



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ING. MECÁNICA – METALMECÁNICA

ESTUDIO COMPARATIVO DE CARBUROS EN DOS ACEROS DE
HERRAMIENTA.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
CARLOS FERNANDO MORALES TORRES

TUTOR PRINCIPAL
DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA, FES-CUAUTITLÁN

MÉXICO, CD. MX, MARZO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Resumen:.....	4
Objetivo:.....	4
Introducción:.....	4
<u>Capítulo I</u>	
Estado del Arte:	5
Consideraciones teóricas:	8
<u>Capítulo II Desarrollo Experimental</u>	
Diseño de experimentos:.....	10
Sisa Met T15:.....	11
Sisa Met M4:	14
Preparación de muestras:	18
Características de cada muestra:	18
Testigos:.....	18
Tratamiento Térmico de Temple.....	19
Temple acero T15.....	20
Temple acero M4.....	20
ESTUDIO METALOGRAFICO.	23
ENSAYO DE DUREZA.	61
ENSAYO DE TENSION	79
Probetas de tensión:.....	79
<u>Capítulo III Resultados experimentales</u>	
RESULTADOS OBTENIDOS	80
TABLA DE RESULTADOS.....	82
ESTUDIO DE FRACTURA	84
FRACTURA DEL ACERO T-15.....	92
<u>Capítulo IV Evaluación y discusión de resultados</u>	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
Metalografía.....	96
Ensayo de dureza	96
Ensayo de tensión.....	97
Fractura.....	97
CONCLUSIONES.....	98

CONCLUSIONES GENERALES.....	99
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	100

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DE CARBUROS EN ACEROS DE HERRAMIENTA T-15 Y M-4.

Resumen:

Los aceros grado herramienta de metalurgia de polvo han surgido como una opción para mejorar el desempeño y la vida útil de las piezas. En estos momentos ya se cuenta con la tercera generación de este tipo de aceros en el mercado mexicano teniendo cada fabricante su contratipo para cada oferta. Se presenta el estudio de 2 aceros grado herramienta de metalurgia de polvos de tercera generación llevado a cabo conforme al desempeño y condiciones de temple óptimas especificadas por el fabricante. Analizando las diferencias entre uno y otro acero.

Objetivo:

Elaborar un estudio comparativo de la formación de carburos en dos aceros de grado herramienta. Verificando los efectos derivados de la formación de los mismos tras los procesos de tratamiento térmico.

Introducción:

A lo largo de la historia la industria ha buscado los materiales metálicos cuyas características sean las óptimas en el cumplimiento de los crecientes requerimientos de calidad en cada producto. Aunado a esto el ya indispensable enfoque en la no sobre explotación de los recursos naturales y el ahorro de energía en los procesos productivos, ha llevado al desarrollo de nuevos materiales.

Una de las industrias que más se ha visto envuelta en estos avances es la industria metalmeccánica, en la cual se ha visto la necesidad de buscar la formulación de nuevas aleaciones, las cuales brinden una mayor vida útil de las herramientas; con lo cual ha llevado a una constante mejora de las actuales aleaciones por medio de la estructura del mismo por medio de la integración de nuevos elementos aleantes tales como:

- Manganeso (Mn).
- Cromo (Cr).
- Vanadio (V).
- Tungsteno (W).
- Molibdeno (Mo).
- Cobalto (Co).

Entre las características que se buscan son mejorar la resistencia al desgaste, resistencia a la tenacidad sin llegar a generar alguna dificultad en la maquinabilidad o en los procesos térmicos, también como su viabilidad de uso de recubrimientos superficiales en el mismo.

En esta investigación se tiene por objetivo elaborar un estudio comparativo de la formación de carburos en dos aceros de grado herramienta, verificando los efectos derivados de la formación de los mismos a través de los procesos de tratamiento térmico.

Estado del Arte:

En los aceros de grado herramienta siempre se ha buscado la mejora de las diferentes propiedades. Por lo cual se han generado una amplia gama de aceros para seleccionar. De entre los cuales recientemente han resaltado el uso de los aceros de metalurgia de polvo los cuales por su fabricación buscan ofrecer una mejora sustancial en alguna o varias propiedades específicas.

Este tipo de aceros son fabrican por medio de la asimilación de polvos de elementos en una matriz.

Los elementos aleantes se pueden extraer por:

- Reducción de óxidos
- Descomposición térmica en atmosfera controlada
- Electrolisis

- Precipitación en medio acuoso

Tras haber obtenido los elementos requeridos estos se tienen que procesar:

- Fibras
 - Extracción por fusión
 - Hilado de fusión
 - Enfriado por rodillos
- Mecánica
 - Molienda
 - Triturado de virutas
 - Maquinado

Caracterización de polvos

- Morfología

1.- Forma:

- Angular
- Esferoides
- Nodulares
- Irregulares
- Aciculares
- Detríticas

2.- Tamaño

No son deseables tamaño muy grande ni pequeño se realiza por tamices.

Una vez obtenido el polvo base se procede al mezclado para esto últimamente se procede a un uso de atomización par generar una mezcla más homogénea.

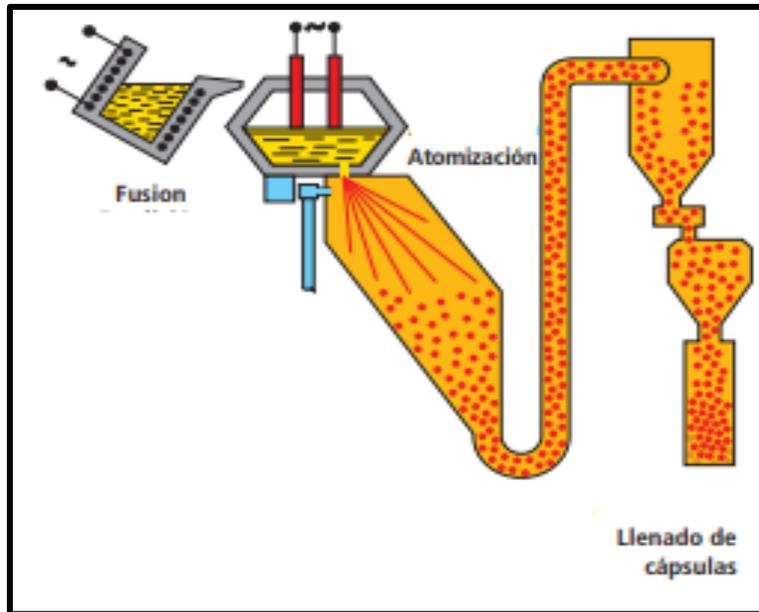


Fig. 1 Mezclado.

Obtenida la mezcla está pasa al proceso de prensado y posteriormente al horno de sinterizado el cual debe tener una temperatura menor a la de fusión, pero suficientemente alta para permitir la adhesión.

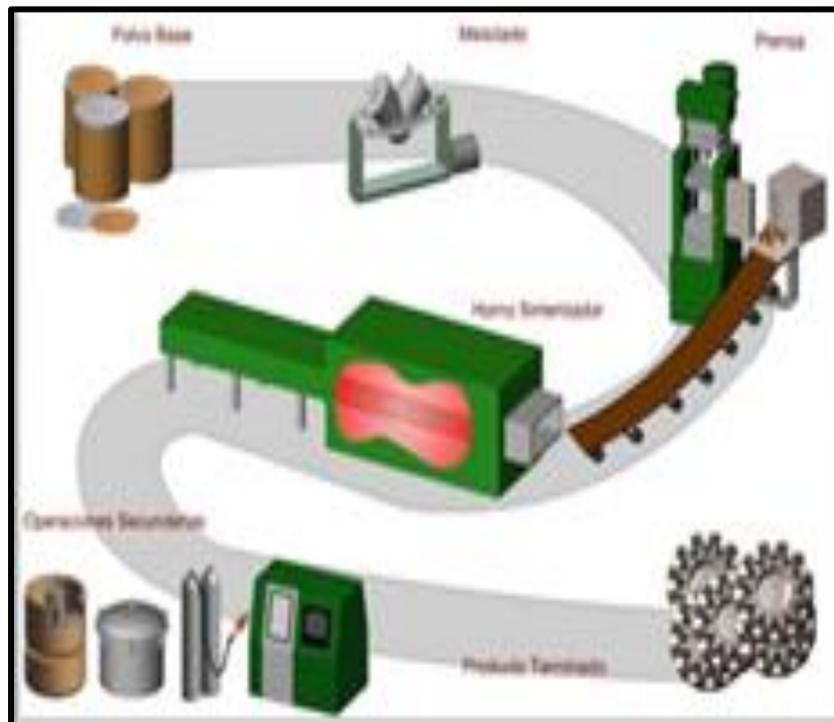


Fig. 2. Vista general

Después del horno de sinterizado, el material se encuentra listo para que se proceda a la realización de procesado del acero obtenido.

Consideraciones teóricas:

En la actualidad se cuentan con una amplia gama de aceros grado herramienta de los cuales tiene cada uno un procesado y determinado uso específico.

Dado que nuestro objetivo principal es el analizar un acero con una fuerte presencia de carburos se ha tomado la opción de comparar 2 acero de grado herramienta del tipo de metalurgia de polvos.

Esto es debido a tanto a la limpieza que presentan, como a la homogeneidad prometida. En adición a esto en los últimos años se han visto un creciente requerimiento en cuanto a resistencia al desgaste por parte del usuario final por lo cual este tipo de aceros es el que ha llegado a presentar una mejoría sustancial en los resultados con el cliente. Aunado a esto se busca tener un resultado de lo último en tecnología de materiales disponibles de manera comercial para la industria.

Otro punto importante a considerar es que a pesar de que se cuenta, en el mercado con el mismo tipo de material, incluyendo mismo tipo de elementos aleantes en cantidad igual estos no son procesados como metalurgia de polvo. Siendo obtenidos por medio de un proceso estándar o similar al proceso del acero de grado herramienta convencional.

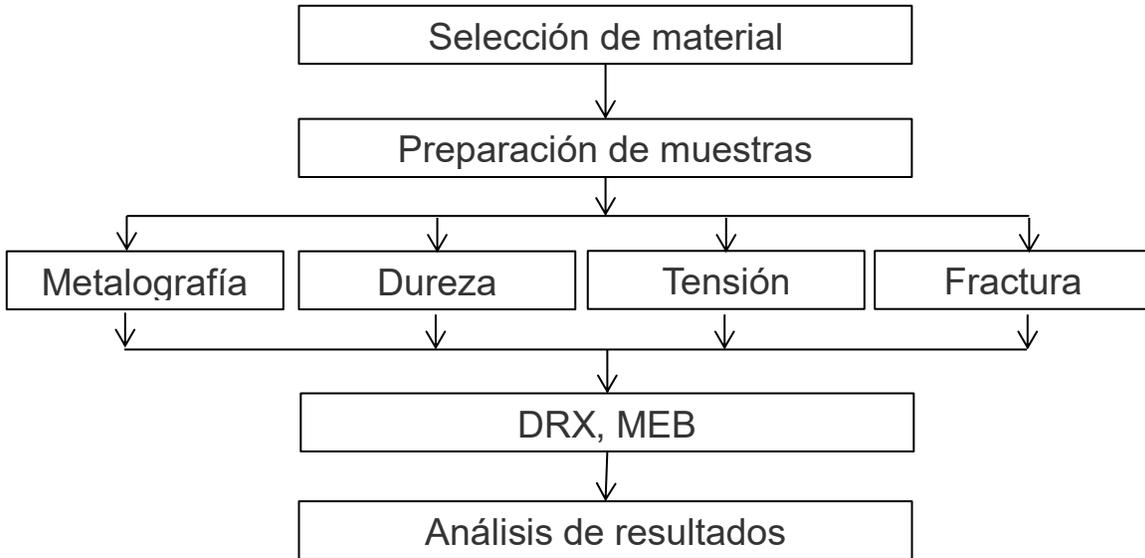
Sin embargo, estos materiales presentan una composición menos homogénea, una concentración mayor de impurezas y una disminución considerables de sus propiedades mecánicas frente a su contra tipo de procesado por metalurgia de polvo.

Como consideración fundamental se debe tener en cuenta que a pesar de que el material por sí mismo ya presenta un alto contenido de carburos este debe de ser procesado por medio de un tratamiento térmico para tener el desempeño deseado. Cabe mencionar que el temple de este tipo de materiales no es sencillo

ya que las temperaturas requeridas para su temple son más altas que las usadas en el temple de aceros tradicionales, así como un cuidado especial en el revenido.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño de experimentos:



La selección de los materiales se tomó en cuenta 2 materiales, los elegidos son el acero M4 y Acero T15. Ambos proveniente de la metalurgia de polvos tercera generación.

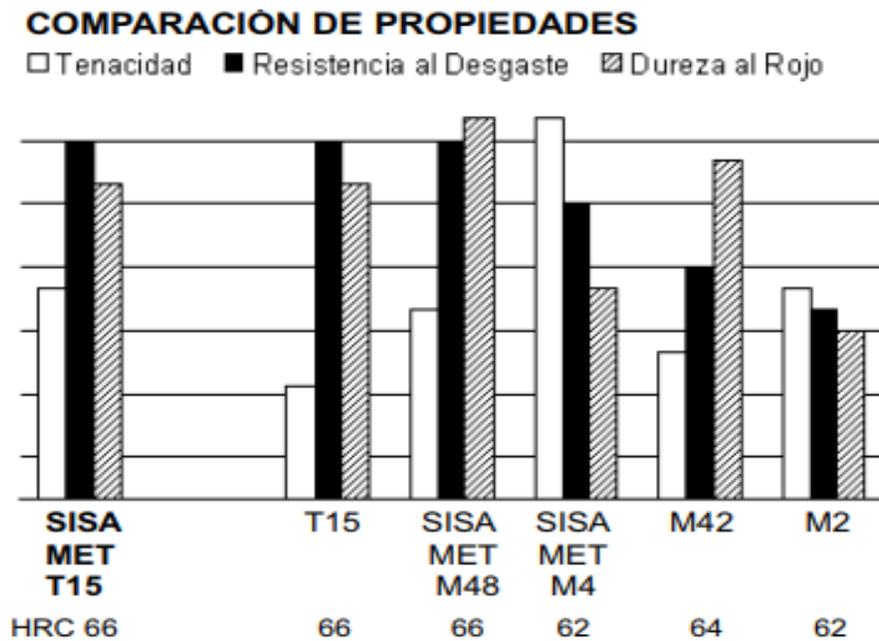


Fig. 3 comparativa de propiedades de aceros

Sisa Met T15:

SISA-MET T15 es un acero súper rápido al tungsteno el cual contiene alto vanadio para una excelente resistencia a la abrasión y cobalto para una buena resistencia al revenido (dureza al rojo). Puede llegar a alcanzar durezas de 67 HRC y es ideal para herramientas de corte en materiales difíciles de maquinar donde existe calentamiento excesivo por alta fricción. Por su contenido de aleantes ofrece muy buena retención del filo en herramientas de corte. También se puede utilizar para herramientas de trabajo en frío (matricería) donde se requieren altas durezas y buena resistencia al desgaste.

Composición Química:

Carbono	=	1.60%
Silicio	=	0.35%
Manganeso	=	0.30%
Cromo	=	4.25%
Vanadio	=	5.00%
Wolframio	=	12.25%
Cobalto	=	5.00%

Usos Comunes:

Rimas
Brocas
Buriles
Cortadores
Herramientas de formado
Matricería

Punzones

Propiedades físicas:

Módulo de elasticidad 214 Gpa

Peso específico 8.19

Densidad 8.19 g/cm³

Tratamientos superficiales:

Nitrurado

Recubrimiento PVD

Tratamientos térmicos aplicables:

Forjado: 1095-1150 °C

Recocido: 870°C a no mas de 15°C por hora hasta 540°C

Temple:

Realizar en baño de sales o al vacío

Precalear a 815-845 °C

Temple: 1165-1235 °C

Enfriamiento: en sales, vacío, atmosfera debajo de 595°C

Revenido: 3 revenidos a 540°C

Dureza HRC - Enfriamiento al Aceite o en Sales

Temperatura de Revenido	Temperatura de Temple (Austenización)					
	1165°C (2125°F)	1180°C (2150°F)	1190°C (2175°F)	1205°C (2200°F)	1220°C (2225°F)	1235°C (2250°F)
Antes de Revenir	67	66.5	66	65.5	64.5	64
540°C (1000°F)	65	65.5	66	66.5	67	67.5
<i>Óptima para máxima tenacidad y relevado de esfuerzos eficiente</i>						
550°C (1025°F)	64.5	65	65.5	66	66.5	67
565°C (1050°F)	64	64.5	65	65.5	66	66.5
595°C (1100°F)	62	62.5	63	63.5	64	64.5
620°C (1150°F)	57	58.5	59.5	60.5	61	61.5
650°C (1200°F)	54	55	56	57	57.5	58

Fig. 4 tabla de respuesta al tratamiento térmico del T15

DIAGRAMA DE REVENIDO

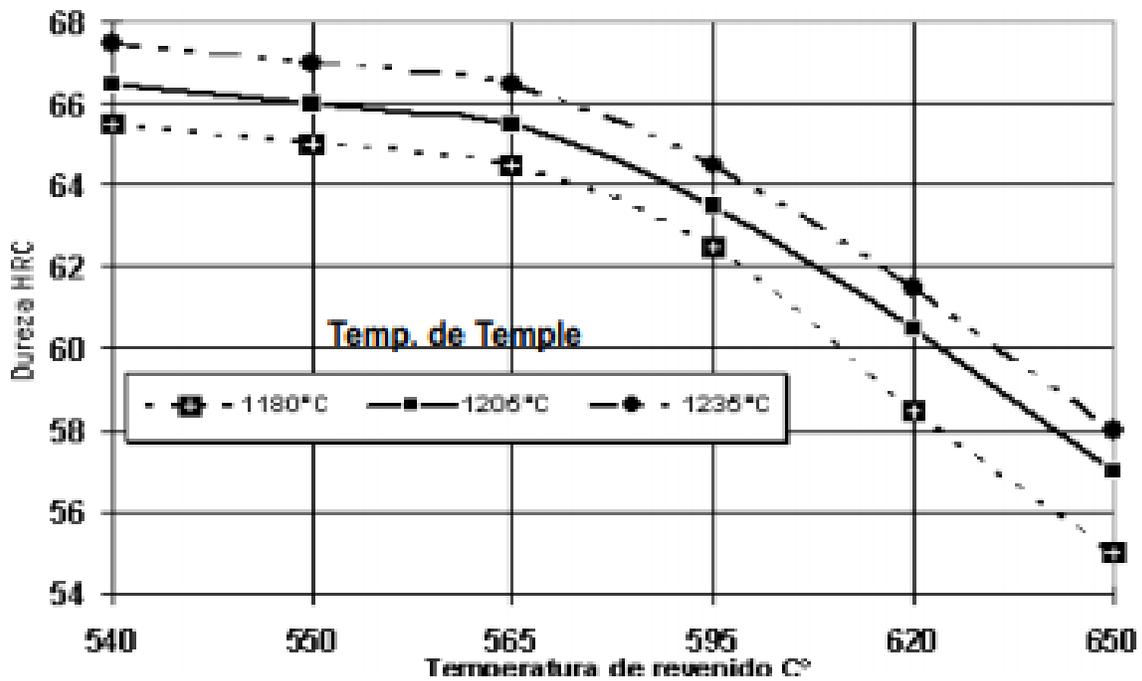


Fig. 5. Diagrama de revenido T15

Temp. de Temple °C (°F)	Temp. de Revenido °C (°F)	Dureza HRC	Entalla Charpy C-Notch Impacto ft.lb. (J)	Resistencia a la Fractura ksi (MPa)
1235 (2250)	540 (1000)	68	12 16	581 4005
1235 (2250)	550 (1025)	67	14 19	678 4675
1175 (2150)	550 (1025)	65	21 28	706 4865
1175 (2150)	565 (1050)	64.5	22 29	740 5102

Fig. 6 Tabla de Dureza, resistencia al impacto y resistencia a la tensión del T15

Sisa Met M4:

SISA-MET M4 es un acero rápido especial de alto vanadio que demuestra mayor resistencia al desgaste y tenacidad que los aceros M2 o M3 en herramientas para trabajo en frío, insertos para troqueles y aplicaciones de corte en alta velocidad y espesores delgados. SISA-MET M4 es una mejora excepcional en aplicaciones de trabajo en frío ofreciendo una resistencia al desgaste y tenacidad superior a los aceros de alto cromo y alto carbón tipos D2 y D3. Para herramientas de corte, ofrece mayor resistencia al desgaste, mayor tenacidad y mayor resistencia al revenido comparado con el acero rápido tipo M2 y M7

Composición Química:

- Carbono = 1.45%
- Silicio = 0.30%
- Manganeso = 0.30%
- Cromo = 4.30%
- Vanadio = 4.00%
- Wolframio = 5.50%
- Molibdeno = 5.20%

Usos:

Rimas

Cortadores

Fresas

Buriles

Machuelos

Troqueles

Dados

Matrices

Punzones

Rodillos

Cuchillas

Herramienta de formado

Propiedades físicas:

Módulo de elasticidad 214 Gpa

Peso específico 7.97

Densidad 7.97 g/cm³

Tratamientos superficiales:

Nitrurado

Recubrimiento PVD

Tratamientos térmicos aplicables:

Forjado: 1095-1150 °C

Recocido: 870°C a no más de 15°C por hora hasta 540°C

Temple:

Precalentar a 815-845 °C

Temple: 1025-1205 °C

Enfriamiento: al aire o presión positiva 2 bar mínimo debajo de 595°C

Revenido: 3 revenidos a 540°C

Dureza HRC

Temperatura de Revenido	Temperatura de Temple					
	1025°C (1875°F)	1080°C (1975°F)	1120°C (2050°F)	1150°C (2100°F)	1175°C (2150°F)	1205°C (2200°F)
Antes de Revenir	59.5	62.5	64.5	65	65	63.5
540°C (1000°F)	58.5	61	62.5	63.5	65	66
<i>Óptima para máxima tenacidad y relevado de esfuerzos eficiente</i>						
550°C (1025°F)	58	60.5	62	63	64.5	65.5
565°C (1050°F)	57.5	59.5	61	62	63.5	64.5
595°C (1100°F)	54	56	58.5	60	61.5	62.5
620°C (1150°F)	50	53	55	56	58	59
650°C (1200°F)	44	48	51	52	54	55
Tiempo mínimo a Temp. de Temple	45 min.	30 min.	20 min.	15 min.	10 min.	5 min.

Fig. 7 Respuesta al tratamiento térmico SISA Met M4

DIAGRAMA DE REVENIDO

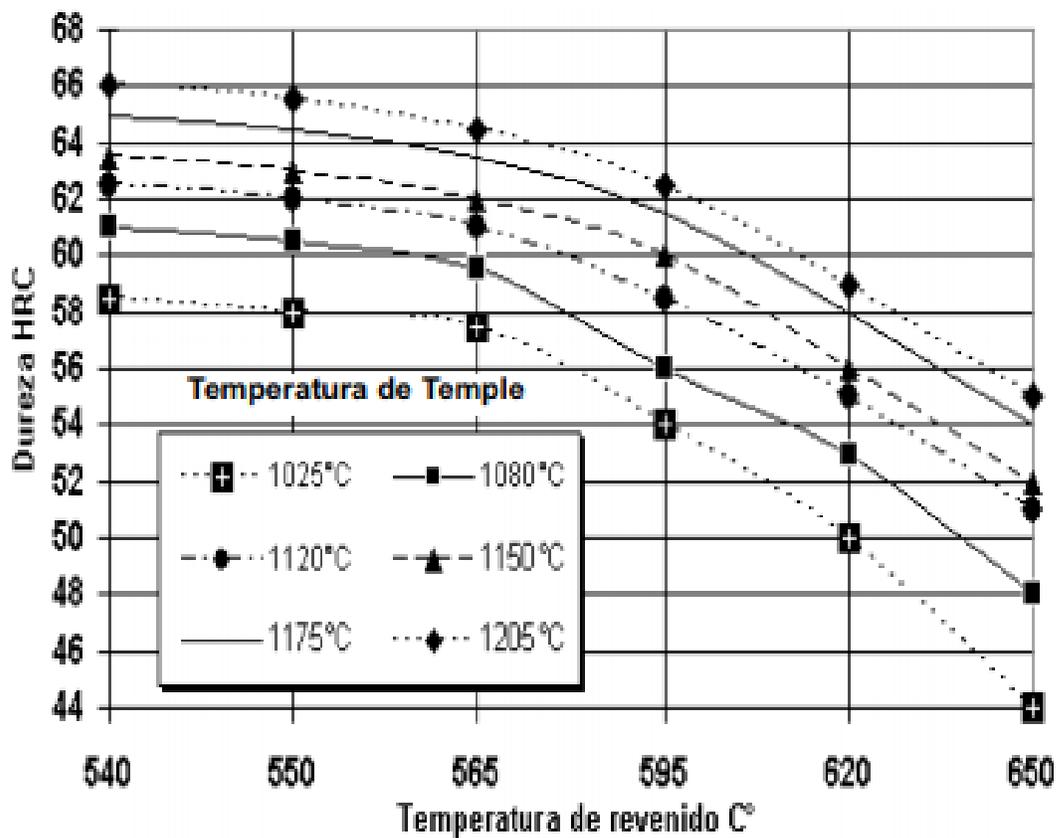


Fig. 8. Diagrama de revenido

Temperatura de Temple		Temperatura de Revenido		Dureza HRC	Charpy C Resistencia al Impacto		Resistencia a Fractura por Cedencia	
°F	°C	°F	°C		ft.-lb.	(J)	ksi	(MPa)
2200	1250	1025	550	65.5	20	27	738	5088
2125	1165	1050	565	63.5	28	38	744	5129

Fig. 9 Tabla dureza, resistencia al impacto y resistencia a la tensión del M4.

Preparación de muestras:

Una vez realizada la selección del material se procede a la compra del mismo, y la presentación de ambos materiales es en barra redonda de ½ pulgada.

Con el fin de tener una experimentación lo más homogénea posible se compra el material por barra completa de 3 m. para cada uno de los aceros; esta experimentación constará de las siguientes etapas:

1 testigo de material sin tratamiento térmico

3 probetas de tensión sin tratamiento térmico

1 testigos con temple-revenido (bonificado).

1 testigo con tratamiento térmico de temple y triple revenido

3 probetas de tensión con tratamiento térmico de temple y triple revenido.

Características de cada muestra:

Testigos:

El testigo de las muestras se templará en un mismo batch junto con las muestras de tensión.

Estas muestras se cortan de la misma barra y se rectificaran (en una rectificadora de superficies), con el objetivo de obtener 2 superficies completamente paralelas y limpias con un buen acabado superficial.

Esto es para poder realizar la toma de durezas en el durómetro sin llegar a generar a una variación o error en las durezas debido a la falta de paralelaje. Si no se obtiene las superficies completamente paralelas y uniformes se tendría una superficie irregular lo cual puede llegar a mover la probeta en la toma de la dureza dando una lectura errónea.

Tratamiento Térmico de Temple.

El temple de ambos materiales se realizó en un horno de mufla.



Fig. 10 Horno de Mufla para temple



Fig. 11 Capsula de acero inoxidable



Fig. 12 Llenado de capsula con coke.



Fig. 13 Colocación de la capsula

Temple acero T15

Se realizó un precalentamiento a 830°C

Temple a 1220 °C durante 45 min

Enfriamiento al aire 25°C

Tres revenidos a 550°C durante 2 horas cada uno

Temple acero M4

Se realizó un precalentamiento a 830°C

Temple a 1175 °C durante 45 min

Enfriamiento Aire 25°C

Tres revenidos a 550°C durante 2 horas cada uno

Secuencia del tratamiento térmico de temple y posterior triple revenido.



Fig. 14 Apertura de horno tras el temple



Fig. 15 Retirado de capsula de temple



Fig. 16 Imagen de la capsula



Fig. 17 Imagen de muestra

Las muestras obtenidas servirán para realizar las metalografías y el ensayo de durezas de ambos aceros T-15 y M-4

Las muestras seleccionadas son porque son las condiciones ingenieriles del uso que se hacen en la fabricación de la industria metal-mecánica.



Fig. 18.- T-15 sin temple



Fig. 19.- T-15 temple y triple revenido



Fig. 20.- M-4 sin temple



Fig. 21.- M-4 temple y triple revenido

ESTUDIO METALGRÁFICO.

Las muestras que se observaron fueron las de los aceros de herramienta T-15, así como del M-4; las condiciones que se determinaron fueron las siguientes: sin tratamiento térmico y temple con triple revenido. El estudio metalográfico se realizó con un microscopio Olympus a 3 aumentos que fueron: 200X, 600X y 800X de cada una de las muestras y cuyas observaciones se presentan en figuras de microfotografías.



Fig. 22.- Microscopio Olympus



Fig. 23.- Cámara Sony

Para la metalografía se tomaron fotografías con una cámara Sony, realizando tomas de las mismas regiones a diferentes aumentos. Los primeros resultados que se obtuvieron fueron los de la metalografía, a 200X con el microscopio metalográfico.

