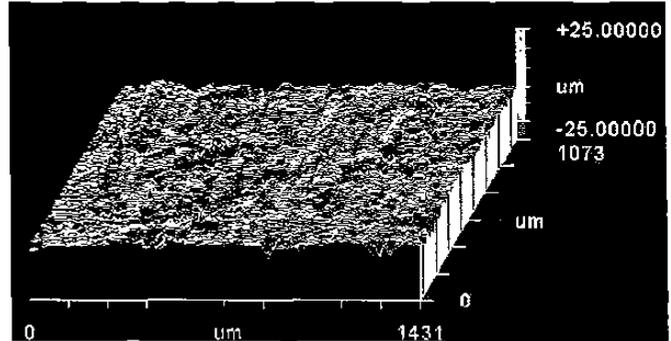


ANEXO 3
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA.

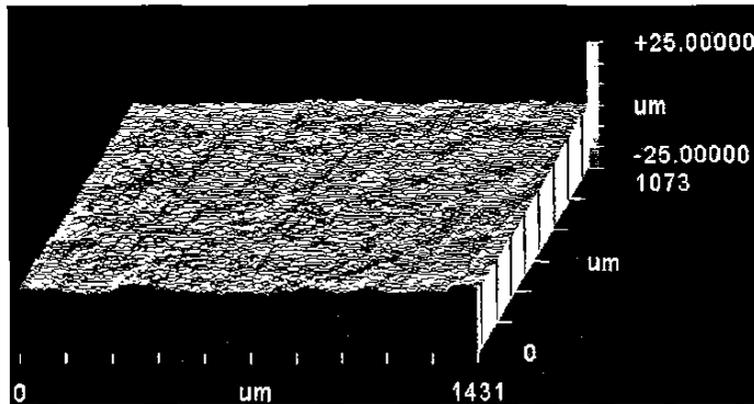
Acero 1005



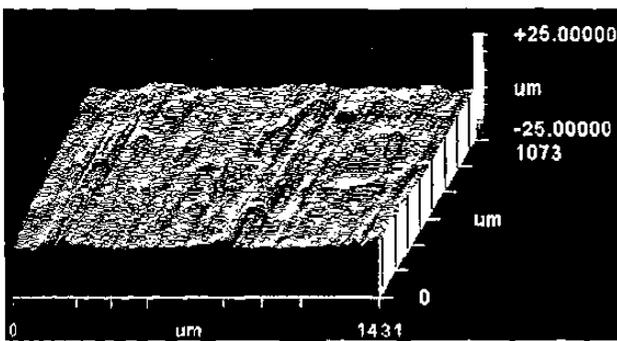
Banda



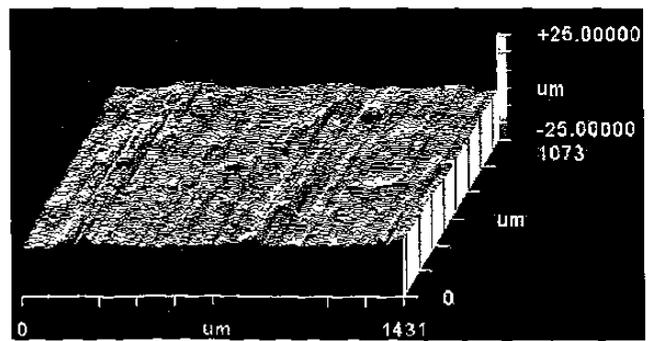
Paso 1



Paso 2



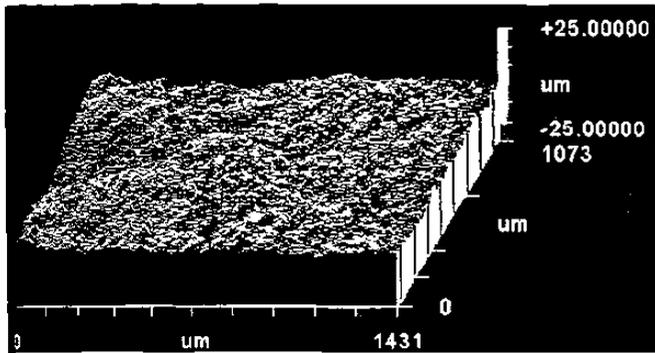
Paso 3