Esta investigación experimental se inicia con el estudio de metalografía, para determinar el tipo de estructura de los dos aceros de herramienta.

Las figuras de la 37 a la 45 son las fotografías tomadas a los aumentos antes mencionados de la muestra del acero T-15, en las condiciones originales de la muestra o sea sin tratamiento térmico.

Las figuras de la 46 a la 54 son las fotografías de la muestra del acero T-15 con el tratamiento de bonificado o sea con el tratamiento térmico de temple y después con un tratamiento de revenido.

Las figuras de la 55 a la 63 son las fotografías de la muestra del acero T-15 con el tratamiento térmico de temple y después con un tratamiento de triple revenido.

ORIGINAL DEL ACERO T-15 SIN TRATAMIENTO TÉRMICO



Fig. 24.- fotografía 1 200X

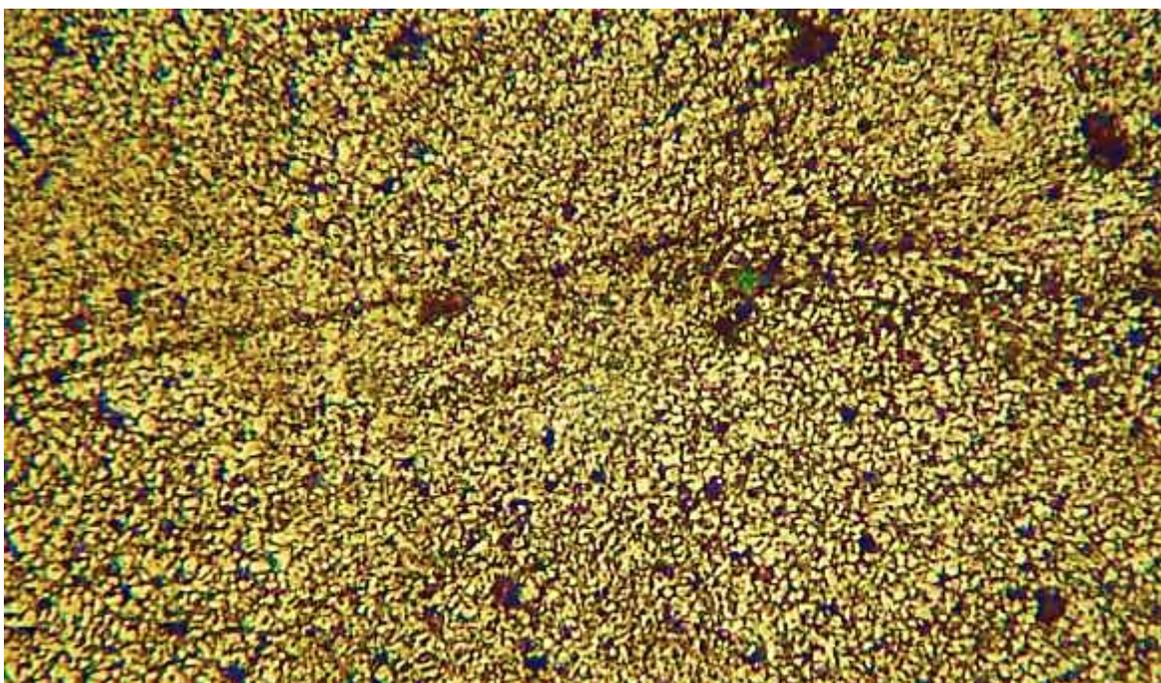


Fig. 25.- Fotografía 2 200X

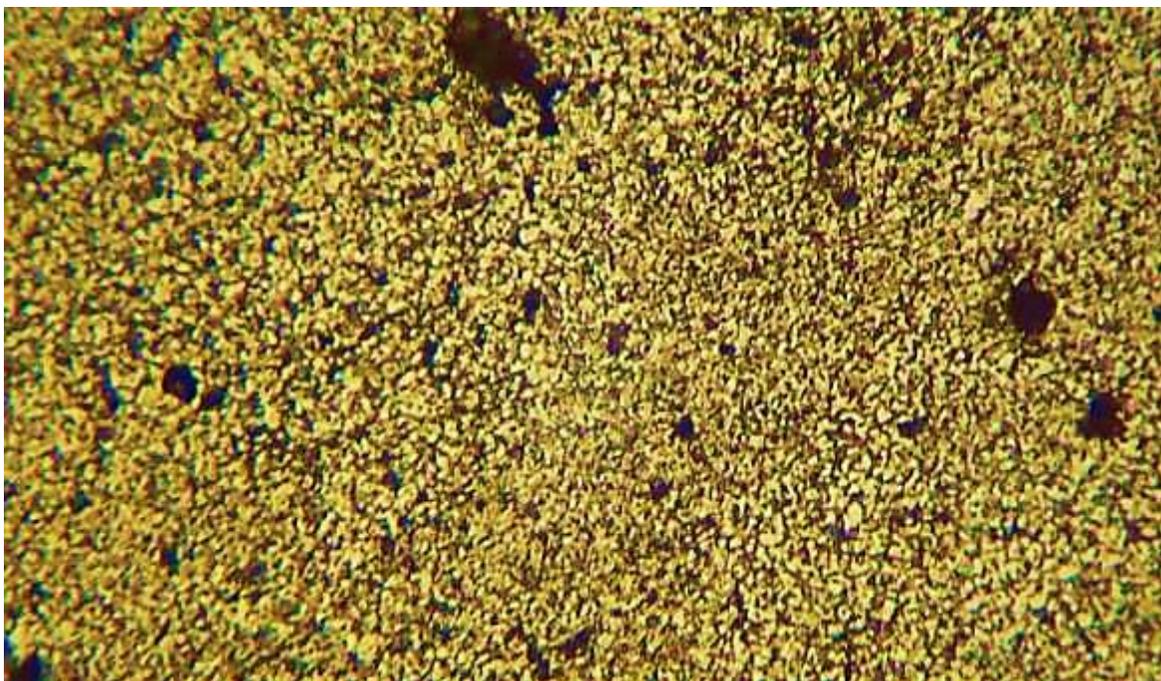


Fig. 26.- Fotografía 3 200X

Las figuras 24, 25 y 26 presentan las fotografías 1, 2 y 3 con un aumento de 200X de la estructura del acero T-15 en condiciones originales, las cuales muestran un tipo de granos pequeños con cierta uniformidad y de morfologías diferentes, el tamaño se puede estimar menor a 10 de la ASTM, también presente huecos de diferentes tamaños y forma

TOGRAFÍAS A 600X

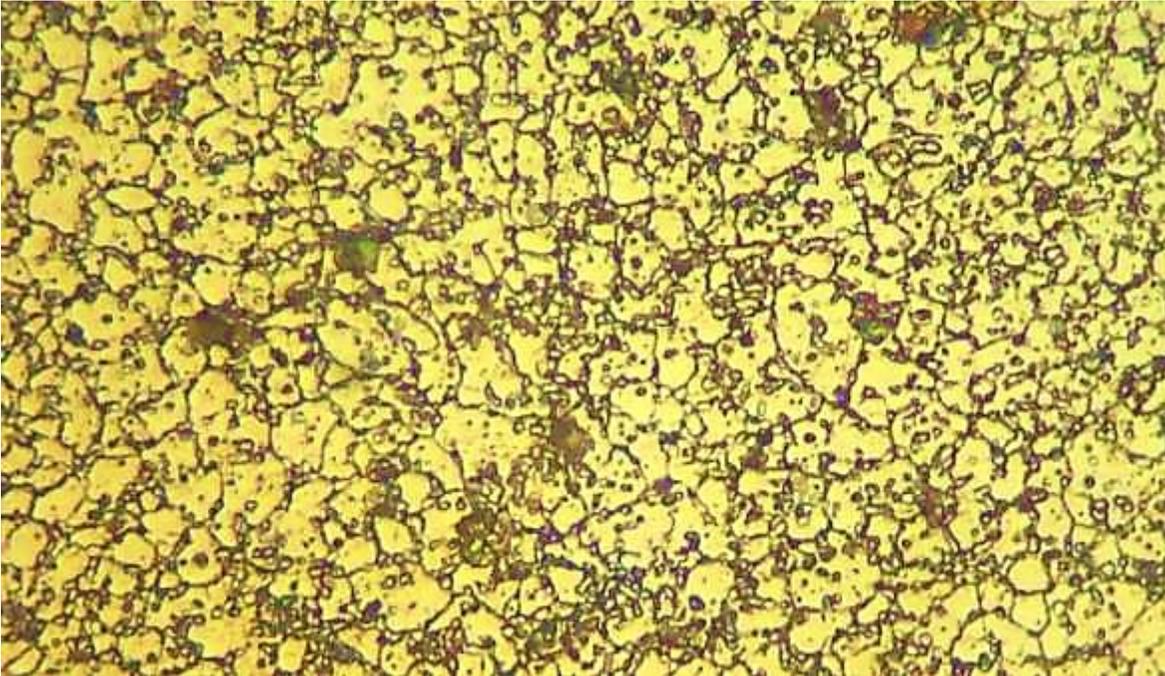


Fig. 27.- Fotografía 4 600X

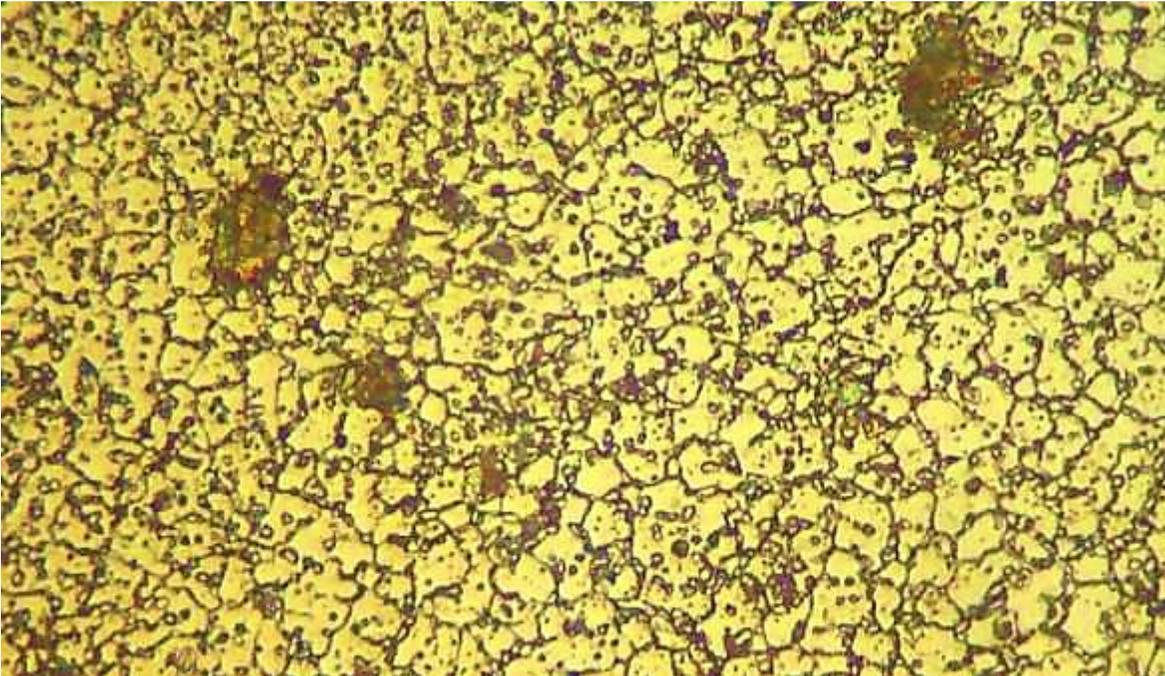


Fig. 28.- Fotografía 5 600X

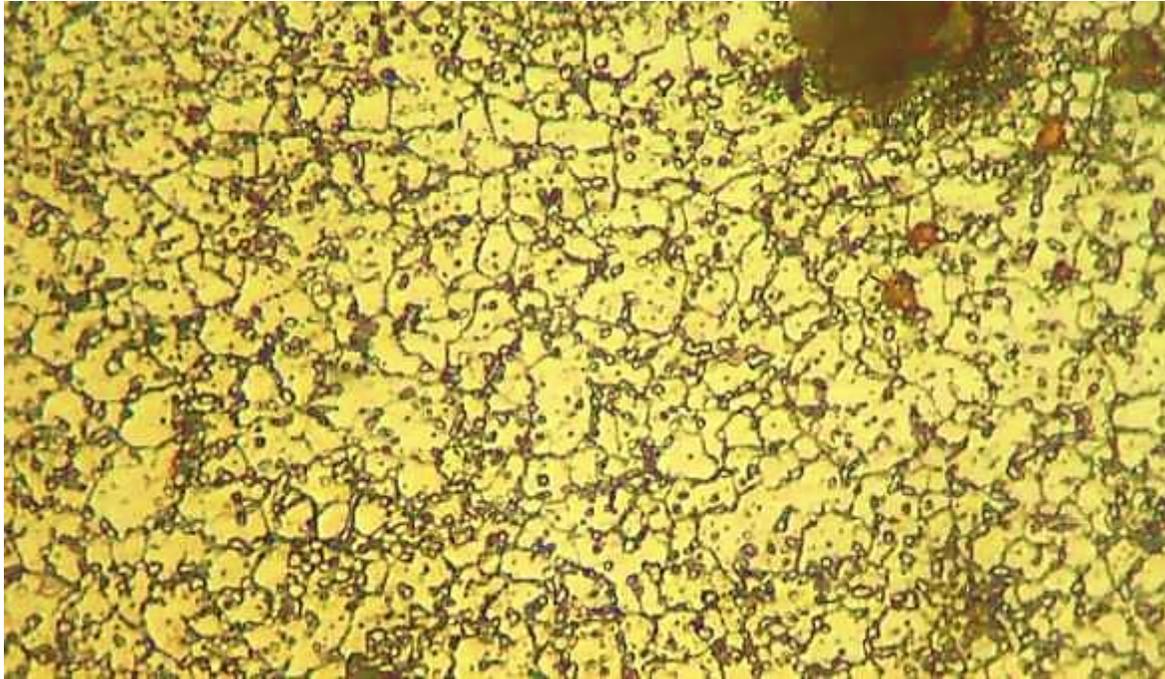


Fig. 29.- Fotografía 6 600X

Las figuras 27, 28 y 29 presentan las fotografías 4, 5 y 6 con aumento de 600X muestran una estructura cristalina equiaxial que se pueden considerar como la matriz del acero de tipo ferrítico, también aparece la presencia de carburos globulares tanto intercristalinos como transcristalinos, es de hacer notar que los intercristalinos son los de mayor abundancia, también existe manchas de oxidación por el tipo de ataque electrolítico.

FOTOGRAFIAS A 800X

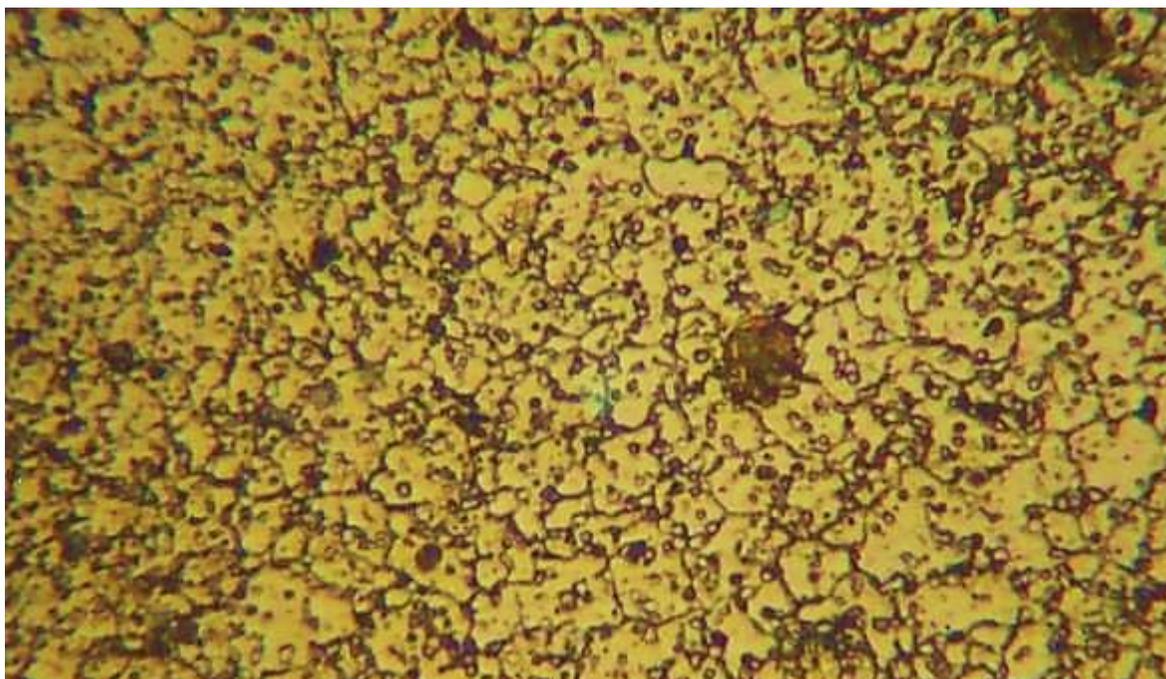


Fig. 30.- Fotografía 7 800X

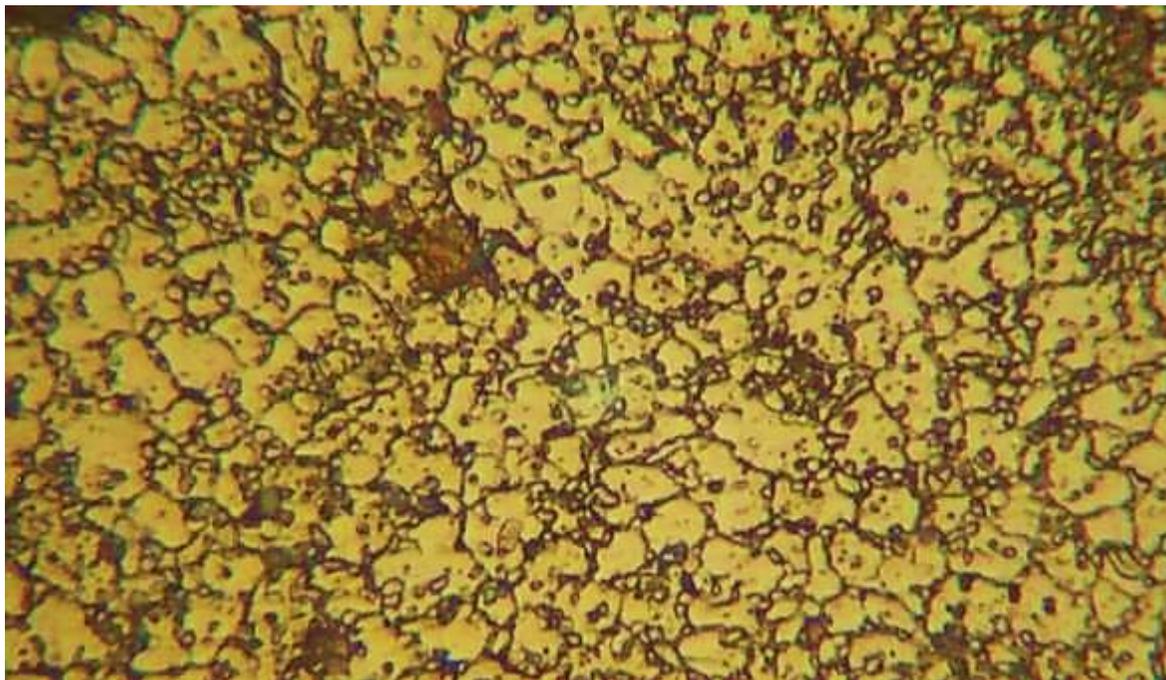


Fig. 31.- Fotografía 8 800X

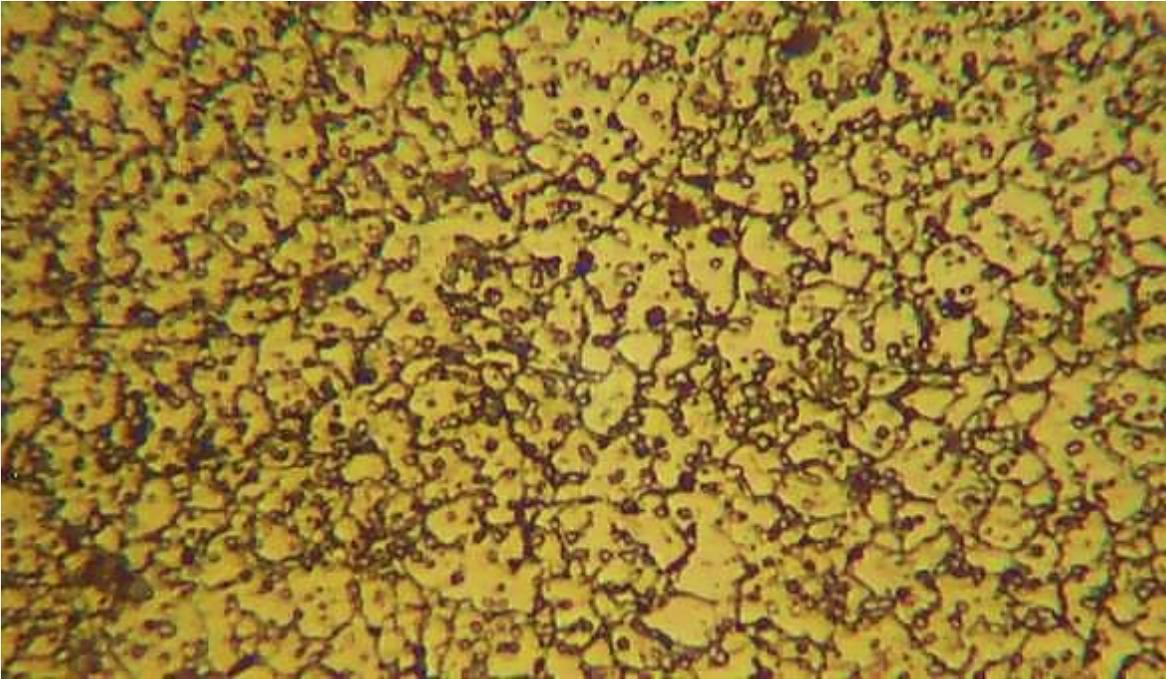


Fig. 32.- Fotografía 9 800X

Las figuras 30, 31 y 32 presentan las fotografías 7, 8 y 9 con aumento de 800X la de una estructura cristalina equiaxial que se pueden considerar como la matriz del acero ferrítico, las cuales muestran con mayor claridad la presencia de los carburos globulares, así como la estructura equiaxial con una cierta homogeneidad de la misma, del acero T-15 en estado original o sea sin tratamiento térmico.

ACERO T-15 BONIFICADO (TEMPLE-REVENIDO)



Fig. 33.- Fotografía 10 200X



Fig. 34.- Fotografía 11 200X

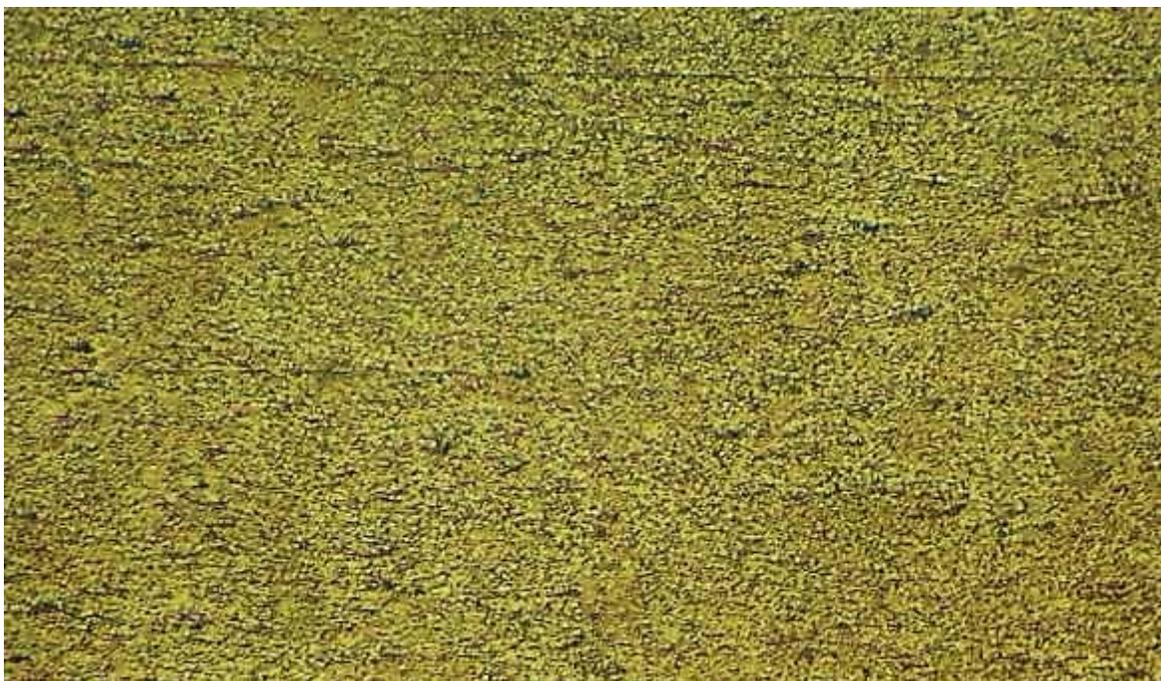


Fig. 35.- Fotografía 12 200X

Las figuras 33, 34 y 35 presentan las fotografías 10, 11 y 12 con aumento de 200X una estructura con una gran cantidad de carburos globulares en su mayoría, en una matriz no definida, también presenta huecos de diferentes tamaños y formas.