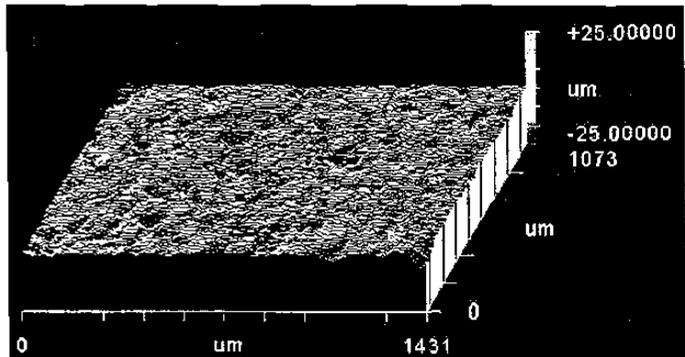
Paso 4

ANEXO 3
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA.

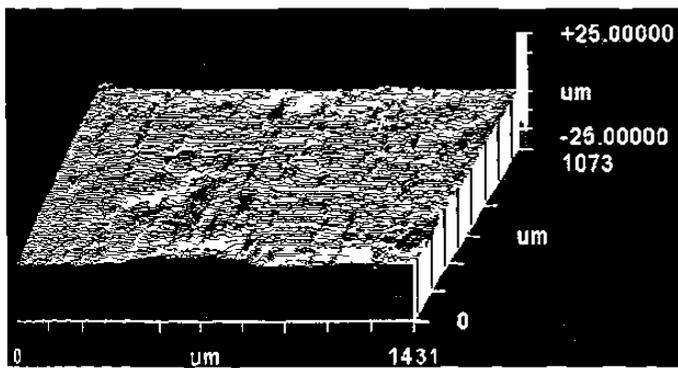
Acero 1008



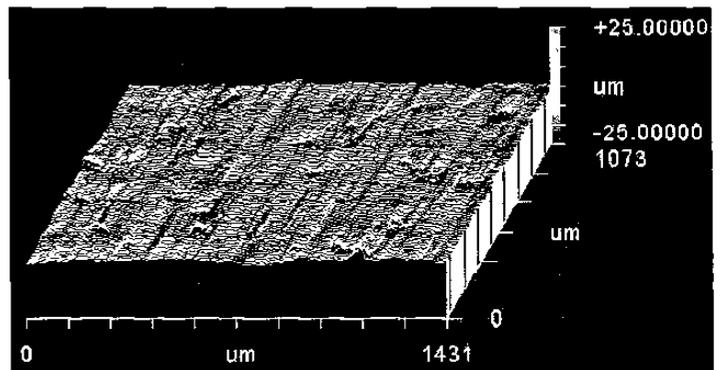
Banda



Paso 1



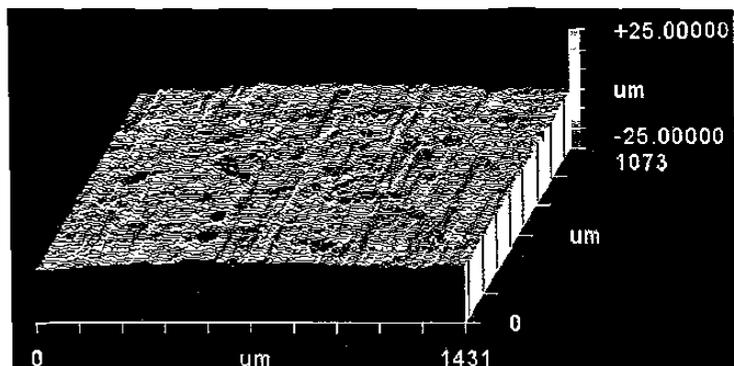
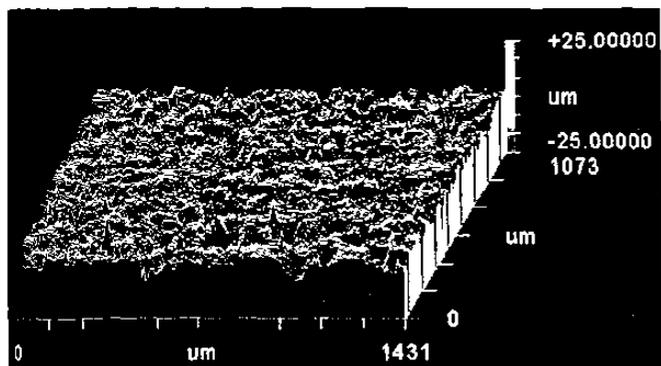
Paso 4