FOTOGRAFÍAS A 600X

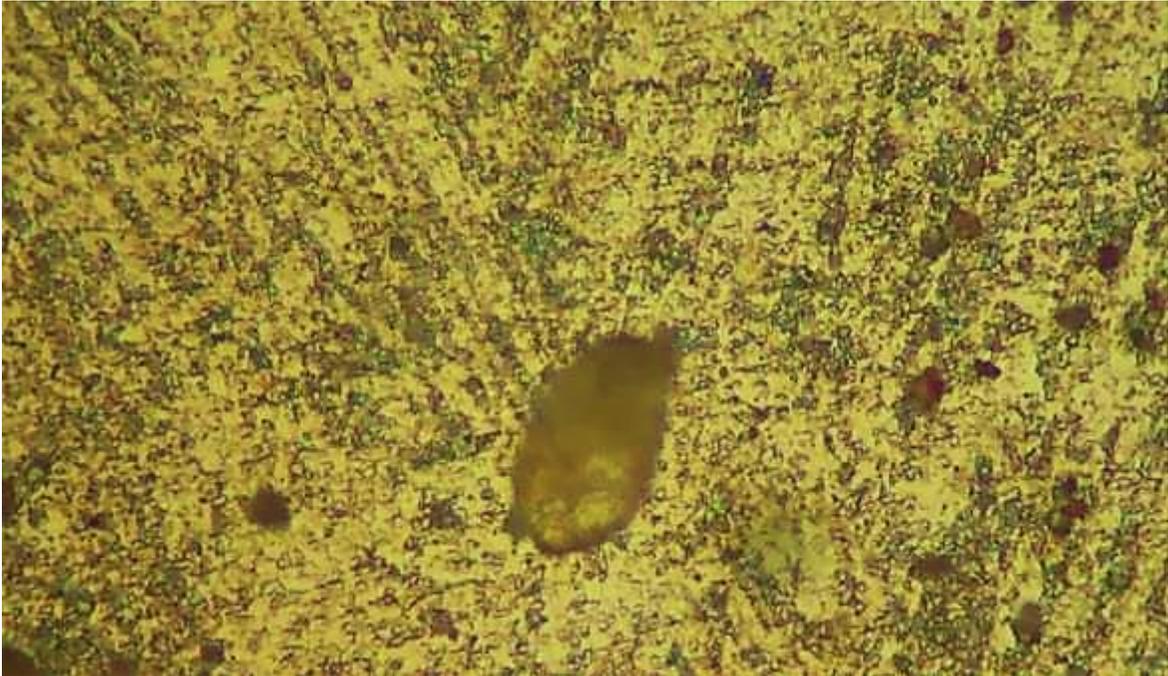


Fig. 36.- Fotografía 13 600X

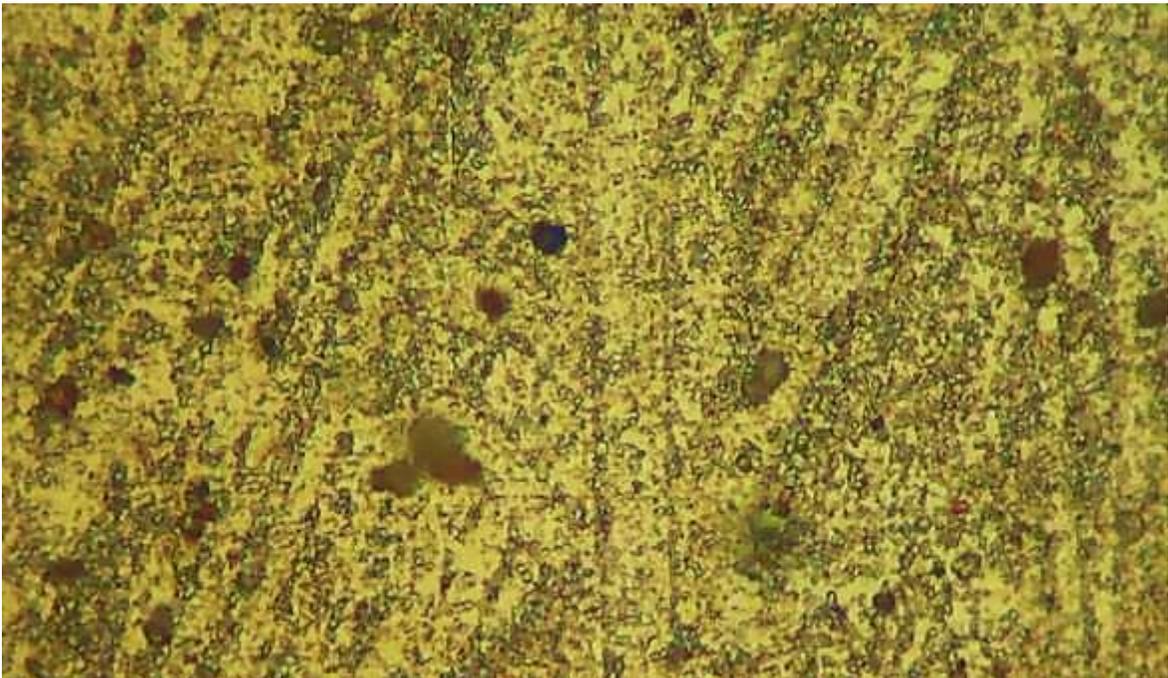


Fig. 37.- Fotografía 14 600X

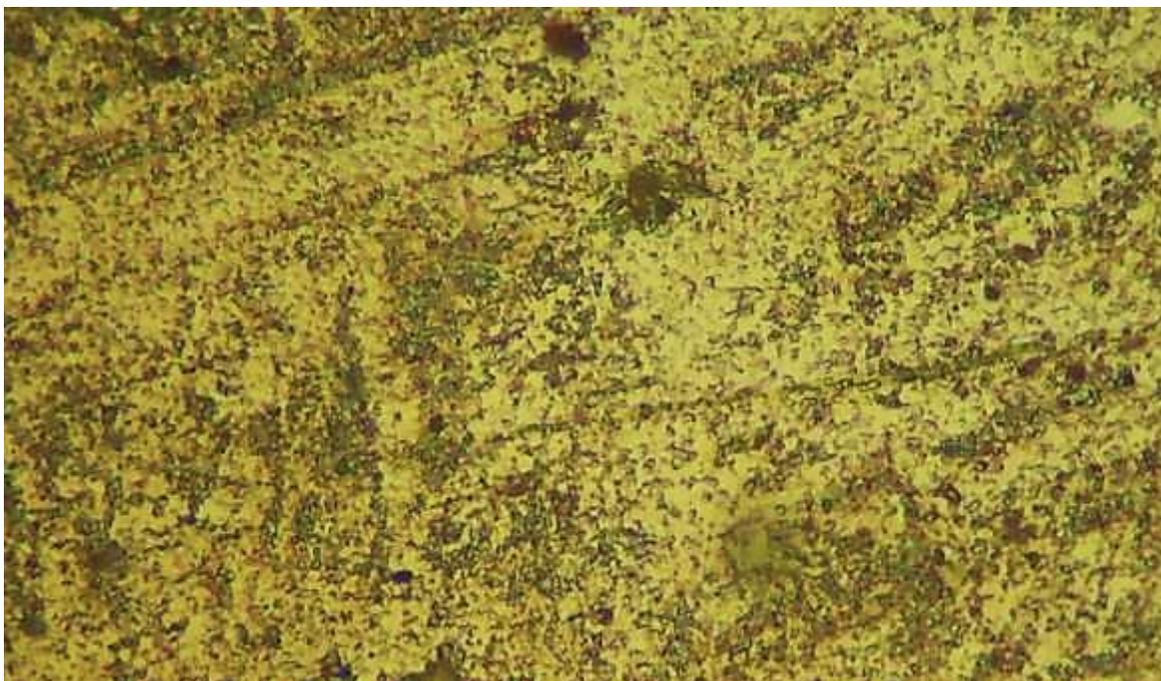


Fig. 38.- Fotografía 15 600X

Las figuras 36, 37 y 38 presentan las fotografías 13, 14 y 15 con aumento de 600X una estructura cristalina de martensita revenida que se pueden considerar como la matriz del acero T-15, también aparece la presencia de gran cantidad de carburos globulares en el interior de la martensita, es la estructura característica de la martensita revenida, también existe manchas de oxidación por el tipo de ataque electrolítico, así como huecos que pueden ser provocados por el desprendimiento de carburos o del polvo del acero original.

FOTOGRAFÍAS A 800X

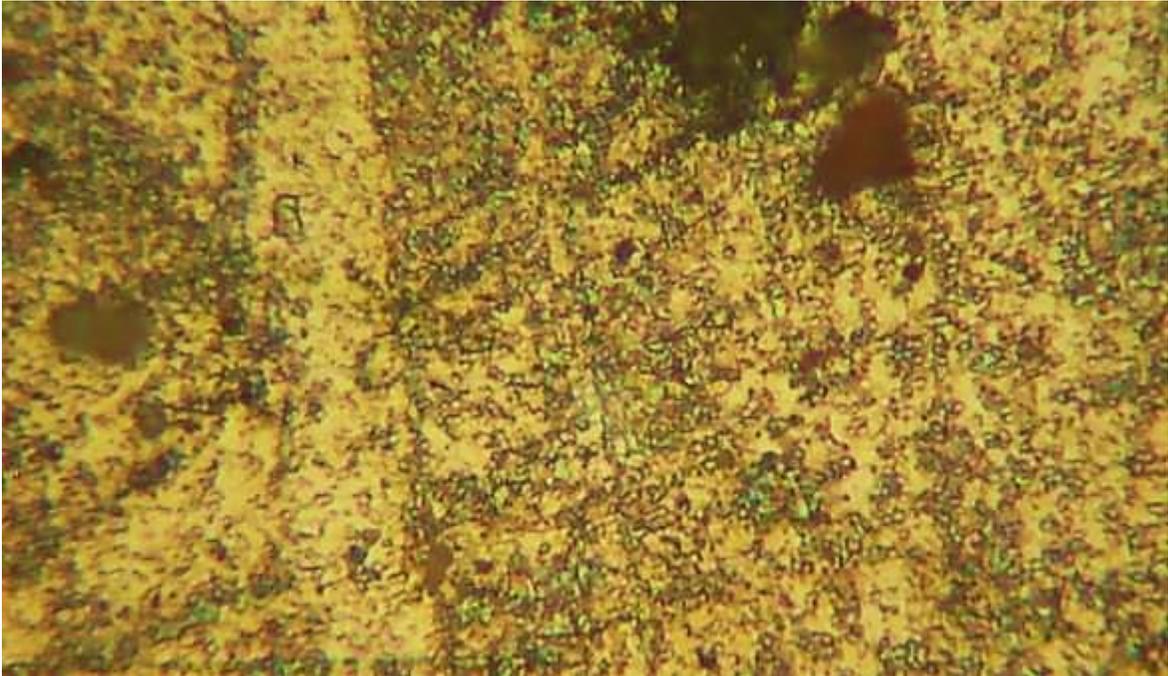


Fig. 39.- Fotografía 16 800X

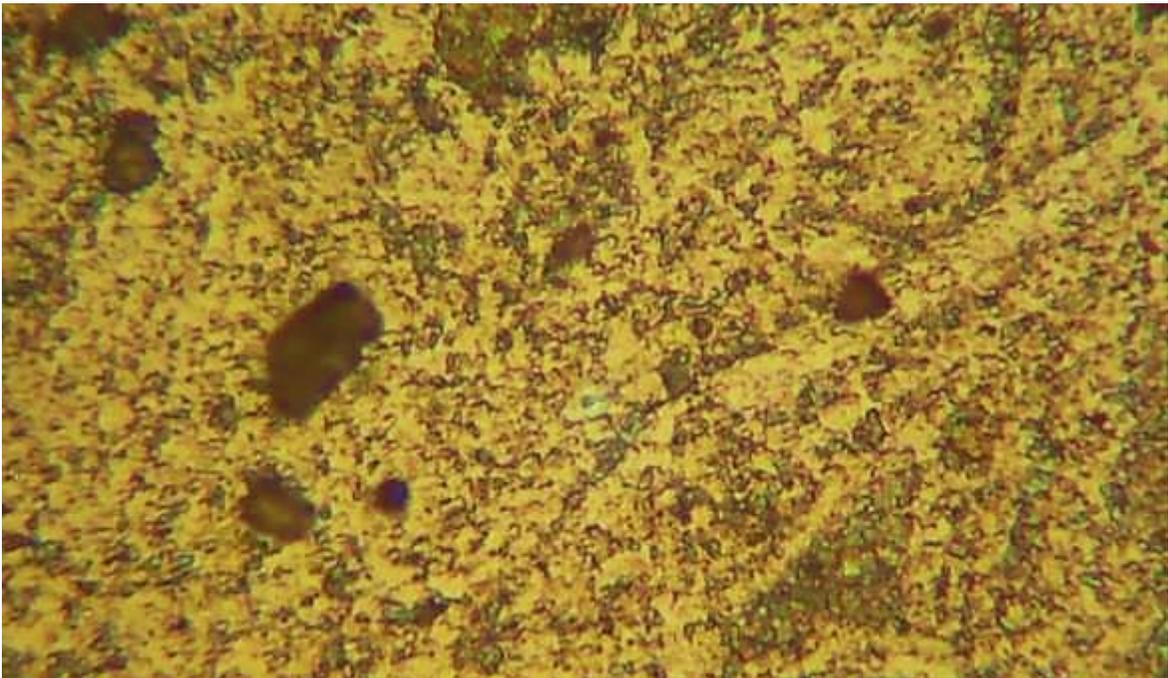


Fig. 40.- Fotografía 17 800X

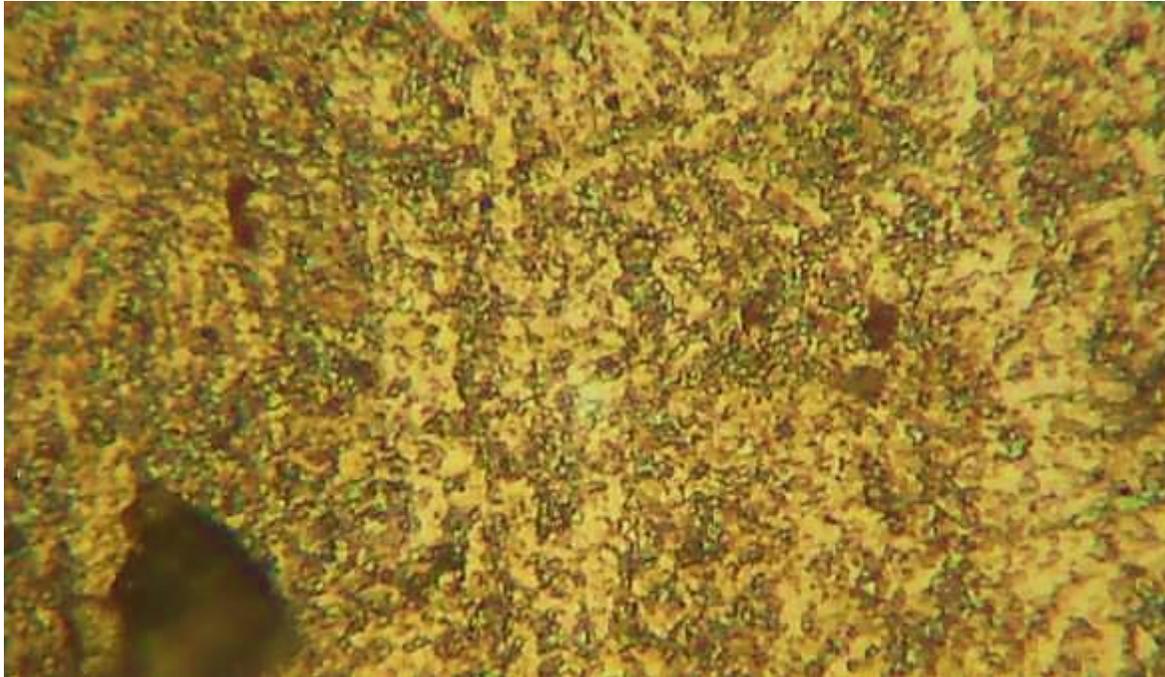


Fig. 41.- Fotografía 18 800X

Las figuras 39, 40 y 41 presentan las fotografías 16, 17 y 18 con aumento de 800X. Muestran con mayor claridad la estructura cristalina de una martensita revenida; esto quiere decir la presencia de una morfología de martensita con la precipitación de carburos globulares en su interior, también se observan con claridad la presencia de estos carburos globulares, así como la presencia de huecos y algunas impurezas en el acero T-15 bonificado.

ACERO T-15 CON TEMPLE Y TRIPLE REVENIDO.



Fig. 42.- Fotografía 19 200X.



Fig. 43.- Fotografía 20 200X.



Fig. 44.- Fotografía 21 200X.

Las figuras 42, 43 y 44 presentan las fotografías 19, 20 y 21 con aumento de 200X muestran una estructura con una gran cantidad de carburos globulares, además de carburos de forma irregular conocidos como carburos masivos, ambos do tipos de carburos son muy abundantes, en una matriz de ferrita y también presenta huecos de diferentes tamaños y formas.

FOTOGRAFÍAS A 600X.



Fig. 45.- Fotografía 22 600X.

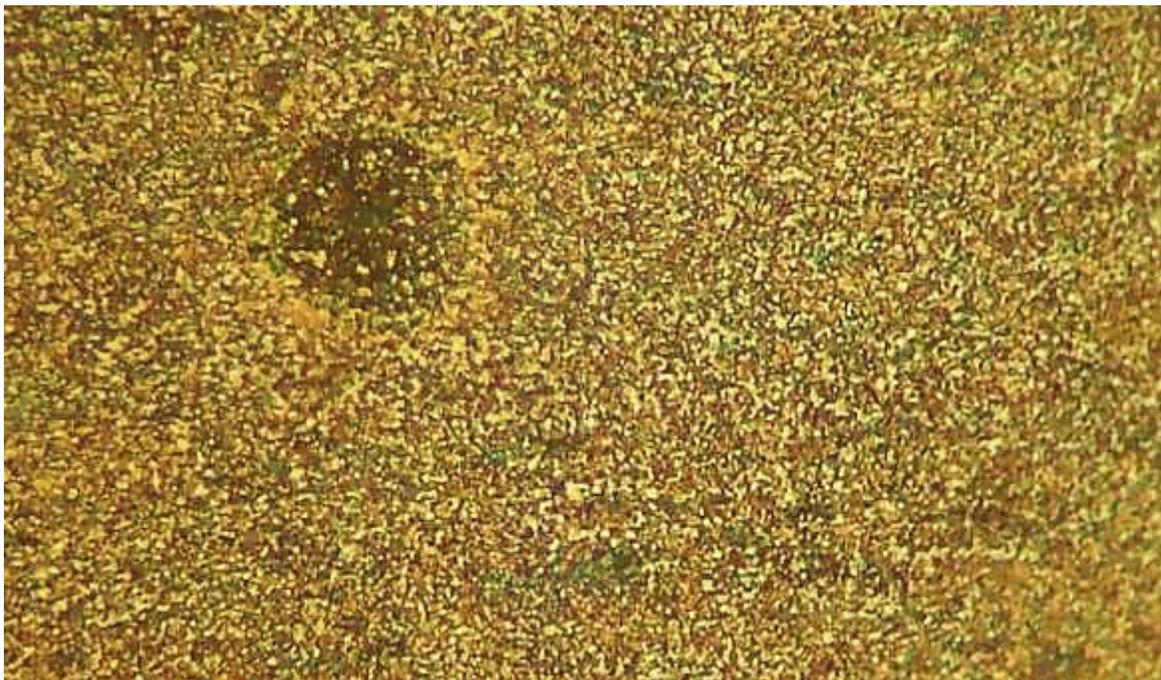


Fig. 46.- Fotografía 23 600X.



Fig. 47.- Fotografía 24 600X.

Las figuras 45, 46 y 47 presentan las fotografías 22, 23 y 24 con aumento de 600X que muestran una estructura básicamente formada por una gran cantidad de carburos y a estos aumentos se distingue en forma clara la presencia de una mayoría de carburos masivos, así como la de carburos globulares, también existen pocos huecos que pueden ser provocados por el desprendimiento de carburos o del polvo del acero original.

FOTOGRAFÍAS A 800X.

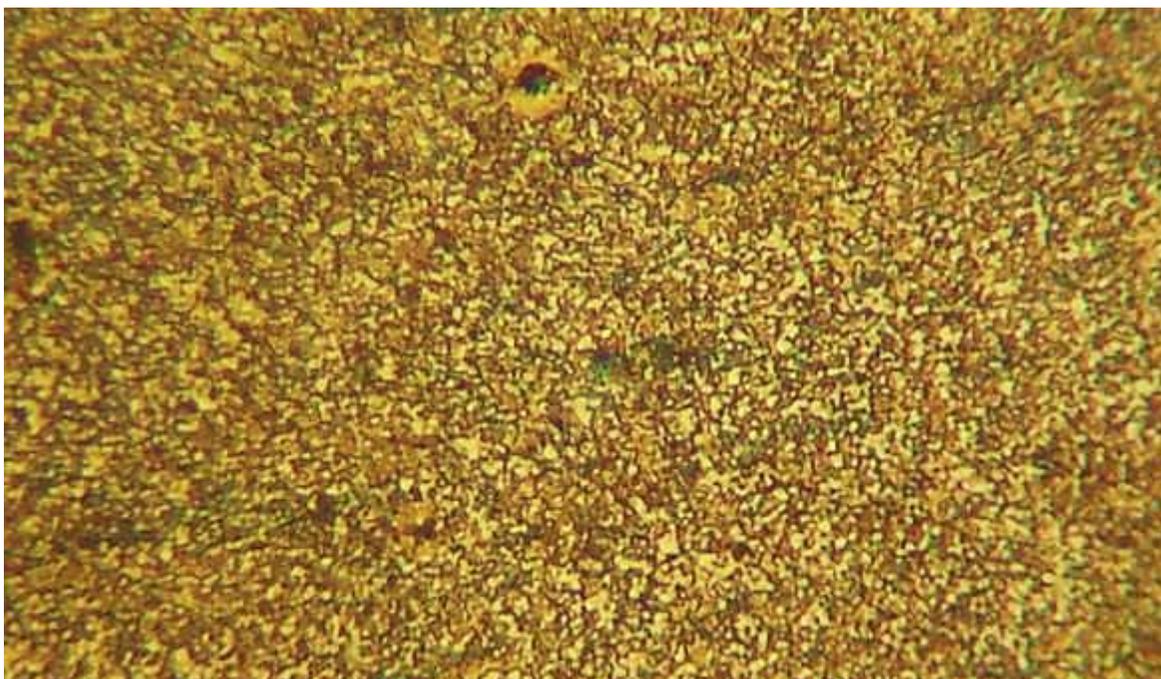


Fig. 48.- Fotografía 25 800X.

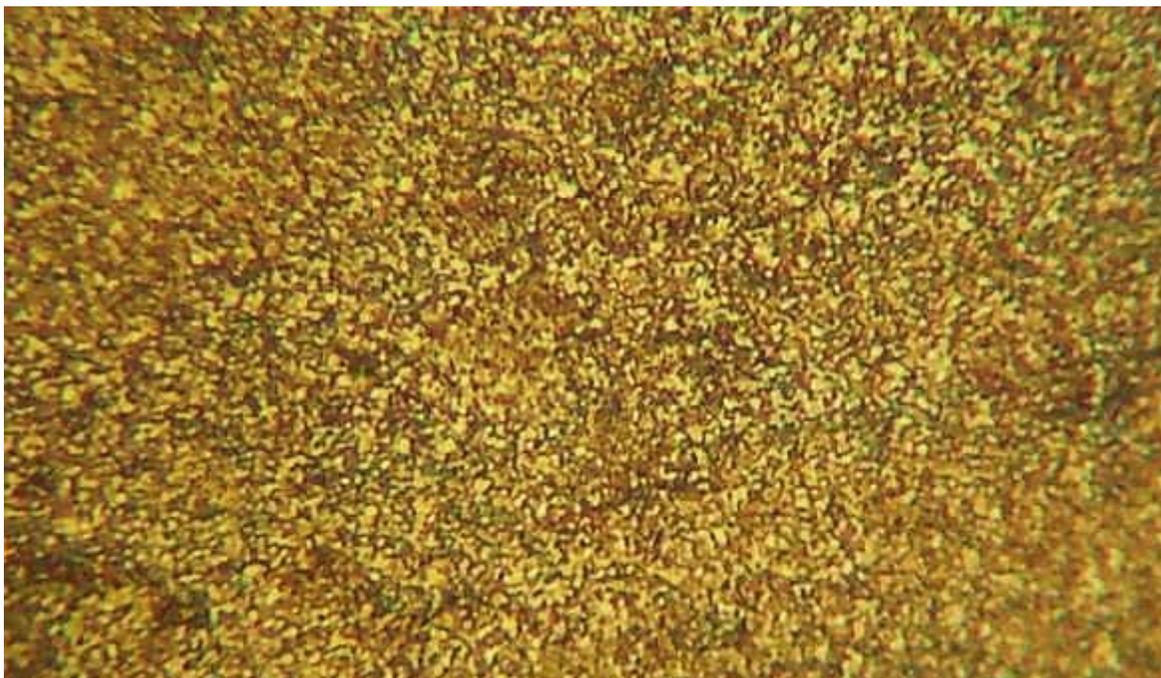


Fig. 49.- Fotografía 26 800X.

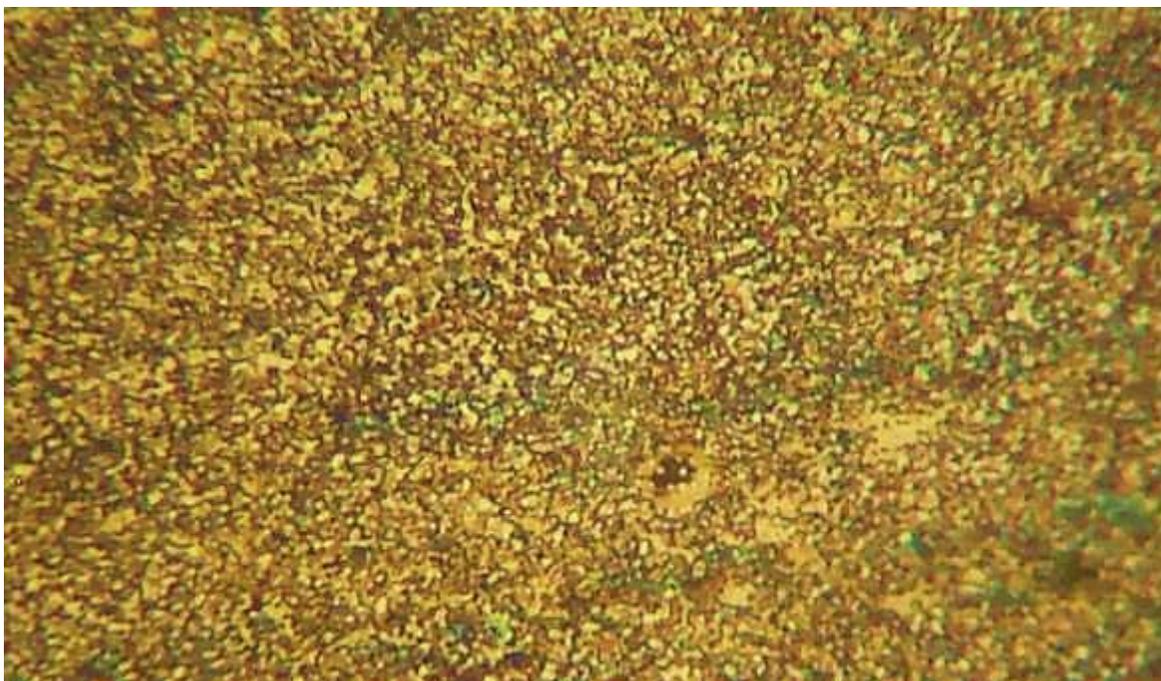


Fig. 50.- Fotografía 27 800X.

Las figuras 48, 49 y 50 presentan las fotografías 25, 26 y 27 con aumento de 800X que muestran una estructura básicamente formada por una gran cantidad de carburos y a estos aumentos se confirma en forma clara la presencia de una mayoría de carburos masivos, así como la de carburos globulares, también existen pocos huecos que pueden ser provocados por el desprendimiento de carburos o del polvo del acero original T-15.

ORIGINAL DEL ACERO M-4 SIN TRATAMIENTO TÉRMICO



Fig. 51.- Fotografía 28 200X.

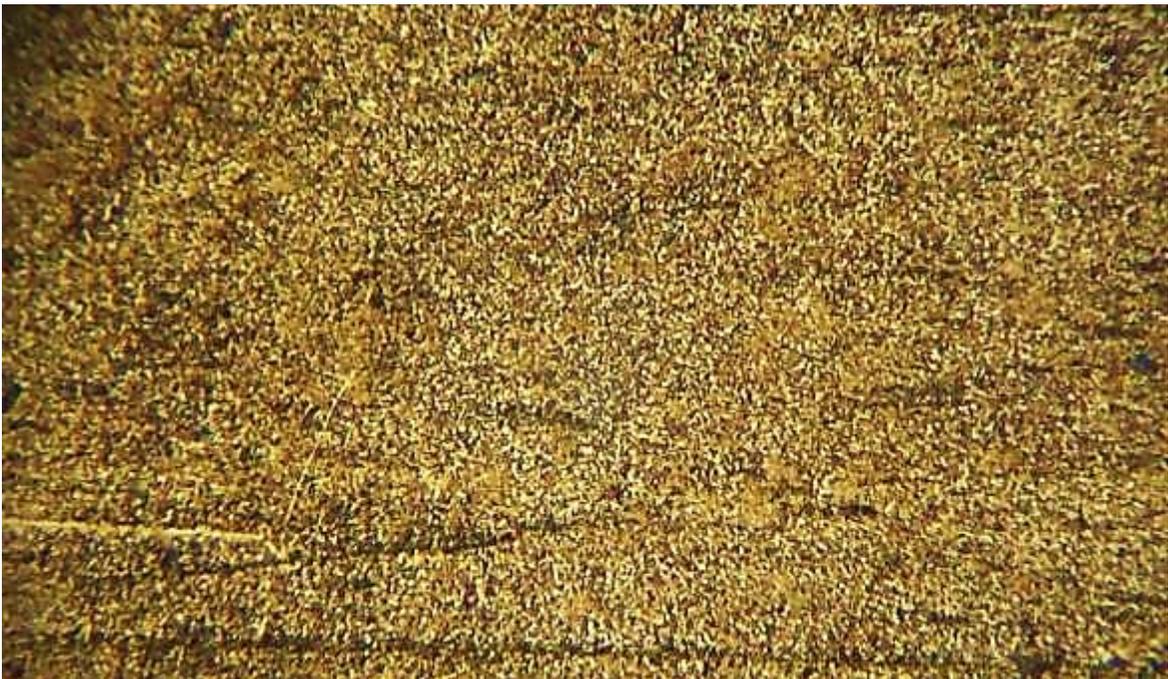


Fig. 52.- Fotografía 29 200X.

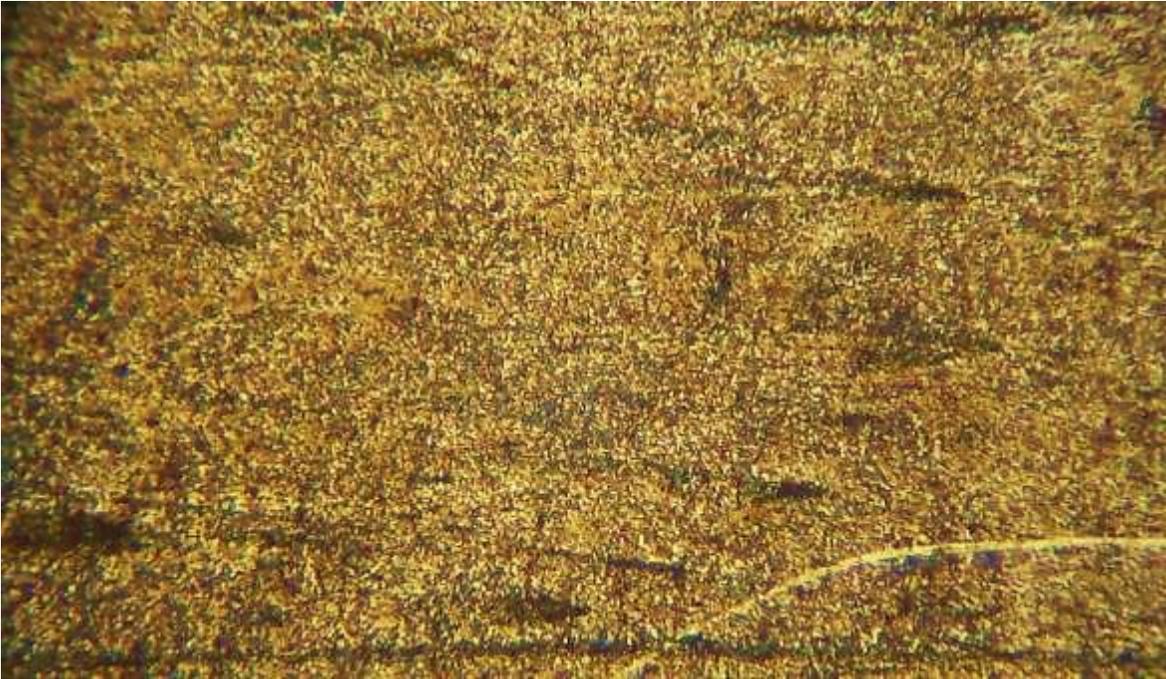


Fig. 53.- Fotografía 30 200X.

Las figuras 51, 52 y 53 presentan las fotografías 28, 29 y 30 con un aumento de 200X de la estructura del acero M-4 en condiciones originales, las cuales muestran un precipitado globular de posibles carburos, el tamaño se puede estimar menor a 10 de la ASTM, también presente huecos de diferentes tamaños y forma

FOTOGRAFÍAS A 600X.

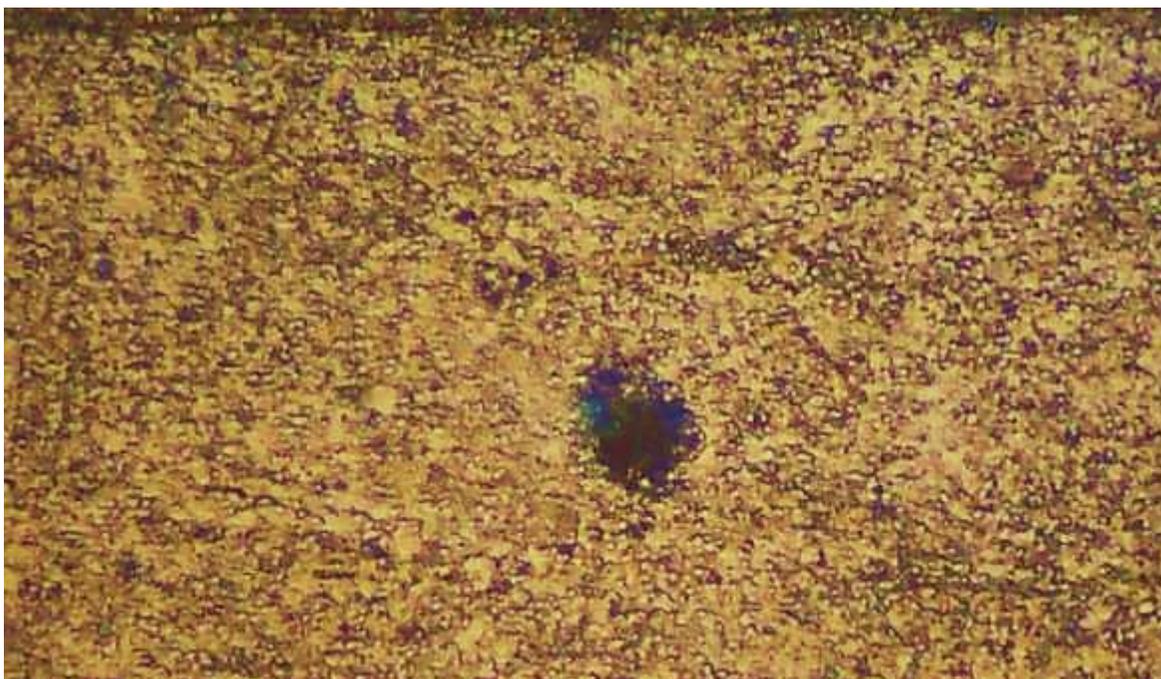


Fig. 54.- Fotografía 31 600X.



Fig. 55.- Fotografía 32 600X.

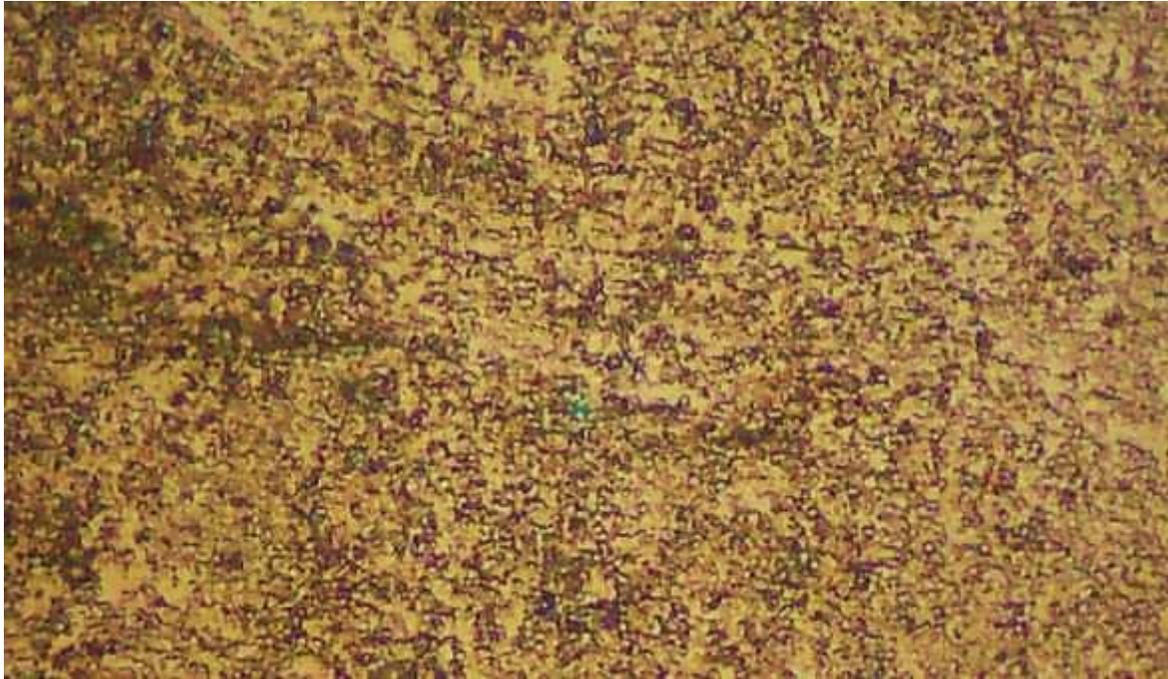


Fig. 56.- Fotografía 33 600X.

Las figuras 54, 55 y 56 presentan las fotografías 31, 32 y 33 con aumento de 600X muestran una estructura cristalina que se pueden considerar como la matriz del acero de tipo ferrítico, también aparece la presencia de carburos globulares muy pequeños.

FOTOGRAFÍAS A 800X.

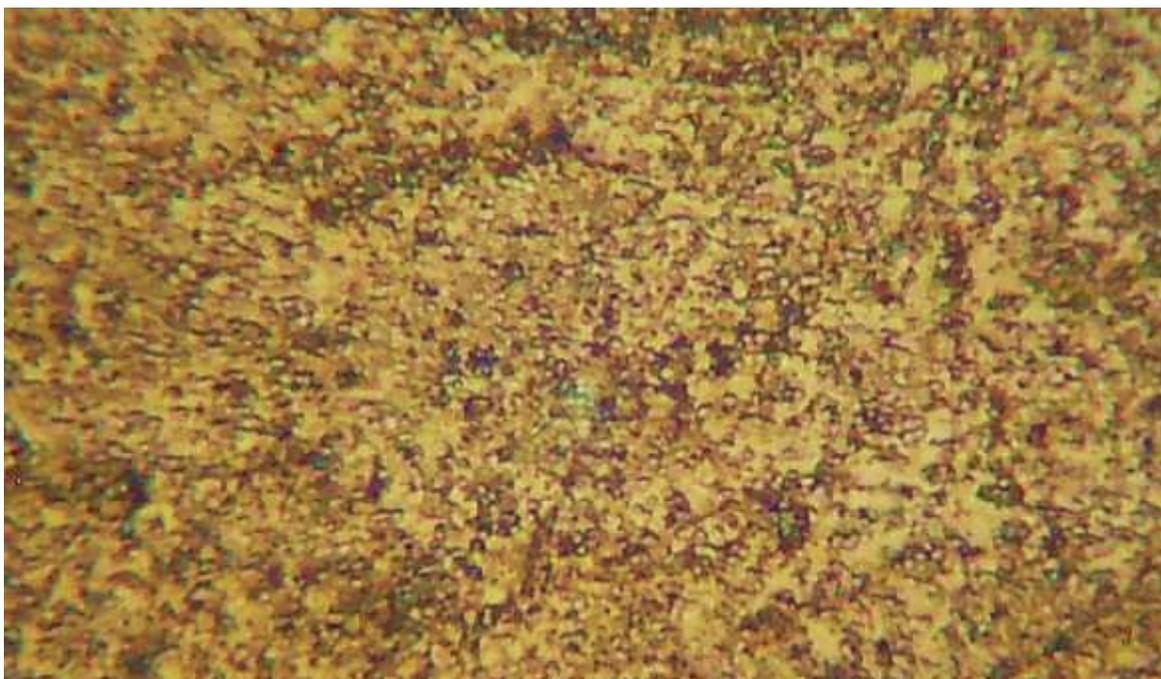


Fig. 57.- Fotografía 34 800X.

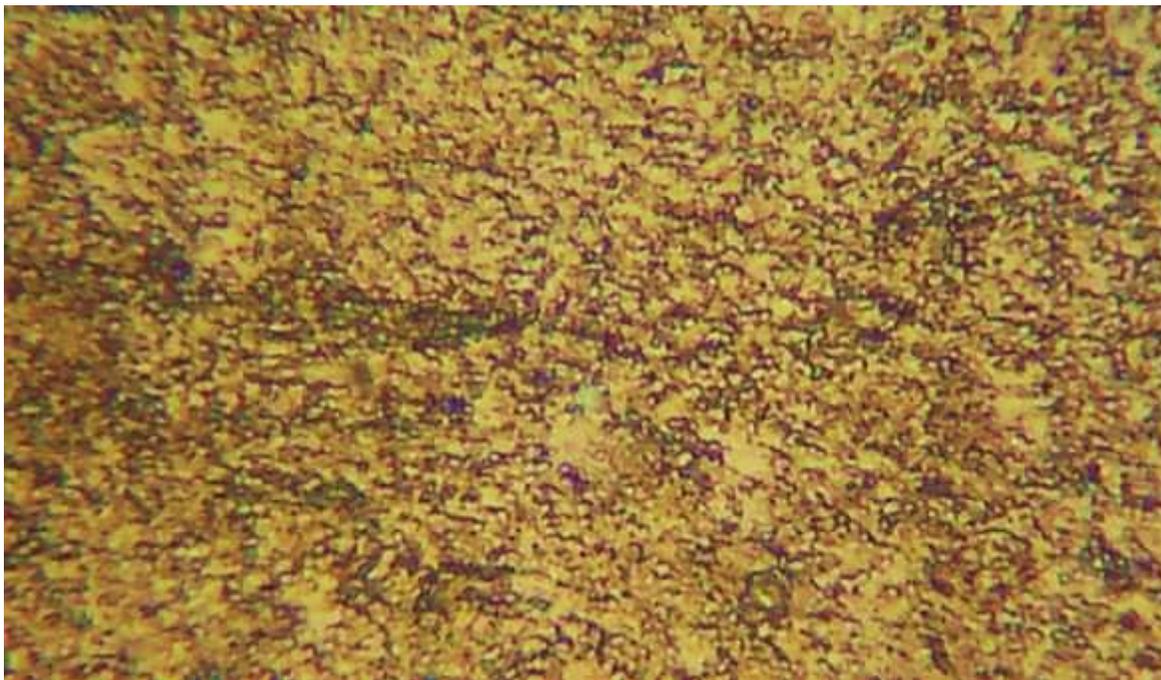


Fig. 58.- Fotografía 35 800X.

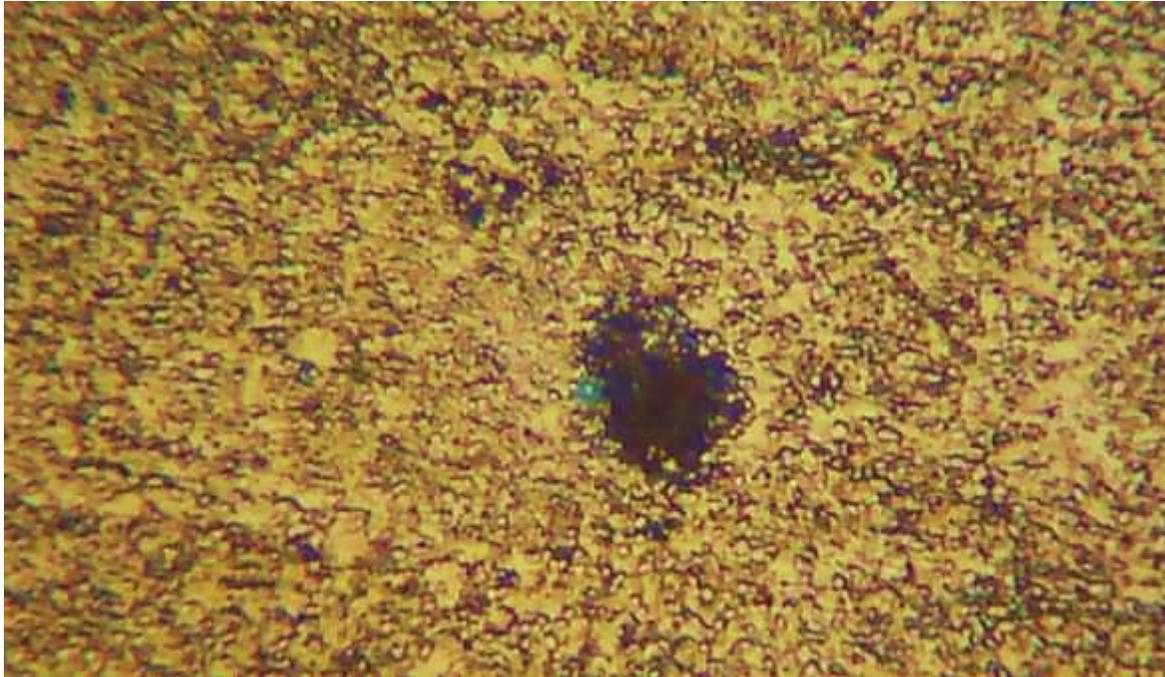


Fig. 59.- Fotografía 36 800X.

Las figuras 57, 58 y 59 presentan las fotografías 34, 35 y 36 con aumento de 800X se corrobora la presencia de una estructura cristalina que se pueden considerar como la matriz del acero ferrítico, también se observa con mayor claridad la presencia de los carburos globulares.

ACERO M-4 BONIFICADO (TEMPLE-REVENIDO)



Fig. 60.- Fotografía 37 200X.



Fig. 61.- Fotografía 38 200X.

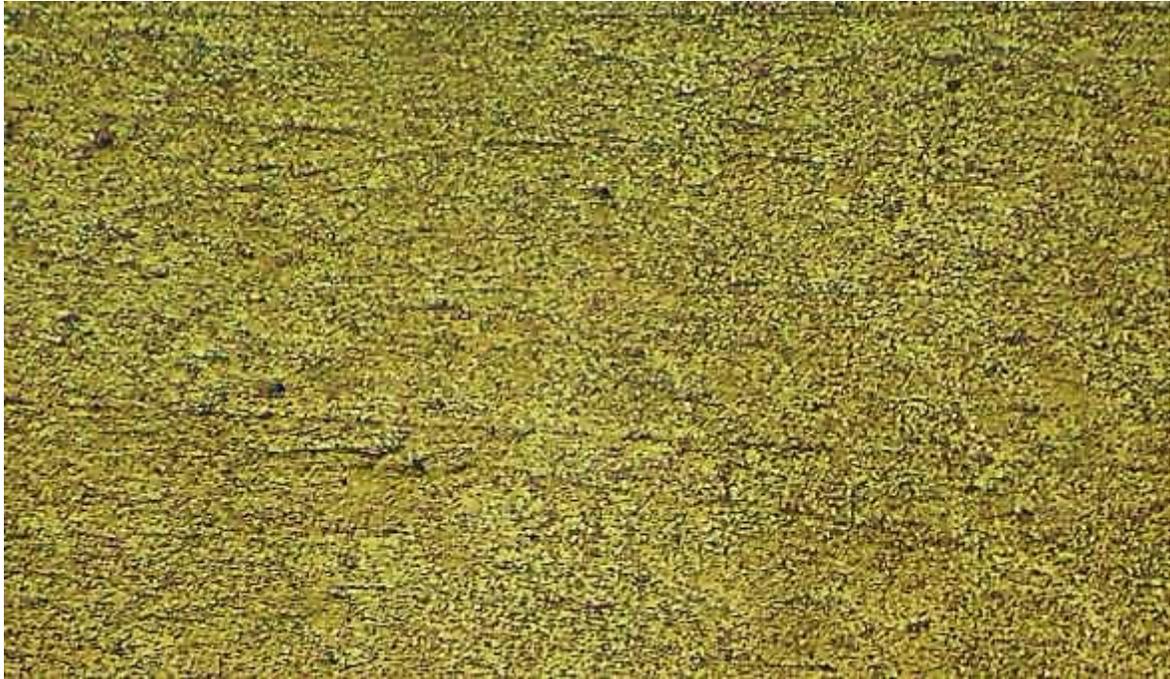


Fig. 62.- Fotografía 39 200X.

Las figuras 60, 61 y 62 presentan las fotografías 37, 38 y 39 con un aumento de 200X de la estructura del acero M-4 en condiciones de bonificado, las cuales muestran un precipitado globular de carburos, el tamaño se puede estimar menor a 10 de la ASTM, también presente huecos de diferentes tamaños y forma

FOTOGRAFÍAS A 600X.

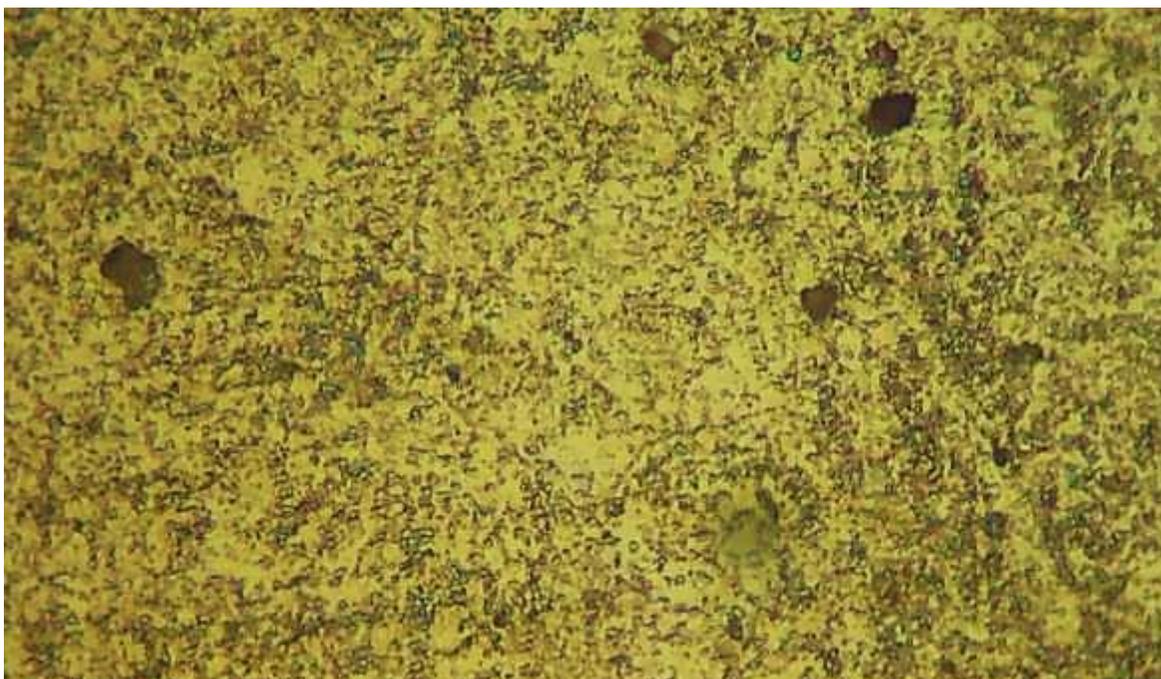


Fig. 63.- Fotografía 40 600X.

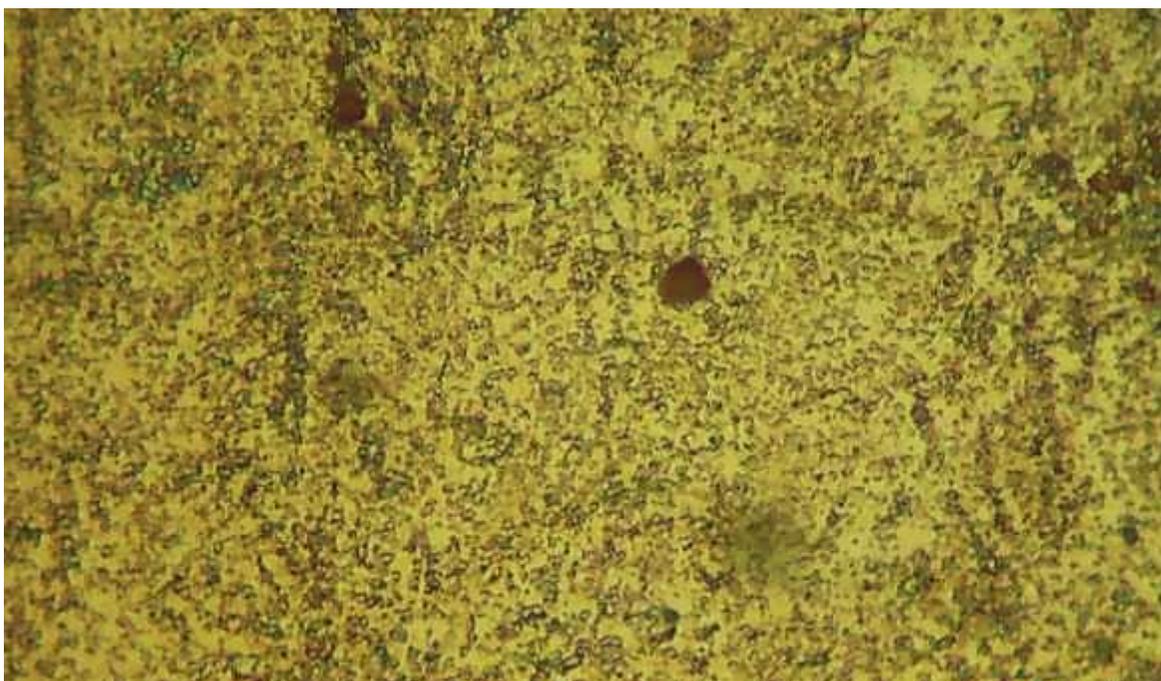


Fig. 64.- Fotografía 41 600X.

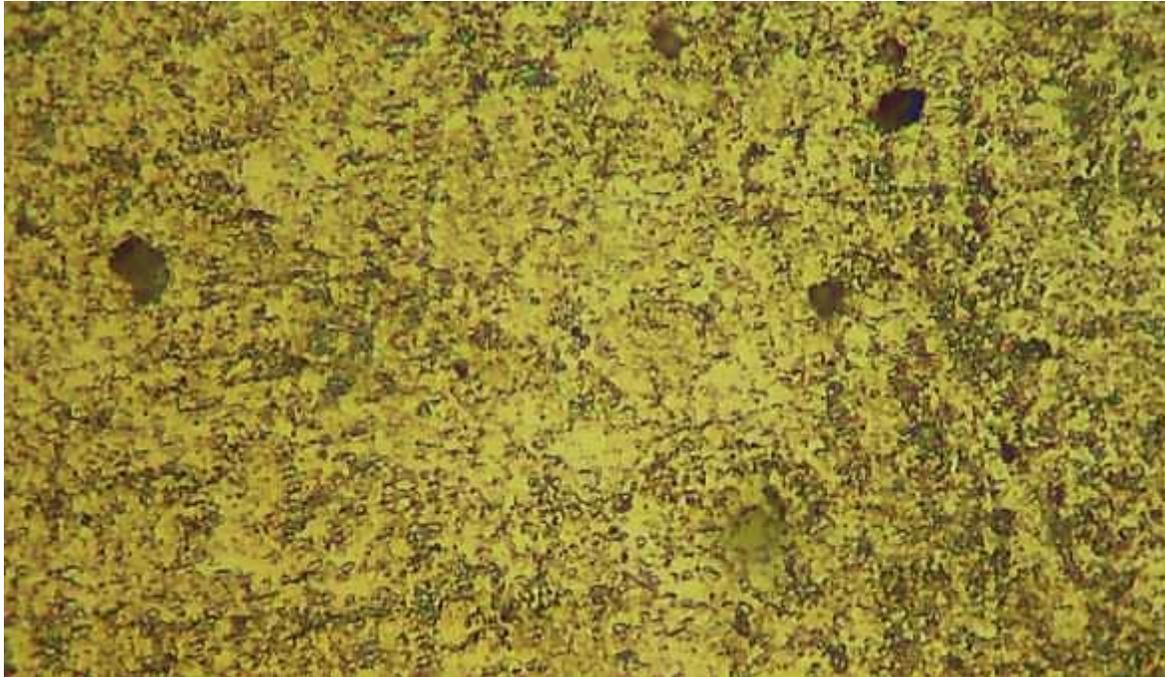


Fig. 65.- Fotografía 42 600X.

Las figuras 63, 64 y 65 presentan las fotografías 40, 41 y 42 con aumento de 600X muestran una estructura cristalina que se pueden considerar como la matriz del acero de tipo ferrítico, ya que la martensita revenida esta poco definida, también existe la presencia de carburos globulares muy pequeños.

FOTOGRAFÍAS A 800X.

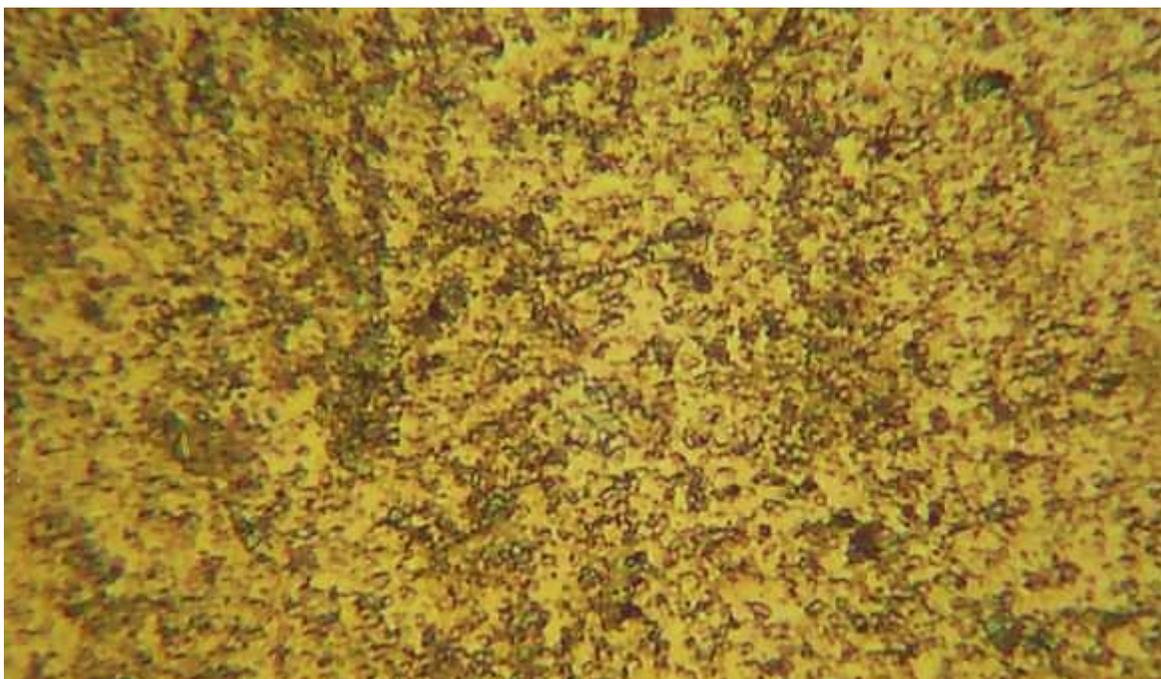


Fig. 66.- Fotografía 43 800X.