Paso 6

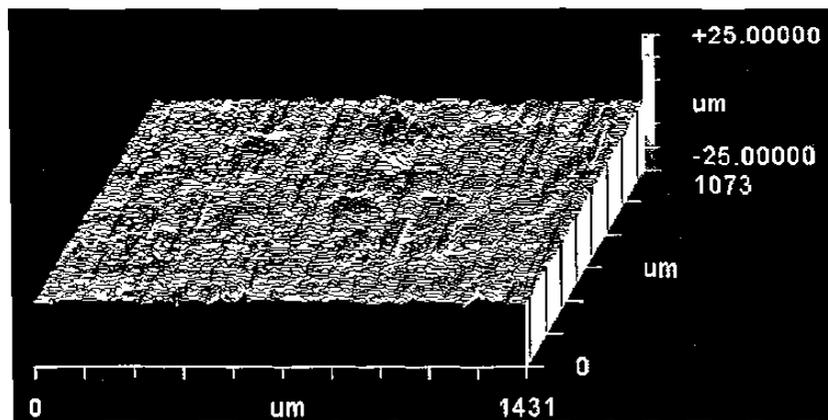
ANEXO 3
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA.

Acero 1011

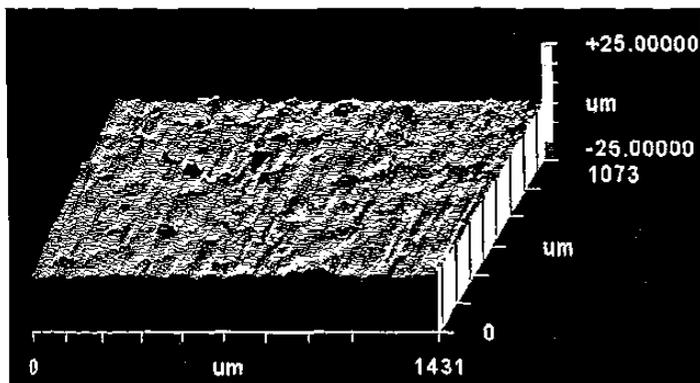


Banda

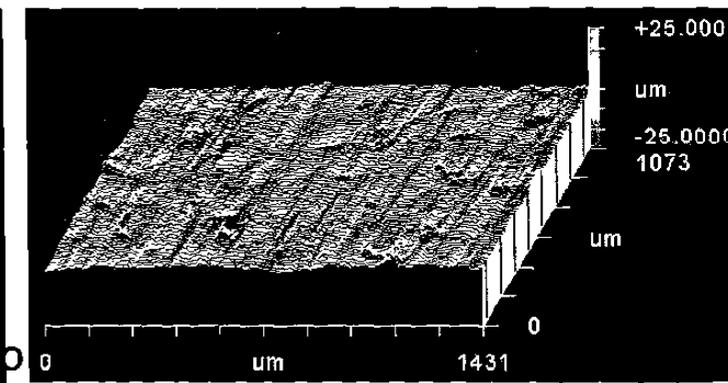
Paso 1



Paso 2



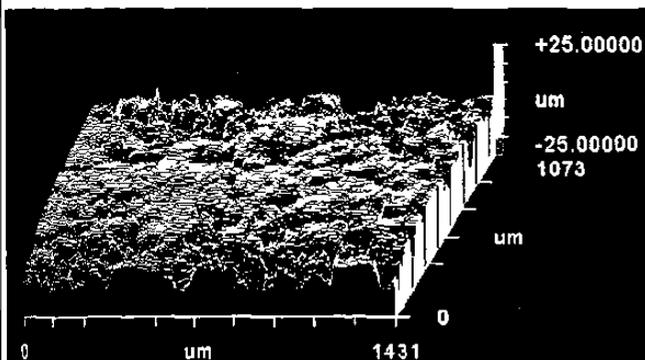
Paso 4



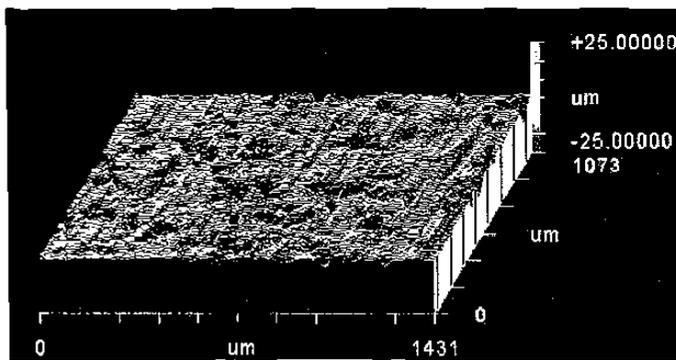
Paso 8

ANEXO 3
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA.