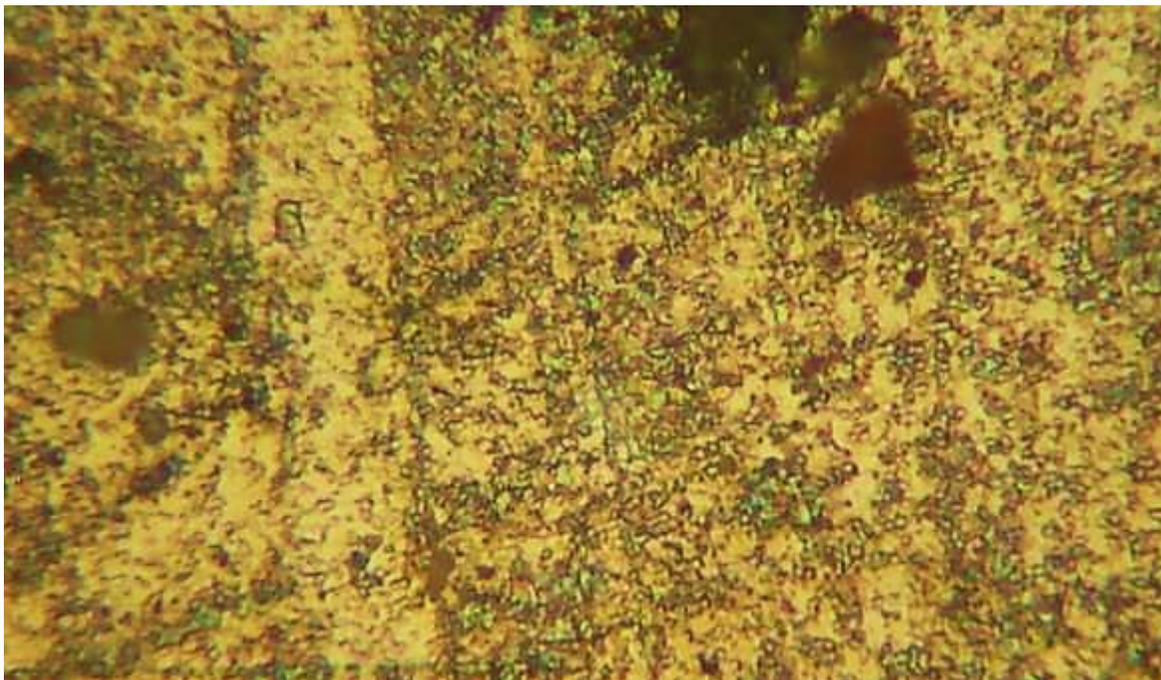


Fig. 67.- Fotografía 44 800X.

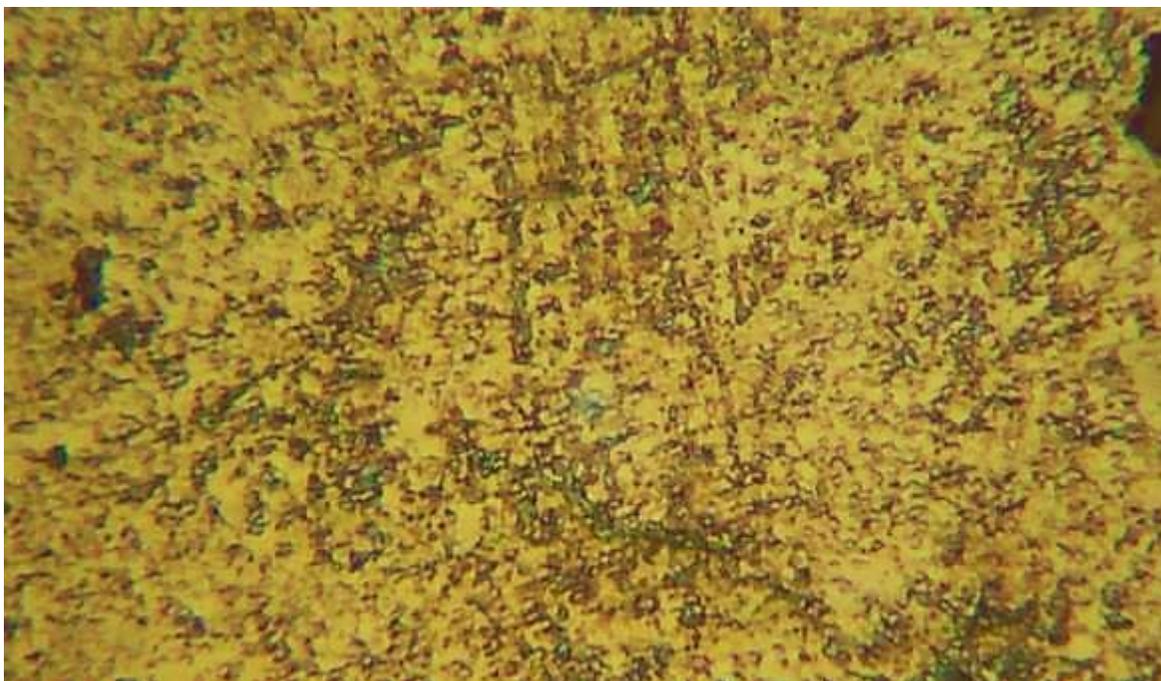


Fig. 68.- Fotografía 45 800X.

Las figuras 66, 67 y 68 presentan las fotografías 43, 44 y 45 con aumento de 800X. Muestran con mayor claridad la estructura cristalina de una martensita fina revenida; con la presencia de la precipitación de carburos globulares, también se observan con claridad la presencia de estos carburos globulares, así como la presencia de pequeños huecos en el acero M-4 bonificado.

ACERO M-4 CON TEMPLE Y TRIPLE REVENIDO.



Fig. 69.- Fotografía 46 200X.



Fig. 70.- Fotografía 47 200X.



Fig. 71.- Fotografía 48 200X.

Las figuras 69, 70 y 71 presentan las fotografías 46, 47 y 48 con aumento de 200X muestran una estructura con una gran cantidad de carburos globulares, además de pocos carburos de forma irregular conocidos como carburos masivos, ambos dos tipos de carburos son muy abundantes, en una matriz de ferrita, también presenta huecos de diferentes tamaños y formas.

FOTOGRAFÍAS A 600X.



Fig. 72.- Fotografía 49 600X.



Fig. 73- Fotografía 50 600X.

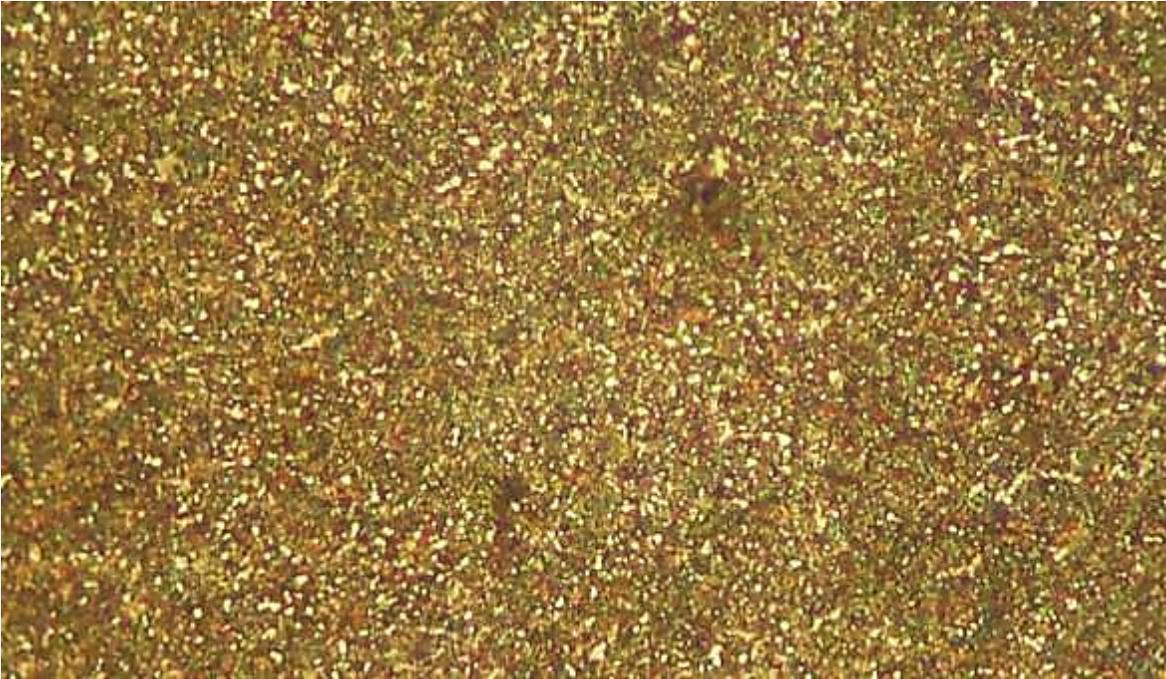


Fig. 74.- Fotografía 51 600X.

Las figuras 72, 73 y 74 presentan las fotografías 49, 50 y 51 con aumento de 600X que muestran una estructura básicamente formada por una gran cantidad de carburos y a estos aumentos se distingue en forma clara la presencia de carburos masivos en menor cantidad, también existen pocos huecos que pueden ser provocados por el desprendimiento de carburos o del polvo del acero original

FOTOGRAFÍAS A 800X.

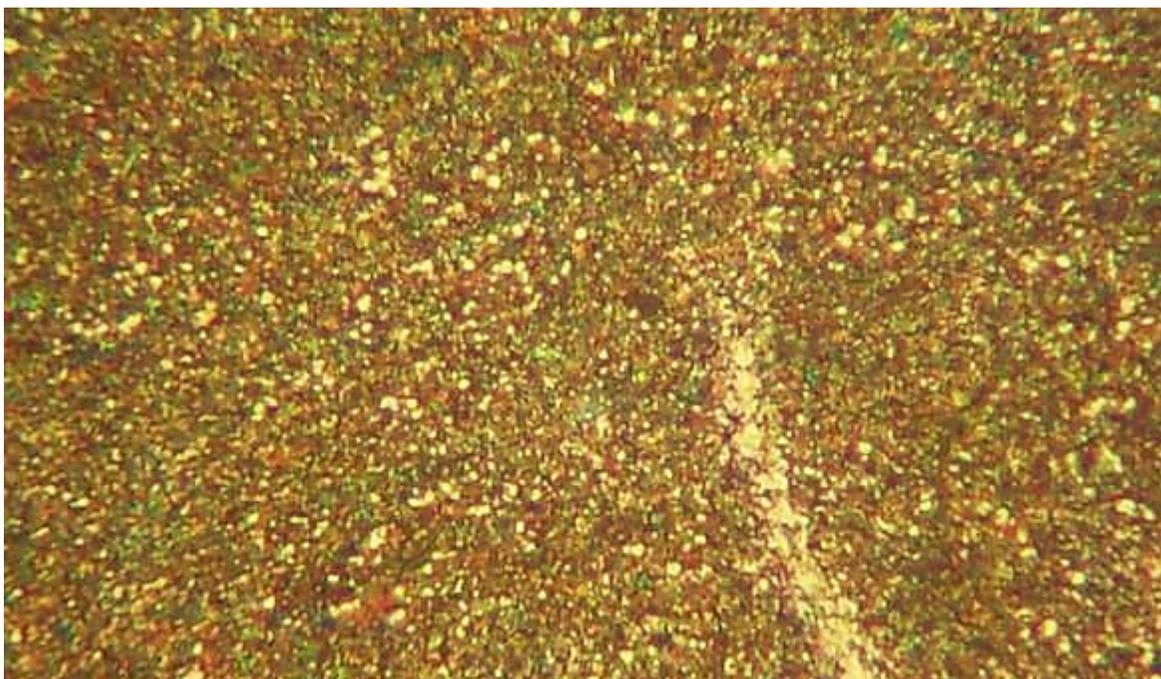


Fig. 75.- Fotografía 52 800X.

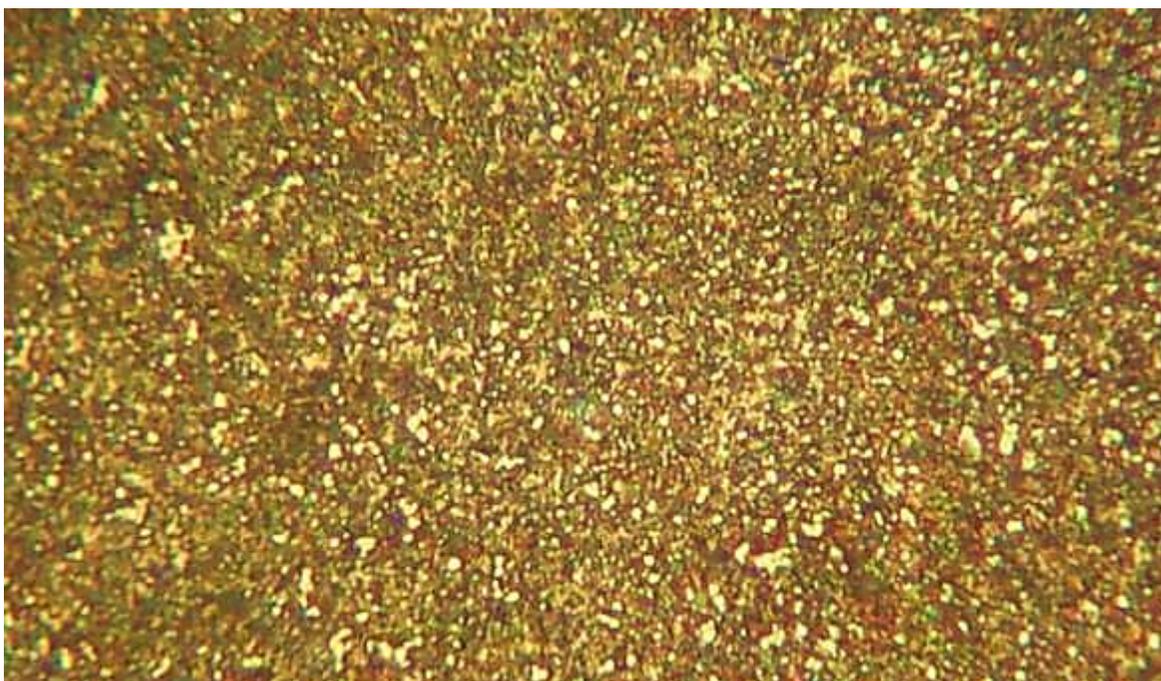


Fig. 76.- Fotografía 53 800X.

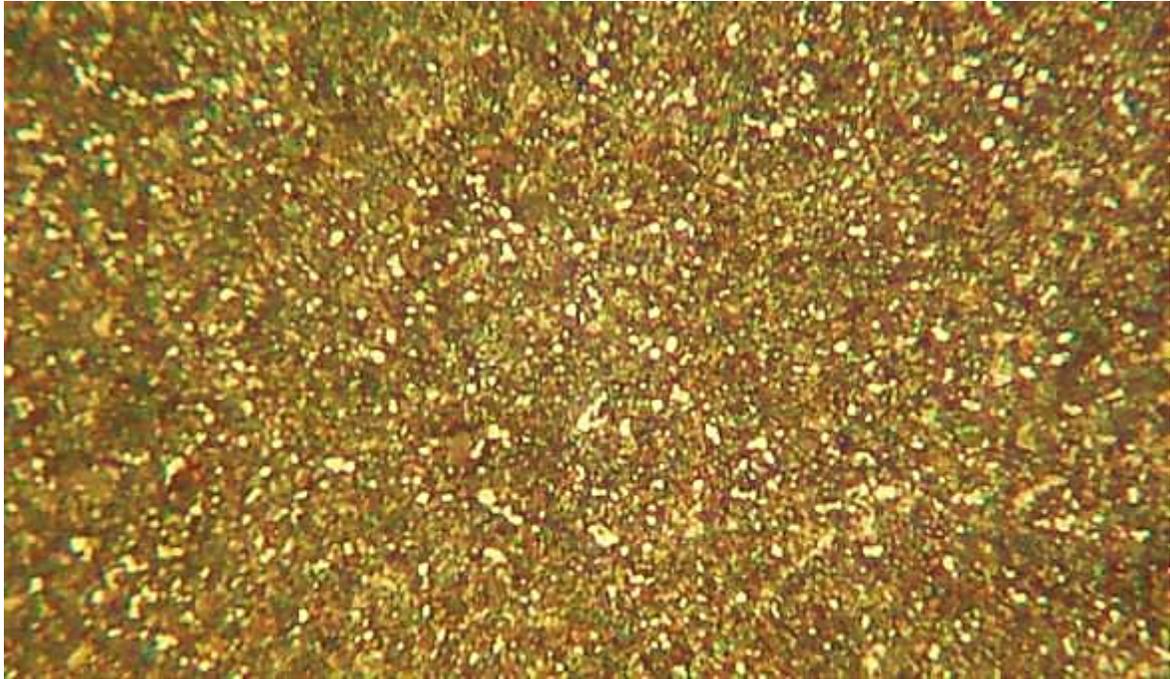


Fig. 77.- Fotografía 54 800X.

Las figuras 75, 76 y 77 presentan las fotografías 52, 53 y 54 con aumento de 800X que muestran una estructura básicamente formada por una gran cantidad de carburos y a estos aumentos se confirma en forma clara la presencia de una mayoría de carburos globulares, así como la de carburos masivos en menor cantidad, también existen pocos huecos que pueden ser provocados por el desprendimiento de carburos o del polvo del acero original M-4.

ENSAYO DE DUREZA.

Los estudios de dureza fueron realizados en un durómetro marca Amsler, figura 78 utilizando la escala Rockwell "C" obteniendo así 40 lecturas en las áreas de las muestras de los aceros T-15 y M-4.



Figura 78.- Durómetro Amslet

La siguiente tabla es la representación de cada una de las durezas tomadas en la muestra original del acero T-15, haciendo hincapié, que el presente estudio está dirigido al comportamiento de la estructura del acero T-15 con y sin tratamientos térmicos.

Con los resultados obtenidos de la toma de dureza de la muestra del acero T-15 y con ayuda de las herramientas de la desviación estándar de la estadística, se obtuvo más datos para el análisis de las durezas obtenidas.

Resultados de la toma de durezas que se ensayaron en la muestra del acero T-15 sin tratamiento térmico de temple en Rockwell "C".

DUREZA	X ²
35.7	1274.49
34.9	1218.01
35.1	1232.01
35.1	1232.01
35.0	1225
35.3	1246.09
35.4	1253.16
35.1	1232.01
35.2	1239.04
35.1	1232.01

35.1	1232.01
35.4	1253.16
35.8	1281.64
34.5	1190.25
34.8	1211.04
35.4	1253.16
35.0	1225
35.5	1260.25
35.3	1246.09
35.6	1267.36
35.2	1239.04
35.3	1246.09
35.3	1246.09
35.4	1253.16
35.0	1225
35.5	1260.25
35.7	1274.49
35.8	1281.64
35.2	1239.04
35.3	1246.09
34.5	1190.25
35.6	1267.36
35.4	1253.16
35.6	1267.36
35.5	1260.25
35.4	1253.16
35.5	1260.25
35.6	1267.36
35.3	1246.09
35.9	1288.81
1412.3	49868.73

Con los resultados estadísticos de la siguiente tabla se elaboraron las gráficas siguientes:

N=	40
$\Sigma x =$	1412.3
Σx^2	49868.73
\bar{x}	35.3075
x	35.3
desviación	0.31815775

MÍNIMO	34.989342
MÁXIMO	35.625657

Los resultados de cada una de las lecturas de dureza tomadas (40), están representadas en la gráfica de la figura 79, y así tener una representación de cada una de las durezas en la muestra.

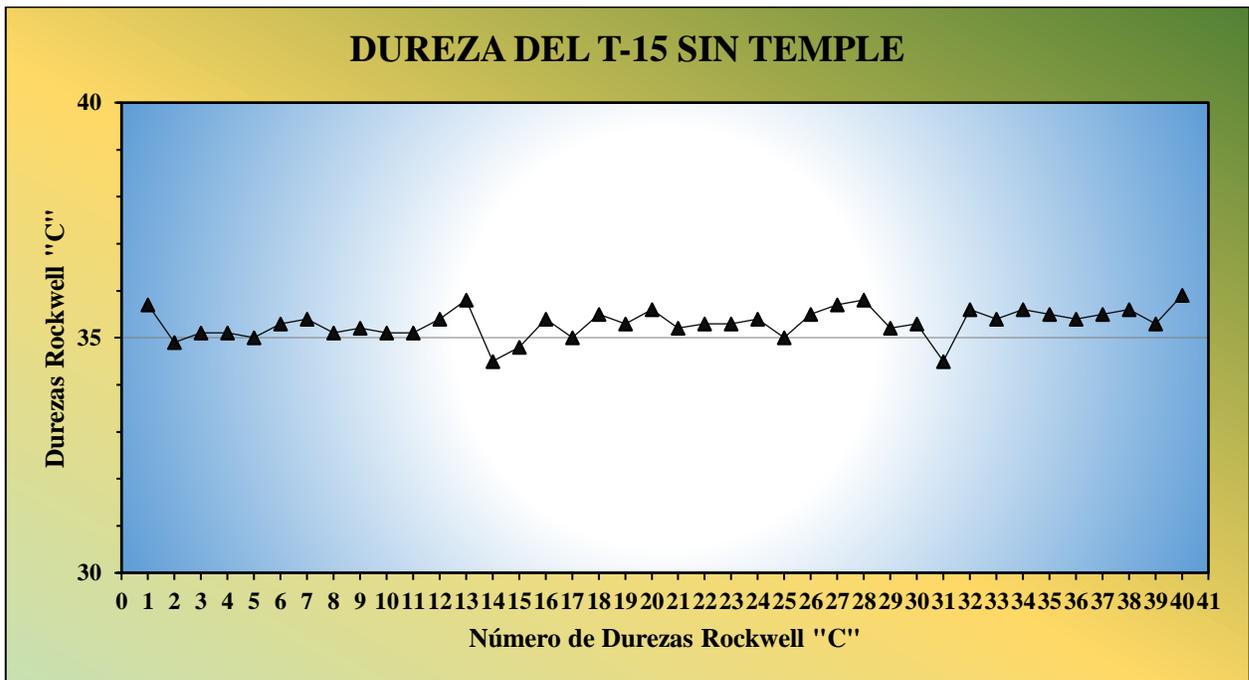


Fig 79 Grafica de durezas del acero T-15 sin tratamiento térmico



Fig 80 Grafica de dureza promedio del acero T-15 sin tratamiento térmico

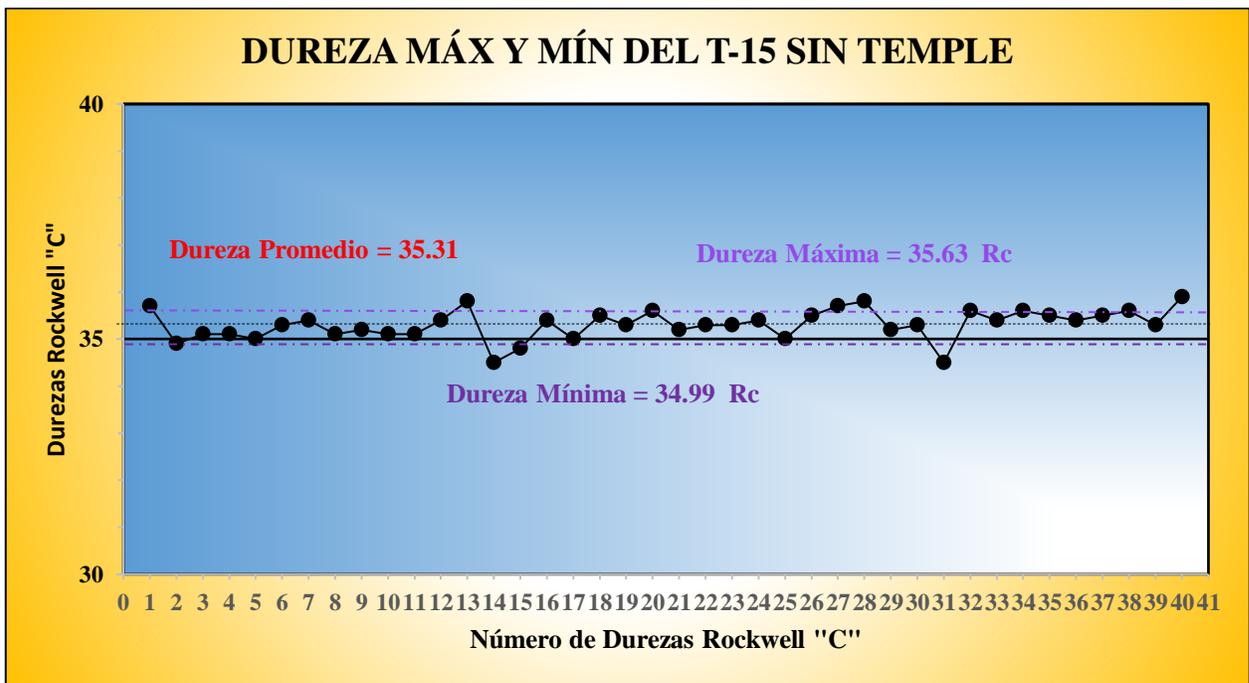


Fig 81 Grafica de durezas máxima y mínima del acero T-15 sin tratamiento térmico

La determinación de la media y con ayuda de la desviación estándar, permite considerar que la media sería la dureza ideal de 35.31 HV-2 en el acero original, en una condición ideal de la muestra sin tratamiento térmico del T-15. En la Grafica de la figura 80.

La figura 81 muestra la grafica del límite superior de 35.63 HV-2 e inferior de 34.99 HV-2 las durezas, cuyas lecturas se pueden considerar con un grado de confiabilidad, ya que sus variaciones con respecto a la media se pueden considera como aceptable y cuya aplicación o ensayo de la dureza, se puede considera como bien ejecutadas.

La siguiente tabla es la representación de cada una de las durezas tomadas en la muestra del acero T-15 con temple y triple revenido, haciendo hincapié que el presente estudio está dirigido al comportamiento de la estructura del acero T-15 con unos tratamientos térmicos de temple y triple revenido, por ser la condición más favorable para su uso industrial en la fabricación de troqueles.

Con los resultados obtenidos de la toma de dureza de la muestra del acero T-15 y con ayuda de las herramientas de la desviación estándar de la estadística, se obtuvo más datos para el análisis de las durezas obtenidas.

Resultados de la toma de durezas que se ensayaron en la muestra del acero T-15 con tratamiento térmico de temple y triple revenido en Rockwell "C".

DUREZAS	X ²
72.0	5184
70.9	5026.81
71.5	5112.25
71.0	5041
71.1	5055.21
71.3	5083.69
71.5	5112.25
71.2	5069.44
71.6	5126.56
71.3	5083.69
71.4	5097.96
70.9	5026.81
71.8	5155.24
71.3	5083.69
72.0	5184
72.1	5198.41
72.0	5184
72.2	5212.84
72.0	5184
72.1	5198.41
72.1	5198.41
72.1	5198.41
72.1	5198.41
72.0	5184
71.8	5155.24
71.9	5169.61
72.1	5198.41
72.1	5198.41
71.8	5155.24
72.3	5227.29
71.8	5155.24
71.9	5169.61
72.0	5184
71.9	5169.61
71.7	5140.89
72.0	5184
71.9	5169.61
72.1	5198.41
71.7	5140.89
72.2	5212.84
72.1	5198.41
2870.7	206028.79

Resultados estadísticos para la elaboración de las gráficas siguientes son:

N=	40
$\Sigma x=$	2870.7
Σx^2	206028.79
media	71.7675
media	71.8
desviación	0.38656110
MÍNIMO	71.380938
MÁXIMO	72.154061

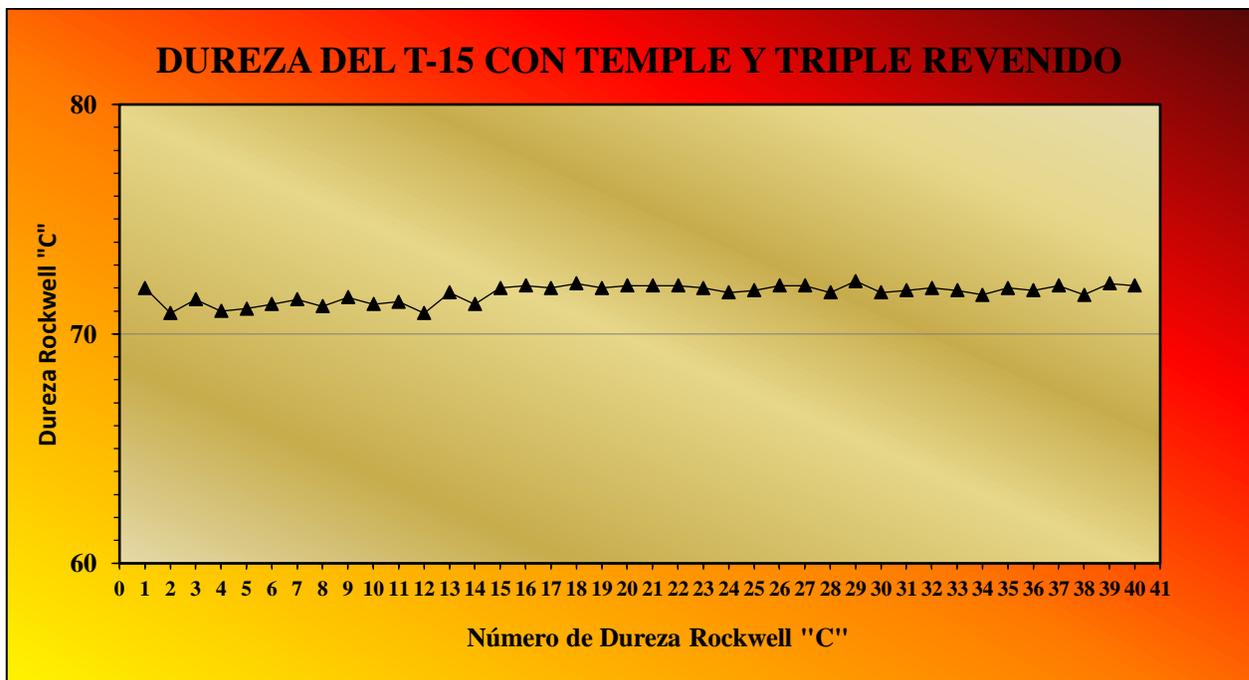


Fig 82- Grafica de durezas del acero T-15 con temple y triple revenido.

Los resultados de cada una de las lecturas de dureza tomadas (40), están representadas en la gráfica de la figura 82 y así tener una presentación única de cada una de las durezas en la muestra del T-15 con el temple y triple revenido.

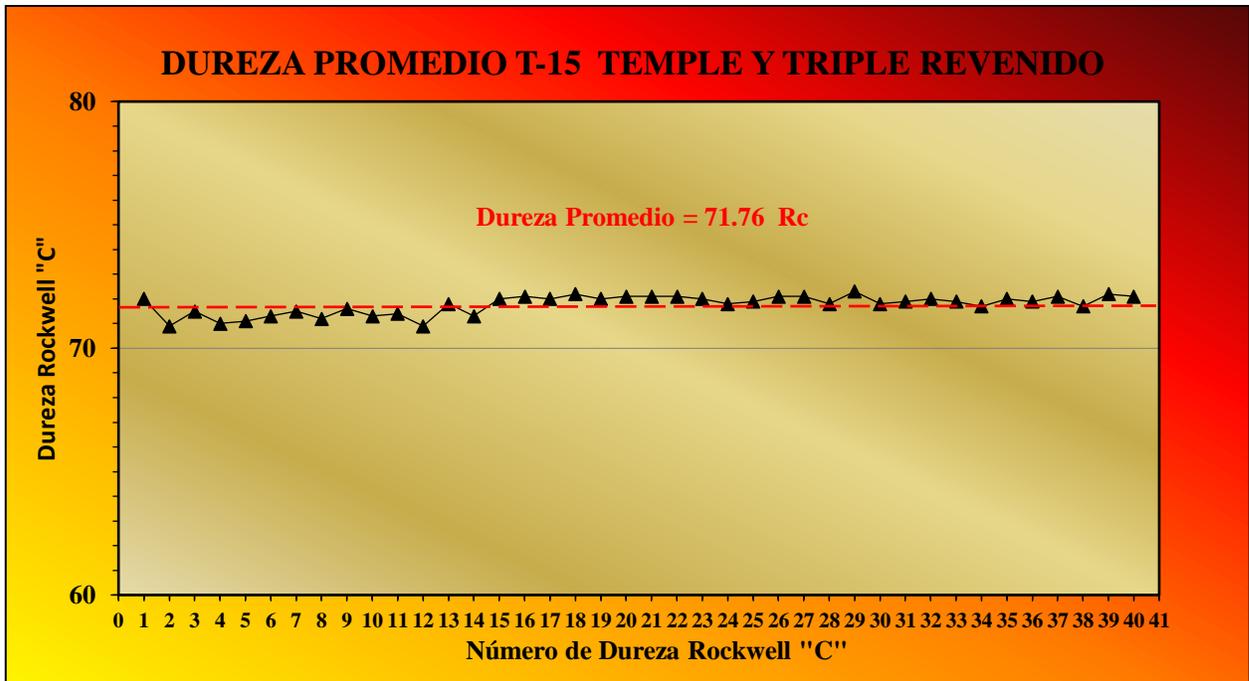


Fig 83 Grafica de dureza promedio del acero T-15 con temple y triple revenido

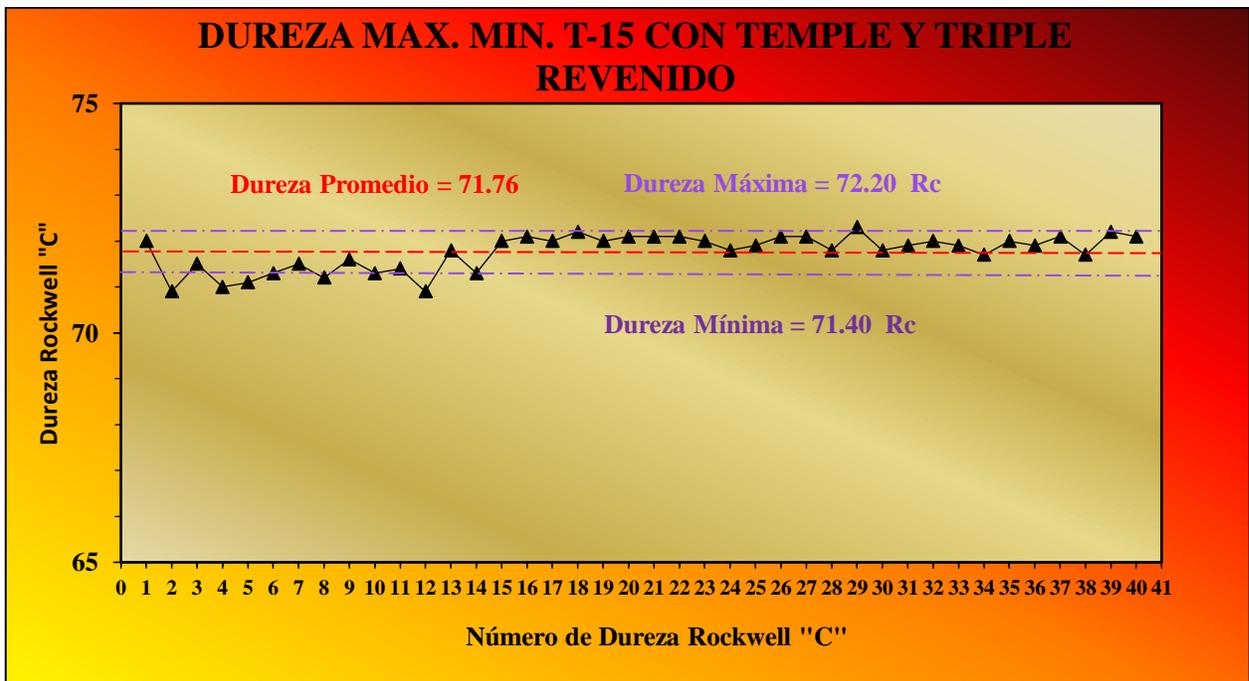


Fig 84 Grafica de durezas máxima y mínima del acero T-15 con temple y triple revenido.

Con los resultados obtenidos de la toma de dureza de la muestra de acero T-15 con temple y triple revenido y con ayuda de las herramientas de la desviación estándar de la estadística, se obtuvo más datos para el análisis de las durezas obtenidas.

La determinación de la media y con ayuda de la desviación estándar, permite considerar que la media sería la dureza ideal de 71.76 HV-2 en el acero original, en una condición ideal de la muestra sin tratamiento térmico del T-15. En la Grafica de la figura 83.

La grafica de la figura 84 muestra el límite superior de 72.20 HV-2 e inferior de 71.40 HV-2 las durezas, cuyas lecturas se encuentren entre estos limites se pueden considerar con un grado de confiabilidad, ya que sus variaciones con respecto a la media se considerarían como aceptable y cuya aplicación o ensayo de la dureza, se puede considera como bien ejecutadas.

Resultados de la toma de durezas que se ensayaron en la muestra del acero M-4 sin tratamiento térmico de temple en Rockwell "C".

DUREZAS	X ²
34.3	1176.49
32.5	1056.25
32.7	1069.29
33.2	1102.24
33.2	1102.24
33.9	1149.21
33.1	1095.61
33.9	1149.21
34.0	1156
33.4	1115.56
33.7	1135.69
33.3	1108.89
34.6	1197.16
34.9	1218.01
34.4	1183.36
34.5	1190.25
34.1	1162.81
33.9	1149.21
34.5	1190.25
34.8	1211.04
34.8	1211.04
35.1	1232.01
35.1	1232.01
34.8	1211.04
34.2	1169.64
34.3	1176.49
34.7	1204.09
34.8	1211.04
35.0	1225
35.1	1232.01
34.3	1176.49
34.2	1169.64
34.5	1190.25
34.9	1218.01
34.6	1197.16
33.5	1122.25
35.7	1274.49
34.8	1211.04
34.9	1218.01
34.4	1183.36
1370.6	46983.84

N=	40
$\Sigma x=$	1370.6
Σx^2	46983.84
media	34.27229
media	34.3
desviación	0.7202385
MÍNIMO	33.54476
MÁXIMO	34.98524

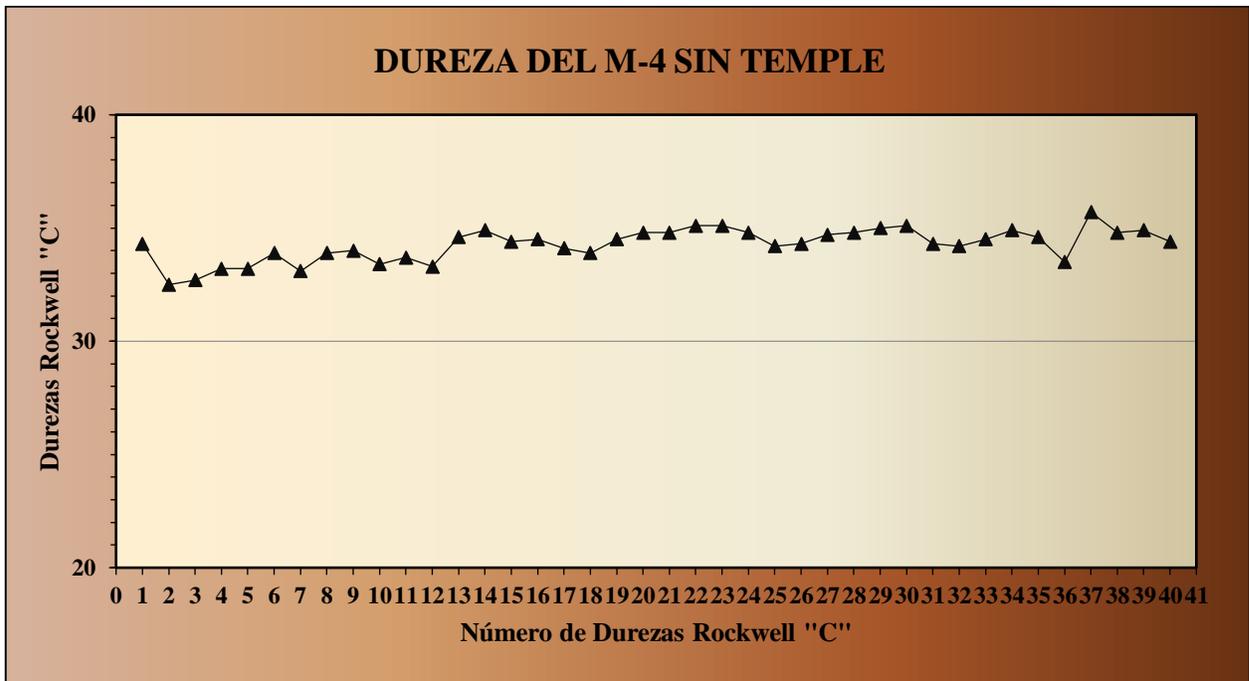


Fig 85 Grafica de durezas del acero M-4 sin tratamiento térmico

La tabla es la representación de cada una de las durezas tomadas en la muestra original del acero M-4, el presente ensayo está dirigido al comportamiento de la estructura del acero M-4 sin tratamientos térmicos.

Con los resultados obtenidos de la toma de dureza de la muestra del acero M-4 y con ayuda de las herramientas de la desviación estándar de la estadística, se obtuvo más datos para el análisis de las durezas obtenidas

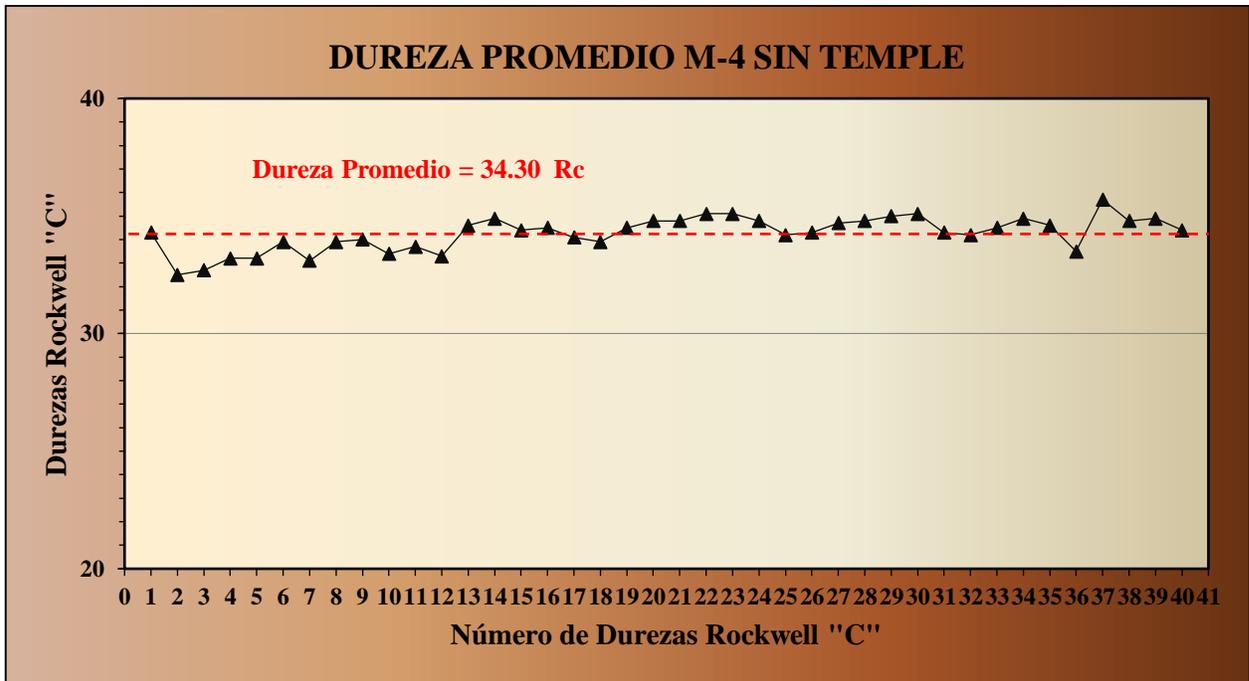


Fig 86 Grafica de dureza promedio del acero M-4 sin tratamiento térmico

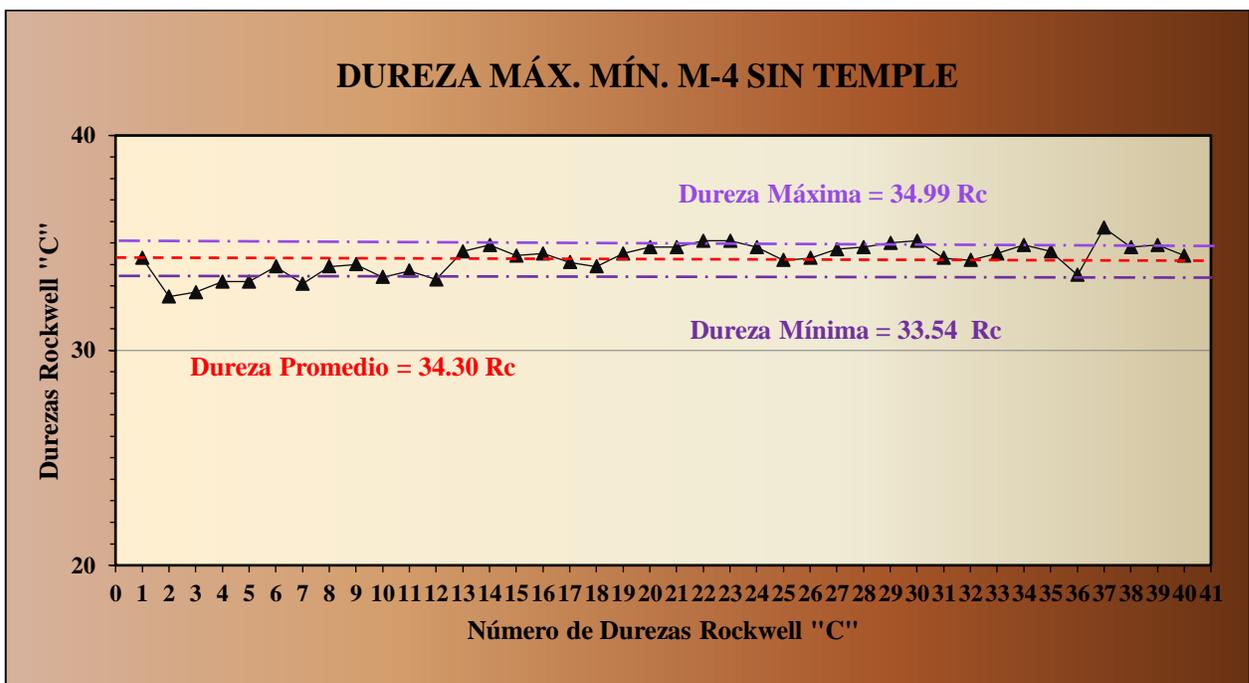


Fig 87 Grafica de durezas máxima y mínima del acero M-4 sin tratamiento térmico

La determinación de la media y con ayuda de la desviación estándar, permite considerar que la media sería la dureza ideal de 34.30 HV-2 en el acero original, en una condición ideal de la muestra sin tratamiento térmico del M-4. Grafica 30.

La grafica 31 muestra límite superior de 34.99 HV-2 e inferior de 33.54 HV-2 las durezas, cuyas lecturas se pueden considerar como un grado de confiabilidad, ya que sus variaciones con respecto a la media se pueden considera como aceptable y cuya aplicación o ensayo de la dureza, se puede considera como bien ejecutadas.

La siguiente tabla es la representación de cada una de las durezas tomadas en la muestra del acero M-4, con temple y triple revenido, el presente ensayo de dureza está orientado a la estructura del acero M-4 con tratamiento térmico de temple y triple revenido, por ser la condición más favorable para su uso industrial en la fabricación de troqueles.

Con los resultados obtenidos de la toma de dureza de la muestra del acero M-4 y con ayuda de la estadística y aplicando la desviación estándar, se obtienen más datos para el análisis de las durezas obtenidas.

Resultados de la toma de durezas que se ensayaron en la muestra del acero M-4 con tratamiento térmico de temple y triple revenido en Rockwell "C".

DUREZA	X
69.0	4761
65.0	4225
67.9	4610.41
68.2	4651.24
68.1	4637.61
68.1	4637.61
68.6	4705.96
68.1	4637.61
67.9	4610.41
68.8	4733.44
69.4	4816.36
69.1	4774.81
68.5	4692.25
68.7	4719.69
69.8	4872.04
68.7	4719.69
68.6	4705.96
68.9	4747.21
68.9	4747.21
69.2	4788.64
69.5	4830.25
69.1	4774.81
69.1	4774.81
69.2	4788.64
69.1	4774.81
69.0	4761
68.8	4733.44
69.0	4761
69.3	4802.49
69.4	4816.36
69.5	4830.25
69.7	4858.09
69.1	4774.81
69.4	4816.36
69.7	4858.09
69.1	4774.81
69.1	4774.81
69.3	4802.49
69.6	4844.16
69.4	4816.36
2754.9	189761.99

N=	40
$\Sigma x =$	2754.92
Σx^2	189761.99
media	68.8725
media	69.0
desviación	0.8028754
MÍNIMO	68.069625
MÁXIMO	69.675375

Los resultados de cada una de las lecturas de dureza tomadas (40), están representadas en la gráfica siguiente 32, y así tener una presentación de cada una de las durezas en la muestra.

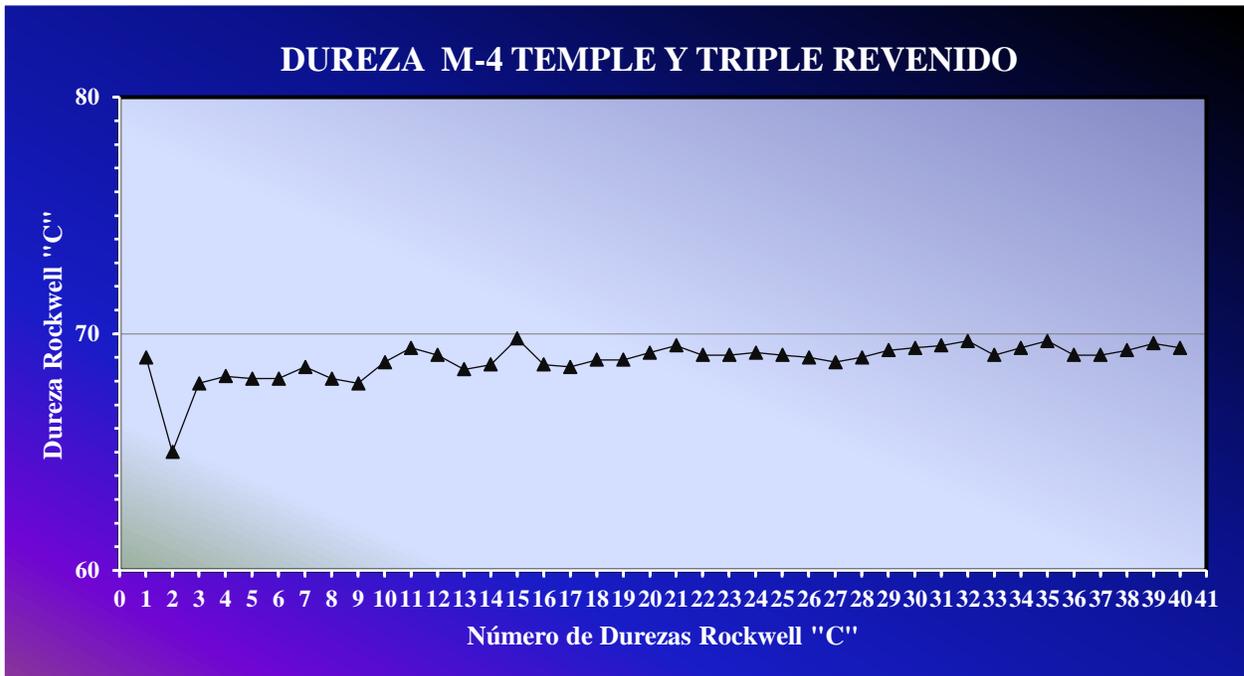


Fig 88- Grafica de durezas del acero M-4 con temple y triple revenido.

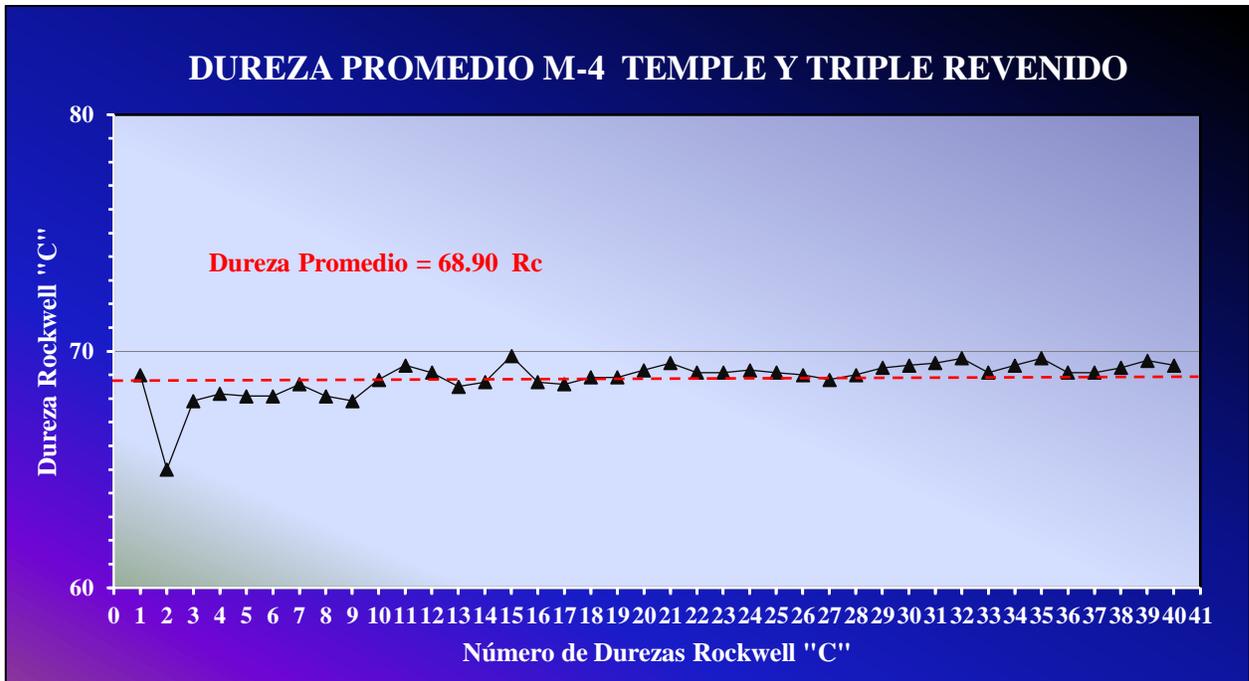


Fig 89.- Grafica de dureza promedio del acero M-4 con temple y triple revenido

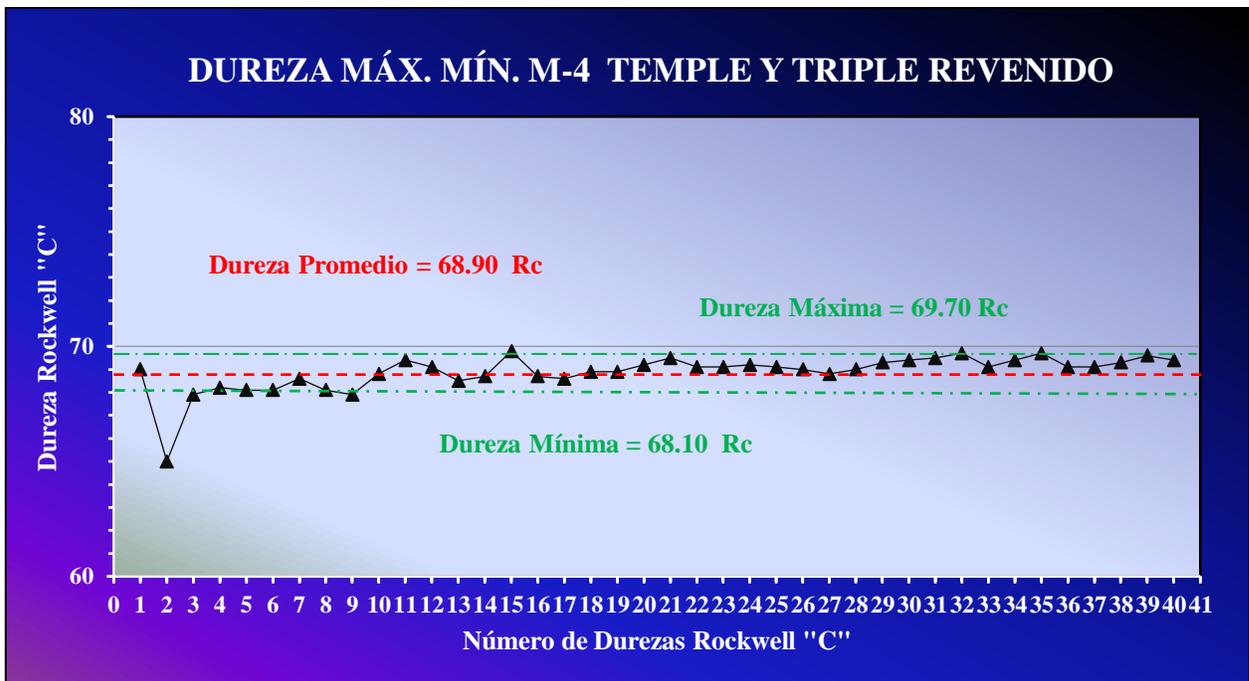


Fig 90 Grafica de durezas máxima y mínima del acero M-4 con temple y triple revenido.