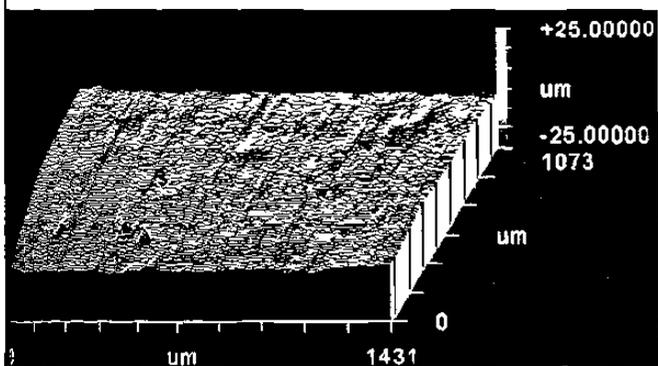
ACERO 1006



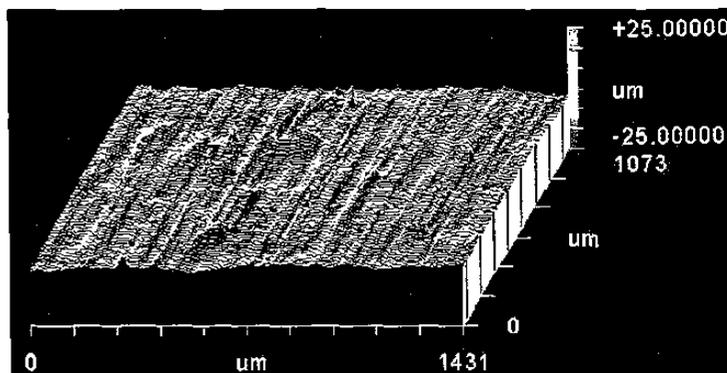
Banda



Paso 1



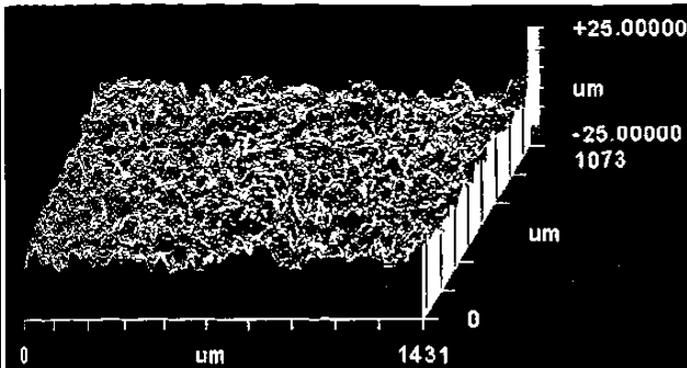
Paso 3



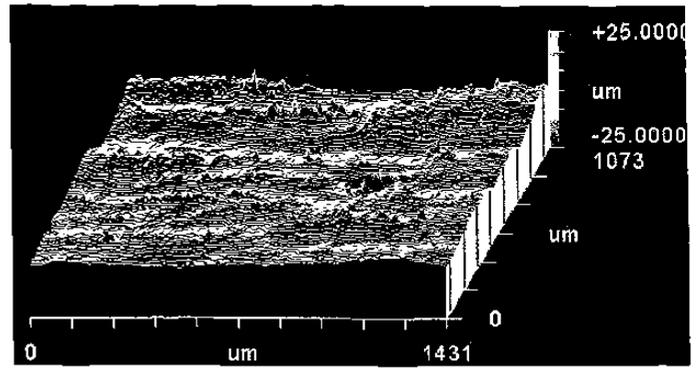
Paso 6

ANEXO 3
IMÁGENES TOPOGRÁFICAS DE LOS ACEROS DE PRUEBA OBTENIDAS
POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA.