La determinación de la media y con ayuda de la desviación estándar, permite considerar que la media sería la dureza ideal de 68.90 HV-2 en el acero M-4 con tratamiento térmico de temple y triple revenido, en una condición ideal de la muestra tratada térmicamente. Grafica 30.

La grafica 31 muestra límite superior de 69.70 HV-2 e inferior de 68.10 HV-2 las durezas, cuyas lecturas se pueden considerar con un grado de confiabilidad, ya que sus variaciones con respecto a la media se pueden considera como aceptable y cuya aplicación o ensayo de la dureza, se puede considera como bien ejecutadas.

ENSAYO DE TENSION

Probetas de tensión:

Las probetas de tensión se realizara tomando como base ASMT E8 con unas probetas de acuerdo a la siguiente geometría:

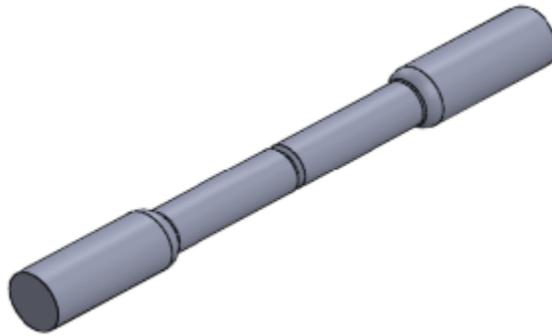


Fig. 91.- Esquema general de las probetas de tensión

Para garantizar la correcta medida del área de trabajo, y la tangencia de todos los radios de la probeta estas fueron maquinadas en torno de control numérico programable, para posteriormente ser rectificadas en una rectificadora cilíndrica de centros.



Fig.92.- Maquinado en torno CNC.



Fig.93.- Rectificadora cilíndrica.



Fig. 94.- Probeta de tensión T-15.



Fig. 95.- 18 Probeta de tensión M-4.

RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizados los ensayos de tensión se obtuvieron los siguientes resultados; Acero T-15. Tabla de los puntos de la gráfica que se obtuvo.

0	1
0.5	50
0.5	90
0.7	110
0.9	160
1.1	210
1.6	260
2.4	310
3.8	360
4.8	410
6	460
6.9	510
7.6	560
8.9	610
9.9	660
10.9	710
11.8	760
12.4	810
16	640

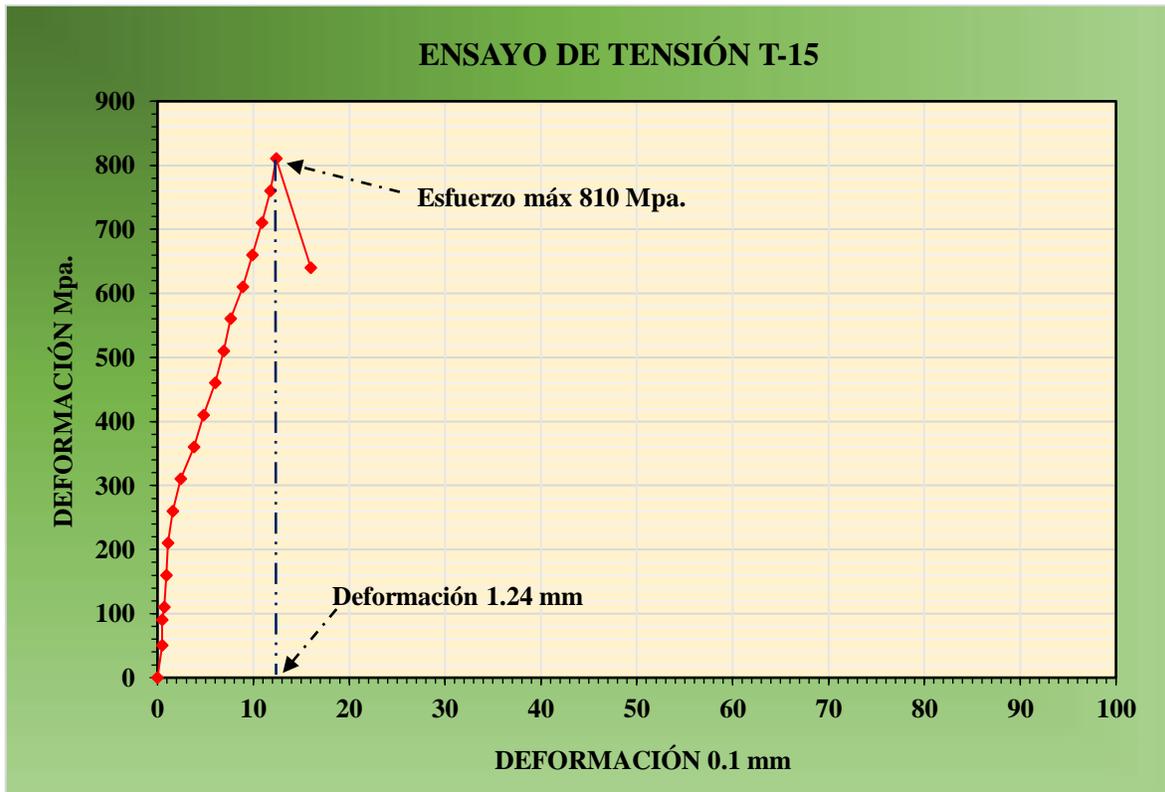


Fig. 96.- Curva esfuerzo-deformación del T-15.

Acero M-4. Tabla de los puntos de la gráfica que se obtuvo.

0.000	1
6.852	51
12.995	104
14.352	154
15.01	204
15.395	254
15.672	304
15.912	354
16.119	404
16.31	454
16.481	504
16.64	554
16.784	604
16.913	654
19.165	452

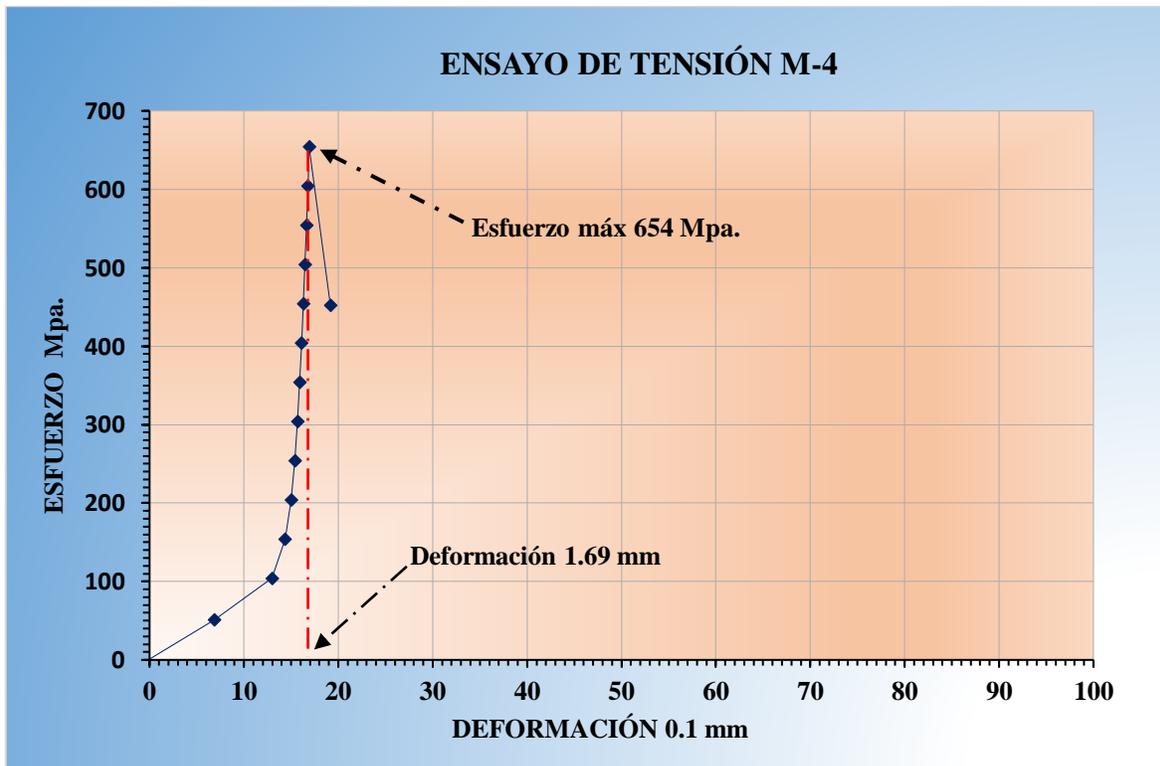


TABLA DE RESULTADOS.

	Acero T-15	Acero M-4
Resistencia Tensión.	810 Mpa.(117,479 lb/in²)	654 Mpa.(94,853 lb/in²)
Límite Elástico.	745 Mpa.(108,080 lb/in²)	563 Mpa. (81,574 lb/in²)
Modulo de Young.	346,722 Mpa	298,942 Mpa.
Deformación.	0.0244 mm/mm.	0.0329 mm/mm.
Energía	5237 Kjoules/m³.	4835 Kjoules/m³.

La resistencia a la tensión es mayor la del acero T-15, que la del M-4, y este mismo caso se repite con el límite elástico de los dos aceros, el módulo de Young nos muestra que son dos aceros que poseen unas gráficas muy lineales, esto quiere decir que son muy elásticos los dos aceros macroscópicamente.

La deformación de mm/mm parece ser que poseen una cierta deformación muy pequeña pero hay evidencia que existe; y ambos dos aceros por su alta resistencia a la tensión, consumen una energía significativa

ESTUDIO DE FRACTURA.

En general las condiciones que se obtuvieron en los aceros de herramienta T-15 y M-4, cuando las muestras de tensión fueron templadas y con tres revenidos por ser las condiciones óptimas para ser usados en la fabricación de troqueles; se realizó el estudio de las fracturas de las muestras de tensión por medio de la microscopia electrónica de barrido para localizar la existencia del tipo de estructura cristalina, fisuras, microfisuras, grietas, carburos, huecos y microhuecos.

Por consiguiente, tomando como referencia el proceso de fabricación de ambos aceros:

1°.- Con la microscopia electrónica se pretende observar la presencia en borde de grano, huecos y microhuecos producidos en la fabricación.

2°.- El aumento significativo de la dureza en la estructura de los aceros de las muestras preparadas, con referencia a la que se obtuvo de la muestra original

Posterior al ensayo de tensión se recortan muestras de la zona de fractura de cada uno de los aceros y de llevaron al microscopio electrónico de barrido, para su estudios de la fractura de ambos.



Fig. 98.- Imagen del Microscopio electrónico de barrido



Fig. 99.- Imagen Colocacion de las probetas en el Microscopio electrónico de barrido

Las observaciones realizadas en el microscopio electrónico de barrido (SEM), se obtuvo lo siguiente:

Las figuras de la 1 a la 8 son las tomadas de la muestra del acero M-4 con temple y triple revenido

La figura 100 corresponde a la muestra del acero M-4, a un aumento de 33X, esta fractura presenta una superficie muy homogénea con un fibrado y poca deformación, se puede pensar que tiene un comportamiento fundamentalmente frágil.

La figura 101 presenta la fractura a 100X en la que se podría pensar en un cuasi clivaje, sin embargo, son pocos aumentos para definirla y aseverar que ese es el tipo de fractura.

La figura 102 presenta la fractura a 200X, se puede pensar en cuasi clivaje, pero ya se pueden empezar a observar la presencia de carburos esféricos y se empiezan observar la presencia pequeños poros.

La figura 103 presenta la fractura a 350X, donde la presencia de carburos globulizados y la presencia de bandas de diferentes tamaños que podrían ser los inicios de la fractura. Hay que hacer notar que no se distinguen tamaños de grano ni borde de los mismos.

La figura 104 presenta la fractura de la muestra a 500X, en la cual se aprecia la presencia abundante de carburos esféricos, así como huecos pequeños también esféricos que pueden ser que fueron ocupados por carburos que se desprendieron.

La figura 105 presenta la fractura a 1000X, la cual corrobora lo que se apreció en la fotografía 104, con la salvedad de que la orografía de la fractura es de valles y mesetas en diferentes niveles en la fractura.

Las figuras 106 presenta la fractura a 2000X, en esta fotografía lo relevante es que se puede observar que el rompimiento donde la fractura se localizó es en la unión de los carburos con el metal base, que hay que recordar que es ferrita.

Las figuras 107 presenta la fractura a 4000X, en esta fotografía se revela con mayor claridad que la fractura se realizó en la frontera del metal base con los límites de los carburos.

FRACTURA DEL ACERO M-4

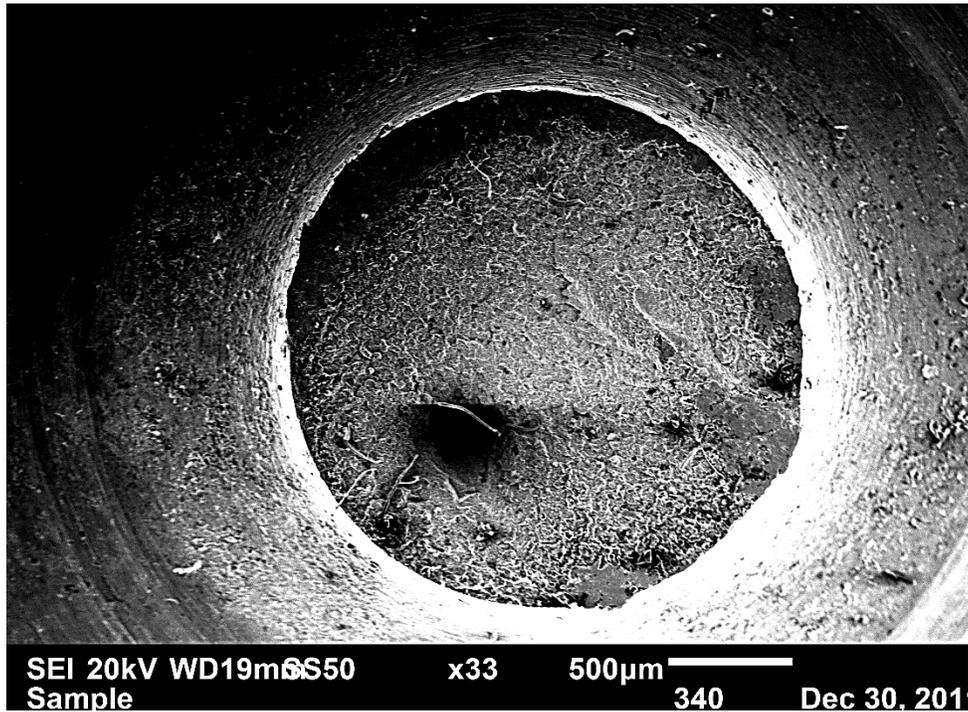


Fig. 100.- Fractura inicial de acero M-4 a 33X

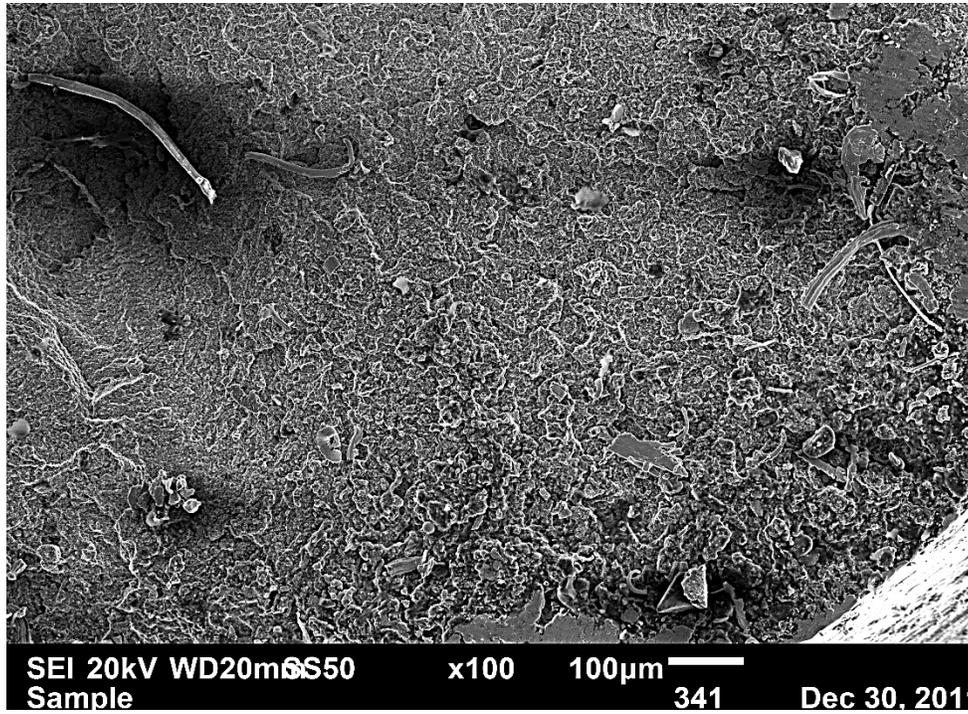


Fig. 101.- Fractura de acero M-4 a 100X

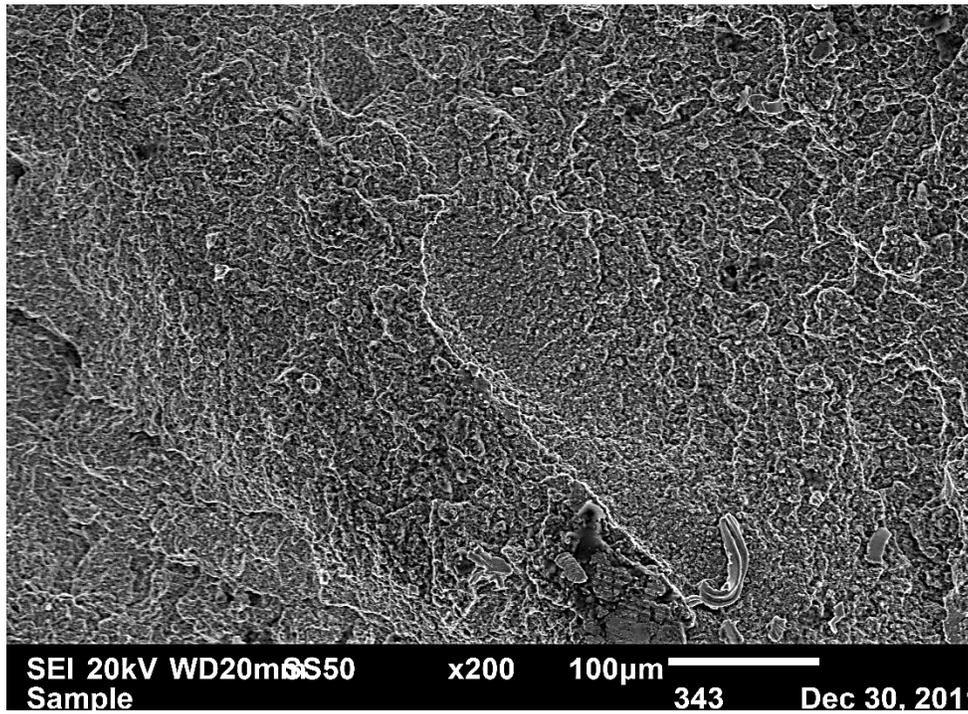


Fig. 102.- Fractura de acero M-4 a 200X

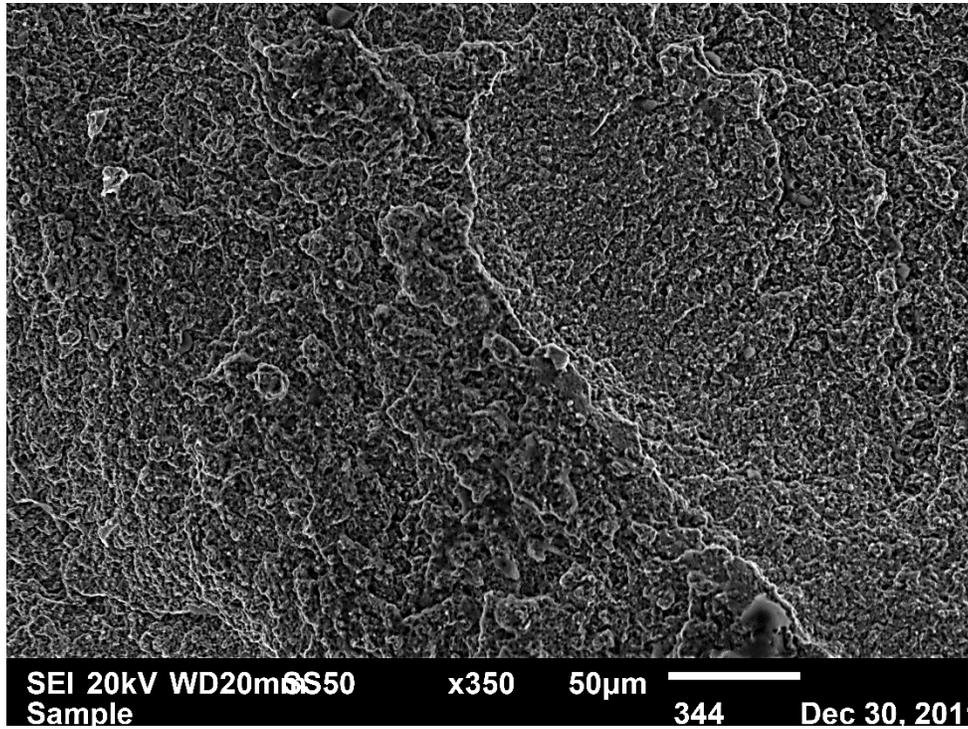


Fig. 103.- Fractura de acero M-4 a 350X

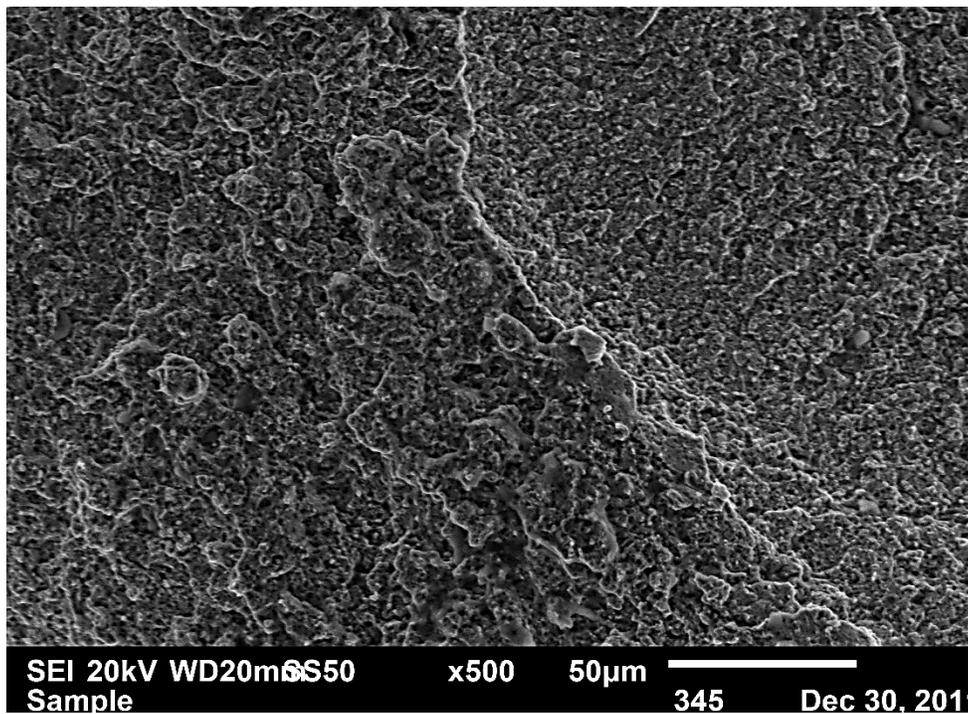


Fig. 104.- Fractura de acero M-4 a 500X

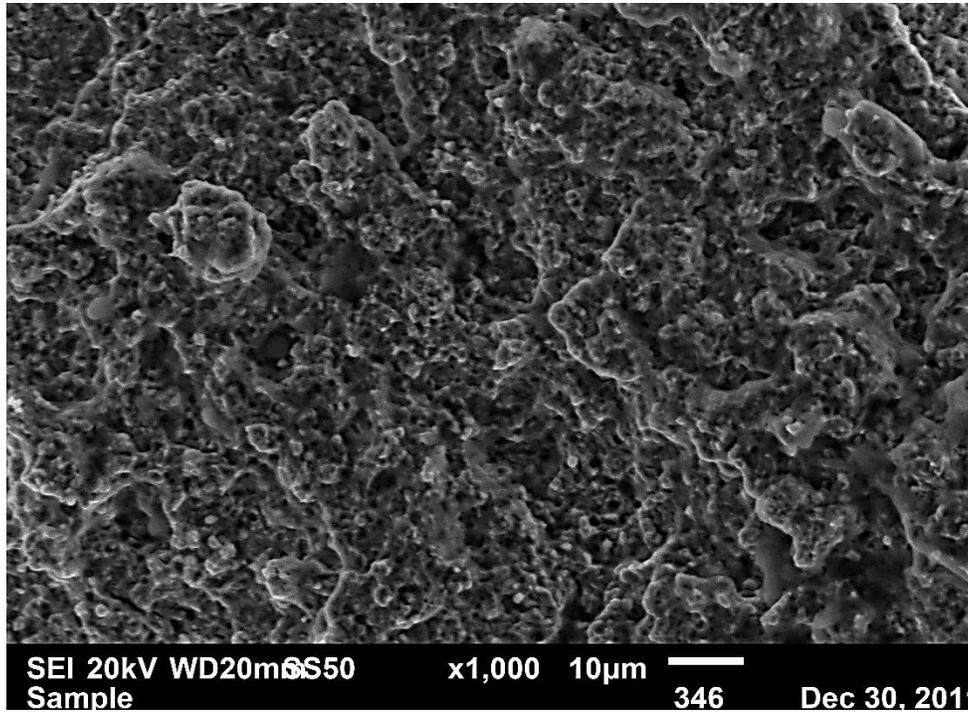


Fig. 105.- Fractura de acero M-4 a 1000X

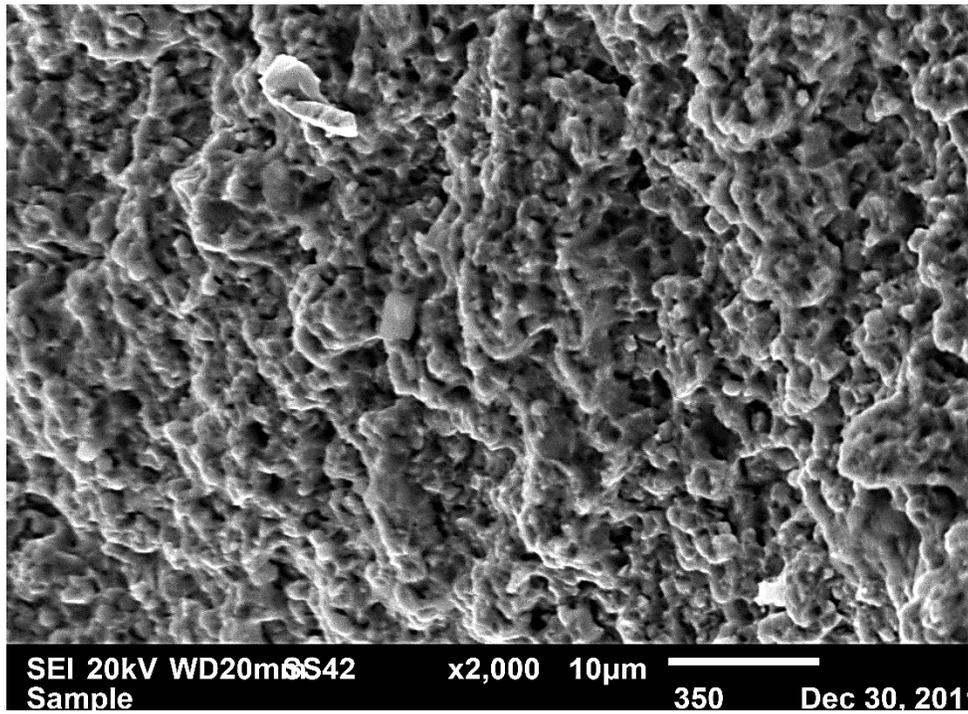


Fig. 106.- Fractura de acero M-4 a 2000X

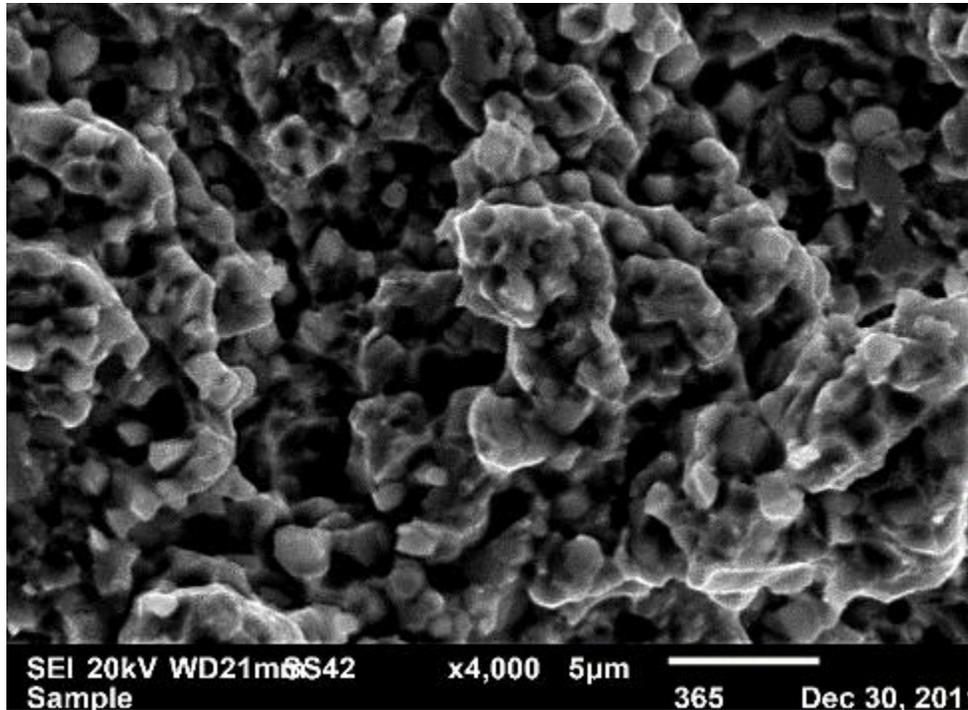


Fig. 107.- Fractura de acero M-4 a 4000X

Las figuras de la 108 a la 115 son las tomadas de la muestra del acero T-15 con temple y triple revenido

El comportamiento del acero de herramienta T-15 en el tipo de fractura después del ensayo de tensión, es significativamente parecido al del acero de herramienta M-4, sin embargo, existen diferencias las cuales es enumeran:

En la fotografía 108 la fractura es mas plana y continua, presenta menor fibrado

En la fotografía 113 la fractura presenta abundancia de carburos esféricos y otros no esféricos.

En las fotografías 114 y 115, se corrobora la presencia abundante de carburos en forma de masas, los cuales se determinan como carburos masivos.

FRACTURA DEL ACERO T-15

Las consideraciones que se realizaron en la fractura de acero de herramienta M-4, las posee el acero de herramienta T-15

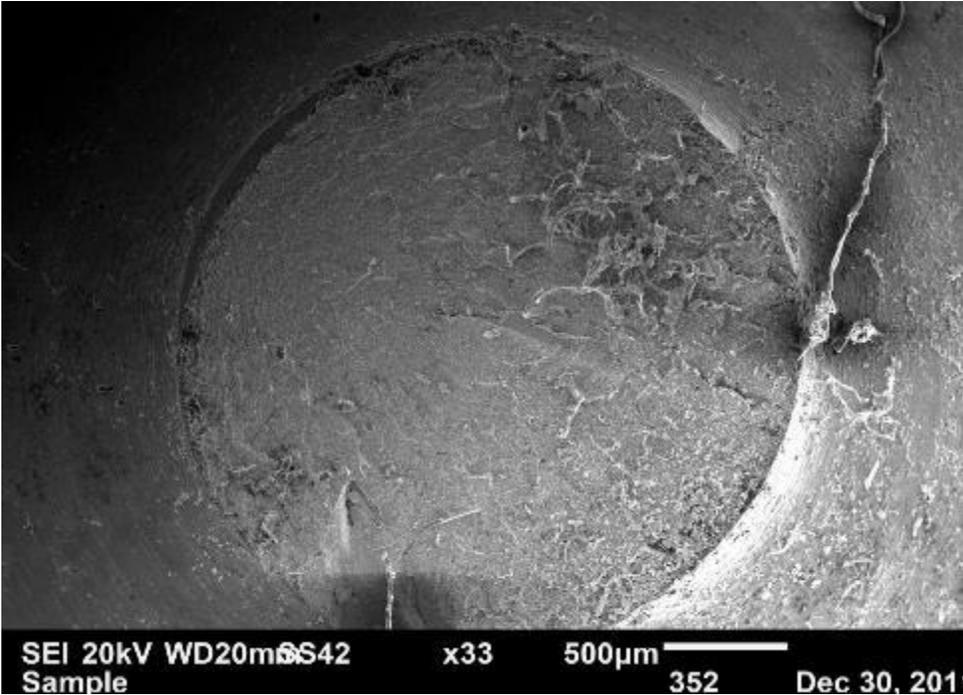


Fig. 108.- Fractura de acero T-15 a 33X

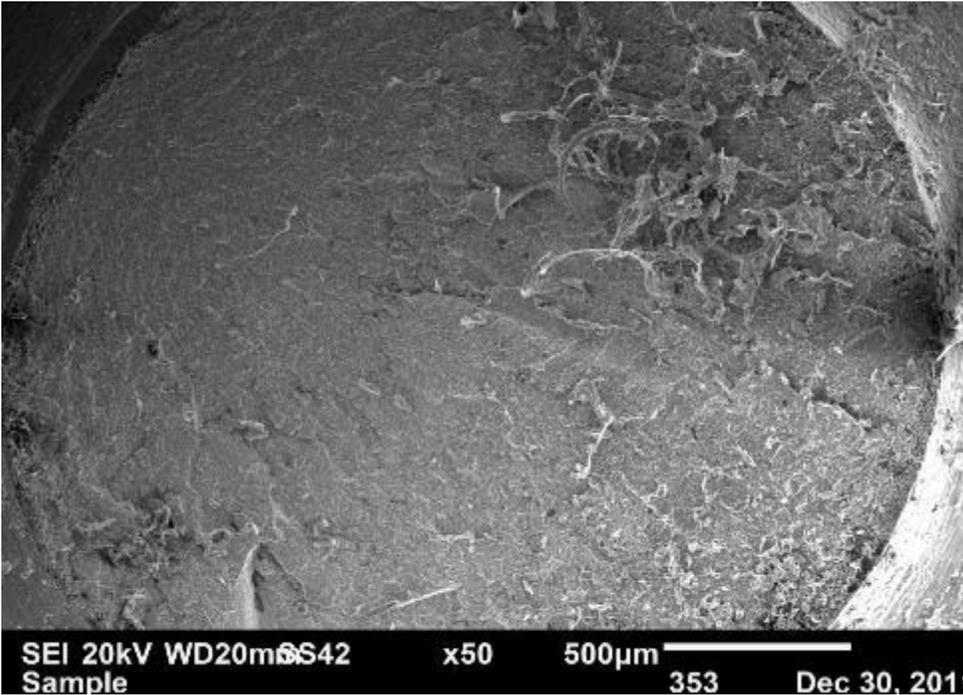


Fig. 109.- Fractura de acero T-15 a 50X

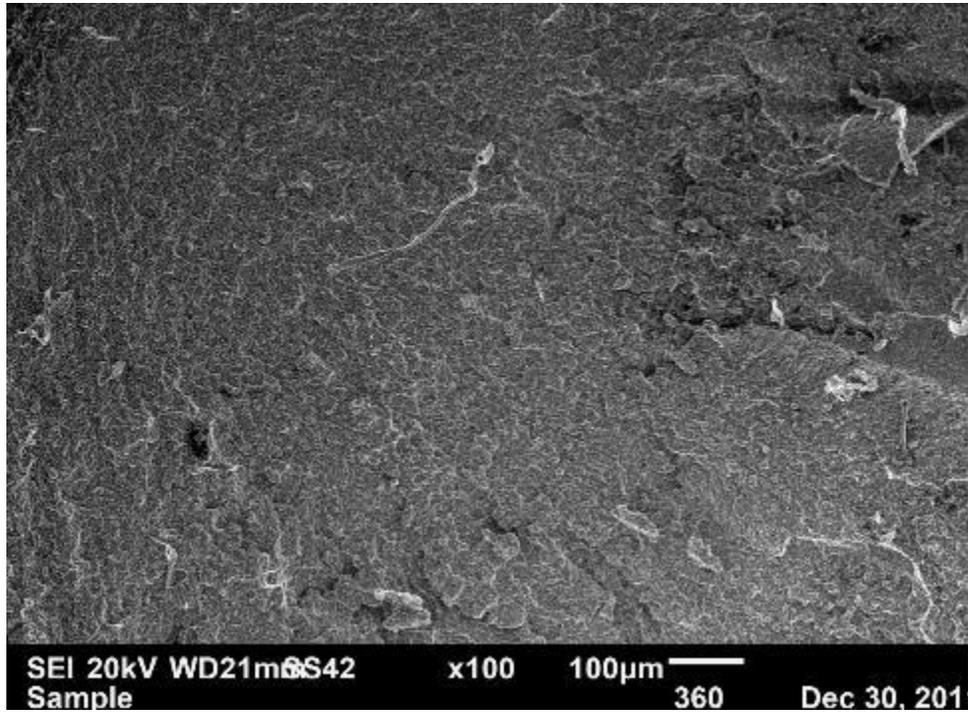


Fig. 110.- Fractura de acero T-15 a 100X

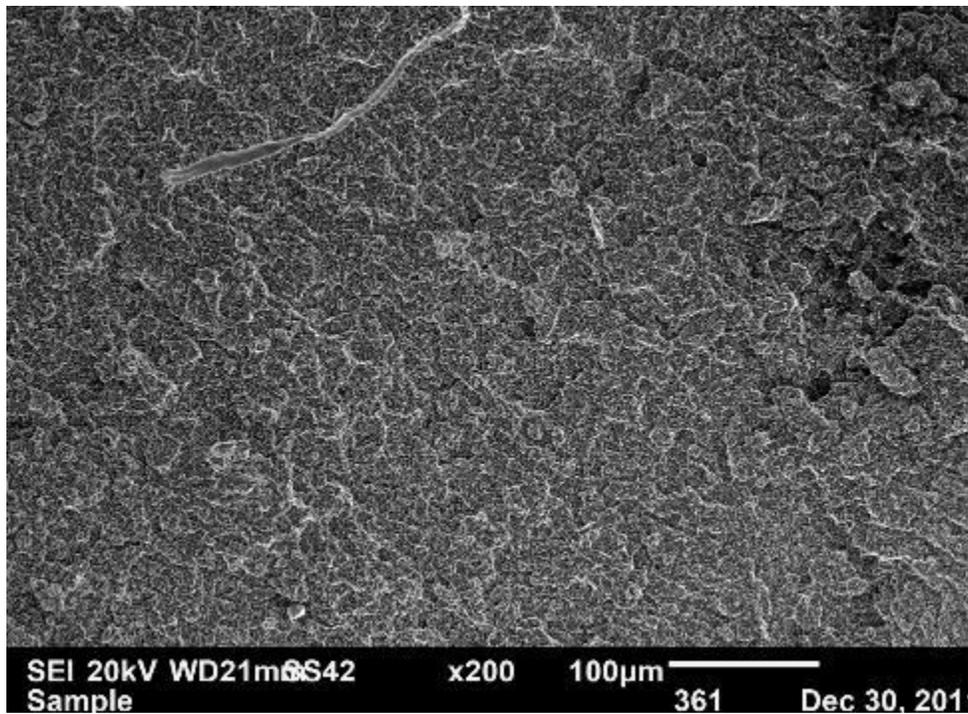
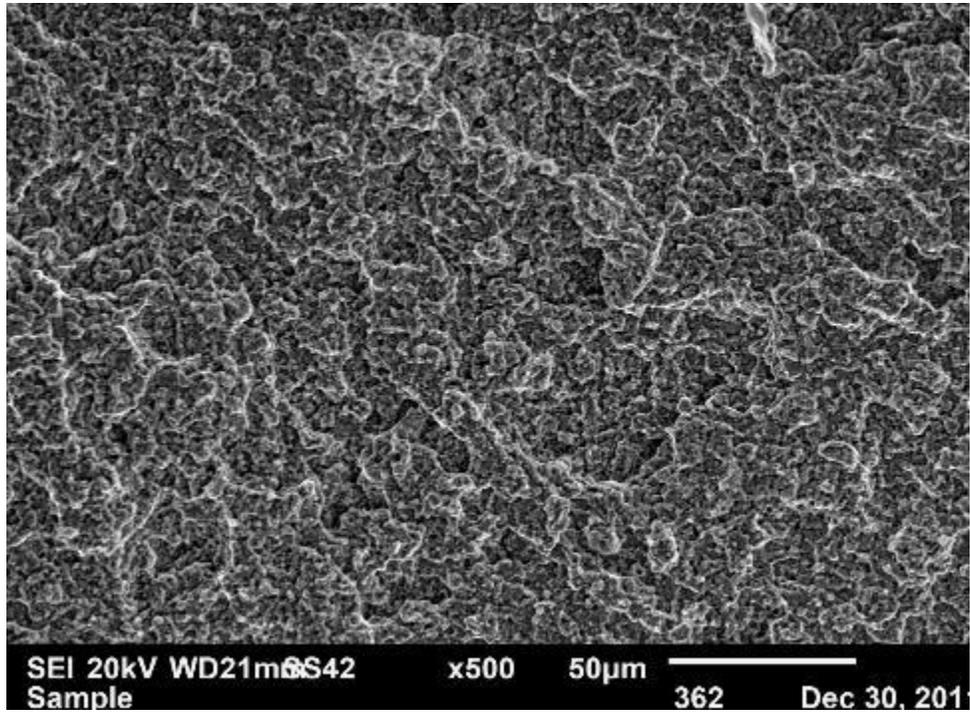


Fig. 111.- Fractura de acero T-15 a 200X



13 Fig. 112.- Fractura de acero T-15 a 500X

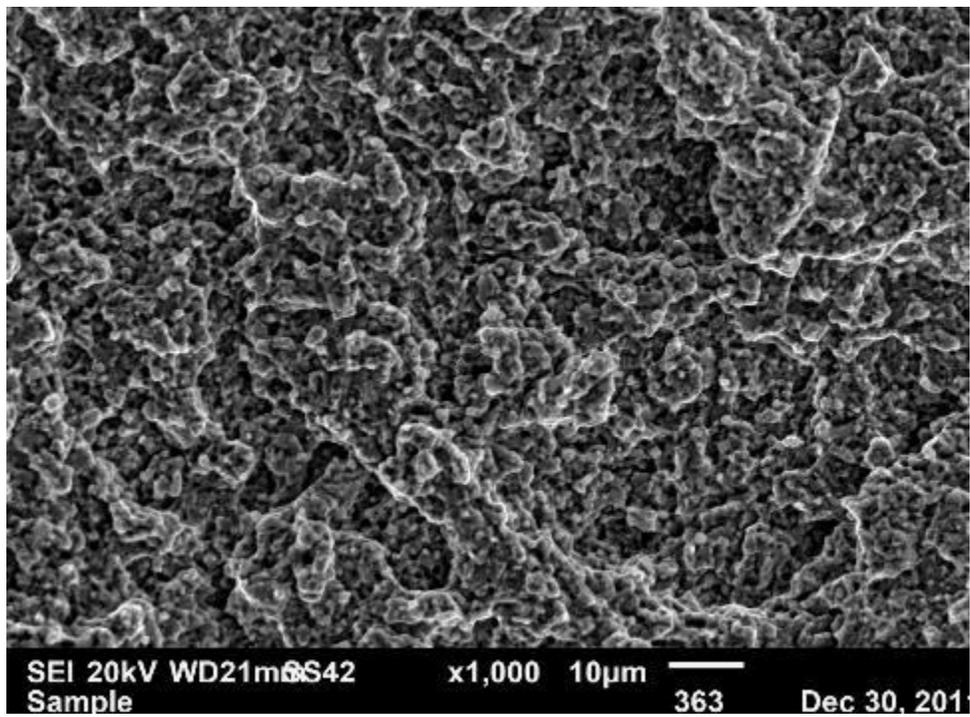


Fig. 113.- Fractura de acero T-15 a 1000X

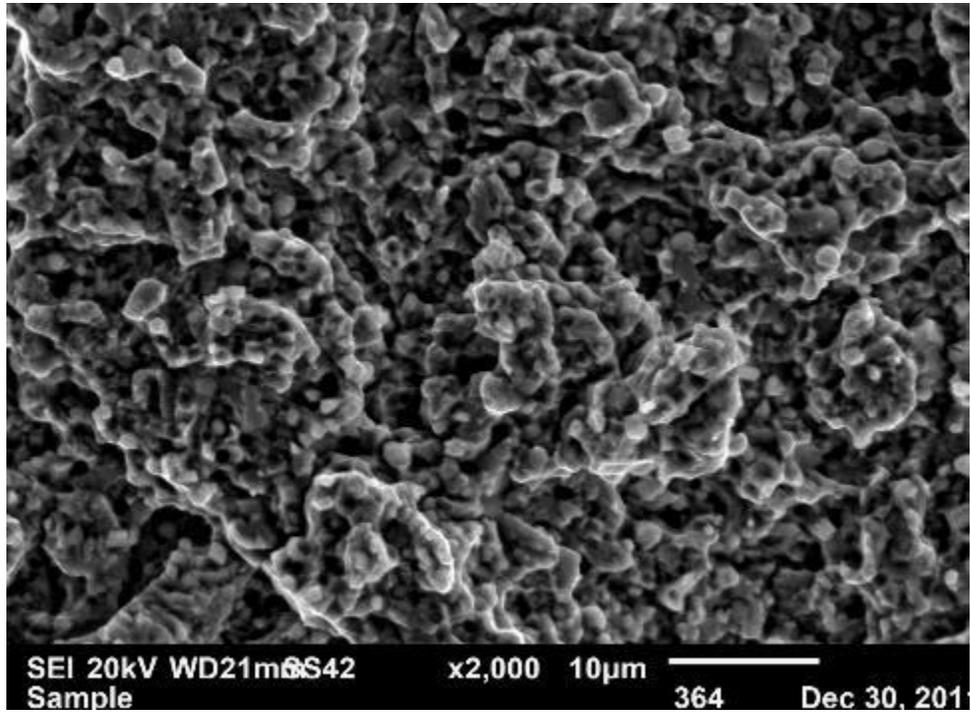


Fig. 114.- Fractura de acero T-15 a 2000X

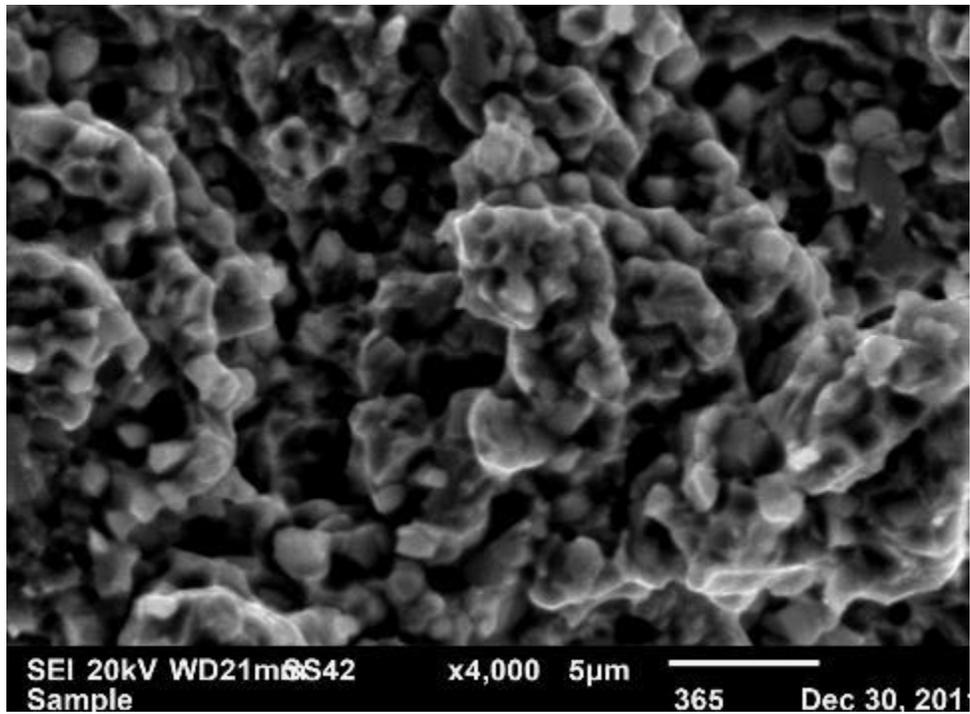


Fig. 115.- Fractura de acero T-15 a 4000X

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Metalografía.

La estructura que presenta los dos aceros, por su origen de fabricación es extremadamente fina ya que se puede considerar menor al grado 10 de ASTM, y en los tres casos de ambos aceros, a partir de los 200X se puede empezar a definir la presencia de los carburos, en ambos aceros sin tratamiento térmico existe la presencia de carburos globulares y se puede observar la presencia de la matriz que es ferrita.

A partir de los tratamientos térmicos de bonificado y temple y triple revenido, la presencia de los carburos se modifican a dos morfologías unos son globulares o esféricos y los otros son masas de carburos que se determinan como carburos masivos y son extremadamente finos.

Hay que hacer notar que los carburos globulares son más abundantes en el acero M-4, después del temple y triple revenido, sin embargo en el acero T-15 presenta en forma más abundante la formación de los carburos masivos. En ambos aceros después del temple y triple revenido la cantidad de carburos que se forman son de gran cantidad significativamente.

La formación de los carburos y la matriz de ferrita son causa de tres factores que son: el efecto de los aleantes o sea de la composición química de los aceros, la concentración de los elementos aleantes y del tipo de tratamiento térmico.

Ensayo de dureza.

En la toma de dureza en los aceros sin tratamiento térmico, el acero T-15 presenta una mayor homogeneidad que el M-4, ya que según los cálculos de la desviación estándar, el M-4 presentó 9 lecturas fuera del máximo o mínimo de la dureza media o sea de la confiable o ideal, mientras que el T-15 presentó una. Sin embargo, una vez que se les realizó el tratamiento térmico de temple y triple

revenido, el T-15 presento 9 durezas fuera de las tolerancias, mientras que el M-4 presento 3.

En general los dos aceros se consideran desde un punto de vista tecnológico como homogéneos y con pocos o nulas variaciones, sin embargo, en esta investigación se pudo demostrar que así no es.

Ensayo de tensión.

Ambos dos aceros tanto el T-15, como el M-4, se comportan como aceros de alta aleación ya que sus resistencias a la tensión se pueden considera como elevadas, sin embargo, la diferencia entre la resistencia a la tensión y el limite elástico es significativo, esto quiere decir que ambos aceros presenta propiedades de tenacidad o plasticidad, estos resultados se contraponen con los datos de deformación o alargamiento, porque en ambos aceros el alargamiento es muy pequeño (0.0244 mm/mm. en T-15 y 0.0329 mm/mm. en M-4), como si fueran aceros muy elásticos o frágiles.

El modulo de Young nos muestra que son aceros que en el ensayo de tensión, dan gráficas lineales sin variaciones y su energía consumida es elevada, que es una característica de los aceros de herramienta.

Fractura

Las fracturas que se obtuvieron después del ensayo de tracción, en ambos aceros a bajos de aumentos 33X a 500 X se presentan como fracturas de semi clivaje, ya que lo que se define es la presencia de los carburos.

Con mayores aumentos a 1000X, 2000X y 4000X, se empieza a definir otro tipo de fractura que es la de dimples o conocido como las fracturas tipo copa cono, la cual es característica del comportamiento de los materiales o en este caso de

los aceros que posean deformación plástica y por consiguiente presenta tenacidad a la ruptura.

En estos casos específicos de los aceros de herramienta T-15 y M-14, se puede observar que la fractura copa-cono, se formó en el material de sostén de los carburos que en este caso es ferrita. Por consiguiente, la ruptura se puede considerar que es de tipo microscópica.

CONCLUSIONES.

- 1.- Las estructuras obtenidas en los aceros T-15 y M-4 presenta un grano mucho más fino y homogéneo. Así como una formación de carburos más uniformes, y existe una diferencia entre los carburos obtenidos, ya que el acero T-15 posee más carburos masivos que el M-4, y este posee más carburos globulares o esféricos que el T-15.
- 2.- Estos carburos son resultado en primer lugar y principalmente por el contenido de carbono, ya que estos aceros son de alto carbono.
- 3.- En segundo lugar es por su composición química de aleantes ya que el T-15 posee 21.5% de aleantes formadores de carburos y estabilizadores de ferrita y 5.0% de cobalto. Mientras que el M-4 posee 19.0% de formadores de carburos y estabilizadores de ferrita.
- 4.- En tercer lugar el tratamiento térmico de temple, pero principalmente el triple revenido, ya que este tratamiento es el forma los carburos y estabiliza la ferrita.
- 5.- Con ayuda de la desviación estándar en los resultados del ensayo de dureza, demostró que ambos aceros tanto el T-15 y M-4 obtuvieron una dureza en la escala de Rockwell "C" un comportamiento uniforme tanto en la muestra sin tratamiento térmico como en la tratada térmicamente con temple y triple revenido.

- 6.- Aunque los dos aceros son de herramienta, por su composición química el T-15 obtuvo mayor dureza que el M-4 con el temple y triple revenido, a pesar que los dos aceros en condiciones originales prácticamente poseen la misma dureza.
- 7.- Las variaciones de dureza en los 4 ensayos realizados a las muestra de los aceros T-15 y M-4, se pueden considerar como homogéneas ya que las diferencias entre los máximos y mínimos de dureza permitido en los ensayos es de decimas de grados de dureza.
- 8.- En cuanto al el ensayo de tensión por su composición química y estructura; el acero T-15 tuvo mayor resistencia que el M-4 y un limite elástico superior.
- 9.- Ambos dos aceros presentan un cierta propiedad de tenacidad o deformación
- 10.- Se comportan como aceros elásticos y frágiles, por su calculo de deformabilidad, ya que se deformaron en diezmilecimas de mm/mm. El consumo de energía del ensayo de ambos aceros es alto.
- 11.- Las observaciones en las fracturas son las de aceros del tipo frágil, ya que no presenta deformación en forma macroscópica (bajos aumentos).
- 12.- Sin embargo, a mayores aumentos existe una deformación y por consiguiente se ovserva una fractura de dimples y por esta razón, estos aceros poseen tenacidad.

CONCLUSIONES GENERALES.

Estos aceros el T-15 y M-4 su comportamiento dependen fundamentalmente de:

- 1.- Su fabricación de polvos aleados.
- 2.- Su composición química
- 3.- El efecto de sus aleantes y contenido de carbono, para obtener su estructura deseada.

4.- El tratamiento térmico de temple y triple revenido, para el uso que estan destinados.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

1.- [Crystal structure and morphology of the carbide precipitated from martensitic high carbon steel during the first stage of tempering](#). Y Hirotsu, S Nagakura; Acta Metallurgica, 1972–Elsevier.

2.- [On the contribution of carbides and micrograin boundaries to the creep strength of tempered martensite ferritic steels](#). A Kostka, KG Tak, RJ Hellmig, [Y Estrin](#), [G Eggeler](#) - Acta Materialia, 2007 - Elsevier

3.- Precipitation hardening of high-strength low-alloy steels by nanometer-sized carbides. Author links open overlay panel [C.Y.Chen](#) [Materials Science and Engineering: A Volume 499, Issues 1–2](#), 15 January 2009, Pages 162-166

4.- Electron Microscopy and Diffraction Study of the Carbide Precipitated at the First Stage of Tempering of Martensitic Medium Carbon Steel By Yoshihiko Hirotsu* and Sigemaro Nagakura* 1974 Vol. 15

5.- The effects of Composition and Carbide Precipitation on Temper Embrittlement of Cr-1 Mo Steel Part I. Effects of P and Sn 2.25 JIN YU AND C. J. McMAHON, Jr VOLUME I IA, FEBRUARY 1980-277

6.- Meng, F., Tagashira, K., Azuma, R. [Role of Eta-carbide Precipitations in the Wear Resistance Improvements of Fe-12Cr-Mo-V-1.4C Tool Steel by Cryogenic Treatment.](#) (1994) *ISIJ International*, 34 (2), pp. 205-210

7.- Hirotsu, Y., Nagakura, S. [Crystal structure and morphology of the carbide precipitated from martensitic high carbon steel during the first stage of tempering](#) (1972) *Acta Metallurgica*, 20 (4), pp. 645-655

8.- Sahin, Y., and Motorcu, A.R. [Surface roughness model for machining mild steel with coated carbide tool](#) (2005) *Materials and Design*, 26 (4), pp. 321-326.