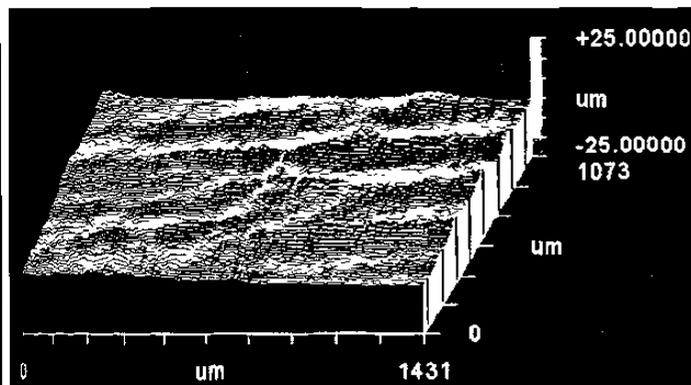
Acero 1110



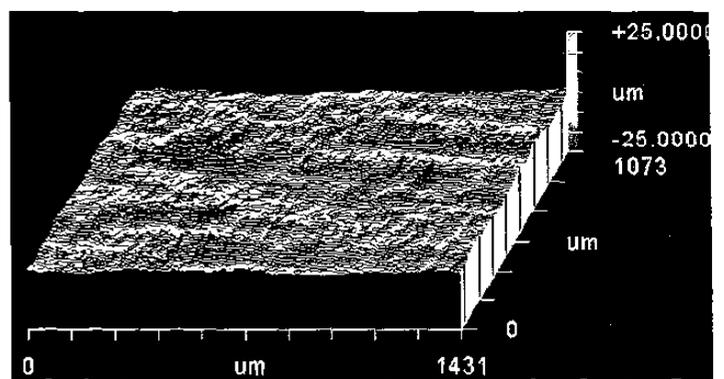
Banda



Paso 1



Paso 3



Paso 6

LISTADO DE TABLAS

TABLA	PAG
4.1 Aceros muestreados y su composición química.	44
4.2 Características de operación de los molinos	46
4.3 Selección de las muestras a analizar.	48
4.4 Composición química real de los aceros.	48
5.1 Composición química de los aceros	60
5.2 Resultados de las fases presentes en los aceros.	61
5.3 Tamaño de grano promedio de los aceros.	64
5.4 Datos de los ensayos de microdureza.	67
5.5 Valores Ra promedio obtenidos por MFA.	69
5.6 Análisis de la rugosidad de la superficie de los rodillos.	77
5.7 Valores Ra promedio obtenidos por perfilometría óptica.	79
5.8 Resultados de las variables controladas.	89

LISTADO DE FIGURAS.

FIGURA	PAG
2.1 Diagrama de Leonardo da Vinci: Máquina para laminar plomo.	4
2.2 Diagrama de un molino laminador.	4
2.3 Molino construido por Salomón de Caus para laminar plomo.	5
2.4 El proceso de laminación.	7
2.5 El proceso de forja.	7
2.6 Esfuerzos en un elemento infinitesimal de volumen, de una pieza en compresión plana.	8
2.7 Condición de plasticidad para el elemento en compresión plana.	9
2.8 Colina de fricción.	10
2.9 Arreglos típicos de molinos de laminación.	11
2.10 Fuerzas durante la laminación.	12
2.11 Representación de las fuerzas durante el proceso de laminación.	14
2.12 Proceso de laminación en caliente de acero.	16
2.13 Esfuerzos actuando en un elemento diferencial durante la laminación.	18
2.14 Temperaturas críticas durante en la lubricación de frontera.	21
2.15 Lubricación hidrodinámica.	21
2.16 Lubricación de película sólida.	22
3.1 Representación esquemática de la superficie de un metal.	26
3.2 Asperezas de una superficie supuestamente lisa.	27
3.3 Rugosidad de una superficie.	28
3.4 Ondulación de una superficie.	28
3.5 Error de forma de una superficie.	29
3.6 Representación topográfica de la superficie de una articulación humana artrítica.	29
3.7 Perfilómetro de aguja	30
3.8 Perfil de una superficie analizada mediante perfilómetro de aguja.	30

3.9 Diagrama esquemático de un interferómetro óptico.	31
3.10 Separación entre átomos que corresponde al estado de equilibrio.	32
3.11 Principio de funcionamiento del MFA.	33
3.12 Precipitados de una aleación de aluminio identificados por MFA.	34
3.13 Imágenes topográficas obtenidas por MFA.	34
3.14 Perfil de alturas de una superficie.	35
3.15 Rugosidad superficial en función de la velocidad de laminación.	39
3.16 Efecto de la velocidad de laminación sobre la cinta.	40
3.17 Comportamientos estudiados por Sakai, Saito y Sato.	41
4.1 Molinos de laminación.	44
4.2 Distribución física de las muestras.	46
4.3 Muestras preparadas para análisis metalográfico.	49
4.4 Microscopio óptico.	50
4.5 Imágenes fotográficas utilizadas para el conteo de granos (método Heyn).	51
4.6 Medición realizada en un grano.	51
4.7 Microdurómetro marca Shimadzu.	52
4.8 Identación realizada en los ensayos de microdureza.	53
4.9 Microscopio de fuerza atómica marca Parker Scientific Instruments.	54
4.10 Perfil de alturas de una imagen obtenida mediante MFA.	55
4.11 Perfilómetro marca Zygo.	56
4.12 Imagen bidimensional obtenida por perfilometría óptica .	57
4.13 Perfil típico de alturas.	57
5.1 Micrografía acero AISI/SAE 1008.	61
5.2 Micrografía acero AISI/SAE 1006.	62
5.3 Micrografía acero AISI/SAE 1011.	62
5.4 Evolución microestructural del acero 1005.	63
5.5 Tamaño de grano promedio de los aceros.	64
5.6 Resultados de los ensayos de microdureza realizados en función de la resistencia a la tensión.	67
5.7 Evolución superficial del acero 1008 analizada por MFA.	69

5.8	Rugosidad de la banda con respecto al tamaño de grano y al contenido de silicio de los aceros.	71
5.9	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la disminución en espesor .	71
5.10	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1005.	72
5.11	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en los aceros AISI/SAE 1008 y 1011.	73
5.12	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en los aceros AISI/SAE 1006 y 1110.	74
5.13	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a velocidad de laminación en los aceros.	75
5.14	Comportamiento de la capa de lubricante con respecto al % de reducción de los aceros.	77
5.15	Comportamiento de la capa rugosidad superficial con en función de la capa de lubricante en el proceso.	78
5.16	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la disminución en espesor.	80
5.17	Rugosidad de la banda con respecto al tamaño de grano.	81
5.18	Rugosidad de la banda con respecto al contenido de Si.	82
5.19	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a la disminución en espesor .	83
5.20	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1005.	84
5.21	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1008	84
5.22	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1011.	85
5.23	Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1006.	85

5.24 Evolución de la rugosidad superficial con respecto a las fuerzas de laminación en el acero AISI/SAE 1110.	86
5.25 Variación de Ra en función de la velocidad de laminación.	87
5.26 Comportamiento de la capa de lubricante con respecto al % de reducción de los aceros.	88
5.27 Evaluación del proceso de decapado.	89
5.28 Imágenes de microscopía electrónica de barrido mostrando ataque severo de las muestras expuestas al medio ácido.	90
5.29 Evolución de la rugosidad superficial en función de la pérdida en peso.	91

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Nelson Federico Garza Montes de Oca

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

Tema: Caracterización microestructural y superficial de aceros laminados en caliente y en frío.

Nelson Federico Garza Montes de Oca nació en Monterrey Nuevo León, México, el 21 de mayo de 1979, es hijo del señor Federico Garza Arellano y la señora Maricela Montes de Oca Rodríguez. En Agosto de 1996 inició sus estudios de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Eléctrica y en Julio del 2001 recibió el título de Ingeniero Mecánico Electricista por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, obteniendo el Título Honorífico. En Febrero del 2002, inicia sus estudios de Postgrado, con beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en la misma Facultad. Participó en el Programa "Acero 2000" organizado por la Sociedad del Hierro y del Acero, en Junio del 2000. Fue ganador del Testimonio de Alto Rendimiento Académico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica otorgado por el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL), en Mayo del 2002. Participó con el programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología en la Red Temática Iberoamericana de Aceros Tradicionales y Aceros Estructurales Avanzados, en Mayo del 2003.

